

PUPUK DAN PEMUPUKKAN



Penulis:

Edy Syafril Hayat, Sri Andayani, Mulyadi, Agus Suyanto,
Rini Suryani, Agusalm Masulili, Setiawan,
Ida Ayu Suci, Muh. Ansar, Agnes Tutik Purwani Irianti,
Sutikarini, Ismail Astar

PUPUK DAN PEMUPUKKAN

Edy Syafril Hayat

Sri Andayani

Mulyadi

Agus Suyanto

Rini Suryani

Agusalim Masulili

Setiawan

Ida Ayu Suci

Muh. Ansar

Agnes Tutik Purwani Irianti

Sutikarini

Ismail Astar



GET PRESS INDONESIA

PUPUK DAN PEMUPUKKAN

Penulis : Edy Syafril Hayat

Sri Andayani

Mulyadi

Agus Suyanto

Rini Suryani

Agusalim Masulili

Setiawan

Ida Ayu Suci

Muh. Ansar

Agnes Tutik Purwani Irianti

Sutikarini

Ismail Astar

ISBN : 978-623-125-440-5

Editor : Mila Sari, M.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd.

Penerbit: GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah

Kecamatan Koto Tangah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, November 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga buku ini yang berjudul "Pupuk dan Pemupukan" dapat tersusun dan diselesaikan dengan baik. Buku ini hadir sebagai panduan komprehensif mengenai pentingnya pupuk dalam dunia pertanian, mulai dari pengertian dasar, jenis-jenis, manfaat, hingga teknik penerapan pemupukan yang efektif. Kami berharap, buku ini dapat memberikan wawasan yang luas bagi para pembaca dalam memahami peran pupuk dalam meningkatkan produktivitas tanaman dan menjaga kesuburan tanah, terutama dalam upaya mendukung pertanian yang berkelanjutan.

Melalui 12 bab yang tersusun secara sistematis, buku ini menjelaskan berbagai aspek terkait pupuk, termasuk teknik pemilihan, penyimpanan, dan pencampuran pupuk. Selain itu, kami juga membahas dampak pupuk terhadap tanah serta perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat untuk mencapai hasil panen optimal. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para petani, akademisi, dan semua pihak yang berkecimpung dalam bidang pertanian, serta memberikan kontribusi positif bagi perkembangan pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Padang, September 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB 1 PENGERTIAN PUPUK DAN PEMUPUKAN	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Definisi Pupuk dan Pemupukan	3
1.3 Hubungan Tanaman Tanah dan Pupuk.....	8
1.4 Peran Strategis Pemupukan.....	9
1.5 Pupuk Sebagai Penyedia Unsur Hara Esensial	10
DAFTAR PUSTAKA.....	13
BAB 2 MANFAAT PUPUK.....	17
2.1 Pendahuluan	17
2.2 Manfaat Pupuk Untuk Menambah Unsur Hara	17
2.3 Manfaat Pupuk Untuk Memperbaiki Keasaman Tanah ...	20
2.4 Manfaat Pupuk Untuk Memperbaiki Sifat Fisik Tanah	22
2.5 Manfaat Pupuk Untuk Mengurangi Erosi Permukaan Tanah	23
2.6 Manfaat Pupuk Untuk Memperbaiki Sifat Biologi Tanah	24
2.7 Manfaat Pupuk Untuk Meningkatkan Hasil Panen	25
DAFTAR PUSTAKA.....	31
BAB 3 JENIS - JENIS PUPUK.....	41
3.1 Klasifikasi Pupuk	41

3.2 Pupuk Organik	43
3.3 Pupuk Anorganik.....	46
3.3 Pupuk hayati.....	48
3.4 Pupuk NPK	51
3.5 Pupuk Mikro	53
3.6 Cara Pemilihan Pupuk yang Tepat.....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
BAB 4 SIFAT-SIFAT UMUM PUPUK BUATAN	59
4.1 Pendahuluan.....	59
4.2 Sejarah Pupuk Buatan	60
4.3 Sifat-Sifat Pupuk Buatan	62
DAFTAR PUSTAKA.....	79
BAB 5 DASAR-DASAR PEMUPUKAN	81
5.1 Pendahuluan.....	81
5.2. Tujuan Pemupukan.....	81
5.3 Manfaat Pemupukan	83
5.4 Teknik Pemupukan.....	84
5.5. Prinsip Pemupukan	87
5.6 Waktu dan Frekuensi Pemupukan	89
5.8 Pemupukan Harus Memegang prinsip Pertanian Berkelanjutan	90
DAFTAR PUSTAKA.....	94
BAB 6 PUPUK MAJEMUK.....	95
6.1 Pendahuluan.....	95
6.2 Kandungan hara pupuk majemuk	96
6.3 Bentuk pupuk majemuk.....	97

6.3 Kelebihan pupuk majemuk	97
6.5 Proses produksi pupuk majemuk.....	101
6.6 Aplikasi pupuk majemuk dalam budidaya pertanian.....	103
6.7 Tantangan dan Kendala dalam Menggunakan Pupuk Majemuk.....	105
DAFTAR PUSTAKA	108
BAB 7 PUPUK TUNGGAL	111
7.1 Pendahuluan	111
7.2 Jenis-Jenis Pupuk Tunggal	112
7.3 Keuntungan dan Kekurangan Pupuk Tunggal.....	122
DAFTAR PUSTAKA	127
BAB 8 UNSUR MIKRO PUPUK	131
8.1 Pendahuluan	131
8.2 Besi (Fe).....	133
8.3 Mangan (Mn).....	136
8.4 Zinc (Zn).....	141
8.5 Tembaga (Cu)	146
8.6 Boron (B)	150
8.7 Unsur-unsur Mikro Bermanfaat Lainnya	151
DAFTAR PUSTAKA	154
BAB 9 PERHITUNGAN KEPERLUAN PUPUK.....	157
9.1 Pendahuluan	157
9.2 Faktor yang Mempengaruhi Kebutuhan Pupuk.....	194
9.3 Metode Perhitungan Keperluan Pupuk.....	199
9.4 Aplikasi Pupuk : Metode dan Pertimbangan untuk Efektivitas Optimal.....	205

9.5 Penyesuaian Kebutuhan Pupuk Berdasarkan Hasil Pemantauan	212
9.7 Kesimpulan	216
9.8 Lampiran.....	226
DAFTAR PUSTAKA.....	275
BAB 10 CARA PENYIMPANAN DAN PENCAMPURAN PUPUK.....	277
10.1 Pendahuluan.....	277
10.2 Penyimpanan Pupuk.....	278
10.3 Pencampuran Pupuk	284
DAFTAR PUSTAKA.....	289
BAB 11 PUPUK ORGANIK	293
11.1 Pendahuluan.....	293
11.2 Definisi Pupuk Organik.....	294
11.3 Jenis-jenis Pupuk Organik.....	295
11.4 Keunggulan dan Kekurangan Pupuk Organik	300
11.5 Kandungan Pupuk Organik.....	302
11.6 Cara Pembuatan Pupuk Organik.....	303
DAFTAR PUSTAKA.....	306
BAB 12 DAMPAK PUPUK BAGI TANAH	311
12.1 Pendahuluan.....	311
12.2 Dampak Positif Pupuk bagi Tanah.....	312
12.3 Dampak Negatif Penggunaan Pupuk bagi Tanah	314
12.4 Pengaruh Pupuk pada Sifat Fisik Tanah.....	317
12.5 Pengaruh Pupuk pada Sifat Kimia Tanah.....	319
12.6 Pengaruh Pupuk pada Sifat Biologi Tanah	321

DAFTAR PUSTAKA..... 323

INDEKS 328

GLOSARIUM 330

BIODATA PENULIS..... 334

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Aplikasi pupuk di larikan , untuk meningkatkan efisiensi pemupukan (Sumber : Andayani, dkk. 2023).....	5
Gambar 1. 2. Aplikasi pupuk organik (dalam bentuk bokashi dapat mempengaruhi tinggi tanaman kacang hijau. Tanaman paling kiri tanpa aplikasi bokashi (b ₁), tanaman di tengah dosis b ₂ , dan paling kanan dosis b ₃ . (Sumber : Hayat, dkk. 2024).....	11
Gambar 2. 1. Tanaman Kedelai yang diberi Pupuk Bokashi	29
Gambar 2. 2. Tanaman Sawi Pakchoy yang diberi Pupuk Bokashi	30
Gambar 4. 1. <i>Pupuk Urea</i>	66
Gambar 4. 2. <i>Pupuk KCl</i>	66
Gambar 4. 3. <i>Pupuk dengan kandungan nitrogen tinggi</i>	70
Gambar 4. 4. <i>Pupuk yang bersifat asam</i>	72
Gambar 4. 5. <i>Pupuk dolomit</i>	73
Gambar 5. 1. Pupuk Trichokompos yang mengandung unsur hara dan mikroorganisme	83
Gambar 5. 2. Pemupukan dasar menggunakan pupuk biokompos yang diberikan saat pengolahan tanah	86
Gambar 5. 3. Pemupukan dasar menggunakan NPK Mutiara dengan sistem tugal.....	86
Gambar 10. 1. Gudang Penyimpanan Pupuk Anorganik (Sumber : Kompas.id).....	282
Gambar 10. 2. Tempat Penyimpanan Pupuk Organik Padat (Sumber : Ramadan, 2022).....	283
Gambar 10. 3. Pengemasan Pupuk Organik Cair (Sumber : Dokumentasi Pribadi)	284
Gambar 10. 4. Tabel Pencampuran pupuk (Sumber : Wahyudi et al. 2008)	287
Gambar 11. 1Kompos	295
Gambar 11. 2. Vermikompos	296
Gambar 11. 3. Pupuk Hijau.....	296
Gambar 11. 4. Pupuk Kandang.....	297
Gambar 11. 5. Biochar	297

Gambar 11. 6. Pupuk Organik Cair	298
Gambar 12. 1. Dampak negatif pupuk bagi tanah	317

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Kelebihan dan Kekurangan Daya Larut Pupuk Buatan	68
Tabel 3. 1. Tabel Perbandingan Singkat	42
Tabel 4. 1. Ringkasan sifat-sifat pupuk buatan	62
Tabel 7. 1. Kelebihan dan kekurangan pupuk nitrogen.....	113
Tabel 7. 2. Kelebihan dan kekurangan pupuk Tunggal fosfor	118
Tabel 7. 3. Keuntungan dan kekurangan pupuk kalium	121

BAB 1

PENGERTIAN PUPUK DAN PEMUPUKAN

Oleh Edy Syafril Hayat

1.1 Pendahuluan

Pupuk dan pemupukan memiliki peran penting dan strategis dalam pertanian modern untuk meningkatkan hasil tanaman. Penggunaan varietas tanaman unggul yang responsif terhadap pupuk memaksa petani/pengusaha pertanian untuk senantiasa mengaplikasikan pupuk dalam setiap kegiatan budidaya tanaman. Pupuk merupakan sumber nutrisi penting bagi tanaman yang membantu dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Pemupukan yang baik seharusnya memperhatikan kelastarian lingkungan, di mana dampak yang ditimbulkan terhadap kerusakan lingkungan dapat diminimalisir. Oleh sebab itu orientasi pemupukan masa depan diarahkan pada penggunaan pupuk organik yang ramah lingkungan atau minimal ada upaya pengurangan pupuk anorganik. Berbagai penelitian penggunaan pupuk organik untuk mensubstitusi pupuk anorganik telah dilakukan. Penggunaan pupuk kandang burung puyuh dapat mensubstitusi penggunaan pupuk anorganik terhadap hasil tanaman jagung hibrida di lahan gambut (Hayat, dkk., 2021) dan penggunaan bokashi pada tanaman kedelai di lahan suboptimal basah (Andayani,dkk. 2024). Selain itu, penelitian oleh Lin, dkk. (2023) menyoroti

bahwa penggunaan pupuk kimia yang cepat terurai dan pupuk organik yang lambat pelepasannya dalam konfigurasi pupuk yang tepat dapat meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanah. Hal ini diakui sebagai salah satu solusi untuk menangani penurunan hasil dan polusi lingkungan, terutama di lahan sawah. Selain itu, penelitian oleh Zhao, dkk. (2023) menunjukkan bahwa penambahan bahan humus alami dapat signifikan meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan kesuburan terintegrasi. Selain itu, penelitian pada tanaman padi menunjukkan bahwa pemulihan kesuburan tanaman padi hibrida tiga garis dapat bergantung pada faktor genetik tertentu yang terkait dengan pemupukan (Li, dkk. 2020). Selain itu, pemupukan juga dapat berdampak pada stabilitas kesuburan tanaman.

Penggunaan pupuk yang tepat juga dapat mempengaruhi stabilitas agregat tanah, yang merupakan indikator penting dari kesuburan tanah. Studi oleh Liu, dkk. (2023) menunjukkan bahwa agregat tanah tidak hanya meningkatkan kesuburan tanah dan kontrol validitas biologis nutrisi, tetapi juga memperkuat ketahanan erosi tanah. Dengan demikian, pemilihan jenis dan dosis pupuk yang sesuai dapat berkontribusi secara signifikan terhadap keseimbangan nutrisi tanah, produktivitas tanaman, dan kualitas kesuburan tanah secara keseluruhan.

Dengan demikian, pemahaman mendalam mengenai jenis pupuk yang digunakan, dosis yang diberikan, serta interaksi antara pupuk kimia dan organik sangat penting dalam meningkatkan kesuburan tanah. Melalui pendekatan yang terintegrasi dan berkelanjutan dalam pengelolaan pupuk, petani dapat meningkatkan hasil pertanian mereka sambil menjaga kesehatan tanah dan lingkungan.

1.2 Definisi Pupuk dan Pemupukan

Pupuk adalah bahan yang ditambahkan pada tanah atau diaplikasikan pada tanaman dengan maksud untuk meningkatkan kesuburan tanah atau menambah nutrisi tanaman. Dengan meningkatnya kesuburan tanah, maka akan dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman. Pengertian ini sejalan dengan konsep bahwa pupuk merupakan sumber nutrisi penting bagi tanaman (Kailani, 2020). Sehingga dapat disimpulkan bahwa ada pupuk yang diaplikasikan pada tanah, dan ada yang diaplikasikan (disemprotkan) langsung pada tanaman.

Pupuk dapat dihasilkan melalui pengolahan limbah organik, seperti kotoran ternak atau sampah organik. Limbah organik dapat diolah menjadi pupuk kompos melalui berbagai teknik pengolahan yang melibatkan mikroorganisme dan bakteri (Tanjungsari, 2023). Proses pengomposan limbah organik menjadi pupuk kompos merupakan salah satu upaya dalam mengelola limbah organik secara efektif dan berkelanjutan (Sahwan, 2016).

Dalam konteks lingkungan, penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dapat mencemari lingkungan dan mengganggu keberlanjutan produksi tanaman. Oleh karena itu, penggunaan pupuk organik menjadi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Bertham, dkk. 2023). Kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah organik dan penggunaan pupuk organik juga semakin meningkat di masyarakat (Andriani, dkk. 2022).

Pemupukan adalah proses pemberian bahan yang bertujuan untuk menyediakan nutrisi yang diperlukan bagi tanaman. Secara umum, pemupukan merupakan bagian dari sistem pengelolaan tanaman yang meliputi berbagai aspek seperti pengolahan lahan, penentuan varietas, penggunaan

benih unggul, penentuan waktu tanam, pemupukan berimbang yang tepat, pengaturan perairan, dan teknis budidaya lainnya (Setiawati, dkk. 2016). Dalam konteks khusus, pemupukan dapat diartikan sebagai pemberian bahan yang dimaksudkan untuk menyediakan hara bagi tanaman (Irvani & Yamin, 2012).

Pemupukan memiliki peran penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian. Jenis pupuk yang digunakan dan waktu pemberiannya dapat memengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman (Nurhayati & Sebayang, 2022). Selain itu, penggunaan pupuk urea juga telah terbukti dapat meningkatkan produksi tanaman kakao (Wahyudi, 2023). Pemahaman yang baik mengenai jenis pupuk dan cara penggunaannya menjadi kunci dalam meningkatkan hasil produksi tanaman.

Alasan dilakukannya pemupukan adalah telah berkurang kesuburan tanah, sehingga nutrisi yang tersedia di dalam tanah tidak dapat mendukung pertumbuhan dan produksi tanaman. Semakin rendah kadar unsur hara di dalam tanah maka semakin besar pupuk yang harus ditambahkan ke dalam tanah, dan sebaliknya.

Efisiensi pemupukan penting dilakukan untuk menghindari pemborosan. Oleh sebab itu perlu diketahui faktor faktor yang mempengaruhi efisiensi pemupukan yaitu bagaimana cara mengaplikasikan pupuk di lapangan (disebar, dilarikan, ditugal, disemprotkan pada tanaman. Selain itu harus diketahui juga tanah yang akan dipupuk (misalnya kesuburannya, pH tanah, tergolong tanah apa, dan lain-lain). Selanjutnya faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah apa jenis pupuk yang akan diaplikasikan, dan yang penting juga adalah dosis aplikasinya bagi tanaman budidaya. Selanjutnya yang perlu diperhatikan adalah waktu pemupukan dimana dalam melakukan pemupukan misalnya di lapangan terbuka yang dalam skala luas yaitu kondisi air tanah, sehingga biasanya pemupukan dilakukan

di awal musim penghujan. Dengan memperhatikan enam faktor pemupukan tersebut, maka akan meningkatkan efisiensi pemupukan. Salah satu contoh adalah cara pemupukan, misalnya untuk pupuk NPK yang sifatnya mudah larut maka cara pemupukan dapat dilakukan dengan cara larikan, yaitu aplikasi di dalam larikan kanan/kiri tanaman kemudian ditutup dengan tanah, seperti pada **gambar 1.1**.



Gambar 1. 1. Aplikasi pupuk di larikan , untuk meningkatkan efisiensi pemupukan (Sumber : Andayani, dkk. 2023)

Pemupukan juga dapat dilakukan melalui pengolahan limbah organik menjadi pupuk kompos. Proses pengomposan limbah organik menjadi pupuk kompos merupakan salah satu upaya dalam mengelola limbah organik secara efektif dan berkelanjutan (Tanjung Sari, 2023). Kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah organik dan penggunaan pupuk organik juga semakin meningkat di masyarakat (Andriani, dkk. 2022). Bahan organik yang digunakan dapat yang sifatnya spesifik

lokasi, misalnya di lokasi perkebunan sawit, dapat menggunakan limbah tandan kosong kelapa sawit, kalau di lokasi budidaya tanaman padi dapat menggunakan sekam padi, jerami padi, dan dedak. Bahan-bahan tersebut dapat diolah menjadi pupuk organik pada yang memiliki hara tinggi seperti yang dilakukan ES Hayat, dkk. (2014) dalam pemanfaatan tangkos dan *Chromolaena odorata*, serta pemanfaatan bokashi pada tanaman kedelai dan bawang daun (Andayani, dkk. 2023)

Jenis-jenis pupuk yang ada saat ini dapat diklasifikasikan berdasarkan : kandungan unsur hara, sumber, bentuk, senyawa kimia, reaksi dalam tanah, dan cara pemberiannya. Berikut ini penjelasannya :

1.2.1 Berdasarkan kandungan unsur hara

Berdasarkan kandungan unsur haranya pupuk terbagi atas dua yaitu pupuk tunggal dan pupuk majemuk. Pupuk yang dijual di pasaran dan kios-kios pertanian untuk saat ini sangat beragam sekali, sehingga petani harus mengetahui ada kandungan unsur hara yang ada di dalam pupuk yang akan dibeli. Misalnya untuk pupuk tunggal seperti pupuk urea yang mengandung unsur N, pupuk SP-36 mengandung unsur P, dan pupuk KCl yang mengandung unsur K. Untuk pupuk misalnya pupuk NPK yang mengandung unsur N, P, dan K (mengandung dua atau lebih unsur hara)

1.2.2 Berdasarkan sumber/asalnya

Berdasarkan sumbernya pupuk dibagi menjadi pupuk alam dan pupuk buatan. Pupuk alam adalah pupuk diperoleh dari alam tanpa proses pabrik, misalnya pupuk kandang, pupuk hijau, kompos yang berasal dari tumpukan limbah tanaman, guano, dan lain-lain. Pupuk buatan adalah pupuk yang dibuat di pabrik /industri pengolahan, yang mengandung unsur

hara tertentu, dan umumnya mengandung unsur hara tinggi. Misalnya pupuk urea, SP-36, pupuk NPK, dan lain-lain

1.2.3 Berdasarkan bentuk

Berdasarkan bentuknya pupuk umumnya dibagi dua kelompok yaitu pupuk padat dan pupuk cair. Bentuk pupuk padat dapat berupa butiran (granul), tepung, dan tablet. Untuk pupuk yang berbentuk cair dalam penggunaan perlu diencerkan terlebih dahulu dalam konsentrasi tertentu setelah itu dapat langsung diaplikasikan dengan cara disemprotkan pada tanaman, atau disiramkan pada tanah.

1.2.4 Berdasarkan senyawa kimia

Berdasarkan kandungan senyawa kimia maka pupuk terbagi atas pupuk anorganik dan pupuk organik. Menurut Permentan No. 43 tahun 2011, pupuk anorganik adalah pupuk hasil proses rekayasa secara kimia, fisik dan/atau biologis, dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuat pupuk.

Pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari bahan-bahan alami yang mengandung bahan organik, seperti sisa-sisa tumbuhan atau hewan

1.2.5 Berdasarkan reaksi dalam tanah

Berdasarkan reaksi dalam tanah pupuk terbagi atas tiga yaitu ada yang bersifat asam, basa dan netral. Misalnya pupuk ZA dan urea. Pupuk basa misalnya magnesium amonium fosfat (meninggalkan ion Mg^{2+}), dan contoh yang netral adalah dolomit, meskipun dalam sehari-hari disebut sebagai kapur pertanian, dimana dolomit tidak menimbulkan residu asam maupun basa.

1.2.6 Berdasarkan cara pemberiannya

Berdasarkan cara pemberiannya pupuk terbagi atas : pupuk akar/pupuk tanah : yaitu pupuk yang diaplikasikan pada tanah disekitar perakaran tanaman, dan akan diserap akar. Selanjutnya adalah pupuk daun yaitu pupuk yang diaplikasikan dengan cara disemprotkan pada daun, biasanya dengan konsentrasi rendah.

1.3 Hubungan Tanaman Tanah dan Pupuk

Tanaman menempatkan sebagian besar organnya dalam bentuk akar di dalam tanah. Akar merupakan organ yang berfungsi untuk menyerap unsur hara dan air dari dalam tanah. Sebagian besar unsur hara tanaman diserap dari dalam tanah. Untuk itu keberadaan tanah yang subur sangat penting dalam bidang pertanian.

Akibat dari kegiatan budidaya tanaman yang dilakukan secara terus menerus pada suatu bidang lahan yang sama, maka kesuburan tanah alami akan menurun seiring dengan bertambahnya waktu pemanfaatan lahan akibat terangkutnya unsur hara dalam bentuk hasil panen, dan menumpuk pada biomassa tanaman. Apalagi kalau biomassa/sisa hasil panen tidak dikembalikan ke lahan tersebut. Dalam hal ini pupuk memiliki peran yang sangat penting dalam hubungan antara tanaman dan tanah. Pemberian pupuk, baik organik maupun anorganik, bertujuan untuk menyediakan nutrisi yang diperlukan tanaman agar dapat tumbuh dengan optimal. Pupuk organik, seperti pupuk bokashi yang terbuat dari kotoran sapi, dapat memperbaiki sifat fisik tanah dan meningkatkan kandungan bahan organik serta unsur hara yang diperlukan tanaman (Iswahyudi, dkk. 2020). Selain itu, pupuk organik juga dapat meningkatkan efisiensi pemupukan, menjaga kesuburan

tanah, dan meningkatkan hasil tanaman secara berkelanjutan (Patimah, dkk. 2019).

Pupuk hijau juga merupakan salah satu jenis pupuk organik yang efektif dalam meningkatkan kandungan bahan organik dan unsur hara dalam tanah. Penggunaan sisa-sisa tanaman panen untuk dijadikan pupuk hijau dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, yang pada akhirnya akan meningkatkan produktivitas tanah serta pertumbuhan dan produksi tanaman (Pelealu & Mambu, 2020).

Penggunaan pupuk organik, seperti pupuk guano walet, juga dapat meningkatkan dan mempertahankan kesuburan tanah, sehingga mendorong pertumbuhan tanaman dan meningkatkan produksi serta kualitas hasil (Yasni, 2023). Kombinasi antara pupuk organik dan pupuk kimia juga dapat menjadi solusi untuk mempertahankan kesuburan tanah dan meningkatkan produksi tanaman dengan mengurangi penggunaan pupuk kimia secara berlebihan (Sesanti, dkk. 2021).

1.4 Peran Strategis Pemupukan

Pemupukan memiliki peran strategis yang sangat penting dalam budidaya pertanian. Pemberian pupuk yang tepat dan efektif dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, yang pada akhirnya akan meningkatkan pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas hasil tanaman. Pemupukan yang tepat juga dapat membantu tanaman untuk mengatasi kekurangan nutrisi tertentu yang dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selain itu, pemupukan yang optimal juga dapat meningkatkan daya adaptasi tanaman terhadap kondisi lingkungan yang berubah,

seperti perubahan iklim, sehingga tanaman menjadi lebih tahan terhadap stres biotik dan abiotik.

Pemupukan berperan dalam menambah, menjaga, dan meningkatkan kesuburan tanah. Selain itu, pemupukan juga dapat membantu dalam menjaga keseimbangan unsur hara dalam tanah, sehingga tanah tetap subur dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Untuk tanah-tanah yang memiliki kesuburan alami tinggi, maka sebaiknya yang dilakukan adalah menjaga kesuburan tanahnya.

Selain itu, pemupukan juga berperan dalam meningkatkan efisiensi penggunaan input pertanian lainnya, seperti air dan pestisida. Tanaman yang mendapatkan pemupukan yang cukup akan memiliki sistem perakaran yang sehat dan kuat, sehingga mampu menyerap air dan nutrisi dengan lebih efisien. Hal ini juga dapat mengurangi penggunaan pestisida karena tanaman yang sehat cenderung lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Dengan demikian, pemupukan memiliki peran strategis dalam budidaya pertanian karena dapat meningkatkan produktivitas tanaman, menjaga kesuburan tanah, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap kondisi lingkungan yang berubah, serta meningkatkan efisiensi penggunaan input pertanian lainnya.

1.5 Pupuk Sebagai Penyedia Unsur Hara Esensial

Pemupukan memiliki peran yang sangat penting dalam menyediakan unsur hara esensial bagi tanaman. Pupuk memberikan nutrisi yang diperlukan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan yang optimal. Pupuk dapat terdiri dari bahan organik, anorganik, atau campuran keduanya, yang memberikan unsur hara seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan unsur hara esensial lainnya yang diperlukan tanaman untuk

proses fotosintesis, pertumbuhan akar, pembentukan bunga, dan pembuahan.

Pemberian pupuk yang tepat dan efektif dapat meningkatkan produktivitas tanaman dengan memastikan ketersediaan nutrisi yang cukup. Misalnya, penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik dan biochar dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung (Nurmalasari, dkk. 2023). Pemupukan juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, hasil penelitian (Hayat, dkk. 2024) bahwa aplikasi pupuk organik dalam bentuk bokashi dapat meningkatkan tinggi tanaman kacang hijau (**Gambar 1.2**).



Gambar 1. 2. Aplikasi pupuk organik (dalam bentuk bokashi dapat mempengaruhi tinggi tanaman kacang hijau. Tanaman paling kiri tanpa aplikasi bokashi (b_1), tanaman di tengah dosis b_2 , dan paling kanan dosis b_3 . (Sumber : Hayat, dkk. 2024)

Sebagaimana diketahui bahwa tanaman dalam pertumbuhannya yang normal memerlukan beberapa unsur hara. Unsur hara yang multak diperlukan oleh tanaman untuk

mendukung pertumbuhan dan siklus hidupnya yang normal disebut sebagai unsur hara esensial. Terdapat sekitar 16 unsur hara esensial yang terbagi dalam dua kelompok yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro adalah unsur hara yang diperlukan tanaman dalam jumlah banyak. Terdapat 9 unsur hara makro yaitu Carbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O), Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Sulfur (S), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg). Kelompok unsur esensial berikutnya adalah unsur hara mikro yaitu unsur hara yang diperlukan tanaman dalam jumlah sedikit. Unsur hara mikro terdiri dari 7 unsur hara yaitu : Besi (Fe), Mangan (Mn), Seng (Zn), Tembaga (Cu), Molibdenum (Mo), Boron (B), dan Klor (Cl).

Pupuk yang dijual di pasaran saat ini mengandung satu atau beberapa unsur hara. Misalnya pupuk urea mengandung unsur N, pupuk SP-36 mengandung unsur P, pupuk KCl mengandung unsur K. Pupuk yang mengandung dua atau lebih unsur hara disebut sebagai pupuk majemuk. Misalnya pupuk NPK mengandung unsur N, P dan K. Sehingga dengan menambahkan pupuk tersebut berarti menambahkan unsur hara yang tersedia pada pupuk tersebut.

Pada akhirnya, peran petani sebagai manajer atau pengelola dalam suatu kegiatan budidaya itulah yang sangat menentukan. Kalaupun di suatu kawasan budidaya sudah tersedia sarana dan prasarana dengan baik, kalau petaninya tidak bijak dalam menggunakannya tentunya hal ini tidak akan terlalu berdampak terhadap peningkatan produksi tanaman dan pendapatan petani.

DAFTAR PUSTAKA

- Andayani, S., Hayat, ES., Mursalin, A. 2023. Inovasi Teknologi Bokashi Pupuk Kandang Burung Puyuh Diperkaya Biochar pada Tanaman Pangan dan Hortikultura di Lahan Suboptimal Basah Secara Berkelanjutan . *Laporan Akhir Terapan Kompetitif Nasional DRTPM*
- Andayani, S., Hayat, ES., Mursalin, A., Johansyah. 2024. *Inovasi Teknologi Biochar dan Bokashi pada Tanaman Kedelai di Tanah Suboptimal Basah Secara Berkelanjutan*. Padang : Get Press Indonesia
- Andriani, Y., Wiyatna, M., Pardede, K., Pratiwy, F., & Hamidah, I. 2022. Potensi dan kesadaran masyarakat mengolah limbah organik di kecamatan tanjungsari, kabupaten sumedang. Kumawula *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(3), 627. <https://doi.org/10.24198/kumawula.v5i3.41179>
- Bertham, Y., Yuwana, Y., Romeida, A., Indarwanto, I., & Ermayendri, D. 2023. Pemanfaatan asam humat untuk budidaya tanaman sayuran ramah lingkungan. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri)*, 7(1), 897. <https://doi.org/10.31764/jmm.v7i1.11988>
- Colombani, N., Mastrocicco, M., Vincenzi, F., & Castaldelli, G. 2020. Modeling soil nitrate accumulation and leaching in conventional and conservation agriculture cropping systems. *Water*, 12(6), 1571. <https://doi.org/10.3390/w12061571>
- Hayat, ES., Andayani, S., Hayati, R. 2021. Substitution of inorganic fertilizer with organic fertilizer based on poultry waste combined with rice husk biochar. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 824 (2021) 012038 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/824/1/012038

- Hayat, ES., Andayani, S., Suryani, R., 2024. Pengaruh Abu Sekam Padi dan Bokashi pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang Hijau di Tanah Suboptimal. *Laporan Akhir Penelitian*. Dipa UPB 2023.
- Irvani, A. and Yamin, M. 2012. Performance test of mechanical vibration and noise of yanmar mist blower mk 150-b. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 26(2), 83-89. <https://doi.org/10.19028/jtep.26.2.83-89>
- Iswahyudi, I., Izzah, A., & Nisak, A. 2020. Studi penggunaan pupuk bokashi (kotoran sapi) terhadap tanaman padi, jagung & sorgum. *Jurnal Pertanian Cemara*, 17(1), 14-20. <https://doi.org/10.24929/fp.v17i1.1040>
- Kailani 2020. Pemupukan pada tanaman karet (havea brasiliensis) di instalasi benih perkebunan kuala provinsi riau. *Jurnal Agro Indragiri*, 5(1), 32-36. <https://doi.org/10.32520/jai.v5i1.1455>
- Li, P., Zhou, H., Yang, H., Xia, D., Liu, R., Sun, P., ... & He, Y. (2020). Genome-wide association studies reveal the genetic basis of fertility restoration of cms-wa and cms-hl in xian/indica and aus accessions of rice (*oryza sativa* l.). *Rice*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s12284-020-0372-0>
- Liu, X., Liu, J., Chen, Y., Zhang, L., Qi, Y., Li, W., ... & Zhu, Y. 2023. Response of soil aggregate stability to phosphorus, nitrogen, and organic fertilizer addition: a meta-analysis. *Sustainability*, 15(13), 10601. <https://doi.org/10.3390/su151310601>

- Lin, M., Yang, S., Chen, H., Letuma, P., Khan, M., Huang, J., ... & Lin, W. 2023. Optimally combined application of organic and chemical fertilizers increases grain yield and improves rhizosphere microecological properties in rice ratooning. *Crop Science*, 63(2), 764-783. <https://doi.org/10.1002/csc2.20891>
- Nurmalasari, A., Rahayu, M., Budiastuti, M., & Kusumahendra, M. 2023. Effectiveness of biochar and organic fertilizer on growth of maize in kayu putih. *Agroforestry.*, 3-10. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-128-9_2
- Nurhayati, N. and Sebayang, H. 2022. Pengaruh jenis pupuk dan waktu penyiangan terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*zea mays saccharata sturt*). *Produksi Tanaman*, 10(7), 395-403. <https://doi.org/10.21776/ub.protan.2022.010.07.08>
- Pelealu, J. and Mambu, S. 2020. Kelompok tani terong di desa sea kecamatan pineleng kabupaten minahasa tentang efektivitas aplikasi pupuk hijau terhadap pertumbuhan terong. *Vivabio Jurnal Pengabdian Multidisiplin*, 2(3), 14. <https://doi.org/10.35799/vivabio.2.3.2020.31182>
- Rizal, M. 2024. Efektivitas pupuk organik eco farming terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman padi (*oryza sativa l.*). *Jurnal Agrisistem*, 20(1), 31-36. <https://doi.org/10.52625/j-agr.v20i1.322>
- Sahwan, F. 2016. Depo swakelola kebersihan: perannya dalam menangani dan mengomposkan sampah kota (studi kasus di kota denpasar). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 15(2), 83. <https://doi.org/10.29122/jtl.v15i2.1601>

- Setiawati, W., Sumarni, N., Koesandriani, Y., Hasyim, A., Uhan, T., & Sutarya, R. 2016. Penerapan teknologi pengendalian hama terpadu pada tanaman cabai merah untuk mitigasi dampak perubahan iklim. *Jurnal Hortikultura*, 23(2), 174. <https://doi.org/10.21082/jhort.v23n2.2013.p174-183>
- Sesanti, R., Sudrajat, D., Ali, F., & Sari, R. 2021. Potensi cuka bambu pt. bukit asam pelabuhan tarahan untuk mengurangi penggunaan pupuk kimia pada budidaya tanaman pakchoy (brassica rapa l.). *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 21(2), 184-191. <https://doi.org/10.25181/jppt.v21i2.2159>
- Tanjungsari, A. 2023. Pengolahan limbah kotoran burung puyuh menjadi kompos untuk petani di desa gampeng, gampengrejo, kabupaten kediri. *Jurnal Abdinus Jurnal Pengabdian Nusantara*, 7(3), 616-622. <https://doi.org/10.29407/ja.v7i3.17205>
- Wahyudi, A. 2023. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi kakao di desa pelawa kecamatan parigi tengah kabupaten parigi mautong. *Agrotekbis*, 11(5), 1077-1086. <https://doi.org/10.22487/agrotekbis.v11i5.1839>
- Yasni, Y. 2023. Pengaruh pemberian pupuk guano walet terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sawi (brassica juncea l.). *Jurnal Agricultural Review*, 1(1). <https://doi.org/10.37195/arview.v1i1.349>
- Zhao, Z., Zhang, C., Wang, H., Li, F., Hui, P., Yang, Q., ... & Zhang, J. 2023. The effects of natural humus material amendment on soil organic matter and integrated fertility in the black soil of northeast china: preliminary results. *Agronomy*, 13(3), 794. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030794>

BAB 2

MANFAAT PUPUK

Oleh Sri Andayani

2.1 Pendahuluan

Pupuk merupakan komponen penting yang dibutuhkan dalam budidaya tanaman pertanian. Seperti yang telah diuraikan pada bab sebelumnya bahwa pupuk adalah suatu bahan yang mengandung satu atau lebih unsur hara atau nutrisi yang diperlukan tanaman untuk menopang pertumbuhannya. Tidak dapat dimungkiri bahwa baik pupuk organik maupun pupuk anorganik memiliki manfaat yang besar bagi keberhasilan pertumbuhan tanaman. Beberapa manfaat dari pupuk antara lain: menambah unsur hara, memperbaiki keasaman tanah, memperbaiki sifat fisik tanah, mengurangi erosi permukaan tanah, memperbaiki sifat biologi tanah, dan meningkatkan hasil panen.

2.2 Manfaat Pupuk Untuk Menambah Unsur Hara

Unsur hara merupakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman agar bisa tumbuh secara optimal. Unsur hara bisa ditemukan pada tanah, namun jumlahnya terbatas. Bahkan ada juga tanah-tanah yang semakin berkurang jumlah unsur haranya karena berbagai faktor alam maupun faktor manusia, antara lain: (1) akibat erosi; erosi dapat disebabkan oleh air atau angin yang memindahkan lapisan permukaan tanah yang subur ke tempat lain, dengan hilangnya lapisan subur pada bagian atas

tanah, maka berkurang pula jumlah unsur hara pada tanah, (2) penggunaan pestisida yang berlebihan; pestisida yang digunakan secara terus-menerus dalam waktu yang lama dapat merusak lahan pertanian. Hal ini dikarenakan pestisida yang disemprotkan ke tanaman untuk membasmi hama dan penyakit akan jatuh ke tanah dan mengendap di dalam tanah, hal ini akan mengganggu kehidupan mikroorganisme pengurai yang dapat menyuplai unsur hara di dalam tanah, (3) pembakaran sisa panen; persiapan lahan tanam dengan cara pembakaran menyebabkan terjadinya penurunan karbon organik dalam tanah, (4) pengangkutan hasil panen; untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangannya, tanaman akan menyerap unsur hara dari tanah. Ketika tanaman dipanen, unsur hara yang telah diserap oleh tanaman tersebut ikut terangkut bersama hasil panen, hal ini akan menyebabkan penurunan kandungan unsur hara di dalam tanah.

Tanah-tanah yang semakin berkurang unsur haranya dapat ditambahkan melalui pemupukan. Pupuk merupakan sumber nutrisi penting bagi tanaman yang digunakan untuk meningkatkan pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas hasil tanaman. Menurut Asbur, et al. (2023), pemberian pupuk organik secara berkelanjutan dapat menyediakan berbagai unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, sehingga dapat memperbaiki sifat kimia tanah dalam jangka panjang.

Unsur hara yang terkandung dalam pupuk dapat dibagi ke dalam dua kelompok utama, yaitu unsur hara makro dan unsur hara mikro. Unsur hara makro diperlukan dalam jumlah besar oleh tanaman, sementara unsur hara mikro diperlukan dalam jumlah yang lebih sedikit namun tetap penting bagi pertumbuhan tanaman.

Adapun unsur hara makro yang biasanya terdapat dalam pupuk yaitu:

- a. Nitrogen (N): N merupakan unsur hara makro yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman karena merupakan bagian dari protein, klorofil, asam nukleat, dan berbagai senyawa penting lainnya. Pupuk nitrogen umumnya ditemukan dalam bentuk urea, amonium nitrat, atau nitrat.
- b. Fosfor (P): P merupakan unsur hara penting untuk pertumbuhan akar, pembungaan, dan pembentukan biji pada tanaman. Pupuk fosfor biasanya ditemukan dalam bentuk superfosfat atau fosfat alam.
- c. Kalium (K): K berperan dalam regulasi tekanan osmotik, aktivitas enzim, dan transportasi nutrisi dalam tanaman. Pupuk kalium sering kali ditemukan dalam bentuk kalium klorida atau kalium sulfat.

Sementara unsur hara mikro yang biasanya terdapat dalam pupuk yaitu:

- a. Besi (Fe): Fe diperlukan untuk pembentukan klorofil dan aktivitas enzim dalam tanaman. Pupuk besi umumnya digunakan untuk mengatasi defisiensi besi pada tanaman.
- b. Mangan (Mn): Mn berperan dalam fotosintesis, metabolisme karbohidrat, dan pembentukan klorofil. Pupuk mangan sering digunakan untuk mengatasi defisiensi mangan pada tanaman.
- c. Seng (Zn): Zn diperlukan untuk sintesis protein, pertumbuhan akar, dan metabolisme karbohidrat. Pupuk seng sering digunakan untuk mengatasi defisiensi seng pada tanaman.

- d. Boron (B): Boron penting untuk pembentukan dinding sel, pembelahan sel, dan transportasi karbohidrat dalam tanaman. Pupuk boron umumnya digunakan untuk mengatasi defisiensi boron pada tanaman.
- e. Klor (Cl): Klor berperan dalam fotosintesis, transportasi nutrisi, dan regulasi tekanan osmotik dalam tanaman. Pupuk klor sering digunakan untuk mengatasi defisiensi klor pada tanaman.

Dengan memperhatikan kebutuhan tanaman akan unsur hara makro dan mikro yang tepat, petani dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan kualitas hasil panen.

2.3 Manfaat Pupuk Untuk Memperbaiki Keasaman Tanah

Pupuk memiliki peran yang signifikan dalam memperbaiki keasaman tanah. Pada tanah-tanah yang bersifat basa, penggunaan pupuk yang mengandung asam, seperti pupuk sulfat atau jenis pupuk organik tertentu, dapat digunakan untuk menurunkan pH tanah yang bersifat basa. Ini membantu menciptakan kondisi yang lebih optimal bagi tanaman untuk menyerap unsur hara. Sebaliknya pada tanah-tanah asam, pupuk fosfat dengan kadar tinggi dapat meningkatkan pH tanah. Kekurangan zat kimia tertentu pada tanah dapat menyebabkan tanah bersifat masam, salah satunya kekurangan zat fosfor (P). Pemberian pupuk fosfat dengan kadar tinggi dapat mengurangi tingkat masam pada tanah. Pupuk fosfat yang mudah larut dalam air dapat difiksasi oleh zat aluminium (Al) dan zat besi (Fe), sehingga membantu menetralkan keasaman tanah (Nancy, 2023).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik dan mineral secara terintegrasi dapat meningkatkan produktivitas tanaman pada tanah yang bersifat asam (Girma et al., 2020). Aplikasi pupuk fosfor dan kapur telah terbukti efektif dalam memperbaiki sifat-sifat tanah yang asam (Dejene, 2023). Selain itu, penggunaan pupuk organik juga dapat membantu mengurangi penyerapan fosfor oleh tanah asam (Panjaitan, 2023). Penelitian juga menunjukkan bahwa penggunaan pupuk nitrogen dapat menyebabkan penurunan pH tanah melalui proses nitrifikasi, yang menghasilkan ion hidrogen bebas (Czarnecki & Düring, 2015; Rodríguez et al., 2008). Selanjutnya hasil penelitian yang dilakukan oleh Andayani (2023) melalui penggunaan bokashi kotoran burung puyuh dan biochar sekam padi dapat meningkatkan pH tanah masam seperti lahan suboptimal kearah mendekati netral. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan dosis dan jenis pupuk yang digunakan agar dapat memperbaiki keasaman tanah tanpa merusak lingkungan sekitar (Daba et al., 2021). Pujiningsih dkk. (2019) menyoroti bahwa penambahan bahan organik dapat memengaruhi pH tanah, apakah meningkatkan atau menurunkan pH tanah, hal tersebut sesuai dengan tingkat kematangan bahan organiknya. Pengaruh ini disebabkan oleh pelepasan asam organik selama dekomposisi, yang memengaruhi tingkat pH tanah.

Dengan demikian, penggunaan pupuk organik dan mineral yang terintegrasi dengan bijaksana, bersama dengan pemantauan pH tanah dan dosis pupuk yang tepat, dapat membantu dalam memperbaiki keasaman tanah dan meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

2.4 Manfaat Pupuk Untuk Memperbaiki Sifat Fisik Tanah

Pemberian pupuk organik memegang peranan penting dalam perbaikan sifat fisik tanah. Hal ini dikarenakan pupuk organik dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan daya serap air tanah, serta memperbaiki kondisi kehidupan mikroorganisme dalam tanah. Selain itu, pupuk organik juga berperan sebagai sumber zat makanan bagi tanaman (Rosiman et al., 2020) . Pupuk kandang, misalnya, tidak hanya meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman tetapi juga mendukung pertumbuhan mikroorganisme tanah dan memperbaiki struktur tanah (Delfiya & Ariska, 2022) . Pemberian pupuk organik secara berkelanjutan dapat menyediakan berbagai unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman, sehingga dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah dalam jangka panjang (Asbur et al., 2023) . Selain itu, pupuk organik juga berperan sebagai bahan pembenah tanah yang dapat meningkatkan kesuburan fisik, kimia, dan biologi tanah (Rizal, 2024) . Pupuk organik cair juga memiliki peran penting dalam memperbaiki kekurangan unsur hara dengan cepat dan dalam melestarikan humus tanah (Aulia, 2023). Penelitian Hartatik & Purwani (2020) menunjukkan bahwa pemberian pupuk dapat meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK) tanah yang merupakan indikator penting dalam mengikat polutan dan menahan unsur hara dalam tanah. Lebih lanjut, penelitian Mansyur & Eiddieansyah (2022) menunjukkan bahwa pemupukan terpadu anorganik dan organik berbasis asam humat-fulvat dapat memperbaiki sifat fisik tanah melalui peningkatan kandungan hara dan struktur tanah. Pengelolaan tanah dan penambahan jerami juga dapat memengaruhi sifat fisik tanah, sebagaimana yang diamati dalam penelitian (Yanti et al., 2020). Pupuk organik, seperti pupuk bokashi, juga dapat memperbaiki sifat fisik tanah dengan membentuk struktur dan

agregat tanah yang stabil sebagaimana disebutkan dalam penelitian Iswahyudi et al., (2020). Selanjutnya, pemanfaatan kotoran hewan sebagai pupuk organik dapat meningkatkan kandungan hara, bahan organik dalam tanah, serta memperbaiki sifat biologi, kimia, dan fisik tanah sebagaimana disorot dalam penelitian Andika (2022) . Oleh karena itu, aplikasi pupuk organik dan anorganik dapat meningkatkan sifat fisik tanah secara signifikan dengan meningkatkan kandungan hara, struktur tanah, dan kapasitas tukar kation, yang pada akhirnya mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman.

2.5 Manfaat Pupuk Untuk Mengurangi Erosi Permukaan Tanah

Pupuk berperan penting dalam menanggulangi erosi tanah permukaan melalui berbagai mekanisme. Penelitian Ropiyanto dkk. (2022) menunjukkan bahwa pemberian pupuk organonitrofos sebanyak 40 ton per hektar memberikan hasil yang lebih baik dalam mengurangi limpasan permukaan dan erosi dibandingkan tanpa pemberian pupuk organonitrofos. Yuniarti dkk. (2019) menegaskan bahwa pemberian pupuk berimbang, yaitu menggabungkan pupuk organik untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi kebutuhan pupuk NPK dengan pupuk anorganik untuk meningkatkan hasil panen, dapat berperan dalam pengendalian erosi. Selain itu, penggunaan pupuk organik seperti pupuk kandang ayam dapat meningkatkan ketersediaan hara dalam tanah, memperbaiki struktur tanah, dan memperkaya bahan organik tanah sehingga dapat membantu mencegah erosi, sebagaimana disebutkan dalam penelitian Azmi dkk., (2022).

Dengan demikian, aplikasi strategis pupuk organik dan anorganik dapat memainkan peran penting dalam mengurangi erosi tanah permukaan dengan memperbaiki struktur tanah, kesuburan, dan kandungan nutrisi, sehingga meningkatkan stabilitas tanah dan mencegah erosi.

2.6 Manfaat Pupuk Untuk Memperbaiki Sifat Biologi Tanah

Pupuk memiliki peran yang penting dalam memperbaiki sifat biologi tanah. Penambahan pupuk organik, kompos, dan mikroorganisme lokal, dapat memperbaiki sifat biologis tanah melalui berbagai mekanisme. Selain itu, Dewi dkk. (2020) melakukan penelitian yang berfokus pada kelimpahan, keanekaragaman, komposisi, dan hubungan artropoda permukaan tanah pada ekosistem padi hitam dengan aplikasi pupuk organik, yang menekankan pentingnya interaksi biologis dalam menjaga kesehatan tanah. Penelitian Herhandini dkk. (2021) membahas bagaimana aplikasi biochar dan kompos dapat meningkatkan sifat kimia tanah, pertumbuhan tanaman, dan penyerapan fosfor pada tanaman jagung yang tumbuh di tanah Ultisol. Hal ini menunjukkan bahwa amendemen organik dapat memengaruhi kesuburan tanah dan penyerapan nutrisi tanaman secara positif. Lebih lanjut, Rustiah dkk. (2022) mengeksplorasi pemanfaatan mikroorganisme lokal dalam produksi pupuk organik, yang menunjukkan pendekatan pengelolaan limbah berkelanjutan dengan mengubah limbah sayuran menjadi pupuk organik menggunakan mikroorganisme lokal. Metode ini tidak hanya mengatasi masalah pengelolaan limbah tetapi juga mendorong penggunaan input alami dalam pertanian. Dengan demikian, aplikasi strategis pupuk organik, kompos, dan mikroorganisme lokal dapat secara signifikan meningkatkan sifat biologi tanah, mendorong keanekaragaman

hayati, dan berkontribusi pada praktik pengelolaan tanah yang berkelanjutan.

Penggunaan pupuk organik, seperti kompos kulit kakao, arang sekam, dan pupuk kandang, telah terbukti efektif dalam meningkatkan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Pemberian pupuk organik dapat memperbaiki kondisi tanah secara fisik, kimia, maupun biologi, sehingga mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman (Kasim et al., 2021; Nurmi, 2023). Selain itu, penelitian juga menunjukkan bahwa pupuk organik dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan daya pegang air, dan menyediakan nutrisi esensial, yang semuanya berkontribusi pada perbaikan sifat biologi tanah (Wiyatna, 2024).

Pupuk kandang juga berperan penting dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Studi menunjukkan bahwa pemberian pupuk kandang dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, yang pada gilirannya meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman (Mustaman & Fatman, 2018). Selain itu, kombinasi biochar sekam padi dengan pupuk organik berbasis mikroba juga dapat memperbaiki karakteristik fisik dan kimia tanah, serta meningkatkan kesuburan tanah (Suharyatun et al., 2021).

2.7 Manfaat Pupuk Untuk Meningkatkan Hasil Panen

Pupuk memiliki peran yang signifikan dalam meningkatkan hasil panen tanaman. Berbagai jenis pupuk, baik organik maupun anorganik, telah terbukti bermanfaat dalam mempercepat pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang dibudidayakan. Hal ini berkorelasi dengan manfaat pupuk untuk menyediakan unsur hara bagi tanaman. Seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa pupuk dapat menambah unsur hara di dalam tanah, dengan tersedianya unsur hara akibat pemupukan,

maka tanaman akan tumbuh optimal, pertumbuhan yang optimal akan berdampak pada peningkatan hasil panen. Penggunaan pupuk yang tepat dan sesuai dosisnya dapat memberikan manfaat yang signifikan dalam meningkatkan pertumbuhan, hasil, dan kualitas tanaman yang dibudidayakan.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pupuk yang seimbang dan tepat dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Hal ini didukung oleh beberapa penelitian mengenai dampak berbagai jenis pupuk terhadap produktivitas panen. Penelitian yang dilakukan oleh Vilayvong et al. (2015) menunjukkan bahwa pemberian pupuk N secara signifikan meningkatkan hasil panen padi sebesar 50% hingga 87% untuk satu kultivar dan 54% hingga 70% untuk kultivar lain, yang menyoroti efek positif pupuk terhadap produktivitas panen. Hasil penelitian Pramanik et al. (2022) menunjukkan bahwa hasil panen yang lebih tinggi dari tanaman dapat dicapai melalui penggunaan pupuk yang seimbang berdasarkan uji tanah. Selanjutnya, penelitian oleh Jesus et al. (2023) menyatakan bahwa akumulasi nitrogen dalam tanaman juga terkait dengan ketersediaan nitrogen yang berbeda di antara pupuk, yang dipengaruhi oleh karakteristik tanah.

Pupuk organik berbasis limbah ternak dan limbah pertanian telah terbukti efektif dalam meningkatkan produksi pertanian. Strategi pengembangan pupuk organik ini dapat memanfaatkan limbah ternak dan pertanian yang melimpah, serta memotivasi petani dalam penggunaan pupuk organik, yang didukung oleh kebijakan pemerintah, sehingga dapat meningkatkan pengembangan usaha pupuk organik (Hidayat et al., 2023). Selain itu, pemanfaatan pupuk kandang sapi dalam sistem pertanian berkelanjutan juga telah terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (Kasman, 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Martínez &

Lugo-López (1954) menyoroti bahwa aplikasi pupuk organik pada kedalaman tanah tertentu juga dapat meningkatkan hasil tanaman. Sementara penelitian yang dilakukan oleh Andayani (2024) dan Hayat (2024) menyatakan bahwa dengan penggunaan pupuk organik dalam bentuk bokashi, biokompos dan ameliorant spesifik lokasi, dapat meningkatkan efektifitas lahan suboptimal sehingga berpotensi untuk pengembangan tanaman pangan seperti kedelai. Penggunaan pupuk organik juga dapat membantu dalam meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi penggunaan pupuk anorganik, seperti yang dilakukan melalui introduksi teknologi pertanian organik dengan memanfaatkan kompos tandan kosong kelapa sawit dan tanaman kacang tunggak (Fitriana, 2017). Selain itu, pembuatan pupuk organik dari kotoran ternak juga telah terbukti dapat meningkatkan produksi pertanian, memperbaiki kerusakan fisik tanah, dan menambah pendapatan peternak (Ratriyanto et al., 2019).

Kombinasi antara pupuk organik dan pupuk anorganik juga dapat memberikan hasil yang baik dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil panen. Penelitian oleh Sharma & Mittra (1988) menunjukkan bahwa aplikasi kompos dan pupuk nitrogen dapat meningkatkan hasil gabah. Peningkatan yang substansial dalam hasil panen gabah ini sebesar 28%, sebanding dengan peningkatan hasil panen yang dicapai dengan pupuk nitrogen saja. Hal ini menekankan efek sinergis dari penggabungan pupuk organik dan anorganik untuk meningkatkan hasil panen. Lebih jauh, Abera et al. (2018) menyelidiki efek pupuk anorganik dan organik terpadu terhadap komponen hasil panen barley, yang menunjukkan bahwa pemberian pupuk yang optimal dapat mengurangi penipisan nutrisi dan penurunan hasil panen, pada akhirnya mengarah pada peningkatan produktivitas panen. Pupuk NPK, pupuk hijau, pupuk guano walet, pupuk kandang ayam, pupuk organik cair,

pupuk biourin, dan pupuk bokashi merupakan contoh pupuk yang telah terbukti efektif dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman (Raksun et al., 2019; Yasni, 2023; Oesman et al., 2023; Saparas, 2023; Fath et al., 2021; Nurjanah, 2022; Guido, 2024; Kurniawan et al., 2022; Jua & Sudarma, 2022). Pemberian pupuk ini dapat meningkatkan kandungan nutrisi tanah, memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah, serta memberikan unsur hara yang diperlukan tanaman untuk tumbuh dengan optimal (Pelealu & Mambu, 2020; Kaya et al., 2020; Nanda et al., 2022; Maryam et al., 2015; Cendekianesti et al., 2022; Kurniawan et al., 2022).

Pupuk anorganik seperti NPK dapat merangsang pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, sementara pupuk organik seperti pupuk kandang mampu meningkatkan kandungan hara tanah dan memperbaiki struktur tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Ariyanti, 2024; Adnyana, 2024; Alfiandi et al., 2022).

Penelitian oleh Zhang et al. (2022) menunjukkan bahwa penggunaan rotasi tanaman dan pupuk dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk menyediakan nutrisi dan menjaga stabilitas hasil panen. Selain itu, penelitian oleh Mahal et al. (2018) menyoroti bahwa praktik pertanian konservasi dapat meningkatkan ketersediaan nitrogen yang dapat memineralisasi, sehingga berkontribusi pada peningkatan hasil panen.

Selanjutnya Silalahi (2023), Raksun et al. (2019), Pelealu & Mambu (2020), Yasni (2023), Oesman et al. (2023), Saparas, (2023) menyatakan bahwa pupuk dapat memperbaiki kualitas tanah untuk meningkatkan produktivitas tanaman. Penggunaan pupuk organik juga dapat membantu dalam meminimalkan penggunaan pupuk sintetis, menjaga kesuburan tanah, dan

menghasilkan panen tinggi tanpa merusak lingkungan (Dewi, 2024).

Terkait dengan beberapa penjelasan di atas menunjukkan penerapan pupuk yang tepat dan strategis, baik organik, anorganik, atau kombinasi keduanya, dapat meningkatkan hasil panen secara signifikan, dan pemupukan yang tepat dalam sistem pertanian dapat mencapai produktivitas yang lebih tinggi.



Gambar 2. 1. Tanaman Kedelai yang diberi Pupuk Bokashi dan Biochar

(Sumber : Dokumentasi Hasil Penelitian, 2023)'



Gambar 2. 2. Tanaman Sawi Pakchoy yang diberi Pupuk Bokashi dan Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)
(Sumber : Dokumentasi Hasil Penelitian, 2024)

DAFTAR PUSTAKA

- Abera, T., Tufa, T., Midega, T., Kumbi, H., & Tola, B. 2018. Effect of Integrated Inorganic And Organic Fertilizers on Yield and Yield Components Of Barley in Liben Jawi District. *International Journal of Agronomy*, 2018, 1-7. <https://doi.org/10.1155/2018/2973286>
- Adnyana, W. 2024. *Analisis Biaya Serta Pengaruh Penggunaan Pupuk Organik Cair dan Kompos Berbahan Dasar Azolla Microphylla Terhadap Pertumbuhan Tanaman Cabai Rawit di Desa Langgomea Kecamatan Uepai Kabupaten Konawe*. *Inovasi Global Jurnal*, 2(2), 406-420. <https://doi.org/10.58344/jig.v2i2.76>
- Alfiandi, M., Hasbi, H., & Suroso, B. 2022. *Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Terung (Solanum melongena L.) terhadap Pemberian Pupuk Oraganik Cairazolla (Azolla pinata) dan Pupuk P*. *National Multidisciplinary Sciences*, 1(2), 123-137. <https://doi.org/10.32528/nms.v1i2.65>
- Andayani, S., Hayat, E.S., Mursalin, 2023. *A. Effect of Bokashi Qual Manure and Rice Husk Biochar on Soil pH and Soybean Plants Growth*. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. doi:10.1088/1755-1315/1160/1/012023.
- Andayani, S., Hayat, E.S., A. Mursalin, Johansyah. 2024. *Inovasi Teknologi Biochar dan Bokashi pada Tanaman Kedelai di Tanah Suboptimal Basah Secara Berkelanjutan*. *Buku Monograf*. ISBN. 978-623-125-089-6.
- Andika, I. 2022. *Pemanfaatan Limbah Ternak Sebagai Pupuk Organik Untuk Mendukung Pengembangan Sektor Pertanian dan Perkebunan Desa Segoroyoso*. *Jurnal Atma Inovasia*, 2(4), 382-386. <https://doi.org/10.24002/jai.v2i4.5216>

- Ariyanti, O. (2024). *Pengaruh Kombinasi Pupuk Kandang Ayam dan Pupuk NPK terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Terong (Solanum melongena L.)*. *Plantropica Journal of Agricultural Science*, 09(1), 70-79.
<https://doi.org/10.21776/ub.jpt.2024.009.1.8>
- Asbur, Y., Pulungan, R., Purwaningrum, Y., Rahayu, M., Siregar, C., Kusbiantoro, D., ... & Khairunnisyah, K. 2023. *Perbaikan Sifat Kimia Tanah Dan Pertumbuhan Kelapa Sawit Rakyat Tm-1 Dengan Pemberian Kombinasi Pupuk Anorganik-Organik Dan Asystasia gangetica (L.) T. anderson Sebagai Tanaman Penutup Tanah*. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 31(1), 25-42.
<https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v31i1.198>
- Aulia, D. 2023. *Pengaruh Pupuk Organik Cair (POC) dengan Menggunakan Bioaktivator Mol Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Andewi (Cichorium endevi L.)*. *Jurnal Atmosphere*, 3(2), 18-23.
<https://doi.org/10.36040/atmosphere.v3i2.6037>
- Azmi, F., Mulyana, H., & Nurhayatini, R. 2022. *Pengaruh Takaran Pupuk Kandang Ayam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Selada (Lactuca Sativa L.) Varietas Grand Rapids*. *Orchidagro*, 2(2), 58.
<https://doi.org/10.35138/orchidagro.v2i2.437>
- Cendekianesti, R., Prihastanti, E., & Haryanti, S. 2022. *Pertumbuhan Tanaman Sawi (Brassica rapa L.) dengan Pupuk Organik Berbahan Azolla Pinnata dan Telur Keong Mas (Pomacea canaliculata)*. *Al-Kauniyah Jurnal Biologi*, 15(1), 74-87.
<https://doi.org/10.15408/kauniyah.v15i1.16919>

- Czarnecki, S. and Düring, R. 2015. *Influence of Long-Term Mineral Fertilization on Metal Contents and Properties of Soil Samples Taken from Different Locations in Hesse, Germany*. Soil, 1(1), 23-33. <https://doi.org/10.5194/soil-1-23-2015>
- Daba, N., Li, D., Huang, J., Han, T., Zhang, L., Ali, S., ... & Wang, B. 2021. *Long-Term Fertilization and Lime-Induced Soil pH Changes Affect Nitrogen use Efficiency and Grain Yields in Acidic Soil Under Wheat-Maize Rotation*. Agronomy, 11(10), 2069. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102069>
- Dejene, M. 2023. *The Effect of Phosphorus Fertilizer Sources and Lime on Acidic Soil Properties of Mollic Rhodic Nitisol in Welmera District, Central Ethiopia*. Applied and Environmental Soil Science, 2023, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2023/7002816>
- Delfiya, M. and Ariska, N. 2022. *Pengaruh Kombinasi Media Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi (Brassica juncea L.)*. Comserva Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat, 1(9), 614-622. <https://doi.org/10.36418/comserva.v1i9.124>
- Dewi, V., Fauzi, R., Sari, S., Hartati, S., Rasiska, S., & Sandi, Y. 2020. *Arthropoda Permukaan Tanah : Kelimpahan, Keanekaragaman, Komposisi dan Hubungannya dengan Fase Pertumbuhan Tanaman Pada Ekosistem Padi Hitam Berpupuk Organik*. Agrikultura, 31(2), 134. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i2.28654>
- Dewi, M. 2024. *Aplikasi teknologi pembuatan pupuk organik dan pupuk hayati (biofertilizer) sebagai upaya pemanfaatan limbah dan produksi pertanian yang berkelanjutan*. Jurnal Abdimas Indonesia, 4(2), 186-193. <https://doi.org/10.53769/jai.v4i2.636>

- Fitriana, M. 2017. *Introduksi Teknologi Pertanian Organik dengan Memanfaatkan Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Tanaman Kacang Tunggak Untuk Meningkatkan Kesuburan Tanah di Desa Arisan Jaya Pemulutan Barat Ogan Ilir*. Jurnal Pengabdian Sriwijaya, 5(2), 429-434. <https://doi.org/10.37061/jps.v5i2.5673>
- Girma, T., Biazin, B., Beyene, S., & Lemaga, B. 2020. *Integrated Application of Organic and Blended Mineral Fertilizers Improves Potato Productivity and Income for Smallholder Farmers in Acidic Soils*. Environment and Natural Resources Research, 10(1), 61. <https://doi.org/10.5539/enrr.v10n1p61>
- Guido, A. 2024. *Pengaruh Amelioran Pupuk Kandang Ayam dan Sekam Padi Bakar terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Lobak Pada Tanah Aluvial*. Jurnal Sains Pertanian Equator, 13(2), 745. <https://doi.org/10.26418/jspe.v13i2.77836>
- Hartatik, W. and Purwani, J. 2020. *Peningkatan Produktivitas Kedelai (Glycine max L.) Pada Typic Kanhapludults dengan Aplikasi Pembenah Tanah dan Pupuk NPK*. Jurnal Tanah Dan Iklim, 41(2), 123. <https://doi.org/10.21082/jti.v41n2.2017.123-134>
- Hayat, E.S., Andayani, S., Suryani, R. 2024. *Biokompos Kunci Pengelolaan Lahan Suboptimal*. Buku Referensi. ISBN. 978-623-125-090-2.
- Hidayat, A., Suciati, L., & Sudarko, S. 2023. *Strategi Pengembangan Pupuk Organik Berbasis Limbah Ternak dan Limbah Pertanian di Kabupaten Jember*. Jurnal Agribest, 7(1), 40-53. <https://doi.org/10.32528/agribest.v7i1.9309>
- Iswahyudi, I., Izzah, A., & Nisak, A. 2020. *Studi Penggunaan Pupuk Bokashi (Kotoran Sapi) Terhadap Tanaman Padi, Jagung & Sorgum*. Jurnal Pertanian Cemara, 17(1), 14-20. <https://doi.org/10.24929/fp.v17i1.1040>

- Jua, S. and Sudarma, I. 2022. *Pengaruh Pemberian Pupuk Bokashi Ekskreta Ayam Broiler dan Daun Chromolaena odorata dengan Level Berbeda pada Pertumbuhan Awal Tanaman Turi*. Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Dan Pendidikan Vokasi Pertanian, 3(1), 424-433. <https://doi.org/10.47687/snppvp.v3i1.328>
- Kaya, E., Mailuhu, D., Kalay, A., Talahaturuson, A., & Hartanti, A. 2020. *Pengaruh Pupuk Hayati dan Pupuk NPK untuk Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman Tomat (Solanum lycopersicum) yang di Tanam Pada Tanah Terinfeksi Fusarium oxysporum*. Agrologia, 9(2). <https://doi.org/10.30598/ajibt.v9i2.1163>
- Kasim, A., Yatim, H., & Maharia, D. 2021. *Pengaruh Pemberian Kompos Kulit Kakao terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Kacang Tanah (Arachis hypogaea L.)*. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Fakultas Pertanian, 1(2), 64-69. <https://doi.org/10.52045/jimfp.v1i2.179>
- Kasman, K. 2023. *Pemanfaatan Pupuk Kandang Sapi Sistem Pertanian Berkelanjutan Dampaknya Pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Jagung Manis*. agrotekbis, 11(4), 800-807. <https://doi.org/10.22487/agrotekbis.v11i4.1843>
- Kurniawan, D., Tripama, B., & Widiarti, W. 2022. *Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Tomat (Lycopersicum esculentu, Mill.) Terhadap Pemberian Pupuk Kandang Sapi Dan Pupuk Npk Pada Tanah Entisol*. National Multidisciplinary Sciences, 1(2), 250-261. <https://doi.org/10.32528/nms.v1i2.67>
- Mansyur, N. and Eiddieansyah, M. 2022. *Pemupukan Terpadu Anorganik dan Organik Berbasis Asam Humat-Fulvat pada Lahan Marginal*. Jurnal Ilmiah Respati, 13(2), 151-159. <https://doi.org/10.52643/jir.v13i2.2666>

- Maryam, A., Susila, A., & Kartika, J. 2015. *Pengaruh Jenis Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil, Panen Tanaman Sayuran di Dalam Nethouse*. Buletin Agrohorti, 3(2), 263-275. <https://doi.org/10.29244/agrob.v3i2.15109>
- Mustaman, M. and Fatman, M. 2018. *Pengaruh Pemberian Berbagai Jenis Pupuk Kandang dan Media Tanam Yang Berbeda terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Mentimun (Cucumis sativus L.)*. Agrovital Jurnal Ilmu Pertanian, 2(2), 88. <https://doi.org/10.35329/agrovital.v2i2.134>
- Nancy, Y., 2023. *Apa Saja Manfaat Pupu dan Jenis-Jenisnya*. <https://tirto.id/apa-saja-manfaat-pupuk-dan-jenis-jenisnya-gSaz>
- Nanda, C., Sari, V., & Khozin, M. 2022. *Respon Pertumbuhan Tanaman Kangkung (Ipomoea peptans Poir) Pada Berbagai Dosis Pupuk NPK*. Agribios, 20(2), 295. <https://doi.org/10.36841/agribios.v20i2.1943>
- Nurmi, N. 2023. *Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Kacang Tanah (Arachis hypogaea, L.) dengan Aplikasi Pupuk Organik Arang Sekam dan Kandang Ayam*. Produksi Tanaman, 011(10), 786-792. <https://doi.org/10.21776/ub.protan.2023.011.10.07>
- Oesman, R., Rahmaniah, R., Refnizuida, R., & Zamriyetti, Z. 2023. *Cara Menanam Cabai Rawit Menggunakan Pupuk Kandang Ayam di Dalam Polybag*. Jurnal Pengabdian Masyarakat Tjut Nyak Dhien, 2(2), 37-43. <https://doi.org/10.36490/jpmtnd.v2i2.602>
- Panjaitan, E. 2023. *Effect of Chicken Manure, Husk Charcoal on Growth, Production, P Availability of Shallot in Rice Fields*. Qistina Jurnal Multidisiplin Indonesia, 2(2), 1235-1241. <https://doi.org/10.57235/qistina.v2i2.1011>

- Pelealu, J. and Mambu, S. 2020. *Kelompok Tani Terong di Desa Sea Kecamatan Pineleng Kabupaten Minahasa tentang Efektivitas Aplikasi Pupuk Hijau terhadap Pertumbuhan Terong*. Vivabio Jurnal Pengabdian Multidisiplin, 2(3), 14. <https://doi.org/10.35799/vivabio.2.3.2020.31182>
- Pujiningsih, D., Yuniarti, A., & Sandrawati, A. 2019. *Pengaruh Pemberian Kombinasi Jenis dan Dosis Pupuk Kandang terhadap pH, N-Total, Serapan-N, Serta Hasil Tanaman Pakchoi (Brassica chinensis L.) Pada Fluventic Eutrudepts*. Agrikultura, 30(1), 33. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v30i1.22701>
- Raksun, A., Japa, L., & Mertha, I. 2019. *Pengaruh Jenis Mulsa dan Dosis Pupuk NPK terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Terong Hijau (Solanum melongena L.)*. Jurnal Biologi Tropis, 19(2), 142-146. <https://doi.org/10.29303/jbt.v19i2.1115>
- Ratriyanto, A., Widyawati, S., Suprayogi, W., Prastowo, S., & Widyas, N. 2019. *Pembuatan Pupuk Organik dari Kotoran Ternak Untuk Meningkatkan Produksi Pertanian*. Semar (Jurnal Ilmu Pengetahuan Teknologi Dan Seni Bagi Masyarakat), 8(1). <https://doi.org/10.20961/semar.v8i1.40204>
- Rizal, M. 2024. *Efektivitas Pupuk Organik Eco Farming Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Tanaman Padi (Oryza sativa L.)*. Jurnal Agorisistem, 20(1), 31-36. <https://doi.org/10.52625/j-agr.v20i1.322>
- Rodríguez, M., Godeas, A., & Lavado, R. 2008. *Soil Acidity Changes in Bulk Soil and Maize Rhizosphere in Response to Nitrogen Fertilization*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 39(17-18), 2597-2607. <https://doi.org/10.1080/00103620802358656>

- Ropiyanto, A., Banuwa, I., Aini, S., & Afandi, A. 2022. *Pengaruh Guludan dan Pupuk Organonitrofos Terhadap Aliran Permukaan dan Erosi Pada Pertanaman Singkong (Manihot esculenta Crantz) Musim Tanam Keenam*. Jurnal Agrotek Tropika, 10(2), 279. <https://doi.org/10.23960/jat.v10i2.5904>
- Rosiman, R., Sumadi, S., & Rachmadi, M. 2020. *Pengaruh Kombinasi Jamur Trichoderma Harzianum dan Bokashi Terhadap Pertumbuhan Tiga Kultivar Kedelai*. Kultivasi, 19(2). <https://doi.org/10.24198/kultivasi.v19i2.26469>
- Rustiah, W., Arisanti, D., Basarang, M., Rasyid, N., & Fatmawati, A. 2022. *Limbah Sayuran Rebung Bambu Sebagai Mikroorganisme Lokal (Mol) dalam Pembuatan Pupuk Organik: Perspektif Pengelolaan Sampah Organik*. Lontara Abdimas Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 3(1), 15-24. <https://doi.org/10.53861/lomas.v3i1.259>
- Saparas, N. 2023. *Pelatihan Teknik Fermentasi Pupuk Organik Cair Berbahan Limbah Cucian Beras di Desa Bah Sarimah Kabupaten Simalungun*. Jurnal Pengabdian Masyarakat, 4(1), 89-100. <https://doi.org/10.32815/jpm.v4i1.1112>
- Sharma, A. and Mittra, B. 1988. Effect of combinations of organic materials and nitrogen fertilizer on growth, yield and nitrogen uptake of rice. The Journal of Agricultural Science, 111(3), 495-501. <https://doi.org/10.1017/s0021859600083696>
- Silalahi, O. 2023. *Sistem Pendukung Keputusan Menentukan Kualitas Pupuk Menggunakan Metode Maut*. Jurnal Sistem Informasi Triguna Dharma (Jursi Tgd), 2(3), 394. <https://doi.org/10.53513/jursi.v2i3.6260>

- Suharyatun, S., Warji, W., Haryanto, A., & Anam, K. 2021. *Pengaruh Kombinasi Biochar Sekam Padi dan Pupuk Organik Berbasis Mikroba terhadap Pertumbuhan dan Produksi Sayuran*. Jurnal Teknotan, 15(1), 21. <https://doi.org/10.24198/jt.vol15n1.4>
- Vilayvong, S., Banterng, P., Patanothai, A., & Pannangpetch, K. 2015. *Csm-Ceres-Rice Model to Determine Management Strategies for Lowland Rice Production*. Scientia Agricola, 72(3), 229-236. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0380>
- Wiyatna, M. 2024. *Pelatihan Pembuatan Pupuk Organik Cair (POC) untuk Masyarakat Desa Cilembu Kabupaten Sumedang*. Jurnal Abdi Insani, 11(2), 1881-1886. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v11i2.1615>
- Yanti, D., Mandang, T., Purwanto, M., & Solahudin, M. 2020. *Pengaruh Pengolahan Tanah dan Penambahan Jerami terhadap Kebutuhan Air Penyiraman Lahan Padi Sawah*. Jurnal Keteknikan Pertanian, 7(3), 185-192. <https://doi.org/10.19028/jtep.07.3.185-192>
- Yasni, Y. (2023). *Pengaruh Pemberian Pupuk Guano Walet terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Sawi (Brassica juncea L.)*. Jurnal Agricultural Review, 1(1). <https://doi.org/10.37195/arview.v1i1.349>
- Yuniarti, A., Damayani, M., & Nur, D. 2019. *Efek Pupuk Organik dan Pupuk N,P,K Terhadap C-Organik, N-Total, C/N, Serapan N, serta Hasil Padi Hitam (Oryza sativa L. Indica) Pada Inceptisols*. Jurnal Pertanian Presisi (Journal of Precision Agriculture), 3(2), 90-105. <https://doi.org/10.35760/jpp.2019.v3i2.2205>

BAB 3

JENIS – JENIS PUPUK

Oleh Mulyadi

3.1 Klasifikasi Pupuk

Pupuk dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai cara, namun secara garis besar, pupuk dapat dibagi menjadi beberapa kelompok utama:

1. Pupuk Organik:

- **Sumber:** Ditentukan oleh hasil pengomposan bahan organik seperti sisa tanaman (pupuk hijau), kotoran hewan (pupuk kandang), atau bahan organik lainnya.
- **Karakteristik:**
 - Mengandung berbagai macam nutrisi dalam bentuk kompleks.
 - Memperbaiki struktur tanah.
 - Meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah.
 - Pelepasan nutrisi lebih lambat sehingga efeknya lebih tahan lama.

2. Pupuk Anorganik:

- **Sumber:** Bahan kimia anorganik sintetis.
- **Karakteristik:**
 - Kandungan nutrisi lebih terkonsentrasi dan spesifik.

- Efektivitas lebih cepat.
- Mudah digunakan.
- Berlebihan penggunaan dapat merusak struktur tanah dan mencemari lingkungan.

Contoh: Urea, ZA (Zwavelzure Ammonium), SP-36 (Super Phosphate), NPK.

3. Pupuk Hayati:

- **Sumber:** Terdiri dari mikroorganisme hidup seperti bakteri, jamur, atau alga yang berguna bagi tanaman.
- **Karakteristik:**
 - Membantu tanaman menyerap nutrisi dengan cara yang lebih efisien.
 - Agen hayati penyakit tanaman.
 - Meningkatkan pertumbuhan tanaman.
 - Sangat ramah lingkungan.
- **Contoh:** Rhizobium (fiksasi nitrogen), mikoriza.

4. Pupuk Makro dan Mikro:

- **Pupuk Makro:** Mengandung unsur hara penting tanaman seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K).
- **Pupuk Mikro:** Mengandung unsur hara seperti boron (B), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), dan molibdenum (Mo).

Tabel 3. 1. Tabel Perbandingan Singkat

Jenis Pupuk	Sumber	Karakteristik Utama	Contoh
Organik	Bahan organik	Alami, memperbaiki struktur tanah, pelepasan nutrisi lambat	Kompos, pupuk kandang

Jenis Pupuk	Sumber	Karakteristik Utama	Contoh
Anorganik	Bahan kimia	Kandungan nutrisi terkonsentrasi, efek cepat	Urea, NPK
Hayati	Mikroorganisme	Membantu penyerapan nutrisi, pengendali penyakit	Rhizobium, mikoriza
Makro	hara	Sangat penting	N, P, K
Mikro	hara tambahan	jumlah kecil	B, Fe, Mn

Sumber: Hardjowigeno, S. (2003)

3.2 Pupuk Organik

Apa artinya Pupuk Organik?

Pupuk organik dibuat dari bahan-bahan organik seperti kotoran hewan (seperti pupuk cair, kandang), sisa tanaman (seperti jerami, daun, batang), atau limbah organik lainnya (seperti sampah dapur). Mikroorganisme di tanah memecah bahan-bahan organik ini, menghasilkan senyawa-senyawa yang kaya akan nutrisi dan membantu pertumbuhan tanaman.

Sumber Pupuk Organik

Pupuk organik telah digunakan oleh manusia sejak lama. Untuk menyuburkan tanah, petani tradisional telah lama memanfaatkan kotoran hewan dan sisa tanaman. Metode ini telah digunakan sejak lama dan merupakan bagian penting dari sistem pertanian tradisional.

Sifat-sifat Pupuk Organik

- **Sumber Nutrisi Alami:** Pupuk organik mengandung berbagai unsur hara yang diperlukan tanaman, seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan unsur mikro lainnya; namun, konsentrasi nutrisi dalam pupuk organik tidak setinggi pupuk anorganik.
- **Meningkatkan Struktur Tanah:** Penggunaan pupuk organik secara teratur dapat memperbaiki struktur tanah, membuatnya lebih gembur, porus, dan lebih baik menahan air. Ini adalah bagian penting dari pertumbuhan akar tanaman.
- **Meningkatkan Aktivitas Mikroorganisme Tanah:** Mikroorganisme seperti bakteri dan jamur mendapatkan makanan dari pupuk organik, yang membantu mereka dalam proses dekomposisi bahan organik dan meningkatkan kesuburan tanah.
- **Pelepasan Nutrisi Lambat:** Selama proses dekomposisi, nutrisi yang terkandung dalam pupuk organik dilepaskan secara bertahap dari tanaman. Hal ini memungkinkan tanaman untuk menyerap nutrisi secara bertahap, mengurangi risiko pemborosan.
- **Ramah Lingkungan:** Karena pupuk organik tidak mengandung bahan kimia berbahaya, mereka aman untuk lingkungan dan tidak mencemari.

Jenis-jenis Pupuk Organik

- **Pupuk Kandang:** Kotoran yang difermentasi dari hewan seperti sapi, kambing, ayam, dan kuda.
- **Pupuk Kompos:** Adalah produk dari pengomposan bahan organik seperti sisa tanaman, sampah dapur, dan kotoran hewan.
- **Pupuk Hijau:** Tanaman ditanam dan kemudian ditanamkan ke dalam tanah untuk meningkatkan

struktur tanah dan meningkatkan kandungan bahan organik.

- **Pupuk Bokashi:** Pupuk organik fermentasi yang dibuat dengan mencampurkan bahan organik dengan mikroorganisme tertentu.
- **Humus:** adalah bahan organik yang telah terurai sepenuhnya dan termasuk dalam tanah.
- **Pupuk Organik Cair:** Pupuk organik cair (POC) adalah jenis pupuk yang dibuat dari bahan organik seperti tumbuhan, hewan, atau limbah organik lainnya, yang kemudian difermentasi dan dilarutkan dalam air oleh mikroorganisme. Mikroorganisme mengurai bahan organik menjadi senyawa sederhana yang mudah diserap oleh tanaman.

Manfaat Penggunaan Pupuk Organik

- **Meningkatkan Kesuburan Tanah:** Struktur tanah diperbaiki oleh pupuk organik, meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan air, dan memberikan tempat yang ideal bagi mikroorganisme tanah.
- **Meningkatkan Produksi Tanaman:** Secara teratur menggunakan pupuk organik dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas produk pertanian.
- **Melindungi Lingkungan:** Pupuk organik tidak mencemari lingkungan dan membantu menjaga keseimbangan ekosistem.
- **Menghasilkan Produk Pertanian yang Lebih Sehat:** Tanaman yang tumbuh dengan pupuk organik cenderung lebih sehat dan tidak menghasilkan bahan kimia yang berbahaya.

Kelebihan dan Kekurangan Pupuk Organik:

- Menambah kesuburan tanah
- Memperbaiki kualitas struktur tanah

- Ramah lingkungan
- Kandungan nutrisi yang lebih lengkap
- Proses pembuatan yang lebih lama
- Kandungan nutrisi yang tidak selalu stabil

3.3 Pupuk Anorganik

Definisi Pupuk Anorganik

Pupuk anorganik, juga dikenal sebagai pupuk buatan, adalah pupuk yang dibuat secara industri dari mineral atau senyawa kimia. Memiliki kandungan nutrisi yang lebih terkonsentrasi.

Cara Pembuatan Pupuk Anorganik

Proses pembuatan pupuk anorganik melibatkan beberapa tahapan, antara lain:

1. **Ekstraksi Mineral:** Bahan baku mineral seperti fosfat, potash, dan belerang diekstraksi dari tambang.
2. **Sintesis Kimia:** Reaksi kimia mengubah bahan mineral menjadi senyawa yang mengandung unsur hara seperti kalium, fosfor, dan nitrogen.
3. **Formulasi:** Senyawa-senyawa tersebut kemudian diformulasikan menjadi berbagai jenis pupuk dengan perbandingan nutrisi yang berbeda-beda.
4. **Pengemasan:** Pupuk kemudian dikemas dalam bentuk yang berbeda, seperti butiran, serbuk, atau cairan.

Jenis-jenis Pupuk Anorganik

Pupuk anorganik dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria, antara lain:

- **Berdasarkan Jumlah unsur hara:**
 - **Pupuk tunggal:** Hanya mengandung satu unsur hara utama, seperti urea (N), SP-36 (P), dan KCl (K).
 - **Pupuk majemuk:** Mengandung dua atau lebih unsur hara penting, misalnya NPK (Nitrogen, Fosfor, Kalium).
- **Berdasarkan bentuk fisik:**
 - **Pupuk padat:** Berbentuk butiran atau serbuk, seperti urea, ZA (Zwavelzure Ammonium), dan TSP (Triple Super Phosphate).
 - **Pupuk cair:** Berbentuk cairan, seperti pupuk cair NPK.

Karakteristik Pupuk Anorganik

- **Kandungan nutrisi tinggi:** Pupuk anorganik memiliki kandungan nutrisi yang sangat terkonsentrasi, sehingga lebih efisien dalam memberikan nutrisi pada tanaman.
- **Efek cepat:** Nutrisi dalam pupuk anorganik mudah diserap oleh tanaman, sehingga efeknya dapat terlihat lebih cepat.
- **Mudah diaplikasikan:** Pupuk anorganik mudah diaplikasikan dan dapat digunakan dalam berbagai sistem pertanian.

Kelebihan Pupuk Anorganik

- **Efektivitas tinggi:** Dapat meningkatkan produksi tanaman secara signifikan dalam waktu singkat.
- **Mudah digunakan:** Mudah disimpan, diangkut, dan diaplikasikan.
- **Kadar nutrisi terstandar:** Kandungan nutrisi dalam pupuk anorganik sudah diketahui secara pasti.

Kekurangan Pupuk Anorganik

- **Dapat merusak struktur tanah:** Penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan dapat merusak struktur tanah dan mengurangi kemampuan tanah untuk menahan air.
- **Mencemari lingkungan:** Pupuk anorganik dapat mencemari tanah dan permukaan air jika tidak digunakan dengan benar.
- **Meningkatkan resistensi hama dan penyakit:** Penggunaan pupuk anorganik secara terus-menerus dapat menyebabkan hama dan penyakit tanaman yang resisten terhadap pestisida.
- **Mempercepat penipisan lapisan ozon:** Beberapa jenis pupuk anorganik mengandung bahan yang dapat merusak lapisan ozon.

3.3 Pupuk hayati

Pupuk hayati adalah jenis pupuk yang mengandung mikroorganisme hidup seperti bakteri, jamur, atau alga yang membantu pertumbuhan tanaman dengan memperbaiki kesuburan tanah, meningkatkan penyerapan nutrisi tanaman, dan melindungi tanaman dari hama dan penyakit.

Jenis-jenis Pupuk Hayati

Secara umum, pupuk hayati dapat dikategorikan berdasarkan jenis mikroorganisme yang dikandungnya:

- **Bakteri:**
 - **Rhizobium:** Membentuk bintil akar pada legum dan memfiksasi nitrogen dari udara.
 - **Azotobacter:** Memfiksasi nitrogen secara bebas di dalam tanah.

- **Pseudomonas:** Mampu menekan pertumbuhan patogen dan meningkatkan pertumbuhan tanaman.
 - **Bacillus:** Memproduksi zat anti mikroba dan hormon pertumbuhan tanaman.
- **Jamur:**
 - **Mikoriza:** Membentuk simbiosis mutualisme dengan akar tanaman, membantu penyerapan air dan nutrisi.
 - **Jamur Trichoderma** hidup di dalam tanah dan sangat penting untuk menjaga kesehatan tanaman. Jamur ini sering disebut sebagai agen hayati atau biokontrol karena kemampuan mereka untuk mengendalikan penyakit jamur patogen yang mempengaruhi tanaman
 - **Alga:**
 - **Cyanobacteria:** Memfiksasi nitrogen dan menghasilkan zat pengatur tumbuh.

Manfaat Pupuk Hayati

- **Meningkatkan Kesuburan Tanah:** Mikroorganisme dalam pupuk hayati membantu menguraikan bahan organik menjadi nutrisi yang mudah diserap tanaman, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air.
- **Meningkatkan Pertumbuhan Tanaman:** Pupuk hayati menghasilkan hormon pertumbuhan, vitamin, dan enzim yang merangsang pertumbuhan tanaman.
- **Meningkatkan Serapan Nutrisi:** Mikroorganisme dalam pupuk hayati membantu tanaman menyerap nutrisi dari tanah dengan lebih baik.

- **Melindungi Tanaman:** Patogen penyebab penyakit tanaman dapat dicegah oleh zat antimikroba yang dibuat oleh pupuk hayati.
- **Meningkatkan Kualitas Hasil Panen:** Tanaman yang diberi pupuk hayati cenderung menghasilkan buah dan sayuran yang lebih berkualitas, lebih tahan lama, dan lebih bergizi.
- **Ramah Lingkungan:** Pupuk hayati tidak mencemari lingkungan dan dapat digunakan secara berkelanjutan.

Cara Kerja Pupuk Hayati

Bagaimana Pupuk hayati bekerja:

- **Memfiksasi nitrogen:** Bakteri seperti *Rhizobium* dan *Azotobacter* dapat mengubah nitrogen di udara menjadi bentuk yang dapat diserap tanaman.
- **Melarutkan unsur hara:** Mikroorganisme dalam pupuk hayati menghasilkan asam organik yang dapat melarutkan unsur hara yang terikat pada partikel tanah. Ini memungkinkan akar tanaman untuk menyerap unsur hara dengan mudah.
 - ✓ **Menghasilkan zat pengatur tumbuh:** Mikroorganisme menghasilkan hormon pertumbuhan yang merangsang pembelahan sel, pemanjangan sel, dan pembentukan akar.
 - ✓ **Menghasilkan zat anti mikroba:** Mikroorganisme menghasilkan zat anti mikroba yang dapat mencegah patogen penyebab penyakit tanaman berkembang biak.
 - ✓ **Membentuk simbiosis dengan tanaman:** Beberapa jenis jamur seperti mikoriza membentuk simbiosis mutualisme dengan akar tanaman, membantu tanaman menyerap air dan nutrisi.

Cara Penggunaan Pupuk Hayati

Pupuk hayati dapat diaplikasikan dengan beberapa cara, antara lain:

- **Perlakuan benih:** Benih direndam dalam larutan pupuk hayati sebelum ditanam.
- **Pencampuran dengan media tanam:** Pupuk hayati dicampurkan dengan media tanam sebelum benih ditanam.
- **Penyiraman:** Pupuk hayati dilarutkan dalam air dan disiramkan pada tanaman.
- **Penyemprotan:** Pupuk hayati disemprotkan pada daun tanaman.

3.4 Pupuk NPK

Jenis pupuk majemuk yang paling umum digunakan dalam pertanian adalah pupuk NPK. Singkatan NPK mengacu pada tiga komponen hara makro utamanya, yaitu:

- **Nitrogen (N):** berfungsi dalam berbagai aspek pertumbuhan vegetatif tanaman, termasuk pembentukan daun dan batang.
- **Fosfor (P):** Mempengaruhi pertumbuhan akar, perkembangan bunga dan buah, serta pematangan biji.
- **Kalium (K):** Meningkatkan kualitas hasil panen, meningkatkan pembentukan karbohidrat, dan meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit.

Jenis-Jenis Pupuk NPK

Jenis pupuk NPK bervariasi dalam perbandingan kandungan N, P, dan K, dan perbedaan komposisi ini disesuaikan

dengan kebutuhan nutrisi berbagai tanaman. Beberapa jenis pupuk NPK yang paling umum digunakan adalah:

- **NPK 16-16-16:** Pupuk multifungsi yang dapat digunakan untuk berbagai jenis tanaman.
- **NPK 12-24-12:** Mengandung lebih banyak fosfor, cocok untuk tanaman yang sangat membutuhkan fosfor seperti tanaman buah-buahan.
- **NPK 20-10-10:** Lebih banyak mengandung nitrogen, cocok untuk tanaman yang membutuhkan banyak nitrogen seperti tanaman sayuran daun.

Manfaat Pupuk NPK

- **Pertumbuhan tanaman yang optimal:** Memberikan nutrisi yang tepat yang dibutuhkan tanaman untuk pertumbuhan yang optimal.
- **Meningkatkan hasil panen:** Hasil panen yang lebih baik dalam jumlah dan kualitas.
- **Memperkuat akar:** Membantu tanaman menyerap air dan nutrisi dari dalam tanah.
- **Meningkatkan ketahanan tanaman:** Membuat tanaman tahan terhadap serangan hama dan penyakit.

Kandungan Unsur Hara Pupuk NPK

Seperti yang disebutkan sebelumnya, pupuk NPK terdiri dari tiga unsur hara makro utama: nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Beberapa jenis pupuk NPK juga mengandung unsur hara mikro seperti boron (B), besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), dan molibdenum (Mo). Unsur hara mikro ini berfungsi sebagai kofaktor enzim dalam berbagai proses metabolisme tanaman.

Cara Penggunaan

Cara penggunaan pupuk NPK harus disesuaikan dengan jenis tanaman, kondisi tanah, dan tahap pertumbuhannya. Beberapa cara yang umum untuk menggunakan pupuk NPK adalah sebagai berikut:

- **Pupuk dasar:** Diterapkan sebelum tanam untuk memperbaiki kondisi tanah.
- **Pupuk susulan:** Diterapkan pada saat tanaman mulai tumbuh aktif atau saat tanaman berbunga dan berbuah.
- **Pupuk foliar:** Disemprotkan pada daun tanaman untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman secara cepat.

3.5 Pupuk Mikro

Adalah dengan kandungan unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang sangat sedikit. Unsur-unsur mikro ini sering disebut sebagai mikronutrien.

Jenis-jenis Pupuk Mikro

Beberapa jenis unsur hara mikro yang umum ditemukan dalam pupuk mikro antara lain:

- **Besi (Fe):** Penting untuk pembentukan klorofil dan enzim.
- **Mangan (Mn):** Berperan dalam fotosintesis dan metabolisme nitrogen.
- **Seng (Zn):** Membantu pembentukan enzim dan hormon pertumbuhan.
- **Tembaga (Cu):** Berperan dalam pembentukan enzim dan metabolisme karbohidrat.
- **Boron (B):** Penting untuk pertumbuhan titik tumbuh dan penyerapan kalsium.

- **Molibdenum (Mo):** Berperan dalam fiksasi nitrogen pada legum.
- **Klorin (Cl):** Membantu keseimbangan ion dalam sel tanaman.

Kekurangan Unsur Mikro

Kekurangan mikronutrien dapat menyebabkan tanaman mengalami berbagai gejala, seperti:

- **Klorosis:** kekurangan klorofil menyebabkan daun menjadi menguning.
- **Nekrosis:** Jaringan daun berwarna coklat dan mati.
- **Pertumbuhan terhambat:** Tanaman tumbuh kerdil dan tidak normal.
- **Buah dan biji tidak sempurna:** Buah dan biji menjadi kecil dan tidak sempurna.

Pentingnya Pupuk Mikro bagi Tanaman

Pupuk mikro sangat penting bagi tanaman karena:

- **Kofaktor enzim:** Unsur mikro sering berfungsi sebagai kofaktor enzim dalam berbagai reaksi biokimia di dalam tanaman.
- **Pembentukan klorofil:** Unsur mikro seperti besi penting untuk pembentukan klorofil yang berperan dalam fotosintesis.
- **Penyerapan nutrisi:** Unsur mikro membantu tanaman menyerap nutrisi lain dari tanah.
- **Meningkatkan kualitas hasil panen:** Pupuk mikro memiliki kemampuan untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas hasil panen.
- **Meningkatkan ketahanan tanaman:** kandungan unsur mikro cukup tanaman akan lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit.

Cara Menggunakan Pupuk Mikro

Pupuk mikro dapat diaplikasikan dengan berbagai cara, antara lain:

- **Pupuk dasar:** Dicampurkan dengan pupuk organik atau pupuk anorganik sebelum tanam.
- **Pupuk foliar:** Disemprotkan pada daun tanaman.
- **Fertigasi:** Dilarutkan dalam air irigasi.

Untuk menghindari keracunan tanaman, dosis dan frekuensi pupuk mikro harus disesuaikan dengan kebutuhan tanaman dan kondisi tanah.

3.6 Cara Pemilihan Pupuk yang Tepat

Salah satu langkah penting dalam budidaya tanaman adalah memilih pupuk yang tepat. Pupuk yang tepat akan memberikan nutrisi yang dibutuhkan tanaman untuk mencapai pertumbuhan dan produktivitas yang optimal. Dalam memilih pupuk, Anda harus mempertimbangkan beberapa hal berikut:

Faktor-Faktor yang Perlu Diperhatikan dalam Pemilihan Pupuk

1. **Jenis Tanaman:** Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda. Misalnya, tanaman legum seperti kacang-kacangan umumnya membutuhkan lebih banyak nitrogen karena dapat memfiksasi nitrogen sendiri.
2. **Tahap Pertumbuhan Tanaman:** Kebutuhan nutrisi tanaman akan berubah seiring dengan tahap pertumbuhannya. Pada tahap pertumbuhan vegetatif, tanaman membutuhkan lebih banyak nitrogen,

sedangkan pada tahap generatif, tanaman membutuhkan lebih banyak fosfor dan kalium.

3. **Kondisi Tanah:** Jenis tanah, pH tanah, dan kandungan organik tanah akan mempengaruhi ketersediaan nutrisi di dalam tanah. Analisis tanah dapat membantu menentukan jenis dan jumlah pupuk yang dibutuhkan.
4. **Iklim:** Iklim juga mempengaruhi pelarutan dan ketersediaan nutrisi di dalam tanah.
5. **Tujuan Budidaya:** Tujuan budidaya akan menentukan jenis pupuk yang digunakan. Misalnya, jika tujuannya adalah meningkatkan produksi buah, maka pupuk yang mengandung lebih banyak fosfor dan kalium akan lebih cocok.
6. **Kandungan Nutrisi Pupuk:** Perhatikan kandungan unsur hara makro (N, P, K) dan mikro (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo) dalam pupuk. Pilih pupuk yang sesuai dengan kebutuhan tanaman.
7. **Harga:** Pertimbangkan harga pupuk dan bandingkan dengan manfaat yang diperoleh.

Langkah-langkah Memilih Pupuk yang Tepat

1. **Analisis Tanah:** Dilakukan untuk mengetahui kandungan nutrisi, pH tanah, dan struktur tanah.
2. **Konsultasi dengan Ahli:** Adalah untuk mendapatkan rekomendasi jenis pupuk yang sesuai.
3. **Perhatikan Label Pupuk:** Baca label pupuk dengan seksama. Perhatikan kandungan nutrisi, dosis anjuran, dan cara penggunaannya.
4. **Pertimbangkan Lingkungan:** Pilih pupuk yang ramah lingkungan dan tidak mencemari sumber air.

DAFTAR PUSTAKA

- Brady, N.C., & Weil, R.R. (2008). *Elements of the nature and properties of soils*. Pearson Prentice Hall.
- Endang Krisnawati dan Bayu Adrianto. 2019. *Teknologi Pemupukan Ramah lingkungan*. BPPSDM: Kementrian Pertanian.
- Fox, R.H., & Warncke, D.D. (2000). *Soil chemistry and its applications*. Prentice Hall.
- Hardjowigeno, S. (2003). *Ilmu Tanah*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- H. Yuliprianto. 2010. *Biologi tanah dan strategi pengelolaannya*. Graha ilmu.
- Mardiana Wahyuni dan Sakiah. 2017. *Jenis Pupuk dan Sifat-sifatnya*. Usu Press.
- Prof. E. Handayanto, dkk. 2009. *Biologi tanah landasan pengelolaan tanah sehat*. Adipura.
- Tioner Purba, Ringkop Situmeang, Hanif Fatur Rohman Mahyati, Arsi, Refa Firgiyanto, Abdus Salam Junaedi Tatuk Tojibatus Saadah, Junairiah Jajuk Herawati, Arum Asriyanti Suhastyo. 2021. *Pupuk dan Teknologi Pemupukan*. Yayasan Kita Menulis
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., & Beaton, J.D. (1985). *Soil fertility and fertilizers*. Macmillan Publishing Company.
- Zsilvia Veres, Attila Simko dan Oqbal Basal. 2024. *Nitrogen and zinc supplements can enhance morphology and physiology traits of maize at early growth stages*. Jurnal of Plant Nutrition

BAB 4

SIFAT-SIFAT UMUM PUPUK BUATAN

Oleh Agus Suyanto

4.1 Pendahuluan

Pupuk buatan, juga dikenal sebagai pupuk anorganik atau sintetis, telah menjadi komponen kunci dalam revolusi pertanian global sejak awal abad ke-20. Dikembangkan untuk meningkatkan produktivitas tanaman, pupuk buatan dirancang untuk menyediakan nutrisi esensial bagi tanaman dalam bentuk yang mudah diserap, memungkinkan petani untuk mengelola kesuburan tanah secara lebih efektif dan meningkatkan hasil panen secara signifikan (Havlin *et al.*, 2017).

Secara umum, pupuk buatan diklasifikasikan berdasarkan kandungan nutrisi utamanya: nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K). Pupuk dapat berisi satu nutrisi utama (pupuk tunggal) atau kombinasi dari dua atau lebih nutrisi (pupuk majemuk). Sifat-sifat fisik dan kimia pupuk ini sangat bervariasi, tergantung pada komposisi dan proses produksinya, yang mempengaruhi efektivitas dan cara aplikasinya dalam pertanian (Roy, 2006).

Salah satu sifat penting pupuk buatan adalah kelarutannya dalam air. Pupuk dengan kelarutan tinggi dapat menyediakan nutrisi dengan cepat untuk tanaman, tetapi juga berisiko tercuci oleh air hujan atau irigasi. Sebaliknya, pupuk dengan kelarutan

rendah atau terkontrol dapat melepaskan nutrisi secara bertahap, mengurangi risiko pencucian dan meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi oleh tanaman.

Bentuk fisik pupuk buatan juga bervariasi, termasuk butiran (granul), bubuk, cairan, dan bentuk terlarut dalam air. Setiap bentuk memiliki karakteristik aplikasi yang berbeda dan cocok untuk situasi pertanian yang berbeda. Misalnya, pupuk granul lebih mudah ditebar secara merata dan kurang rentan terhadap penghembusan angin dibandingkan dengan pupuk bubuk, sementara pupuk cair dapat diaplikasikan melalui sistem irigasi.

Meskipun pupuk buatan telah terbukti efektif dalam meningkatkan produktivitas pertanian, penggunaannya yang tidak tepat dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti eutrofikasi perairan dan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, pemahaman yang baik tentang sifat-sifat pupuk buatan sangat penting untuk memastikan penggunaan yang efisien dan berkelanjutan dalam sistem pertanian modern.

4.2 Sejarah Pupuk Buatan

Pupuk buatan dirancang untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman dengan cara menyediakan nutrisi dalam bentuk yang mudah diserap oleh tanaman (Havlin *et al.*, 2017).

Sejarah singkat pupuk buatan:

1. Awal perkembangan (abad ke-19):

Sejarah pupuk buatan modern dimulai pada pertengahan abad ke-19. Justus von Liebig, seorang ahli kimia Jerman, mengembangkan "Hukum Minimum" yang menyatakan bahwa pertumbuhan tanaman dibatasi oleh

unsur hara yang paling sedikit tersedia. Penemuan ini menjadi dasar bagi pengembangan pupuk buatan.

1. Revolusi Haber-Bosch (awal abad ke-20):

Tonggak penting dalam sejarah pupuk buatan adalah penemuan proses Haber-Bosch oleh Fritz Haber dan Carl Bosch pada tahun 1909. Proses ini memungkinkan produksi amonia secara industri, yang menjadi bahan dasar untuk pupuk nitrogen. Penemuan ini mengubah industri pertanian secara drastis dan dianggap sebagai salah satu penemuan terpenting abad ke-20.

2. Perkembangan pasca Perang Dunia II:

Setelah Perang Dunia II, penggunaan pupuk buatan meningkat pesat. Pabrik-pabrik yang sebelumnya memproduksi bahan peledak dialihfungsikan untuk memproduksi pupuk nitrogen. Periode ini juga ditandai dengan pengembangan berbagai jenis pupuk baru dan peningkatan efisiensi produksi.

5. Revolusi Hijau (1960-an dan 1970-an):

Penggunaan pupuk buatan mencapai puncaknya selama era Revolusi Hijau. Kombinasi pupuk buatan dengan varietas tanaman unggul dan pestisida menghasilkan peningkatan hasil panen yang dramatis di banyak negara berkembang, terutama untuk tanaman padi dan gandum.

6. Era modern (akhir abad ke-20 hingga sekarang):

Saat ini, fokus pengembangan pupuk buatan beralih ke peningkatan efisiensi penggunaan nutrisi dan pengurangan dampak lingkungan. Inovasi seperti pupuk lepas lambat, penghambat nitrifikasi, dan formulasi yang lebih presisi menjadi tren utama dalam industri pupuk.

4.3 Sifat-Sifat Pupuk Buatan

Pupuk buatan memiliki beberapa sifat penting yang mempengaruhi cara kerjanya dan dampaknya terhadap tanah serta tanaman. Berikut ini adalah penjelasan mengenai sifat higroskopis, daya larut, reaksi pupuk, dan indeks garam pada pupuk buatan. Secara umum, sifat pupuk buatan dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1. Ringkasan sifat-sifat pupuk buatan

Sifat Pupuk Buatan	Definisi	Contoh	Pengaruh
Higroskopis	Kemampuan pupuk untuk menyerap molekul air dari lingkungannya.	Urea, Kalsium Klorida	Menentukan daya simpan dan penanganan penyimpanan pupuk. Pupuk yang sangat higroskopis memerlukan penyimpanan yang baik untuk mencegah pencairan dan penurunan kualitas (Fageria, 2014).
Daya Larut	Kemampuan pupuk untuk terlarut dalam air.	Pupuk dengan kandungan nitrogen tinggi	Pupuk dengan daya larut tinggi lebih cepat diserap oleh tanaman, namun juga lebih rentan terhadap pencucian oleh air hujan atau irigasi (Fageria, 2014).
Reaksi Pupuk	Perubahan pH tanah yang terjadi ketika pupuk diberikan.	Pupuk Asam, Pupuk Basa	Perubahan pH tanah dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Tanah yang terlalu asam atau terlalu basa dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh tanaman (Fageria,

Sifat Pupuk Buatan	Definisi	Contoh	Pengaruh
			2014).
Indeks Garam	Mengukur potensi pupuk untuk meningkatkan salinitas tanah.	Pupuk dengan indeks garam tinggi	Larutan tanah dengan osmosis yang tinggi dapat menyebabkan larutan unsur hara tidak dapat diserap oleh tanaman, menyebabkan plasmolisis jaringan akar (Fageria, 2014).

4.3.1. Higroskopis

Higroskopis adalah sifat pupuk yang berkaitan dengan potensinya atau kemampuannya untuk mengikat uap air dari udara bebas. Pupuk yang memiliki sifat higroskopis akan mudah menarik dan menyerap air dari lingkungan sekitarnya. Sifat ini sangat mempengaruhi cara penyimpanan dan penanganan pupuk tersebut. Pupuk yang higroskopis, seperti urea, memerlukan kondisi penyimpanan yang kering dan tertutup rapat untuk mencegah penyerapan uap air yang dapat menyebabkan pupuk mencair dan kehilangan efektivitasnya. Oleh karena itu, pemahaman tentang sifat higroskopis sangat penting dalam manajemen dan aplikasi pupuk untuk memastikan efektivitas dan efisiensi penggunaan pupuk tersebut (Pingali, 2012). Ciri-ciri pupuk yang bersifat higroskopis adalah sebagai berikut:

1. Mudah Mencair di Tempat Terbuka

Suatu pupuk dikatakan sangat bersifat higroskopis jika ditempatkan pada tempat terbuka mudah sekali mencair. Hal

ini terjadi karena pupuk tersebut menyerap uap air dari udara sehingga berubah menjadi cairan.

2. Menentukan Daya Simpan dan Penanganan

Sifat higroskopis sangat menentukan daya simpan dan penanganan penyimpanan pupuk tersebut. Pupuk yang higroskopis memerlukan penanganan khusus agar tidak rusak selama penyimpanan.

Sifat higroskopis pada pupuk memiliki berbagai dampak yang signifikan terhadap penyimpanan, penanganan, dan aplikasi pupuk. Pupuk higroskopis memerlukan penanganan khusus untuk mencegah penyerapan uap air dari udara yang dapat menyebabkan pupuk mencair dan kehilangan efektivitasnya. Selain itu, sifat ini juga mempengaruhi daya simpan pupuk dan kualitas tanah. Oleh karena itu, pemahaman tentang sifat higroskopis sangat penting dalam manajemen dan aplikasi pupuk untuk memastikan efektivitas dan efisiensi penggunaan pupuk tersebut. Berikut dampak sifat higroskopis pada pupuk:

1. Pengaruh pada Penyimpanan

Pupuk yang bersifat higroskopis memerlukan penanganan khusus dalam penyimpanan. Karena kemampuannya menyerap uap air dari udara, pupuk ini harus disimpan dalam wadah yang kedap udara untuk mencegah penyerapan kelembapan yang dapat menyebabkan pupuk mencair dan kehilangan efektivitasnya.

2. Penurunan Kualitas Pupuk

Jika pupuk higroskopis tidak disimpan dengan benar, penyerapan uap air dari udara dapat menyebabkan pupuk mencair. Hal ini tidak hanya mengurangi kualitas pupuk tetapi juga dapat membuatnya sulit untuk diaplikasikan.

3. Pengaruh pada Aplikasi Pupuk

Pupuk higroskopis yang telah menyerap uap air dan mencair akan sulit untuk diaplikasikan secara merata di lahan

pertanian. Hal ini dapat mengurangi efektivitas pupuk dalam menyediakan nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman.

4. Peningkatan Tekanan Osmosis Tanah

Pemberian pupuk higroskopis pada tanah dapat meningkatkan konsentrasi atau kadar garam dalam larutan tanah. Peningkatan ini akan menaikkan tekanan osmosis larutan tanah, yang dapat menghambat penyerapan unsur hara oleh tanaman.

5. Kebutuhan Penyimpanan Khusus

Karena sifat higroskopisnya, pupuk ini memerlukan kondisi penyimpanan yang kering dan terhindar dari sinar matahari langsung. Penyimpanan yang tidak tepat dapat menyebabkan pupuk mencair dan kehilangan efektivitasnya.

6. Pengaruh pada Daya Simpan

Sifat higroskopis sangat menentukan daya simpan pupuk. Pupuk yang menyerap uap air dari udara akan mengalami perubahan fisik yang dapat mengurangi masa simpan dan efektivitasnya.

7. Pengaruh pada Kualitas Tanah

Pupuk higroskopis yang mencair dapat menyebabkan perubahan pada struktur tanah, yang dapat mempengaruhi kemampuan tanah untuk menyerap dan menyimpan air serta nutrisi. Hal ini dapat berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman.

Contoh pupuk yang bersifat higroskopis adalah sebagai berikut:

- Urea: Urea adalah salah satu contoh pupuk yang sangat higroskopis. Ketika ditempatkan di tempat terbuka, urea mudah sekali mencair karena menyerap uap air dari udara.



Gambar 4. 1. Pupuk Urea

- Kalsium Klorida: Kalsium klorida juga merupakan zat yang sangat higroskopis dan akan larut dalam molekul-molekul air yang diserapnya.



Gambar 4. 2. Pupuk KCl

4.3.2. Daya Larut

Daya larut pupuk adalah salah satu sifat penting yang mempengaruhi efektivitas pupuk dalam menyediakan nutrisi bagi tanaman. Sifat ini menentukan seberapa cepat pupuk dapat terlarut dalam air dan diserap oleh tanaman atau hilang karena pencucian. Sifat daya larut pupuk sangat mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman, metode aplikasi, dan frekuensi pemberian pupuk. Pupuk dengan daya larut tinggi, seperti urea dan NPK, cepat tersedia dan mudah diserap oleh tanaman, namun juga lebih mudah tercuci oleh hujan atau pengairan (Sutton *et al.*, 2008). Oleh karena itu, pemahaman tentang sifat daya larut pupuk sangat penting dalam manajemen dan aplikasi pupuk untuk memastikan efektivitas dan efisiensi penggunaan pupuk tersebut.

Daya larut pupuk buatan memberikan dampak yang cukup signifikan terutama dalam hal pengaplikasian dan penyediaan nutrisi. Berikut dampak dari daya larut pupuk (Bolan *et al.*, 2004):

1. Ketersediaan Nutrisi

Pupuk dengan daya larut yang tinggi akan cepat tersedia dan mudah diserap oleh tanaman. Hal ini berarti nutrisi yang terkandung dalam pupuk dapat segera digunakan oleh tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangan. Namun, pupuk dengan daya larut tinggi juga lebih mudah tercuci oleh hujan atau pengairan, yang dapat mengurangi efektivitasnya.

2. Pengaruh pada Jenis Pupuk

Pada umumnya, pupuk yang memiliki kandungan nitrogen yang tinggi juga memiliki daya larut yang tinggi. Contohnya, pupuk urea yang sangat mudah larut dalam air dan mudah diserap oleh akar tanaman untuk dikatalisasi menjadi amonium atau nitrat.

3. Metode Aplikasi

Pupuk dengan daya larut tinggi, seperti pupuk NPK 16-16-16, dapat diaplikasikan dengan cara dilarutkan dalam air sebelum disiramkan ke media tanam. Metode ini memastikan bahwa pupuk benar-benar larut dan tidak ada butiran yang tersisa, sehingga nutrisi dapat diserap dengan optimal oleh tanaman.
4. Pengaruh pada Frekuensi Pemberian

Karena pupuk yang dilarutkan dalam air akan cepat hilang pada media tanam, frekuensi pemberiannya bisa dipercepat. Misalnya, pupuk NPK 16-16-16 yang dilarutkan dengan air dapat diberikan seminggu sekali untuk memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup.

Kelebihan dan kekurangan daya larut pupuk buatan disajikan pada table 2 berikut:

Tabel 1. 1. Kelebihan dan Kekurangan Daya Larut Pupuk Buatan

Kelebihan Daya Larut Pupuk Buatan	Kekurangan Daya Larut Pupuk Buatan
Ketersediaan Nutrisi yang Cepat	
Pupuk dengan daya larut tinggi menyediakan nutrisi yang cepat tersedia bagi tanaman, yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara efisien.	Risiko Pencucian Nutrisi
Pupuk yang mudah larut dapat tercuci oleh air hujan atau irigasi, sehingga nutrisi hilang sebelum dapat diserap oleh tanaman, yang berpotensi menyebabkan pemborosan dan pencemaran lingkungan.	

Kelebihan Daya Larut Pupuk Buatan	Kekurangan Daya Larut Pupuk Buatan
Efisiensi Aplikasi	
Pupuk larut air memungkinkan aplikasi yang lebih merata dan efisien, terutama melalui sistem irigasi seperti fertigasi.	Kesulitan Penyimpanan
Pupuk larut air memerlukan penyimpanan yang lebih hati-hati untuk mencegah penyerapan kelembapan dan pembentukan gumpalan.	
Frekuensi Pemberian yang Fleksibel	
Pupuk larut air memungkinkan penyesuaian frekuensi pemberian sesuai dengan kebutuhan tanaman, memastikan pasokan nutrisi yang konsisten.	Biaya Lebih Tinggi
Pupuk larut air seringkali lebih mahal dibandingkan dengan pupuk yang kurang larut, yang dapat meningkatkan biaya produksi pertanian.	
Penggunaan dalam Hidroponik	
Pupuk larut air sangat cocok untuk sistem pertanian hidroponik, di mana nutrisi harus larut sepenuhnya dalam air.	Dampak Lingkungan
Pupuk yang mudah larut dapat menyebabkan peningkatan salinitas tanah dan masalah lingkungan jika tidak dikelola dengan benar.	
Pengendalian Dosis yang Lebih Baik	

Kelebihan Daya Larut Pupuk Buatan	Kekurangan Daya Larut Pupuk Buatan
Dengan pupuk larut air, petani dapat lebih akurat dalam mengendalikan dosis nutrisi yang diberikan kepada tanaman.	Kebutuhan Manajemen yang Lebih Kompleks
Petani harus lebih cermat dalam mengelola pemberian pupuk larut air untuk menghindari overdosis atau kekurangan nutrisi.	

Contoh pupuk dengan daya kelarutan tinggi sebagai berikut:

- Pupuk dengan Kandungan nitrogen tinggi: Pupuk yang memiliki kandungan nitrogen tinggi umumnya memiliki daya larut yang tinggi pula. Ini berarti pupuk tersebut cepat tersedia dan mudah diserap oleh tanaman, namun juga mudah tercuci oleh hujan atau pengairan.



Gambar 4. 3. Pupuk dengan kandungan nitrogen tinggi

4.3.3 Reaksi Pupuk

Reaksi pupuk adalah perubahan pH tanah yang terjadi ketika pupuk diberikan. Pupuk dapat menyebabkan pH tanah menjadi lebih tinggi (basa) atau lebih rendah (asam) tergantung jenis pupuk yang digunakan. Perubahan pH tanah akibat aplikasi pupuk dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Tanah yang terlalu asam atau terlalu basa dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh tanaman, sehingga penting untuk memilih pupuk yang sesuai dengan kondisi pH tanah (Havlin *et al.*, 2017). Contoh pupuk dengan sifat reaksi pupuk sebagai berikut:

- Pupuk Asam: Sebagian besar pupuk yang beredar di pasaran menyebabkan pH tanah turun, artinya reaksi tanah bersifat asam terhadap pupuk yang diberikan. Seperti **pupuk NPK yang dapat berkontribusi terhadap keasaman tanah**, terutama karena kandungan nitrogennya. Ketika nitrogen diaplikasikan dalam bentuk tertentu, seperti pupuk berbasis amonium, ini dapat menyebabkan pelepasan ion hidrogen (H^+) ke dalam tanah, yang menurunkan pH dan meningkatkan keasaman



Gambar 4. 4. Pupuk yang bersifat asam

- Pupuk Basa: Beberapa pupuk dapat menyebabkan pH tanah naik, sehingga reaksi tanah menjadi lebih basa. Contoh pupuk yang menyebabkan pH tanah naik adalah kapur dolomit. Kapur dolomit terutama digunakan untuk mengoreksi keasaman tanah, membuatnya lebih basa. Kapur dolomit mengandung kalsium dan magnesium, yang tidak hanya membantu meningkatkan pH tetapi juga meningkatkan ketersediaan nutrisi di tanah.



Gambar 4. 5. Pupuk dolomit

Reaksi pupuk di dalam tanah dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis tanah, kondisi iklim, dan manajemen pertanian. Tabel 2 menyediakan gambaran umum sifat reaksi pupuk.

Tabel 2. Sifat reaksi pupuk dan bagaimana reaksi pupuk di dalam tanah

Jenis Pupuk	Sifat Reaksi	Deskripsi Reaksi	Pengaruh terhadap pH Tanah	Contoh Pupuk
Pupuk Asam	Menurunkan pH	Pupuk ini melepaskan ion H^+ ke dalam tanah, yang menurunkan pH tanah.	Menurunkan	Urea, Ammonium Sulfate
Pupuk Basa	Meningkatkan pH	Pupuk ini mengurangi konsentrasi ion H^+ dalam tanah atau menambah ion OH^- , yang meningkatkan pH tanah.	Meningkatkan	Kalsium Nitrat, Magnesium Sulfate

Jenis Pupuk	Sifat Reaksi	Deskripsi Reaksi	Pengaruh terhadap pH Tanah	Contoh Pupuk
Pupuk Netral	Netral	Pupuk ini tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap pH tanah.	Tidak berubah atau berubah sangat sedikit	Pupuk Potash, Pupuk Fosfat
Pupuk Lengkap	Variabel	Pupuk ini mengandung berbagai unsur hara yang bereaksi berbeda tergantung pada komposisinya.	Tergantung pada formulasi	Pupuk NPK
Pupuk Organik	Lambat	Pupuk ini bereaksi lebih lambat karena harus terurai oleh mikroorganisme tanah sebelum nutrisinya tersedia bagi tanaman.	Tergantung pada bahan dan proses dekomposisi	Kompos, Guano
Pupuk Slow-Release	Terkontrol	Pupuk ini dirancang untuk melepaskan nutrisi secara perlahan dan terkontrol selama periode waktu tertentu.	Tergantung pada formulasi dan mekanisme pelepasan	Pupuk Osmocot, Pupuk Polimer Terlapisi
Pupuk Cepat Larut	Cepat	Pupuk ini cepat larut dalam air dan nutrisinya segera tersedia bagi tanaman.	Tergantung pada jenis nutrisi yang disediakan	Pupuk Urea, Pupuk NPK larut air

4.3.4. Indeks Garam

Indeks garam (*Salt Index*) mengukur potensi pupuk untuk meningkatkan salinitas tanah. Pemberian pupuk pada tanah akan meningkatkan konsentrasi atau kadar garam di dalam larutan tanah, yang dapat mempengaruhi tekanan osmosis larutan tanah. Larutan tanah dengan osmosis yang tinggi dapat menyebabkan larutan unsur hara tidak dapat diserap oleh tanaman. Sebaliknya, cairan sel justru akan keluar dari akar, menyebabkan plasmolisis jaringan akar. Oleh karena itu, penting untuk mengelola aplikasi pupuk dengan indeks garam tinggi untuk menghindari masalah salinitas (Roy, 2006).

1. Pupuk Dengan Indeks Garam Tinggi

Pupuk dengan indeks garam tinggi dapat menyebabkan masalah salinitas pada tanah, yang dapat menghambat penyerapan air dan nutrisi oleh tanaman. Pupuk dengan indeks garam tinggi seperti pupuk KCl, ZA, NaNO_3 , DAP dan NaCl. Pupuk yang memiliki indeks garam tinggi akan memberikan dampak sebagai berikut:

- a. Peningkatan Konsentrasi Garam dalam Tanah
Pemberian pupuk dengan indeks garam tinggi akan meningkatkan konsentrasi atau kadar garam di dalam larutan tanah. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan tekanan osmosis larutan tanah, yang dapat menghambat penyerapan unsur hara oleh tanaman.
- b. Plasmolisis Jaringan Akar
Larutan tanah dengan osmosis yang tinggi dapat menyebabkan cairan sel keluar dari akar tanaman, sebuah proses yang dikenal sebagai plasmolisis. Plasmolisis dapat merusak jaringan akar dan menghambat pertumbuhan tanaman.

c. Penurunan Kesuburan Tanah

Dalam jangka panjang, penggunaan pupuk dengan indeks garam tinggi dapat menyebabkan tanah menjadi tandus dan sulit dikembalikan unsur haranya. Hal ini disebabkan oleh akumulasi garam yang mengganggu struktur tanah dan mengurangi kapasitas tanah untuk menyimpan air dan nutrisi.

d. Dampak Negatif pada Mikroorganisme Tanah

Pupuk dengan indeks garam tinggi dapat memberikan dampak negatif pada mikroorganisme dalam tanah. Mikroorganisme ini penting untuk proses dekomposisi bahan organik dan siklus nutrisi. Peningkatan konsentrasi garam dapat membunuh banyak mikroorganisme, sehingga mengganggu keseimbangan ekosistem tanah dan menyebabkan tanah menjadi keras, bergumpal, dan pH menurun.

e. Penghambatan Pertumbuhan Tanaman

Penggunaan pupuk dengan indeks garam tinggi dalam dosis yang berlebihan dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Misalnya, aplikasi garam krosok pada tanaman kelor menunjukkan bahwa dosis lebih dari 3 g per tanaman dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman terhambat.

f. Dampak pada Produksi Tanaman

Peningkatan konsentrasi garam dalam tanah juga dapat mempengaruhi produksi tanaman. Misalnya, pada penelitian tentang rumput gajah odot, pemberian natrium klorida (NaCl) menunjukkan bahwa konsentrasi garam yang tinggi dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produksi rumput tersebut.

2. Pupuk Dengan Indeks Garam Rendah

Pupuk dengan indeks garam rendah sangat penting untuk digunakan pada tanah yang rentan terhadap salinitas atau pada tanaman yang sensitif terhadap garam. Pupuk dengan indeks garam rendah akan memberikan dampak sebagai berikut:

a. Mengurangi Risiko Salinitas Tanah

Pupuk dengan indeks garam rendah membantu mengurangi risiko salinitas tanah. Salinitas tanah yang tinggi dapat menghambat penyerapan air dan nutrisi oleh tanaman, sehingga penggunaan pupuk dengan indeks garam rendah sangat penting untuk menjaga kesuburan tanah dan kesehatan tanaman.

b. Meningkatkan Ketersediaan Nutrisi

Pupuk dengan indeks garam rendah memastikan bahwa nutrisi yang diberikan dapat diserap dengan baik oleh tanaman tanpa terhalang oleh peningkatan tekanan osmosis dalam tanah. Hal ini sangat penting untuk tanaman yang sensitif terhadap garam, karena mereka dapat tumbuh dengan optimal tanpa mengalami stres akibat salinitas.

c. Mengurangi Risiko Kerusakan Tanaman

Penggunaan pupuk dengan indeks garam rendah mengurangi risiko kerusakan pada tanaman yang disebabkan oleh konsentrasi garam yang tinggi. Tanaman yang terpapar garam berlebih dapat mengalami gejala seperti daun menguning, pertumbuhan terhambat, dan bahkan kematian. Oleh karena itu, pupuk dengan indeks garam rendah lebih aman untuk digunakan pada berbagai jenis tanaman.

d. Memperbaiki Struktur Tanah

Pupuk dengan indeks garam rendah, terutama yang berasal dari bahan organik, dapat membantu memperbaiki

struktur tanah. Pupuk organik meningkatkan kapasitas retensi air dan aerasi tanah, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan akar yang sehat dan penyerapan nutrisi yang lebih baik.

- e. Mengurangi Dampak Negatif pada Mikroorganisme Tanah
Pupuk dengan indeks garam rendah cenderung memiliki dampak yang lebih kecil terhadap mikroorganisme tanah. Mikroorganisme tanah sangat penting untuk proses dekomposisi bahan organik dan siklus nutrisi. Pupuk dengan indeks garam tinggi dapat mengganggu keseimbangan mikroorganisme ini, sementara pupuk dengan indeks garam rendah lebih ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bolan, N.S., Adriano, D.C. and Mahimairaja, S. (2004), "Distribution and bioavailability of trace elements in livestock and poultry manure by-products", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, doi: 10.1080/10643380490434128.
- Fageria, N.K.. (2014), *Mineral Nutrition of Rice*, CRC Press.
- Havlin, J.L., Tisdale, S.L., Nelson, W.L. and Beaton, J.D. (2017), *Soil Fertility And Fertilizers An Introduction To Nutrient Management* Eighth Edition.
- Pingali, P.L. (2012), "Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 31 July, doi: 10.1073/pnas.0912953109.
- Roy, R.N.. (2006), *Plant Nutrition for Food Security : A Guide for Integrated Nutrient Management*, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Sutton, M.A., Simpson, D., Levy, P.E., Smith, R.I., Reis, S., van Oijen, M. and de Vries, W. (2008), "Uncertainties in the relationship between atmospheric nitrogen deposition and forest carbon sequestration", *Global Change Biology*, Vol. 14 No. 9, pp. 2057–2063, doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01636.x.

BAB 5

DASAR-DASAR PEMUPUKAN

Oleh Rini Suryani

5.1 Pendahuluan

Pemupukan merupakan langkah penting dalam kegiatan budidaya pertanian sebagai upaya meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman. Pemupukan sebagai proses dalam memperbaiki atau menambah unsur hara pada tanah, baik secara langsung atau tak langsung agar dapat memenuhi kebutuhan nutrisi bagi tanaman. Kegiatan pemupukan harus memperhatikan dasar-dasar pemupukan sebagai fondasi dalam penerapan pertanian yang efisien, berkelanjutan, serta bermanfaat bagi peningkatan produksi dan kualitas hasil tanaman. Terdapat alasan pentingnya mengetahui dasar-dasar pemupukan, sebagai berikut :

➤ **Penyediaan unsur hara**

Tanaman memerlukan unsur hara makro dan mikro yang mendukung. Berikut adalah penjelasan tentang dasar-dasar pemupukan:

5.2. Tujuan Pemupukan

➤ **Penyediaan unsur hara bagi tanaman**

Tanaman memerlukan unsur hara makro dan mikro yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pemupukan menyediakan unsur hara yang tidak

tersedia dalam jumlah cukup di tanah. Pemupukan akan mengganti unsur hara yang hilang juga menambah ketersediaan unsur hara yang diperlukan oleh tanaman terutama dalam meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman (Dewanto *et al.*, 2013).

➤ **Memperbaiki Kesuburan Tanah**

Pupuk mengandung nutrisi tambahan berupa unsur hara dapat membantu menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah. Kemampuan tanah untuk menyediakan unsur hara penting dalam jumlah yang tersedia dan keseimbangan yang tepat dikenal sebagai kesuburan tanah (Handayanto, Muddarisna and Fiqri, 2017). Perbaikan kesuburan tanah dapat berupa tambahan terhadap unsur hara juga meningkatkan keberadaan dan aktivitas mikroorganisme terutama yang bersumber pupuk organik. Bahkan penggunaan pupuk organik juga dapat memperbaiki kesuburan tanah dalam hal sifat fisiknya seperti struktur, kedalaman efektif, tekstur, aerasi dan drainase tanah ((Purba *et al.*, 2021). Salah satu contoh pupuk organik yang dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah adalah pupuk trichokompos yang mengandung *Trichoderma*, sp.



Gambar 5. 1. Pupuk Trichokompos yang mengandung unsur hara dan mikroorganisme

Sumber : dokumentasi pribadi (2022)

➤ **Meningkatkan Kualitas dan Kuantitas Hasil**

Pemupukan dapat meningkatkan produksi dan kualitas hasilnya jika dilakukan dengan tepat. Pada dasarnya pupuk mengandung unsur hara yang dibutuhkan bagi tanaman. Pemenuhan unsur hara bagi tanaman akan mempengaruhi fase vegetatif (pembesaran tubuh) dan generatif (pembentukan bunga, buah dan biji) (Parnata, 2005). Apabila unsur hara terpenuhi selama fase tersebut maka akan berdampak pada peningkatan produksi baik dalam hal kualitas maupun kuantitasnya.

5.3 Manfaat Pemupukan

Apapun manfaat pemupukan bagi tanaman budidaya adalah:

- Meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman: Unsur hara terutama unsur hara essensial

sangat diperlukan dalam proses fisiologi seperti (fotosintesis, respirasi, pembentukan enzim) bahkan pembentukan jaringan dan organ tanaman.

- Mengurangi risiko penyakit: tanaman yang baik pertumbuhannya lebih tahan terhadap serangan penyakit dan hama. Hal ini juga dipengaruhi oleh unsur hara kalium (K). Menurut Purba *et al.* (2021) tanaman yang mengalami kekurangan unsur kalium rentan terhadap serangan penyakit dan menyebabkan kualitas produksi buah yang rendah.
- Memperpanjang masa produktif tanaman: terpenuhinya unsur hara sesuai dengan kebutuhan tanaman dapat meningkatkan produksi tanaman berproduksi dengan baik selama masa tanamnya.

5.4 Teknik Pemupukan

Teknik pemupukan adalah cara pemberian pupuk pada tanaman untuk memastikan bahwa unsur hara yang terkandung dalam pupuk diserap secara optimal oleh tanaman. Teknik pemupukan yang tepat tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk tetapi juga mengurangi dampak buruk yang ditimbulkannya terhadap lingkungan. Berikut ini adalah beberapa metode pemupukan yang paling umum digunakan: Berdasarkan waktu pemberiannya teknik pemupukan dikelompokkan menjadi:

- **Pemupukan Dasar:** Waktu pemberiannya dilakukan sebelum penanaman, pada umumnya pupuk yang digunakan seperti pupuk organik (pupuk kandang atau kompos) atau pupuk anorganik yang diberikan pada lubang tanam. Kombinasi pupuk anorganik dengan

pupuk kompos dapat menjadi alternatif solusi pemecahan bagi pemupukan dan pertanian berkelanjutan. Pemupukan dasar diberikan guna memberikan unsur hara yang diperlukan dalam tahap awal pertumbuhan tanaman. Sebagai contoh, rekomendasi dosis pupuk kandang sapi bagi tanaman kedelai adalah 10-20 ton ha⁻¹ (Pambudi, 2013). Sedangkan penggunaan pupuk anorganik yang digunakan sebelum penanaman yaitu Urea 50 kg/ha, TSP 75 kg – 200 kg/ha dan KCl 50 kg – 100 kg/ha (Rahmi *et al.*, 2021). Pemberian pupuk organik dilakukan dengan cara disebar dan dicampurkan merata ke dalam tanah, sedangkan pemberian pupuk anorganik dapat diberikan dengan cara ditugal didekat lubang tanam. Selain dapat menggunakan pupuk tunggal, penggunaan pupuk anorganik dapat menggunakan pupuk majemuk seperti pupuk NPK Mutiara.



Gambar 5. 2. Pemupukan dasar menggunakan pupuk biokompos yang diberikan saat pengolahan tanah

Sumber : dokumentasi pribadi



Gambar 5. 3. Pemupukan dasar menggunakan NPK Mutiara dengan sistem tugal

Sumber : dokumentasi pribadi

- **Pemupukan Susulan:** Waktu pemberiannya dilakukan selama masa pertumbuhan tanaman yang bertujuan sebagai tambahan nutrisi bagi tanaman. Sebagai contoh, pemupukan susulan pada tanaman kedelai pemberiannya dilakukan saat tanaman telah berumur 20 – 30 HST (Hari Setelah Tanam). Pupuk susulan bagi tanaman kedelai dapat diberikan saat memasuki fase awal pembungaan (Pratama, Nurmiaty and Nurmauly, 2016). Pemberian pupuk susulan dianjurkan dilakukan hanya pada tanah yang kurang subur. Dosis pupuk yang dianjurkan adalah Urea sebanyak 50 kg/ha (Rahmi *et al.*, 2021). Dosis dan waktu pemberian pupuk susulan berbeda-beda tergantung jenis tanamannya.

5.5. Prinsip Pemupukan

Pemberian pupuk kepada tanaman harus dilakukan secara efisien, efektif, dan berkelanjutan, namun harus memperhatikan prinsip-prinsip utama pemupukan, yaitu :

Tepat Jenis

Pemilihan jenis pupuk yang dibutuhkan tanaman harus dilakukan tepat dan benar. Misalnya, jika tanaman daun tanaman mengalami klorosis menunjukkan kekurangan unsur Nitrogen (N), maka pupuk yang digunakan adalah pupuk urea. Jika tanaman kekurangan unsur Fosfor (P), maka pupuk yang digunakan adalah pupuk TSP atau SP-36. Jika tanaman kekurangan unsur Kalium (K), maka pupuk yang digunakan adalah pupuk KCL.

Tepat Dosis

Dosis pupuk yang diberikan harus tepat dan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Pemberian pupuk harus tepat takarannya, sesuai dengan jumlah unsur hara yang dibutuhkan tanaman pada setiap fase pertumbuhan tanaman. Jika dosis yang diberikan terlalu banyak/berlebihan, tanaman dapat mengalami overdosis dan menjadi toksik (racun bagi tanaman). Sebaliknya, jika dosis terlalu sedikit, tanaman masih kekurangan unsur yang dibutuhkan. Penggunaan pupuk anorganik secara terus menerus dan tanpa dosis yang tepat dapat menyebabkan degradasi lahan. Selain itu dapat mengubah sifat fisika, kimia, dan biologi tanah (Maghfoer, 2018).

Tepat Waktu

Pemberian pupuk bagi tanaman harus pada waktu yang tepat. Pupuk diberikan saat tanaman membutuhkan asupan unsur hara yang lebih banyak. Pempupukan harus sesuai dengan masa kebutuhan hara pada setiap fase/umur tanaman, dan kondisi iklim/cuaca. Misalnya: (a) pemupukan yang baik jika dilakukan di awal musim penghujan atau akhir musim kemarau, (b) pengaplikasian pupuk berbentuk cairan yang disemprotkan ke tanaman sebaiknya dilakukan pada pagi hari sebelum jam 11 siang. Hal ini agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang dengan optimal.

Tepat Tempat

Pupuk harus ditempatkan di tempat yang tepat. Misalnya, pupuk cair atau tepung yang disemprotkan cocok untuk sawah yang sering banjir, sedangkan pupuk butiran lebih cocok untuk tanah yang tidak sering banjir

Tepat Cara

- Cara pemberian pupuk harus benar dan tepat sasaran. Cara aplikasi pupuk juga sangat menentukan tingkat keberhasilan dari suatu tujuan pemupukan. Pupuk yang salah diberikan dapat terbuang sia-sia, tercuci oleh air, atau terdenitrifikasi sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman. Cara yang tepat seperti menaburkan pupuk di atas lahan yang sudah diberi pupuk kandang dan kapur pertanian, atau menempatkan pupuk di bawah perakaran tanaman. Kategori pupuk berdasarkan cara aplikasinya dikelompokkan menjadi 2 yaitu :
 - **Pupuk Akar**
Pupuk akar adalah pupuk yang difokuskan aplikasinya agar mudah diserap oleh akar tanaman. Aplikasi pemberian pupuk ini diberikan ke dalam tanah.
 - **Pupuk Daun**
Pupuk daun adalah pupuk yang difokuskan pemberiannya agar terserap dengan mudah oleh daun. Penyerapan pupuk pada organ daun dilakukan lewat stomata (Agromedia, 2007). Aplikasi pemberian pupuk daun ini diberikan dengan cara disemprotkan ke tanaman.

5.6 Waktu dan Frekuensi Pemupukan

- **Waktu:** Pemupukan harus disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman. Misalnya, pemupukan nitrogen tinggi saat fase vegetative, fosfor tinggi saat fase pembungaan.
- **Frekuensi:** Tergantung pada jenis tanaman, jenis pupuk, dan kondisi tanah. Biasanya, lebih baik memberikan

pupuk dalam jumlah kecil tapi sering daripada banyak sekaligus.

5.8 Pemupukan Harus Memegang prinsip Pertanian Berkelanjutan

1. Efisiensi Penggunaan Pupuk

Pemupukan harus dilakukan dengan efisien : artinya memberikan jumlah pupuk sesuai yang dibutuhkan oleh tanaman, pada waktu yang tepat, dan dengan metode aplikasi yang paling sesuai. Efisiensi ini penting untuk menghindari pemborosan pupuk, yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi dan lingkungan.

Penentuan dosis yang tepat : Dosis pupuk harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman, kondisi tanah, dan iklim setempat. Hal Ini dapat dicapai melalui uji tanah dan analisis kebutuhan hara tanaman. Aplikasi tepat waktu: Pemupukan dilakukan pada fase pertumbuhan tanaman yang paling membutuhkan nutrisi, misalnya saat fase vegetatif atau reproduktif, untuk meningkatkan penyerapan dan mengurangi kehilangan pupuk.

Metode aplikasi yang tepat : Metode seperti pemupukan berimbang, pemupukan mikro (micro-dosing), atau penggunaan pupuk slow-release dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak negatif.

2. Mengurangi Dampak Lingkungan

Pemupukan berlebihan atau penggunaan pupuk melebihi dosis dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, seperti eutrofikasi perairan dan pencemaran air tanah. Oleh karena itu, pemupukan harus dilakukan dengan mempertimbangkan dampak lingkungan.

Menghindari pencemaran air: Penggunaan pupuk yang berlebihan dapat mencemari air tanah dan permukaan melalui run-off, terutama Nitrogen dan Fosfor yang bisa mencemari sungai dan danau, menyebabkan ledakan alga yang merusak ekosistem perairan.

Pengurangan emisi gas rumah kaca: Penggunaan pupuk nitrogen yang tidak efisien dapat meningkatkan emisi gas rumah kaca, seperti N₂O (dinitrogen oksida), yang memiliki dampak signifikan terhadap perubahan iklim. Pertanian berkelanjutan berusaha untuk mengurangi emisi ini dengan menggunakan teknik pemupukan yang lebih ramah lingkungan.

Pemeliharaan kesehatan tanah: Pemupukan yang berkelanjutan juga harus menjaga kesehatan tanah jangka panjang dengan menghindari degradasi tanah, misalnya dengan mencegah akumulasi garam atau bahan kimia berbahaya.

3. Penggunaan Pupuk Ramah Lingkungan (Pupuk Organik dan Pupuk Hayati)

Salah satu cara untuk mencapai pemupukan berkelanjutan adalah dengan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sintetis dan lebih mengandalkan pupuk organik dan pupuk hayati.

Pupuk organik: Pupuk organik seperti kompos, pupuk kandang, dan pupuk hijau membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas penyerapan air, dan menambah kandungan bahan organik tanah. Ini tidak hanya menyediakan nutrisi bagi tanaman tetapi juga meningkatkan kesuburan tanah dalam jangka panjang.

Pupuk hayati: Pupuk hayati mengandung mikroorganisme yang bermanfaat bagi tanaman, seperti *Rhizobium* yang membantu fiksasi nitrogen, atau mikoriza yang meningkatkan penyerapan fosfor. Penggunaan pupuk

hayati dapat meningkatkan efisiensi pemupukan dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.

4. Pemupukan Berimbang dan Terintegrasi

Pemupukan berimbang berarti memberikan semua unsur hara yang dibutuhkan tanaman dalam proporsi yang sesuai, tidak hanya mengandalkan satu atau dua jenis pupuk. Hal ini menghindari ketidakseimbangan hara yang dapat merusak tanaman dan tanah.

Pemupukan berimbang: Pemberian nutrisi dilakukan dengan memperhatikan kebutuhan spesifik tanaman akan nitrogen, fosfor, kalium, dan unsur hara mikro lainnya, sehingga tidak ada kelebihan atau kekurangan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan kesehatan tanah.

Pengelolaan terpadu: Integrasi pemupukan dengan praktik pengelolaan lain, seperti rotasi tanaman, penggunaan mulsa, dan pengendalian gulma, dapat membantu memaksimalkan efisiensi penggunaan pupuk dan mendukung keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan.

5. Pemantauan dan Evaluasi Berkelanjutan

Prinsip pertanian berkelanjutan mengharuskan adanya pemantauan dan evaluasi terus-menerus terhadap praktik pemupukan yang dilakukan.

Pemantauan kondisi tanah: Uji tanah secara berkala untuk memantau perubahan dalam kesuburan tanah dan menyesuaikan program pemupukan sesuai dengan hasil analisis.

Evaluasi praktik pemupukan: Mengevaluasi efektivitas praktik pemupukan dan dampaknya terhadap hasil panen serta lingkungan. Jika diperlukan, lakukan penyesuaian untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak negatif.

6. Peningkatan Kesadaran dan Pendidikan

Meningkatkan kesadaran dan pengetahuan petani tentang pentingnya pemupukan berkelanjutan merupakan bagian penting dari penerapan pertanian berkelanjutan. Adapun upaya peningkatan kesadaran dan Pendidikan dilakukan melalui :

Penyuluhan dan pelatihan: Memberikan edukasi kepada petani tentang teknik pemupukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Pendekatan partisipatif: Melibatkan petani dalam pengambilan keputusan terkait pemupukan dan memberikan akses ke informasi terkini mengenai praktik terbaik dalam pemupukan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agromedia, R. (2007) *Petunjuk Pemupukan*. Agromedia.
- Dewanto, F.. *et al.* (2013) 'Pengaruh Pemupukan Anorganik dan Organik Terhadap Produksi Tanaman Jagung Sebagai Sumber Pakan', *Jurnal ZooteK*, 32(5), pp. 1–8.
- Handayanto, E., Muddarisna, N. and Fiqri, A. (2017) *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Maghfoer, M.. (2018) *Teknik Pemupukan Terung Ramah Lingkungan*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Pambudi (2013) *Budidaya dan Khasiat Kedelai Edamame Cemilan Sehat dan Lezat Multi Manfaat*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Parnata, A.. (2005) *Pupuk Organik Cair Aplikasi dan Manfaatnya*. Jakarta: Agromedia.
- Pratama, B., Nurmiaty, Y. and Nurmauly, N. (2016) 'Pengaruh Dosis Pupuk NPK Majemuk Susulan Saat Awal Berbunga (R1) pada Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kedelai (*Glycine max* [L.] Merill)', *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*, 17(2), pp. 138–144.
- Purba, T. *et al.* (2021) *Tanah dan Nutrisi Tanaman*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Rahmi, H. *et al.* (2021) *Petunjuk Teknis Tanaman Kedelai*. Makassar: BPTP Balitbangtan Sulawesi Barat.

BAB 6

PUPUK MAJEMUK

Oleh Agusalim Masulili

6.1 Pendahuluan

Umumnya petani di Indonesia hanya menggunakan tiga jenis pupuk, yaitu N (Urea, ZA), P (SP36), K (KCI, dan ZK), yang diberikan secara terpisah atau dicampur. Cara pemberian pupuk tunggal yang dilakukan tersebut belum berdampak nyata karena sifat dari pupuk tunggal yang mudah larut dan mudah hilang (Chen *et al.*, 2017). Disisi lain, tanaman juga memerlukan unsur hara makro sekunder dan mikro lainnya, namun hal ini seringkali diabaikan.

Dalam jangka panjang, kebutuhan akan hara mikro dan makro sekunder sering diabaikan. Apabila hal tersebut terjadi dalam jangka panjang akan menyebabkan defisiensi hara, efisiensi pemupukan, dan efektivitas pupuk yang rendah. Pemupukan harus memegang prinsip efisiensi dan efektif. Pemupukan yang efektif akan memberikan dampak positif bagi tanaman dan efisiensi biaya (Nugroho, 2009).

Pertanian modern saat ini menghadapi tantangan dalam meningkatkan produktivitas namun disisi lain harus mempertahankan keberlanjutan lingkungan. Saat ini telah berkembang konsep teknologi pemupukan berimbang. Menurut (Setyorini, Widowati and Rochayati, 2004) pemupukan berimbang adalah pemberian pupuk ke dalam tanah untuk

membuat semua hara esensial seimbang dalam tanah secara optimal. Ini dilakukan untuk meningkatkan produksi dan kualitas hasil pertanian. Salah satu solusi yang dapat dikembangkan adalah penggunaan pupuk majemuk. Dimana pupuk majemuk menggabungkan beberapa unsur hara menjadi satu formulasi sebagai nutrisi yang lebih lengkap kepada tanaman.

Pupuk majemuk merupakan jenis pupuk yang mengandung campuran beberapa jenis unsur hara esensial yang dibutuhkan oleh tanaman. Definisi pupuk majemuk lengkap yaitu pupuk yang mengandung unsur hara makro dan mikro lengkap yang disusun dalam komposisi tertentu. Pupuk majemuk minimal mengandung dua unsur hara yang diperlukan oleh tanaman (Rosmarkam and Yuwono, 2002). Penggunaan pupuk majemuk diarahkan untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman sehingga dapat berproduksi dengan baik. Formulasi pupuk majemuk dirancang untuk menyediakan nutrisi lengkap dan seimbang dalam satu formulasi, sehingga memudahkan petani dalam mengaplikasikannya kepada tanaman.

6.2 Kandungan hara pupuk majemuk

Secara umum pupuk majemuk tersusun atas campuran/kombinasi unsur hara makro esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), belerang (S). Selain itu, terdapat pula kandungan unsur hara mikro seperti Seng (Zn), tembaga (Cu), Mangan (Mn) dan lain-lain sesuai kebutuhan tanaman. Kombinasi tersebut disesuaikan terhadap kebutuhan tanaman yang berbeda terutama pada fase pertumbuhan. Sebagai contoh, pupuk NPK majemuk 20-10-12 (kandungan 20% N, 10% P dan 12% K) dilengkapi dengan CaO (4%), MgO

(1%), Sulfur (4%) dan unsur hara mikro yaitu : 0,4% Mn, 0,4% Zn dan 1% Fe.

6.3 Bentuk pupuk majemuk

Pupuk majemuk diproses sehingga menghasilkan bentuk butiran atau granula. Dimana bentuk ini akan memudahkan aplikasinya ke dalam tanah. Proses pembuatan pupuk majemuk melibatkan pencampuran bahan-bahan baku yang mengandung unsur-unsur tersebut dalam proporsi yang tepat, kemudian menghasilkan formula yang konsisten dan stabil.

6.3 Kelebihan pupuk majemuk

1. Efektif dan efisiensi dalam penggunaannya

Pupuk majemuk mengandung berbagai unsur hara yang dapat diaplikasikan dalam satu kali pemberian saja. Hal ini tentu saja akan berdampak terhadap pengurangan frekuensi dan biaya pemupukan. Pupuk majemuk NPK lebih unggul daripada pupuk tunggal karena komposisi hara N, P, dan K dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman sehingga lebih efektif dan efisien (Diana, Sujak and Djumali, 2017). Bila dibandingkan dengan pupuk Tunggal, pupuk majemuk lebih efisien karena pupuk tunggal seperti Urea dan KCl rentan terhadap penguapan (*volatilisasi*) dan pencucian (*leaching*).

2. Meningkatkan Kesuburan Tanah

Pemberian pupuk majemuk akan menyediakan berbagai unsur hara sekaligus sehingga dapat membantu menjaga keseimbangan kesuburan tanah. Pemupukan sebagai upaya memperbaiki kesuburan tanah melalui

penambahan unsur hara karena ketersediaan unsur hara sangat diperlukan selama pertumbuhan hingga tanaman berproduksi.

3. Pertumbuhan, Produksi dan Kualitas Tanaman yang Baik

Tanaman mendapatkan nutrisi yang lengkap dan seimbang, sehingga dapat tumbuh lebih sehat dan produktif. Pemupukan akan menyebabkan perbaikan serapan hara yang mendukung pertumbuhan tanaman (Novizan, 2005). Penggunaan pupuk majemuk yang tepat akan berdampak terhadap peningkatan hasil panen karena tanaman mendapatkan semua nutrisi yang dibutuhkan. Selain itu, apabila pertumbuhan baik maka akan berdampak pula terhadap produksi tanaman. Pupuk majemuk memberikan kombinasi nutrisi esensial yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal tanaman, sehingga meningkatkan hasil panen. Pupuk majemuk juga dapat meningkatkan kualitas tanaman, seperti ukuran, rasa, dan kandungan nutrisi hasil panen. Dengan memberikan nutrisi yang tepat dan seimbang, pupuk majemuk dapat meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman secara keseluruhan, termasuk ukuran, warna, dan rasa buah serta kekuatan batang dan daun.

4. Kemudahan Penggunaan

Petani tidak perlu mencampur beberapa jenis pupuk sendiri, sehingga mengurangi risiko kesalahan dalam proporsi pencampuran. Kandungan pupuk majemuk berupa hara makro N, P dan K dan terdapat pula hara mikro yang tidak dimiliki pupuk tunggal sehingga aplikasinya lebih pengaplikasiannya (Damanik *et al.*, 2010). Ditinjau dari aplikasinya pemupukan dengan NPK majemuk lebih praktis jika dibandingkan dengan

menggunakan pupuk tunggal (Sutrisna and Surdianto, 2014).

5. Menghemat Waktu dan Tenaga

Melalui satu aplikasi pemupukan dengan menggunakan pupuk majemuk yang mengandung unsur hara makro maupun mikro, petani dapat menghemat waktu dan tenaga. Jika menggunakan pupuk tunggal seperti Urea, SP-36, KCl akan membutuhkan 3 kali pemberian pupuk secara terpisah. Sedangkan penggunaan pupuk majemuk dapat memberikan berbagai unsur hara cukup sekali pemberian saja.

6. Penyerapan Nutrisi yang Lebih Baik

Formulasi pupuk majemuk biasanya dirancang untuk memastikan bahwa setiap unsur hara diserap dengan baik oleh tanaman. Terutama dari sifatnya pupuk majemuk dapat mudah larut sehingga dapat diserap dengan baik oleh tanaman.

7. Alternatif pengganti pupuk tunggal

Saat ini seringkali terjadi kelangkaan terhadap pupuk UREA dan ZA sehingga penggunaan pupuk dapat diarahkan pada penggunaan pupuk majemuk seperti NPK Phonska (Bakhtiar, Kalsum and Aziz, 2021). Sehingga pupuk majemuk dapat menjadi menjadi solusi alternatif apabila terjadi kelangkaan pupuk urea bersubsidi.

6.4 Kelemahan pupuk majemuk

1. Apabila penggunaannya berlebihan dapat mengganggu keseimbangan di dalam tanah.

Pemberian pupuk anorganik yang mengandung unsur hara makro yang berlebihan akan mengganggu

keseimbangan di dalam tanah yaitu akan menghambat pengambilan unsur hara mikro (Novizan, 2005).

2. Penggunaan pupuk majemuk masih memerlukan penambahan pupuk tunggal.

Untuk memenuhi kebutuhan hara N sesuai fase pertumbuhan tanaman, penggunaan pupuk majemuk antara lain memerlukan penambahan satu pupuk tunggal (terutama urea). Kadar N, P, dan K dari pupuk majemuk NPK saat ini tidak seimbang, sehingga sulit untuk menentukan dosis NPK yang tepat untuk tanah yang memiliki tingkat P dan K yang tinggi (Setyorini, Widowati and Rochayati, 2004). Berdasarkan penelitian Bakhtiar, Kalsum and Aziz (2021) penggunaan pupuk majemuk belum menunjukkan jumlah anakan yang maksimum. Namun aplikasi kombinasi pupuk majemuk Phonska jika ditambahkan dengan urea memperbanyak jumlah anakan jika dibanding dengan aplikasi pupuk tunggal atau majemuk saja.

3. Harga lebih mahal

Dintinjau dari harga, pupuk majemuk lebih mahal daripada pupuk tunggal yang digunakan secara bersama-sama. Sebagai contoh harga pupuk majemuk NPK Agrotop (6:16:7) 1 kg adalah Rp 20.000,-. Harga 1 Urea, SP-36, dan KCl masing-masing 1 kg adalah Rp 1.600,-, Rp 2.500,-, dan Rp 7.000. Hal ini menunjukkan harga pupuk majemuk yang mahal (Sukristiyonubowo, Sipahutar and Achmad, 2009).

6.5 Proses produksi pupuk majemuk

Proses produksi pupuk majemuk melibatkan beberapa tahapan yang kompleks sehingga produk akhir memiliki kandungan nutrisi yang tepat dan seimbang. Tahapan umum dalam proses produksi pupuk majemuk sebagai berikut:

1. Pemilihan Bahan Baku

Bahan baku utama yang digunakan dalam produksi pupuk majemuk adalah nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), yang berasal dari sumber seperti amonia, asam fosfat, dan kalium klorida. Bahan tambahan lain mungkin termasuk mikronutrien dan bahan pengikat.

2. Pengolahan Bahan Baku

Bahan baku diolah untuk mendapatkan bentuk yang sesuai untuk pencampuran, seperti granul atau serbuk. Proses ini melibatkan penghancuran, pengayakan, dan pengeringan bahan baku.

3. Pencampuran Bahan Baku

Untuk memastikan distribusi nutrisi yang merata dalam setiap butir pupuk, bahan baku harus dicampur dalam proporsi yang tepat sesuai dengan formula pupuk majemuk yang diinginkan. Proses pencampuran harus dilakukan dengan cermat.

4. Granulasi

Selanjutnya, campuran bahan baku diproses melalui mesin granulasi untuk menghasilkan butiran pupuk. Metode granulasi dapat dilakukan dengan cara basah atau kering, tergantung pada jenis pupuk yang dibuat.

5. Pengeringan

Granul pupuk yang masih basah dikeringkan untuk mengurangi kadar air dan meningkatkan kekerasan

butiran. Pengeringan biasanya dilakukan di dalam drum pengering atau oven khusus.

6. Pendinginan

Granul pupuk yang telah kering didinginkan untuk mencegah penggumpalan dan menjaga kualitas butiran.

7. Penyaringan dan Pemilahan:

Granul pupuk selanjutnya disaring guna pemisahan butiran yang tidak sesuai ukuran. Butiran yang terlalu besar atau terlalu kecil dapat diolah kembali atau dihancurkan yang dapat digunakan lagi selama proses pencampuran ulang.

8. Pelapisan (*Coating*)

Beberapa jenis pupuk majemuk diberikan lapisan pelindung (*coating*) guna mencegah penggumpalan dan meningkatkan daya simpannya didalam tanah. Pelapisan juga dapat digunakan untuk mengatur pelepasan nutrisi secara lambat (perlahan-lahan).

9. Pengemasan

Apabila pupuk majemuk telah memenuhi standar kualitas selanjutnya dilakukan pengemasan. Kemasan yang digunakan berupa kantong atau wadah sesuai dengan kebutuhan pasar. Pengemasan harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah kerusakan selama transportasi dan penyimpanan.

10. Pengujian Kualitas

Setiap *batch* pupuk majemuk yang diproduksi harus melalui pengujian kualitas untuk memastikan kandungan nutrisi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Pengujian meliputi analisis kimia, fisika, juga biologinya.

6.6 Aplikasi pupuk majemuk dalam budidaya pertanian

Aplikasi pupuk majemuk dalam pertanian merupakan langkah penting untuk memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang optimal. Berikut adalah beberapa cara dan pertimbangan dalam penerapan pupuk majemuk:

1. Aplikasi Tanah:

Penyebaran Seragam (*Broadcasting*): Pupuk majemuk disebar merata di permukaan tanah sebelum penanaman atau di antara barisan tanaman.

Pemberian di Lubang Tanam (*Basal Application*): Pupuk diletakkan di lubang tanam sebelum benih atau bibit ditanam.

Pemberian di Sekitar Tanaman (*Side-dressing*): Pupuk diletakkan di sekitar tanaman pada tahap pertumbuhan tertentu untuk memastikan nutrisi tersedia selama masa pertumbuhan aktif.

2. Aplikasi Foliar (Daun):

Pupuk majemuk dilarutkan dalam air dan disemprotkan langsung ke daun tanaman. Metode ini memungkinkan penyerapan cepat melalui stomata daun, meskipun biasanya digunakan untuk mikronutrien atau situasi darurat.

3. Irigasi (*Fertigation*):

Pupuk majemuk dilarutkan dalam sistem irigasi, sehingga nutrisi diberikan bersamaan dengan air irigasi. Metode ini efisien untuk tanaman hortikultura dan di lahan yang menggunakan irigasi tetes atau sprinkler.

Pertimbangan dalam Aplikasi Pupuk Majemuk:

1. Jenis Tanaman:

Setiap tanaman memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda, sehingga jenis dan formula pupuk majemuk harus disesuaikan dengan jenis tanaman yang dibudidayakan.

2. Tahap Pertumbuhan Tanaman:

Pupuk majemuk harus diterapkan pada tahap pertumbuhan yang tepat untuk memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang dibutuhkan selama masa pertumbuhan kritis.

3. Kondisi Tanah:

Analisis tanah perlu dilakukan untuk mengetahui kandungan hara dalam tanah, pH, dan kebutuhan spesifik lainnya. Ini membantu dalam menentukan jenis dan jumlah pupuk yang diperlukan.

4. Iklim dan Cuaca:

Kondisi iklim dan cuaca dapat mempengaruhi efektivitas aplikasi pupuk. Misalnya, aplikasi pupuk sebelum hujan deras dapat menyebabkan pencucian hara, sedangkan aplikasi pada kondisi kering mungkin memerlukan irigasi tambahan.

5. Metode Pertanian:

Sistem pertanian yang digunakan, seperti pertanian organik atau konvensional, juga mempengaruhi jenis dan metode aplikasi pupuk majemuk.

6. Ketersediaan Air:

Pastikan ada cukup air untuk melarutkan dan membantu penyerapan pupuk oleh tanaman. Tanaman yang kekurangan air tidak akan dapat menyerap pupuk secara efektif.

Aplikasi pupuk majemuk yang tepat dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian secara signifikan.

6.7 Tantangan dan Kendala dalam Menggunakan Pupuk Majemuk

Meskipun penggunaan pupuk majemuk memiliki banyak manfaat, ada sejumlah tantangan dan kendala yang perlu diperhatikan. Berikut adalah beberapa di antaranya:

1. Ketersediaan dan Biaya:

- a. **Harga yang Lebih Tinggi:** Pupuk majemuk sering kali lebih mahal dibandingkan pupuk tunggal karena proses produksinya yang lebih kompleks.
- b. **Ketersediaan Terbatas:** Di beberapa daerah, pupuk majemuk mungkin tidak selalu tersedia, sehingga petani harus mencari alternatif atau menghadapi biaya transportasi tambahan.

2. Kompatibilitas Tanaman dan Tanah:

- a. **Kesesuaian dengan Jenis Tanaman:** Tidak semua formula pupuk majemuk cocok untuk semua jenis tanaman. Pupuk yang tidak tepat bisa menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi.
- b. **Kondisi Tanah:** Tanah yang memiliki sifat tertentu, seperti pH yang sangat asam atau basa, dapat mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan nutrisi dari pupuk majemuk.

3. Respon Tanaman yang Beragam:

Variasi dalam Respon: Berbagai tanaman dan varietas mungkin merespons pupuk majemuk secara berbeda, tergantung pada kebutuhan spesifik mereka dan kondisi lingkungan.

4. Pengetahuan dan Keterampilan Petani:

- a. Kurangnya Pengetahuan: Petani mungkin tidak memiliki pengetahuan yang cukup tentang penggunaan yang tepat dan dosis yang optimal dari pupuk majemuk.
- b. Keterampilan Aplikasi: Aplikasi yang tidak tepat, seperti over-aplikasi atau under-aplikasi, dapat mengurangi efektivitas pupuk atau bahkan merusak tanaman.

5. Pengaruh Lingkungan:

- a. Pencemaran Lingkungan: Penggunaan pupuk majemuk yang berlebihan dapat menyebabkan pencemaran air tanah dan air permukaan akibat larian hara seperti nitrogen dan fosfor.
- b. Emisi Gas Rumah Kaca: Beberapa komponen pupuk majemuk dapat berkontribusi pada emisi gas rumah kaca, seperti nitrous oxide, yang berdampak negatif pada lingkungan.

6. Faktor Iklim dan Cuaca:

- a. Ketergantungan pada Kondisi Cuaca: Efektivitas pupuk majemuk bisa dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Misalnya, hujan lebat setelah aplikasi bisa menyebabkan pencucian nutrisi sebelum diserap oleh tanaman.
- b. Variasi Musiman: Perubahan musim dan kondisi cuaca yang ekstrem dapat mempengaruhi waktu dan cara aplikasi pupuk majemuk.

7. Masalah Penyimpanan dan Distribusi:

- a. Kondisi Penyimpanan: Pupuk majemuk harus disimpan dalam kondisi yang tepat untuk mencegah degradasi dan penggumpalan.

- b. Distribusi yang Tidak Merata: Masalah dalam distribusi bisa mengakibatkan keterlambatan pengiriman pupuk ke petani, terutama di daerah terpencil.

8. Kebutuhan Spesifik:

Formula Khusus: Tanaman tertentu mungkin membutuhkan formula pupuk majemuk khusus yang tidak selalu tersedia di pasaran, memaksa petani untuk menggunakan kombinasi pupuk tunggal.

Menghadapi tantangan dan kendala ini memerlukan pendekatan yang cermat dan strategi yang terencana, termasuk edukasi petani, penelitian dan pengembangan pupuk yang lebih baik, serta kebijakan pemerintah yang mendukung distribusi dan penggunaan pupuk yang efisien dan ramah lingkungan

DAFTAR PUSTAKA

- Bakhtiar, Kalsum, U. and Aziz, A. (2021) 'Kombinasi Dosis Pupuk terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Padi (*Oryza sativa*)', *Tarjih Agriculture System Journal*, 01(2), pp. 30–37.
- Chen, J. *et al.* (2017) 'Effects of single basal application of coated compound fertilizer on yield and nitrogen use efficiency in double- cropped rice', *The Crop Journal*, 5(3), pp. 265–270.
- Damanik, M.M.. *et al.* (2010) *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*. Medan: USU Press.
- Diana, N., Sujak and Djumali (2017) 'Efektivitas Aplikasi Pupuk Majemuk NPK Terhadap Produktivitas dan Pendapatan Petani Tebu', *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 9(2), pp. 1–11.
- Novizan (2005) *Petunjuk Pemupukan yang Efektif*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Nugroho, P.A. (2009) 'Rekomendasi pemupukan tanaman karet di Malaysia', *Warta Per karetan*, 28(01), pp. 28–41.
- Rosmarkam, A. and Yuwono, N.W. (2002) *Imu Kesuburan Tanah*. Yogyakarta: Kanisius.
- Setyorini, D., Widowati, L.. and Rochayati, S. (2004) 'Teknologi pengelolaan hara lahan sawah intensifikasi. Dalam : Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya', in *Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat*. Bogor, pp. 137–167.
- Sukristiyonubowo, Sipahutar, I.. and Achmad, I. (2009) 'Pengaruh Pupuk NPK Majemuk (6:16:7) terhadap Sifat Kimia Tanah Thapic Epiaquands dan Hasil Ketimun', *Journal Of Tropical Soils*, 14(3), pp. 229–238.

Sutrisna, N. and Surdianto, Y. (2014) 'Kajian formula pupuk NPK pada pertanaman kentang lahan dataran tinggi di Lembang Jawa Barat', *Jurnal Hortikultura*, 24(2), pp. 124–132.

BAB 7

PUPUK TUNGGAL

Oleh Setiawan

7.1 Pendahuluan

Pupuk tunggal, juga dikenal sebagai pupuk sederhana atau pupuk unsur tunggal, merupakan salah satu kategori utama dalam klasifikasi pupuk buatan. Pupuk jenis ini didefinisikan sebagai pupuk yang mengandung hanya satu dari tiga unsur hara makro utama yang dibutuhkan tanaman: nitrogen (N), fosfor (P), atau kalium (K) (Havlin *et al.*, 2017). Pengembangan dan penggunaan pupuk tunggal telah menjadi tonggak penting dalam evolusi praktik pertanian modern, memungkinkan petani untuk mengelola nutrisi tanaman dengan lebih presisi (Stewart *et al.*, 2005).

Sejarah pupuk tunggal dapat ditelusuri kembali ke abad ke-19, ketika pemahaman ilmiah tentang nutrisi tanaman mulai berkembang. Penemuan-penemuan penting seperti "Hukum Minimum" oleh Justus von Liebig pada tahun 1840 meletakkan dasar bagi pengembangan pupuk tunggal yang lebih efektif (Brock, 2022). Sejak saat itu, berbagai jenis pupuk tunggal telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan spesifik berbagai jenis tanaman dan kondisi tanah.

Pupuk tunggal memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan pupuk majemuk. Mereka memungkinkan petani untuk menerapkan nutrisi spesifik yang dibutuhkan tanaman tanpa menambahkan unsur hara yang mungkin sudah cukup tersedia di dalam tanah. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi dan mengurangi potensi dampak lingkungan dari kelebihan aplikasi pupuk. Selain itu, pupuk

tunggal sering kali lebih murah per unit nutrisi dibandingkan dengan pupuk majemuk, meskipun biaya aplikasi mungkin lebih tinggi karena perlu diterapkan secara terpisah.

Meskipun demikian, penggunaan pupuk tunggal juga memiliki tantangan tersendiri. Petani perlu memiliki pemahaman yang baik tentang kebutuhan nutrisi tanaman dan status kesuburan tanah untuk dapat menggunakan pupuk tunggal secara efektif. Selain itu, penyimpanan dan penanganan beberapa jenis pupuk tunggal dapat memerlukan perhatian khusus karena sifat fisik dan kimianya yang spesifik.

Dalam konteks pertanian modern, pupuk tunggal tetap menjadi komponen penting dalam strategi manajemen nutrisi tanaman. Penggunaannya, baik secara sendiri maupun dalam kombinasi dengan pupuk majemuk, memungkinkan petani untuk mengoptimalkan produktivitas tanaman sambil meminimalkan dampak lingkungan.

7.2 Jenis-Jenis Pupuk Tunggal

Pupuk tunggal adalah jenis pupuk yang hanya mengandung satu unsur hara utama yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman. Unsur hara ini bisa berupa Nitrogen (N), Fosfor (P), atau Kalium (K), yang masing-masing memiliki fungsi spesifik dalam mendukung proses fisiologis tanaman. Penggunaan pupuk tunggal sangat penting dalam pertanian modern karena dapat membantu petani dalam memberikan nutrisi yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman pada fase pertumbuhannya.

7.2.1 Pupuk Nitrogen (N)

Pupuk yang mengandung nitrogen, seperti Urea, memiliki fungsi utama untuk meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman, terutama daun dan batang. Nitrogen adalah unsur hara yang sangat penting untuk proses fotosintesis dan pembentukan protein dalam tanaman. Tanaman yang kekurangan nitrogen akan menunjukkan pertumbuhan yang lambat, batang dan daun pendek, serta daun menguning.

Nitrogen adalah salah satu unsur hara makro yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pupuk nitrogen sering digunakan dalam pertanian untuk memastikan tanaman mendapatkan cukup nitrogen yang diperlukan untuk berbagai proses fisiologis. Penggunaan pupuk nitrogen memberikan dampak positif dan negatif bagi tanaman dan lingkungan. Kelebihan dan kekurangan pupuk nitrogen dapat dilihat pada Tabel 7.1. berikut:

Tabel 7. 1. Kelebihan dan kurangan pupuk nitrogen

Kelebihan	Kekurangan
Pupuk nitrogen merangsang dan mempercepat pertumbuhan vegetatif tanaman, termasuk akar, tunas, batang, cabang, dan daun. Hal ini penting untuk memastikan tanaman tumbuh dengan baik dan sehat.	Penggunaan pupuk nitrogen yang berlebihan dapat mencemari tanah dan air tanah, serta mengancam keberadaan mikroba tanah.

Kelebihan	Kekurangan
Nitrogen membantu dalam pembentukan klorofil daun, yang merupakan pigmen hijau penting untuk fotosintesis. Ini memungkinkan tanaman untuk memanfaatkan energi matahari secara efektif.	Penggunaan pupuk yang berlebihan dapat membuat petani bergantung pada pupuk tersebut dan melupakan teknik budidaya lain yang lebih berkelanjutan.
Penggunaan pupuk nitrogen dapat meningkatkan ukuran buah dan hasil panen secara keseluruhan. Penelitian menunjukkan bahwa pemberian pupuk nitrogen pada tanaman jagung dapat meningkatkan hasil panen hingga 30%.	Kelebihan nitrogen dapat menyebabkan tanaman menjadi rentan terhadap hama dan penyakit, serta menyebabkan daun tampak hangus dan pertumbuhan terhambat.
Pupuk nitrogen meningkatkan kualitas tanaman dengan membuat daun lebih hijau dan sehat, serta meningkatkan daya tahan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit.	Terlalu banyak garam dari pupuk nitrogen dapat mengubah pH tanah, membuat nutrisi tidak tersedia untuk tanaman.
Pupuk nitrogen dalam bentuk butiran mudah diaplikasikan dan tidak mudah menguap atau tercuci, sehingga efisiensi	Garam dari pupuk nitrogen dapat membakar akar tanaman, menghambat penyerapan air dan nutrisi, serta menyebabkan tanaman

Kelebihan	Kekurangan
penggunaannya tinggi.	mati.
Nitrogen memainkan peran penting dalam proses fotosintesis, yang merupakan proses vital bagi tanaman untuk menghasilkan energi dari sinar matahari. Penggunaan pupuk nitrogen mendukung pertanian berkelanjutan dengan meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman dan menjaga ekosistem yang seimbang.	Kelebihan nitrogen dapat menyebabkan struktur akar yang buruk, menghambat perkembangan bunga dan buah.
	Penggunaan nitrogen tinggi dapat menyebabkan gejala fisiologis kekurangan unsur mikro pada tanaman.
	Dorongan besar dalam pertumbuhan akibat terlalu banyak nitrogen dapat membunuh tanaman.
	Tanaman yang dipupuk nitrogen berlebihan akan menarik lebih banyak hama yang menyukai daun, tunas, dan batang yang muda dan lembut.

Sumber: Chien, Prochnow and Cantarella, 2009.

7.2.2 Pupuk Fosfor (P)

Fosfor (P) merupakan salah satu unsur hara makro esensial bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Pupuk tunggal fosfor telah menjadi komponen kunci dalam sistem pertanian modern, memainkan peran vital dalam meningkatkan produktivitas tanaman dan efisiensi penggunaan lahan (Cordell, Drangert and White, 2009). Tulisan ini akan membahas karakteristik, peran, serta dampak penggunaan pupuk tunggal fosfor dalam konteks pertanian berkelanjutan.

Pupuk tunggal fosfor tersedia dalam berbagai bentuk, dengan superfosfat tunggal (SSP) dan triple superfosfat (TSP) sebagai jenis yang paling umum digunakan (Havlin et al., 2017). SSP mengandung 16-20% P_2O_5 , sementara TSP memiliki kandungan P_2O_5 yang lebih tinggi, yakni 44-52% (Roy et al., 2006). Bentuk kimia fosfor dalam pupuk ini umumnya adalah kalsium dihidrogen fosfat [$Ca(H_2PO_4)_2$], yang relatif mudah larut dalam air dan tersedia bagi tanaman (Syers, Johnston and Curtin, 2008).

Pupuk tunggal fosfor tetap menjadi komponen penting dalam sistem pertanian modern. Namun, penggunaannya harus dioptimalkan untuk meningkatkan efisiensi dan meminimalkan dampak lingkungan. Pendekatan holistik yang mempertimbangkan aspek agronomis, ekonomi, dan ekologis diperlukan untuk memastikan penggunaan pupuk fosfor yang berkelanjutan di masa depan.

Fosfor berperan penting dalam berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk:

- a. Transfer energi melalui pembentukan ATP dan ADP
- b. Pembentukan asam nukleat (DNA dan RNA)
- c. Perkembangan akar dan pembungaan

- d. Peningkatan kualitas buah dan biji (Schachtman, Reid and Ayling, 1998)

Kekurangan fosfor dapat menyebabkan pertumbuhan yang terhambat, penurunan hasil panen, dan penurunan kualitas produk pertanian. Meskipun penting, efisiensi penggunaan pupuk fosfor oleh tanaman relatif rendah, berkisar antara 10-30% (Sattari et al., 2012). Berbagai strategi telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan fosfor, termasuk penggunaan pupuk slow-release dan penerapan teknik manajemen hara terpadu (Trenkel, 2010). Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi ini meliputi:

- a. pH tanah
- b. Keberadaan kation seperti Al^{3+} dan Fe^{3+} yang dapat mengikat fosfor
- c. Aktivitas mikroba tanah
- d. Metode aplikasi pupuk (Hinsinger, 2001)

Penggunaan berlebihan pupuk fosfor dapat menyebabkan masalah lingkungan seperti eutrofikasi perairan. Selain itu, sumber daya fosfor yang terbatas menimbulkan kekhawatiran tentang keberlanjutan penggunaan pupuk fosfor dalam jangka panjang (Cordell and White, 2011). Oleh karena itu, penelitian terkini berfokus pada pengembangan metode yang lebih efisien dalam penggunaan fosfor dan pemanfaatan sumber fosfor alternatif (Withers et al., 2015). Kelebihan dan kekurangan pupuk fosfor disajikan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 7. 2. Kelebihan dan kekurangan pupuk Tunggal fosfor

Kelebihan	Kekurangan
1. Aplikasi yang tepat sasaran: Memungkinkan penambahan fosfor tanpa menambahkan unsur hara lain yang mungkin sudah cukup di dalam tanah (Havlin et al., 2017).	1. Efisiensi penggunaan rendah: Hanya sekitar 10-30% fosfor yang ditambahkan dapat diserap oleh tanaman (Syers, Johnston and Curtin, 2008).
2. Fleksibilitas dalam formulasi: Dapat dengan mudah dicampur dengan pupuk lain untuk membuat pupuk majemuk sesuai kebutuhan spesifik (Roy et al., 2006).	2. Potensi pencemaran lingkungan: Kelebihan fosfor dapat menyebabkan eutrofikasi pada badan air (Withers et al., 2015).
3. Cepat tersedia bagi tanaman: Bentuk fosfor dalam pupuk tunggal umumnya mudah larut dan segera tersedia bagi tanaman (Havlin et al., 2017).	3. Fiksasi fosfor: Dalam tanah tertentu, fosfor dapat terikat dengan kation seperti Al^{3+} dan Fe^{3+} , mengurangi ketersediaannya bagi tanaman (Hinsinger, 2001).
4. Ekonomis: Umumnya lebih murah per unit P_2O_5 dibandingkan dengan pupuk majemuk (Roy et al., 2006).	4. Ketergantungan pada sumber daya terbatas: Sumber utama fosfor (batuan fosfat) adalah sumber daya tidak terbarukan (Cordell, Drangert and White, 2009).
5. Membantu perkembangan akar: Fosfor sangat penting untuk pertumbuhan akar, terutama pada tahap awal pertumbuhan tanaman	5. Ketidakseimbangan nutrisi: Penggunaan berlebihan pupuk tunggal fosfor dapat menyebabkan ketidakseimbangan nutrisi

Kelebihan	Kekurangan
(Schachtman, Reid and Ayling, 1998).	dalam tanah (Gao et al., 2019).
6. Meningkatkan kualitas hasil panen: Fosfor berperan penting dalam pembentukan buah dan biji (Schachtman, Reid and Ayling, 1998).	6. Penyimpanan dan penanganan: Beberapa bentuk pupuk fosfor bersifat higroskopis dan memerlukan penyimpanan khusus (Havlin et al., 2017).
7. Memfasilitasi fiksasi nitrogen: Pada tanaman legum, fosfor mendukung proses fiksasi nitrogen oleh bakteri simbiotik (Johansen, Lee and Sahrawat, 1991).	7. Potensi ketidaksesuaian dengan pupuk lain: Beberapa bentuk pupuk fosfor tidak kompatibel jika dicampur dengan pupuk tertentu (Roy et al., 2006).

7.2.3 Pupuk Kalium (K)

Kalium (K) merupakan salah satu dari tiga unsur hara makro utama yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar, bersama dengan nitrogen (N) dan fosfor (P). Pupuk tunggal kalium memainkan peran vital dalam meningkatkan produktivitas tanaman, kualitas hasil panen, dan ketahanan tanaman terhadap berbagai tekanan biotik dan abiotik (Zörb, Senbayram and Peiter, 2014). Tulisan ini akan membahas karakteristik, peran, serta implikasi penggunaan pupuk tunggal kalium dalam konteks pertanian modern dan berkelanjutan.

Pupuk tunggal kalium tersedia dalam beberapa bentuk, dengan kalium klorida (KCl) atau muriate of potash (MOP) sebagai yang paling umum digunakan, menyumbang sekitar 95% dari produksi pupuk K global (Ciceri, Manning and Allanore, 2015). Bentuk lain termasuk kalium sulfat (K_2SO_4) atau sulfate of potash (SOP), dan kalium nitrat (KNO_3). KCl umumnya mengandung 60-62% K_2O , sementara K_2SO_4 mengandung 50-52% K_2O (Havlin et al., 2017).

Pupuk tunggal kalium tetap menjadi komponen kritis dalam sistem pertanian modern. Penggunaannya yang tepat dapat secara signifikan meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian, serta meningkatkan ketahanan tanaman terhadap berbagai stres. Namun, manajemen K yang optimal memerlukan pemahaman mendalam tentang dinamika K dalam sistem tanah-tanaman dan pendekatan holistik yang mempertimbangkan aspek agronomis, ekonomi, dan lingkungan.

Kalium memiliki beberapa fungsi penting dalam tanaman, termasuk:

- a. Aktivasi enzim: Kalium mengaktifkan lebih dari 60 enzim yang terlibat dalam berbagai proses metabolisme tanaman (Wang et al., 2013).
- b. Regulasi osmotik: Berperan dalam mengatur tekanan turgor sel dan membuka-menutupnya stomata (Nieves-Cordones *et al.*, 2014).
- c. Translokasi fotosintat: Membantu dalam transportasi gula dari daun ke organ penyimpanan (Nieves-Cordones *et al.*, 2014).
- d. Peningkatan ketahanan terhadap stres: Meningkatkan toleransi tanaman terhadap kekeringan, salinitas, dan serangan hama penyakit (Cakmak, 2005).

Beberapa keuntungan dan kekurangan penggunaan pupuk kalium dapat dilihat pada Tabel 7.3

Tabel 7. 3. Keuntungan dan kekurangan pupuk kalium

Keuntungan	Kekurangan
Meningkatkan kualitas hasil panen	Potensi ketidakseimbangan nutrisi jika berlebihan
Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres	Risiko peningkatan salinitas tanah (terutama KCl)
Mengoptimalkan penggunaan air oleh tanaman	Biaya yang relatif tinggi per unit K
Meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen	Distribusi cadangan K yang tidak merata secara geografis
Fleksibel dalam aplikasi dan pencampuran	Potensi pencucian K pada tanah berpasir

Sumber: (Zörb, Senbayram and Peiter, 2014; Sardans and Peñuelas, 2015; Havlin et al., 2017)

Efisiensi penggunaan kalium oleh tanaman umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan nitrogen atau fosfor, dengan kisaran 50-60% . Namun, efisiensi ini dapat bervariasi tergantung pada:

- a) Jenis tanah dan kapasitas fiksasi K
- b) Jenis tanaman dan tahap pertumbuhan
- c) Metode dan waktu aplikasi pupuk
- d) Interaksi dengan unsur hara lain (Römheld and Kirkby, 2010)

Dibandingkan dengan pupuk N dan P, pupuk K umumnya memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah. Namun, penggunaan berlebihan dapat menyebabkan:

- a) Ketidakseimbangan nutrisi dalam tanah
- b) Peningkatan salinitas tanah, terutama dengan penggunaan KCl
- c) Potensi pencemaran air tanah, meskipun dalam skala yang lebih kecil dibandingkan N (Sardans and Peñuelas, 2015)

Meskipun sumber daya kalium lebih melimpah dibandingkan fosfor, ada kekhawatiran tentang keberlanjutan pasokan jangka panjang dan distribusi geografis yang tidak merata dari cadangan K (Manning, 2010). Penelitian terkini berfokus pada:

- a) Pengembangan pupuk K slow-release
- b) Peningkatan efisiensi penggunaan K melalui pemupukan presisi
- c) Eksplorasi sumber K alternatif, termasuk daur ulang limbah organik (Mikkelsen, 2008).

7.3 Keuntungan dan Kekurangan Pupuk Tunggal

Penggunaan pupuk tunggal menawarkan fleksibilitas dan presisi dalam manajemen nutrisi tanaman, namun memerlukan pengetahuan dan pengelolaan yang cermat untuk memaksimalkan manfaat dan meminimalkan risiko. Keputusan penggunaan pupuk tunggal harus didasarkan pada analisis tanah, kebutuhan tanaman, dan pertimbangan lingkungan serta ekonomi. Penggunaan pupuk tunggal memiliki berbagai keuntungan yang dapat mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara optimal.

Berikut ini adalah beberapa keuntungan utama dari aplikasi penggunaan pupuk tunggal (Fageria, 2014; Havlin *et al.*, 2017):

a. Pengaplikasian presisi

Penggunaan pupuk tunggal memungkinkan petani untuk mengatur dosis dan komposisi pupuk sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman berdasarkan analisis tanah dan kebutuhan nutrisi tanaman. Hal ini membantu dalam mengatasi permasalahan kekurangan unsur tertentu untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara optimal.

b. Suplai nutrisi khusus

Pupuk tunggal digunakan ketika tanaman membutuhkan suplai nutrisi khusus dan tidak membutuhkan unsur hara lainnya secara besar-besaran. Ini memungkinkan petani untuk mengatur secara terpisah kebutuhan nutrisi tanaman, terutama ketika tanaman membutuhkan konsentrasi tertentu dari satu unsur hara tanpa mengganggu keseimbangan dengan unsur hara lain.

c. Meningkatkan pertumbuhan dan kualitas tanaman

1. Nitrogen (N): Pupuk nitrogen dikenal sebagai sumber nutrisi utama untuk pertumbuhan daun dan batang tanaman. Manfaatnya meliputi peningkatan pertumbuhan tanaman, warna hijau yang lebih intens, dan meningkatkan daya tahan terhadap hama dan penyakit.
2. Fosfor (P): Pupuk fosfor meningkatkan sistem perakaran tanaman, membantu pembentukan biji, dan meningkatkan kualitas buah. Tanaman yang mendapatkan cukup fosfor cenderung memiliki daya tahan terhadap stress lingkungan yang baik.
3. Kalium (K): Pupuk kalium diperlukan untuk regulasi tekanan osmotik dalam tanaman, pembentukan buah, peningkatan daya tahan tanaman terhadap penyakit, serta resistensi

terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan.

d. Efisiensi penggunaan

Pupuk tunggal meminimalkan risiko overdosis unsur hara tertentu karena unsur hara lainnya tidak hadir dalam kemasan yang sama. Hal ini membantu dalam menjaga keseimbangan nutrisi dalam tanah dan mengurangi potensi kerusakan lingkungan akibat penggunaan pupuk yang berlebihan.

e. Mendukung pertanian berkelanjutan

Penggunaan pupuk tunggal mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan dengan memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan sehingga dapat memberikan kontribusi positif terhadap produktivitas pertanian.

Meskipun pupuk tunggal memiliki beberapa kelebihan, penggunaannya juga memiliki sejumlah kelemahan yang perlu diperhatikan. Petani harus mempertimbangkan keseimbangan nutrisi, potensi overdosis, dampak lingkungan, dan kebutuhan spesifik tanah serta tanaman untuk mengoptimalkan hasil pertanian dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Berikut ini adalah beberapa kelemahan utama dari aplikasi pupuk tunggal (Fageria, 2014; Havlin et al., 2017):

a. Kurang lengkap dalam penyediaan nutrisi

Pupuk tunggal cenderung kurang lengkap dalam memberikan nutrisi secara menyeluruh seperti pupuk majemuk yang mengandung beberapa unsur hara sekaligus. Hal ini dapat menyebabkan tanaman mengalami kekurangan unsur hara lainnya yang juga penting untuk pertumbuhan dan perkembangan yang optimal.

- b. Potensi kekurangan nutrisi lain
Tanaman yang hanya diberikan pupuk tunggal berpotensi mengalami kekurangan nutrisi lain yang tidak tercakup dalam pupuk tersebut. Kekurangan ini dapat mempengaruhi produktivitas dan kualitas tanaman dalam jangka panjang.
- c. Sulit menyesuaikan dengan kondisi tanah yang berbeda
Setiap jenis tanah memiliki karakteristik dan kebutuhan nutrisi yang berbeda. Penggunaan pupuk tunggal dapat menyulitkan penyesuaian dengan kondisi tanah yang spesifik, sehingga tidak semua kebutuhan nutrisi tanaman dapat terpenuhi dengan baik.
- d. Risiko overdosis
Penggunaan pupuk tunggal meningkatkan risiko overdosis unsur hara tertentu jika dosis dan frekuensi pemupukan tidak diatur dengan tepat. Overdosis dapat merusak tanaman dan lingkungan sekitarnya.
- e. Meningkatkan keasaman tanah
Penggunaan pupuk kimia, termasuk pupuk tunggal, dapat menyebabkan peningkatan keasaman tanah. Hal ini dapat mempengaruhi kesuburan tanah dan kesehatan tanaman dalam jangka panjang.
- f. Ketergantungan pada satu unsur hara
Penggunaan pupuk tunggal secara berkelanjutan dapat membuat tanaman menjadi tergantung pada satu unsur hara tertentu. Hal ini dapat mengurangi kemampuan tanaman untuk memanfaatkan sumber daya alami dalam tanah dan mempengaruhi keseimbangan nutrisi tanaman.
- g. Dampak lingkungan
Penggunaan pupuk tunggal yang berlebihan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan akibat aliran unsur hara yang berlebih ke perairan dan tanah. Hal ini dapat berdampak negatif pada ekosistem dan kesehatan lingkungan.

- h. Memerlukan waktu dan usaha lebih
Penggunaan pupuk tunggal memerlukan lebih banyak waktu dan usaha dalam pengaplikasiannya karena petani harus mengatur dosis dan frekuensi pemupukan dengan lebih teliti untuk setiap unsur hara yang dibutuhkan tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Brock, W.H. (2022) Justus von Liebig: The Chemical Gatekeeper.
- Cakmak, I. (2005) 'The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants', in Journal of Plant Nutrition and Soil Science, pp. 521–530. Available at: <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>.
- Chien, S.H., Prochnow, L.I. and Cantarella, H. (2009) 'Chapter 8 Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts', Advances in Agronomy. Academic Press Inc., pp. 267–322. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(09\)01008-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(09)01008-6).
- Ciceri, D., Manning, D.A.C. and Allanore, A. (2015) 'Historical and technical developments of potassium resources', Science of the Total Environment. Elsevier B.V., pp. 590–601. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.013>.
- Cordell, D., Drangert, J.O. and White, S. (2009) 'The story of phosphorus: Global food security and food for thought', Global Environmental Change, 19(2), pp. 292–305. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.10.009>.
- Cordell, D. and White, S. (2011) 'Peak phosphorus: Clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security', Sustainability. MDPI, pp. 2027–2049. Available at: <https://doi.org/10.3390/su3102027>.
- Fageria, N.K.. (2014) Mineral nutrition of rice. CRC Press.

- Gao, X. song et al. (2019) 'Spatial variability of soil total nitrogen, phosphorus and potassium in Renshou County of Sichuan Basin, China', *Journal of Integrative Agriculture*, 18(2), pp. 279–289. Available at: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62069-6](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62069-6).
- Havlin, J.L. et al. (2017) *SOIL FERTILITY AND FERTILIZERS AN INTRODUCTION TO NUTRIENT MANAGEMENT*. 8th edn. Tamil Nadu, India: Pearson India Education Services. Available at: www.pearson.co.in.
- Hinsinger, P. (2001) Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review, *Plant and Soil*.
- Johansen, C.A., Lee, K.K. and Sahrawat, K.L.. (1991) *Phosphorous nutrition of grain legumes in the semi-arid tropics*. 1st edn. India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
- Manning, D.A.C. (2010) 'Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review', *Agron. Sustain. Dev*, 30, pp. 281–294. Available at: <https://doi.org/10.1051/agro/2009023i>.
- Mikkelsen, R. (2008) 'Managing Potassium for Organic Crop Production', *Better Crops*, 92(2), pp. 26–29. Available at: www.ipni.net/organic/kreferences.
- Nieves-Cordones, M. et al. (2014) 'K⁺ uptake in plant roots. The systems involved, their regulation and parallels in other organisms', *Journal of Plant Physiology*, 171(9), pp. 688–695. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.09.021>.

- Römheld, V. and Kirkby, E.A. (2010) 'Research on potassium in agriculture: Needs and prospects', *Plant and Soil*, 335(1), pp. 155–180. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0520-1>.
- Roy, R.N. et al. (2006) *Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management*. 1st edn. Rome: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Available at: <http://www.fao.org>.
- Sardans, J. and Peñuelas, J. (2015) 'Potassium: A neglected nutrient in global change', *Global Ecology and Biogeography*, pp. 261–275. Available at: <https://doi.org/10.1111/geb.12259>.
- Sattari, S.Z. et al. (2012) 'Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle', *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(16), pp. 6348–6353. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1113675109>.
- Schachtman, D.P., Reid, R.J. and Ayling, S.M. (1998) 'Update on Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell', *Plant Physiol*, 116, pp. 447–453. Available at: <https://academic.oup.com/plphys/article/116/2/447/6085629>.
- Stewart, W.M. et al. (2005) 'The Contribution of Commercial Fertilizer Nutrients to Food Production', *Agronomy Journal*. Published by American Society of Agronomy. All copyrights reserved. *Agronomy Journal*, 97(1), pp. 1–6.

- Syers, J.K., Johnston, A.E. and Curtin, Denis. (2008) Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use: reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Trenkel, M.E. (2010) Slow-and Controlled-Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Use Efficiency in Agriculture. Available at: www.fertilizer.org.
- Wang, M. et al. (2013) 'The critical role of potassium in plant stress response', International Journal of Molecular Sciences. MDPI AG, pp. 7370–7390. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>.
- Withers, P.J.A. et al. (2015) 'Greening the global phosphorus cycle: How green chemistry can help achieve planetary P sustainability', Green Chemistry, 17(4), pp. 2087–2099. Available at: <https://doi.org/10.1039/c4gc02445a>.
- Zörb, C., Senbayram, M. and Peiter, E. (2014) 'Potassium in agriculture - Status and perspectives', Journal of Plant Physiology, 171(9), pp. 656–669. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>.

BAB 8

UNSUR MIKRO PUPUK

Oleh Ida Ayu Suci

8.1 Pendahuluan

Pada usaha pertanian modern, peningkatan hasil panen dan kualitas tanaman menjadi fokus utama. Salah satu faktor kunci yang menentukan keberhasilan budidaya tanaman adalah pemenuhan kebutuhan nutrisi tanaman secara optimal. Nutrisi yang dibutuhkan tanaman terbagi menjadi dua kelompok besar, yaitu unsur makro dan unsur mikro. Unsur makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) dibutuhkan dalam jumlah besar, sementara unsur mikro dibutuhkan dalam jumlah kecil tetapi sangat vital untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

Unsur mikro merupakan elemen penting yang berperan dalam berbagai proses fisiologis dan biokimia dalam tanaman. Meskipun jumlah yang dibutuhkan oleh tanaman relatif kecil, kekurangan unsur mikro dapat berdampak signifikan pada kualitas dan kuantitas hasil panen. Unsur mikro seperti besi (Fe), mangan (Mn), zinc (Zn), tembaga (Cu), boron (B), molibdenum (Mo), klor (Cl), dan nikel (Ni) memainkan peran esensial dalam pembentukan klorofil, aktivitas enzim, pembelahan sel, dan fiksasi nitrogen. Semua jenis tanaman, baik itu tanaman pangan, hortikultura, atau perkebunan, membutuhkan unsur mikro untuk tumbuh secara optimal. Ketersediaan unsur mikro di dalam tanah seringkali tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan tanaman, terutama

pada lahan yang sudah sering digunakan untuk pertanian. Faktor-faktor seperti pencucian oleh air hujan, fiksasi oleh partikel tanah, dan pengambilan oleh tanaman sebelumnya dapat mengurangi ketersediaan unsur mikro (Gailite *et al.*, 2023).

Kekurangan unsur mikro dalam tanah dapat menyebabkan berbagai masalah pada tanaman, seperti klorosis, pertumbuhan yang terhambat, penurunan hasil panen, dan kualitas produk yang buruk. Oleh karena itu, pemberian pupuk yang mengandung unsur mikro menjadi penting untuk memastikan tanaman mendapatkan semua nutrisi yang dibutuhkan. Penggunaan pupuk mikro telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk makro dan memperbaiki kondisi pertumbuhan tanaman. Pada praktik pertanian, pengetahuan tentang pentingnya unsur mikro dan cara aplikasinya yang tepat dapat membantu petani mengoptimalkan hasil dan kualitas produksi tanaman mereka.

Berbagai faktor dapat mempengaruhi ketersediaan unsur mikro di dalam tanah, seperti pH tanah, jenis tanah, kandungan bahan organik, dan interaksi dengan unsur hara lainnya. Misalnya, pH tanah yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menghambat penyerapan unsur mikro oleh tanaman. Selain itu, keberadaan unsur hara makro dalam jumlah berlebihan dapat menyebabkan antagonisme, yang mengurangi ketersediaan unsur mikro bagi tanaman.

Penggunaan pupuk mikro yang tepat dan terarah menjadi solusi untuk mengatasi defisiensi unsur mikro. Teknologi pertanian modern juga telah mengembangkan berbagai bentuk pupuk mikro, mulai dari pupuk cair hingga granul, yang memudahkan aplikasi dan penyerapan oleh tanaman. Selain itu, metode pemupukan yang lebih canggih, seperti pemupukan melalui daun (*foliar application*) dan fertigasi (pemupukan melalui irigasi), semakin memperluas peluang untuk

meningkatkan efisiensi penggunaan unsur mikro. Penelitian juga menunjukkan bahwa pemberian pupuk mikro dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan seperti kekeringan, serangan hama, dan penyakit. Hal ini karena unsur mikro berperan dalam memperkuat struktur sel tanaman, meningkatkan aktivitas enzim yang penting untuk metabolisme, dan mendukung sistem pertahanan tanaman.

Dalam konteks pertanian berkelanjutan, penggunaan pupuk mikro yang efisien tidak hanya berdampak pada peningkatan produksi tetapi juga pada kesehatan tanah dalam jangka panjang. Tanah yang dipelihara dengan baik, termasuk dalam hal keseimbangan unsur mikro, akan tetap produktif dan mampu mendukung pertanian yang berkelanjutan.

8.2 Besi (Fe)

Besi (Fe) adalah salah satu unsur hara mikro esensial yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Besi diperlukan dalam jumlah kecil, tetapi memainkan peran kunci dalam berbagai proses biokimia, termasuk fotosintesis, respirasi, metabolisme nitrogen, dan pembentukan klorofil. Pupuk yang mengandung besi digunakan untuk memastikan tanaman mendapatkan cukup unsur hara ini, terutama di tanah yang kekurangan besi atau di mana ketersediaan besi rendah karena kondisi tertentu. Peran besi dalam tanaman antara lain:

1. Sintesis Klorofil

Besi adalah komponen penting dalam sintesis klorofil, meskipun bukan bagian dari struktur klorofil itu sendiri. Besi diperlukan sebagai kofaktor untuk enzim yang terlibat dalam biosintesis klorofil. Tanpa besi yang cukup, tanaman tidak dapat menghasilkan klorofil secara efisien, yang menyebabkan klorosis (menguningnya daun).

2. Fotosintesis

Besi adalah bagian integral dari protein yang terlibat dalam proses fotosintesis, termasuk sitokrom dan ferredoksin. Protein ini berperan dalam transfer elektron di rantai transpor elektron di dalam kloroplas, yang sangat penting untuk konversi energi cahaya menjadi energi kimia.

3. Respirasi Seluler

Dalam respirasi seluler, besi adalah komponen dari berbagai enzim sitokrom dan non-sitokrom yang berperan dalam rantai transpor elektron mitokondria. Enzim-enzim ini membantu dalam produksi ATP, yang merupakan sumber energi utama bagi sel.

4. Metabolisme Nitrogen

Besi terlibat dalam metabolisme nitrogen, termasuk dalam fungsi enzim nitrogenase dan nitrat reduktase, yang diperlukan untuk asimilasi nitrogen dalam tanaman. Proses ini penting untuk sintesis asam amino dan protein yang mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

5. Detoksifikasi Radikal Bebas

Besi adalah komponen dari enzim seperti katalase dan peroksidase, yang berfungsi dalam detoksifikasi radikal bebas dan hidrogen peroksida (H_2O_2) di dalam sel. Enzim-enzim ini melindungi sel tanaman dari kerusakan oksidatif yang disebabkan oleh stres lingkungan.

(Rout, 2015) (Jiang, Zou and Shi, 2007)

Besi sering terlibat dalam reaksi redoks (oksidasi-reduksi) karena kemampuannya untuk berubah antara dua bentuk valensi utamanya, yaitu Fe^{2+} (ferro) dan Fe^{3+} (ferri). Besi merupakan komponen dari beberapa protein yang terlibat dalam transfer elektron di kloroplas selama fotosintesis. Contoh utamanya adalah **sitokrom f** dan **sitokrom b6** yang berperan dalam rantai transpor elektron di tilakoid kloroplas. Pada respirasi seluler, terutama dalam rantai transpor elektron mitokondria, besi merupakan bagian penting dari kompleks sitokrom, termasuk **sitokrom c** dan **sitokrom oksidase**. Reaksi-

reaksi ini memungkinkan transport elektron dari NADH dan FADH_2 ke oksigen untuk menghasilkan ATP.

Besi adalah kofaktor dalam enzim yang terlibat dalam metabolisme nitrogen, seperti **nitrogenase** dan **nitrat reduktase**. Enzim-enzim ini membantu mengubah nitrogen atmosfer menjadi amonia (NH_3) atau nitrat (NO_3^-) menjadi nitrit (NO_2^-), yang kemudian dapat diubah menjadi ammonia. Besi dalam bentuk ferrous (Fe^{2+}) berperan sebagai pusat redoks yang penting dalam proses transfer elektron yang dibutuhkan untuk reaksi ini. Besi berperan dalam pembentukan klorofil meskipun tidak merupakan bagian dari struktur klorofil itu sendiri. Besi berfungsi sebagai kofaktor untuk enzim seperti **glutamat-1-semialdehid aminotransferase** dan **protochlorophyllide reductase**, yang penting dalam jalur biosintesis klorofil. Besi membantu dalam transfer elektron yang diperlukan untuk mengurangi protochlorophyllide menjadi chlorophyllide, langkah penting dalam pembentukan klorofil (Rai *et al.*, 2021).

Besi merupakan komponen penting dalam enzim antioksidan seperti **katalase** dan **peroksidase**. Enzim ini terlibat dalam reaksi penguraian hidrogen peroksida, yang merupakan produk samping berbahaya dari berbagai reaksi metabolik.

Kekurangan besi pada tanaman menyebabkan beberapa gejala yang khas termasuk salah satu gejala yang paling umum adalah klorosis (menguningnya daun) di antara urat daun pada daun muda. Ini disebabkan oleh ketidakmampuan tanaman untuk mensintesis klorofil secara efektif karena kurangnya besi. Tanaman yang kekurangan besi sering menunjukkan pertumbuhan yang terhambat atau kerdil. Daun tanaman yang kekurangan besi seringkali menjadi pucat dan lemah, menunjukkan tanda-tanda nekrosis atau kematian jaringan, terutama pada ujung daun. Kekurangan besi juga dapat

mengakibatkan penurunan pembentukan bunga dan buah, yang pada akhirnya dapat mengurangi hasil panen dan kualitas buah.

Untuk mengatasi defisiensi besi pada tanaman, beberapa jenis pupuk yang mengandung besi dapat digunakan antara lain (a) sulfat besi (FeSO_4). Sulfat besi adalah bentuk pupuk besi yang larut dalam air dan sering digunakan untuk mengatasi kekurangan besi. Pupuk ini dapat diaplikasikan ke tanah atau digunakan sebagai semprotan daun (foliar spray). Namun, di tanah dengan pH tinggi (alkalis), besi sulfat dapat mengendap dan menjadi tidak tersedia bagi tanaman; (b) besi chelate (Fe-EDTA , Fe-DTPA , Fe-EDDHA). Chelate besi adalah bentuk pupuk besi yang dirancang untuk tetap larut dan tersedia bagi tanaman di berbagai pH tanah. Pupuk ini sering lebih efektif daripada sulfat besi di tanah yang basa atau alkalis. Fe-EDDHA adalah salah satu chelate besi yang paling stabil di tanah dengan pH tinggi; (c) iron humate adalah bentuk pupuk besi yang diikat dengan bahan organik (humic substances), yang meningkatkan ketersediaan besi dan juga memperbaiki struktur tanah; (d) sequestrene adalah pupuk besi dalam bentuk chelate yang sangat stabil dan sering digunakan dalam hortikultura untuk tanaman yang rentan terhadap defisiensi besi; (e) penambahan bahan organik seperti kompos atau pupuk kandang dapat meningkatkan ketersediaan besi di tanah dengan meningkatkan aktivitas mikroba dan struktur tanah, serta menurunkan pH tanah (Hindt and Guerinot, 2012).

8.3 Mangan (Mn)

Mangan (Mn) merupakan salah satu unsur hara mikro yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah yang sangat kecil dibandingkan dengan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, mangan memiliki peran yang krusial dalam berbagai

proses fisiologis tanaman. Mangan berperan dalam berbagai proses fisiologis dan biokimia, seperti **Fotosintesis**: mangan penting untuk proses fotosintesis, terutama dalam pembentukan oksigen melalui reaksi pemecahan air di dalam fotosistem II. **Metabolisme nitrogen**: mangan berperan dalam sintesis klorofil dan juga dalam metabolisme nitrogen, yang penting untuk sintesis protein. **Aktivasi enzim**: mangan berfungsi sebagai kofaktor atau aktivator untuk beberapa enzim yang terlibat dalam proses metabolisme penting, termasuk enzim yang berperan dalam pembentukan lignin (komponen struktural penting dalam dinding sel tanaman). **Pertumbuhan akar**: mangan berperan dalam pertumbuhan akar dan resistensi tanaman terhadap patogen (Shenkin, 2006).

Reaksi mangan (Mn) di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah, terutama oleh pH, redoks, dan ketersediaan oksigen. Berikut adalah beberapa reaksi utama yang mempengaruhi mangan dalam tanah :

1. **Reaksi oksidasi dan reduksi (Redoks)**

Mangan di dalam tanah terutama ada dalam dua bentuk oksidasi yaitu Mn^{2+} dan Mn^{4+} . Mn^{2+} (mangan larut atau mangan tereduksi) ini adalah bentuk mangan yang tersedia bagi tanaman dan cenderung larut dalam air tanah. Bentuk ini lebih banyak terdapat di tanah dengan kondisi anaerob (kekurangan oksigen) atau tanah yang bersifat reduktif, seperti tanah basah atau berair. Mn^{4+} (mangan oksida atau mangan teroksidasi) ini adalah bentuk mangan yang tidak larut dan kurang tersedia bagi tanaman. Mn^{4+} umumnya ada dalam bentuk oksida mangan (MnO_2), yang terbentuk di tanah dengan kondisi aerobik (tersedia oksigen) dan pH lebih tinggi (lebih basa). Dalam kondisi tanah yang aerobik, mangan cenderung teroksidasi menjadi Mn^{4+} dan menjadi kurang tersedia bagi tanaman. Sebaliknya, dalam kondisi anaerobik atau di

tanah yang tergenang air, mangan akan mengalami reduksi menjadi Mn^{2+} , yang lebih mudah diserap oleh akar tanaman.

2. Pengaruh pH Tanah

pH tanah adalah faktor utama yang mempengaruhi ketersediaan mangan. Tanah asam (pH rendah), mangan lebih tersedia dalam bentuk Mn^{2+} yang larut dalam kondisi asam. Ini berarti tanaman lebih mudah menyerap mangan dari tanah dengan pH yang lebih rendah. Tanah Basa (pH tinggi), di tanah dengan pH lebih tinggi, mangan cenderung berada dalam bentuk teroksidasi (Mn^{4+}), yang kurang larut dan kurang tersedia bagi tanaman.

3. Adsorpsi dan Desorpsi

Mangan dalam bentuk Mn^{2+} dapat diadsorpsi (menempel) pada permukaan partikel tanah seperti lempung dan bahan organik. Proses adsorpsi ini dipengaruhi oleh pH, kation lain di dalam tanah, dan jumlah bahan organik. Pada pH tinggi, mangan lebih cenderung diadsorpsi ke partikel tanah, mengurangi ketersediaannya bagi tanaman. Sebaliknya, pada pH rendah, mangan lebih mudah desorpsi (terlepas) dari partikel tanah dan menjadi lebih tersedia.

4. Kompleksasi dengan Bahan Organik

Mangan juga dapat membentuk kompleks dengan bahan organik di dalam tanah. Senyawa kompleks ini bisa menjadi sumber mangan yang tersedia secara perlahan bagi tanaman. Aktivitas mikroba di tanah juga mempengaruhi transformasi mangan melalui proses oksidasi dan reduksi yang mereka lakukan, yang dapat mengubah bentuk mangan menjadi lebih atau kurang tersedia.

5. Reaksi dengan Bahan Anorganik Lainnya

Mangan dapat berinteraksi dengan unsur lain dalam tanah, seperti besi (Fe), fosfor (P), dan kalsium (Ca). Misalnya, di tanah dengan konsentrasi besi tinggi, mangan bisa bersaing untuk adsorpsi di permukaan partikel tanah. Fosfat dalam jumlah tinggi juga bisa mengendapkan mangan, membentuk senyawa yang tidak larut dan mengurangi ketersediaannya.

(Sparrow and Uren, 2018)

Defisiensi (kekurangan) **mangan** dapat menyebabkan berbagai masalah pada tanaman, seperti daun muda yang menguning (klorosis) dengan pola hijau tua di sepanjang urat daun, pertumbuhan terhambat, dan kualitas hasil panen yang menurun. Sebaliknya, kelebihan mangan juga dapat menjadi toksik bagi tanaman, menyebabkan gejala seperti bercak daun coklat atau nekrosis. Untuk mencegah defisiensi atau kelebihan mangan, penting untuk memonitor dan mengelola kadar mangan dalam tanah, biasanya melalui analisis tanah dan penggunaan pupuk yang tepat jika diperlukan (Chaudhry *et al.*, 2021).

Untuk mencegah defisiensi maupun kelebihan Mn dalam tanah, penting untuk memahami dan mengelola kondisi tanah secara efektif. Beberapa strategi yang dapat digunakan untuk mengatasi dan mencegah masalah terkait ketersediaan mangan antara lain melakukan pengujian tanah secara berkala untuk menentukan kadar mangan dan unsur hara lainnya sangat penting. Hal ini akan membantu mengidentifikasi kondisi tanah, seperti pH, kadar bahan organik, dan kapasitas redoks, yang mempengaruhi ketersediaan mangan. Selain analisis tanah, analisis jaringan tanaman (daun) juga dapat membantu mendeteksi gejala defisiensi atau toksisitas mangan lebih awal, karena konsentrasi mangan dalam jaringan tanaman dapat

mencerminkan status mangan di tanah. Jika tanah terlalu asam (pH rendah), mangan lebih mudah larut dan dapat menyebabkan toksisitas. Pengapuran (penambahan kapur) dapat digunakan untuk menaikkan pH tanah, yang akan mengurangi kelarutan mangan dan risiko toksisitas. Untuk tanah yang terlalu basa (pH tinggi), di mana mangan kurang tersedia, dapat digunakan sulfur atau pupuk yang mengandung amonium sulfat untuk menurunkan pH tanah, meningkatkan kelarutan mangan, dan membuatnya lebih tersedia bagi tanaman.

Di tanah yang sering tergenang air atau dengan kondisi anaerobik, mangan lebih cenderung berada dalam bentuk tereduksi (Mn^{2+}), yang berisiko menyebabkan toksisitas. Meningkatkan drainase tanah dapat membantu menjaga kondisi aerobik dan mengurangi risiko akumulasi mangan berlebihan. **Pengelolaan irigasi yang tepat dengan** memastikan irigasi yang tepat untuk menghindari over-irigasi atau genangan air dapat membantu menjaga keseimbangan antara mangan yang tersedia dan kondisi tanah yang optimal.

Jika hasil analisis tanah menunjukkan defisiensi mangan, pupuk mikro yang mengandung mangan (seperti mangan sulfat atau chelate mangan) dapat diaplikasikan. Beberapa varietas tanaman memiliki toleransi yang lebih baik terhadap tingkat mangan yang tinggi atau rendah. Menggunakan varietas yang lebih toleran terhadap kondisi tanah yang berbeda dapat membantu mengurangi risiko defisiensi atau toksisitas mangan (Chaudhry *et al.*, 2021).

Rotasi tanaman dapat membantu mengurangi risiko penumpukan mangan dalam tanah dan menjaga keseimbangan unsur hara. Misalnya, tanaman yang kurang sensitif terhadap mangan dapat digunakan dalam rotasi untuk menyeimbangkan kadar mangan. Gulma dapat bersaing dengan tanaman utama

untuk mendapatkan unsur hara, termasuk mangan. Pengendalian gulma yang efektif akan memastikan tanaman utama memiliki akses yang cukup ke mangan di dalam tanah. Patogen tanah dapat mempengaruhi kesehatan tanaman dan kemampuan mereka untuk menyerap nutrisi, termasuk mangan. Mengendalikan patogen tanah melalui praktik pertanian yang baik dapat membantu mencegah defisiensi mangan yang disebabkan oleh kesehatan tanaman yang buruk.

8.4 Zinc (Zn)

Zink (Zn) adalah salah satu unsur hara mikro esensial yang diperlukan tanaman dalam jumlah kecil namun memiliki peran penting dalam berbagai proses fisiologis dan biokimia. Zink sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman karena terlibat dalam banyak fungsi metabolik. Berikut ini adalah peran utama zink dalam tanaman, gejala defisiensi, dan cara pengelolaannya:

1. **Sintesis enzim dan protein:** zink berfungsi sebagai kofaktor untuk lebih dari 300 enzim dalam tanaman yang terlibat dalam berbagai proses, termasuk sintesis protein, metabolisme karbohidrat, dan regulasi pertumbuhan. Enzim-enzim ini memainkan peran penting dalam pembelahan dan pertumbuhan sel.
2. **Sintesis asam nukleat:** zink terlibat dalam sintesis asam nukleat (DNA dan RNA), yang penting untuk pembelahan dan pertumbuhan sel. Ini membuat zink esensial untuk perkembangan jaringan baru.
3. **Sintesis hormon pertumbuhan (auxin):** zink berperan dalam sintesis hormon pertumbuhan, terutama auxin. Auxin penting untuk regulasi pertumbuhan tanaman, termasuk pemanjangan batang dan pembentukan akar. Defisiensi zink dapat menghambat sintesis auxin, menyebabkan gangguan pertumbuhan.

4. **Pertahanan tanaman dan toleransi stres:** zink terlibat dalam mekanisme pertahanan tanaman terhadap stres lingkungan, termasuk stres oksidatif. Zink membantu menjaga integritas membran sel dan berperan dalam mekanisme perlindungan tanaman terhadap pathogen.
5. **Pembentukan klorofil dan Fotosintesis:** Meskipun zink tidak secara langsung terlibat dalam sintesis klorofil, zink penting untuk stabilitas membran kloroplas dan fungsi enzim yang terkait dengan fotosintesis. Kekurangan zink dapat mengganggu fotosintesis dan mengurangi produksi klorofil
(Prajapati, Collegekalol and Patel, 2021).

Reaksi zink (Zn) pada tanaman melibatkan berbagai proses biokimia dan fisiologis. Zink adalah unsur hara mikro yang diperlukan dalam jumlah kecil tetapi memiliki peran penting dalam beberapa fungsi tanaman. Reaksi-reaksi ini terutama berkaitan dengan metabolisme, pertumbuhan, dan respon terhadap stres. Berikut adalah beberapa reaksi utama zink dalam tanaman:

1. Aktivasi Enzim

Zink berfungsi sebagai kofaktor bagi banyak enzim yang penting untuk berbagai proses biokimia dalam tanaman, termasuk **karbonat anhidrase**, enzim ini penting dalam fotosintesis, membantu tanaman mengubah karbon dioksida (CO_2) menjadi bikarbonat (HCO_3^-), yang diperlukan dalam siklus Calvin untuk sintesis karbohidrat. **RNA Polimerase**, zink berperan dalam fungsi RNA polimerase, yang terlibat dalam sintesis RNA. Enzim ini sangat penting untuk ekspresi gen dan sintesis protein yang mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman. **Alkohol dehidrogenase**, enzim ini memfasilitasi metabolisme alkohol dalam tanaman, terutama di akar

tanaman yang sering terpapar kondisi anaerobik atau kekurangan oksigen. Zink membantu dalam mengubah etanol menjadi asetaldehida, yang kemudian diubah menjadi asetat, membantu mengurangi stres akibat kondisi anaerobik.

2. Sintesis dan Stabilitas Protein

Zink terlibat dalam sintesis dan stabilitas protein dalam tanaman yaitu (a) **sintesis protein**, zink penting untuk stabilitas ribosom dan fungsi enzim yang terlibat dalam sintesis protein. Tanpa zink, proses translasi protein bisa terganggu, mengakibatkan pertumbuhan yang terhambat. (b) **proteksi terhadap denaturasi protein**, zink membantu menjaga struktur tiga dimensi protein, melindungi mereka dari denaturasi atau kerusakan akibat kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan, seperti suhu ekstrem atau kondisi oksidatif. (c) **sintesis asam nukleat (DNA dan RNA)**, zink diperlukan untuk sintesis dan perbaikan asam nukleat, termasuk DNA dan RNA. (d) **Sintesis DNA dan RNA**, zink berperan dalam aktivitas enzim yang terlibat dalam replikasi DNA dan transkripsi RNA, yang penting untuk pembelahan dan pertumbuhan sel. Kekurangan zink dapat menghambat pembelahan sel, mengurangi pertumbuhan jaringan baru, dan mengakibatkan pertumbuhan yang terhambat. (e) **replikasi dan transkripsi genetik**, dalam proses ini, zink mempengaruhi replikasi DNA dan transkripsi gen-gen penting yang terlibat dalam regulasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman.

3. Metabolisme Auxin

Auxin adalah hormon pertumbuhan utama yang mengatur berbagai aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman yaitu pada **sintesis auxin**

(Indole-3-Acetic Acid, IAA), zink memainkan peran penting dalam sintesis hormon pertumbuhan auxin. Auxin mengatur pemanjangan batang, pembentukan akar, dan pembentukan buah. Defisiensi zink dapat menyebabkan penurunan sintesis auxin, mengakibatkan pertumbuhan kerdil dan pengembangan akar yang buruk.

4. Detoksifikasi Stres Oksidatif

Zink memiliki peran dalam detoksifikasi stres oksidatif dan melindungi tanaman dari kerusakan oksidatif antara lain (a) **enzim antioksidan**, zink adalah kofaktor untuk enzim superoksida dismutase (Zn-SOD), yang mengubah superoksida (O_2^-) menjadi hidrogen peroksida (H_2O_2) dan oksigen (O_2), mengurangi kerusakan oksidatif pada sel-sel tanaman. Ini penting dalam kondisi stres lingkungan seperti kekeringan atau paparan logam berat; (b) **Peran dalam membran sel**, zink membantu menjaga integritas membran sel dengan menghambat lipid peroksidasi (kerusakan membran yang disebabkan oleh radikal bebas), yang penting untuk menjaga sel tetap sehat dan fungsional.

5. Pembentukan dan Stabilitas Kloroplas

Zink memainkan peran penting dalam pembentukan dan stabilitas kloroplas yaitu (a) **Pembentukan kloroplas**, zink diperlukan untuk pembentukan dan pemeliharaan struktur kloroplas, yang merupakan tempat utama fotosintesis dalam tanaman. Kekurangan zink dapat mengganggu pembentukan kloroplas, mengurangi efisiensi fotosintesis dan pembentukan klorofil. (b) **Stabilitas klorofil**, meskipun zink bukan komponen langsung klorofil, zink penting untuk enzim yang terlibat dalam biosintesis klorofil dan pemeliharaan klorofil, yang sangat penting untuk penangkapan energi cahaya.

6. Peran dalam Pembelahan Sel dan Pertumbuhan Tanaman

Zink sangat penting untuk proses pembelahan sel, yang mempengaruhi pertumbuhan keseluruhan tanaman yaitu pada **pembelahan dan pemanjangan sel**, zink diperlukan untuk aktivitas mitosis dan pemanjangan sel, mempengaruhi pembentukan jaringan baru dan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan. Kekurangan zink sering menyebabkan pertumbuhan yang lambat atau kerdil.

(Hafeez, Khanif and Saleem, 2013).

Defisiensi zink dapat menyebabkan berbagai masalah pada tanaman antara lain daun muda sering menunjukkan klorosis (menguning) antara urat daun, sementara urat tetap hijau. Hal ini disebabkan oleh gangguan dalam pembentukan klorofil. Daun yang terkena sering lebih kecil dari biasanya, dengan bentuk yang abnormal dan kadang-kadang tampak seperti "roset" karena pertumbuhan daun yang terhambat. Tanaman dengan defisiensi zink sering menunjukkan pertumbuhan yang lambat atau kerdil, dengan ruas batang yang pendek dan kurangnya perkembangan tunas. Defisiensi zink dapat mempengaruhi pembungaan dan perkembangan buah, mengakibatkan produksi buah yang rendah dan kualitas buah yang buruk.

Beberapa langkah yang dapat diambil dalam mencegah atau mengatasi defisiensi zink pada tanaman, yaitu (a) mengaplikasikan pupuk yang mengandung zink seperti zink sulfat (ZnSO_4) atau chelate zink (Zn-EDTA); (b) melakukan pengujian tanah secara teratur untuk memantau kadar zink dan unsur hara lainnya. Pemantauan ini membantu menentukan kebutuhan pupuk dan

menyesuaikan dosis aplikasi; (c) Zink lebih tersedia di tanah yang sedikit asam hingga netral (pH 5,5-7,0). Jika tanah terlalu basa, kelarutan zink menurun, dan defisiensi zink lebih mungkin terjadi. Penyesuaian pH tanah dengan bahan amandemen seperti sulfur atau bahan organik dapat membantu meningkatkan ketersediaan zink; (d) Penambahan bahan organik (seperti kompos atau pupuk kandang) dapat meningkatkan ketersediaan zink dengan memperbaiki struktur tanah dan aktivitas mikroba. Bahan organik juga dapat membantu menjaga zink dalam bentuk yang lebih tersedia bagi tanaman; (e) rotasi tanaman dengan jenis yang berbeda dapat membantu mengurangi risiko defisiensi zink dengan mencegah penipisan satu unsur hara di tanah. Pilihlah varietas tanaman yang lebih tahan terhadap defisiensi zink; (f) Memastikan irigasi yang tepat dapat membantu menghindari kondisi kering atau berair yang dapat mempengaruhi ketersediaan zink. Tanah yang terlalu kering atau tergenang air dapat membatasi penyerapan zink oleh akar tanaman (Saleem *et al.*, 2022).

8.5 Tembaga (Cu)

Tembaga (Cu) adalah salah satu unsur hara mikro esensial yang diperlukan oleh tanaman dalam jumlah yang sangat kecil, namun memiliki peran penting dalam berbagai proses fisiologis dan biokimia. Tembaga terlibat dalam beberapa fungsi penting di dalam tanaman, termasuk fotosintesis, respirasi, metabolisme protein, dan pertahanan terhadap patogen. Berikut ini adalah peran utama tembaga dalam tanaman, gejala defisiensi, dan cara pengelolaannya :

1. Komponen Enzim Penting

- (a) Enzim tembaga (Cuproenzim), tembaga adalah kofaktor untuk berbagai enzim penting (cuproenzim), termasuk polifenol oksidase, sitokrom oksidase, dan superoksida

dismutase (Cu-SOD). Enzim-enzim ini berperan dalam proses oksidasi-reduksi (redoks) dan melindungi tanaman dari kerusakan oksidatif; (b) Fotosintesis dan respirasi, tembaga terlibat dalam fotosintesis melalui perannya dalam plastosianin, sebuah protein yang mengangkut elektron selama proses fotosintesis di kloroplas. Ini penting untuk transfer elektron di dalam rantai transpor elektron fotosintesis dan respirasi.

2. Metabolisme Protein dan Karbohidrat

(a) Sintesis lignin, tembaga terlibat dalam pembentukan lignin, sebuah polimer yang memperkuat dinding sel tanaman. Lignin penting untuk ketahanan terhadap patogen dan memberikan kekuatan struktural pada tanaman. (b) Metabolisme karbohidrat, tembaga juga penting dalam metabolisme karbohidrat dan berperan dalam regulasi beberapa enzim yang terlibat dalam metabolisme gula.

3. Perlindungan terhadap Stres Oksidatif

Antioksidan, tembaga adalah kofaktor untuk enzim superoksida dismutase (Cu-SOD), yang mengubah superoksida (O_2^-) menjadi hidrogen peroksida (H_2O_2), mengurangi kerusakan oksidatif pada sel tanaman. Ini sangat penting untuk pertahanan terhadap stres lingkungan seperti kekeringan, suhu ekstrem, dan infeksi patogen.

4. Pengaturan Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman

Sintesis protein dan pembelahan sel, tembaga diperlukan untuk sintesis protein yang terlibat dalam pertumbuhan dan **perkembangan** tanaman. Ini mempengaruhi pembelahan sel, pemanjangan sel, dan perkembangan organ tanaman seperti daun dan akar.

5. Ketahanan terhadap Patogen

Pertahanan tanaman, tembaga membantu dalam memperkuat dinding sel dan meningkatkan ketahanan **tanaman** terhadap infeksi patogen. Tembaga juga terlibat dalam pembentukan metabolit sekunder yang berperan

dalam pertahanan tanaman. Reaksi-reaksi yang melibatkan tembaga terutama berkaitan dengan enzimatik dan metabolisme, fotosintesis, respirasi, pembentukan lignin, serta respon terhadap stress. Beberapa reaksi utama tembaga dalam tanaman pada aktivasi enzim dan reaksi redoks, tembaga berfungsi sebagai kofaktor bagi berbagai enzim yang terlibat dalam reaksi oksidasi-reduksi (redoks) dalam tanaman contoh enzim **superoksida dismutase (Cu-SOD)**, enzim ini berperan dalam detoksifikasi radikal bebas dengan mengubah superoksida (O_2^-) menjadi hidrogen peroksida (H_2O_2) dan oksigen (O_2). Ini sangat penting untuk melindungi sel-sel tanaman dari kerusakan oksidatif akibat stres lingkungan seperti kekeringan atau serangan patogen. Enzim polifenol oksidase terlibat dalam oksidasi fenol menjadi quinon, yang penting dalam proses browning pada tanaman dan pertahanan tanaman terhadap patogen.

Tembaga memainkan peran penting dalam fotosintesis, khususnya dalam transfer elektron antara lain tembaga adalah **komponen** esensial dari plastosianin, sebuah protein yang berfungsi sebagai pembawa elektron dalam rantai transpor elektron di kloroplas selama fotosintesis. Plastosianin mentransfer elektron dari kompleks sitokrom b6f ke fotosistem I, yang sangat penting untuk konversi energi cahaya menjadi energi kimia. Tembaga berperan dalam aktivitas enzim yang terlibat dalam biosintesis lignin, seperti lakase. Lignin memberikan kekuatan dan kekakuan pada dinding sel, yang penting untuk ketahanan struktural dan pertahanan terhadap patogen. Kekurangan tembaga dapat mengurangi pembentukan lignin, mengakibatkan batang yang lemah dan lebih rentan terhadap kerusakan. Tembaga diperlukan untuk stabilitas ribosom dan fungsi enzim yang terlibat dalam sintesis protein. Kekurangan

tembaga dapat menghambat sintesis protein, yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara keseluruhan. Tembaga terlibat dalam pembentukan kloroplas dan mempengaruhi stabilitas membran kloroplas. Kekurangan tembaga dapat mengganggu pembentukan kloroplas dan menyebabkan penurunan efisiensi fotosintesis.

Defisiensi tembaga dalam tanaman dapat menyebabkan berbagai gejala, termasuk klorosis (menguning) pada daun muda yang disebabkan oleh gangguan dalam metabolisme protein dan pembentukan klorofil, daun menggulung dan mati pucuk, **pertumbuhan terhambat dan kerdil**, penurunan pembentukan bunga dan buah, kelemahan mekanis pada **batang** dan cabang.

Untuk mencegah atau mengatasi defisiensi tembaga pada tanaman, beberapa langkah yang dapat diambil yaitu aplikasi pupuk yang **mengandung** tembaga seperti tembaga sulfat (CuSO_4) atau chelate tembaga (Cu-EDTA). Pupuk ini dapat diaplikasikan melalui tanah atau sebagai semprotan daun (foliar) untuk mempercepat penyerapan oleh tanaman. Tembaga lebih tersedia di tanah dengan pH rendah (sedikit asam). Pada tanah basa (pH tinggi), tembaga cenderung tidak larut dan kurang tersedia bagi tanaman. Menyesuaikan pH tanah dengan bahan amandemen seperti sulfur atau bahan organik dapat membantu meningkatkan ketersediaan tembaga. Penambahan bahan organik (seperti kompos atau pupuk kandang) dapat meningkatkan ketersediaan tembaga dengan memperbaiki struktur tanah dan aktivitas mikroba. Bahan organik juga dapat membantu menjaga tembaga dalam bentuk yang lebih tersedia bagi tanaman. Rotasi tanaman dengan jenis yang berbeda dapat membantu mengurangi risiko defisiensi tembaga dengan mencegah penipisan satu

unsur hara di tanah. Tanaman penutup juga dapat digunakan untuk menambah bahan organik ke dalam tanah. Memastikan irigasi yang tepat dapat membantu menghindari kondisi kering atau berair yang dapat mempengaruhi ketersediaan tembaga.

(Das *et al.*, 2018); (Saleem *et al.*, 2022).

8.6 Boron (B)

Boron (B) adalah salah satu unsur hara mikro esensial bagi tanaman. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah sangat kecil, boron memainkan peran penting dalam berbagai proses fisiologis dan biokimia dalam tanaman. Kekurangan boron dapat menyebabkan berbagai masalah pertumbuhan, sementara kelebihan boron juga dapat menjadi toksik bagi tanaman.

Peran boron bagi tanaman yaitu :

1. Pembentukan dan Stabilitas Dinding Sel

Boron berperan penting dalam pembentukan dan stabilitas dinding sel tanaman. Boron membantu mengikat pektin, komponen utama dinding sel, dan berkontribusi pada integritas struktural dinding sel. Tanpa boron yang cukup, dinding sel menjadi lemah, mengakibatkan pertumbuhan yang terhambat dan deformasi sel.

2. Transport Karbohidrat

Boron berperan dalam transport karbohidrat, terutama gula, dari daun ke bagian tanaman lain seperti akar dan buah. Boron memfasilitasi gerakan gula melalui membran sel dan jaringan pembuluh tanaman. Kekurangan boron dapat mengakibatkan akumulasi gula di daun dan menghambat pertumbuhan tanaman lainnya.

3. Metabolisme Asam Nukleat dan Protein

Boron diperlukan untuk sintesis dan stabilitas asam nukleat (DNA dan RNA) serta protein. Boron berperan dalam pembelahan dan pemanjangan sel dengan mempengaruhi metabolisme RNA, yang penting untuk pertumbuhan sel dan pembentukan jaringan baru.

4. Pertumbuhan dan Pemanjangan Akar

Boron mempengaruhi pertumbuhan akar dan pemanjangan sel akar. Akar yang tumbuh dengan baik penting untuk penyerapan air dan nutrisi dari tanah. Kekurangan boron dapat menyebabkan akar yang pendek dan abnormal, serta mengurangi kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi secara efektif.

5. Pembentukan dan Vitalitas Bunga

Boron berperan dalam pembentukan bunga, polinasi, dan pembentukan buah. Boron mempengaruhi viabilitas serbuk sari dan perkembangan tabung polen, yang penting untuk penyerbukan dan pembentukan buah yang sukses. Kekurangan boron dapat menyebabkan bunga dan buah yang tidak berkembang dengan baik atau gugur sebelum waktunya.

(Shireen *et al.*, 2018).

8.7 Unsur-unsur Mikro Bermanfaat Lainnya

1. Molibdenum (Mo)

Molibdenum (Mo) adalah salah satu unsur hara mikro yang esensial bagi tanaman, meskipun dibutuhkan dalam jumlah sangat kecil. Peran molibdenum dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman sangat penting karena terlibat dalam beberapa proses biokimia kunci, terutama yang terkait dengan metabolisme nitrogen. Kekurangan molibdenum dapat menyebabkan gangguan

pertumbuhan tanaman, sementara kelebihan molibdenum jarang terjadi tetapi dapat menjadi racun pada kadar yang sangat tinggi.

Peran molybdenum dalam tanaman yaitu untuk metabolisme nitrogen, sintesis asam amino dan protein, detoksifikasi dan pembentukan asam urat; pembentukan buah dan biji. Kekurangan molibdenum dapat menyebabkan berbagai gejala pada tanaman, tergantung pada spesies dan tingkat defisiensi. Beberapa gejala umum yaitu klorosis pada daun tua, pertumbuhan kerdil atau terhambat, menggulung dan nekrosis daun, produksi bunga dan buah yang rendah (Review, 2005).

2. Klorin (Cl)

Unsur mikro pupuk klorin adalah elemen penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Klorin (Cl) termasuk dalam kategori unsur mikro karena dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang sangat kecil, namun tetap sangat penting untuk beberapa proses fisiologis. Beberapa peran klorin dalam tanaman yaitu Klorin membantu dalam menjaga keseimbangan ionik di dalam sel, yang penting untuk menjaga tekanan turgor sel. Ini memungkinkan tanaman untuk menjaga kekakuan dan bentuk selnya. Klorin berperan dalam proses fotosintesis, terutama dalam pemisahan air (H_2O) selama reaksi cahaya untuk menghasilkan oksigen (O_2). Klorin membantu dalam transportasi nutrisi seperti kalium dan magnesium ke seluruh bagian tanaman. Klorin membantu dalam fungsi pembukaan dan penutupan stomata, yang penting untuk pertukaran gas dan pengaturan kehilangan air (transpirasi) pada daun.

Kekurangan klorin biasanya jarang terjadi karena klorin tersedia di tanah dan atmosfer. Namun, jika kekurangan klorin terjadi, tanaman dapat menunjukkan gejala seperti layu, bercak nekrotik pada daun tua, dan penurunan pertumbuhan. Pemberian pupuk yang mengandung klorin bisa membantu mengatasi defisiensi ini (Taylor, Street and Wt, 2010).

3. Nikel (Ni)

Nikel (Ni) adalah salah satu unsur mikro yang dibutuhkan oleh tanaman dalam jumlah yang sangat kecil. Meskipun peranannya dalam tanaman tidak sebesar unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, atau kalium, nikel tetap penting untuk beberapa fungsi fisiologis tanaman. Berikut adalah peran utama nikel dalam tanaman yaitu sebagai **aktivasi enzim urease**. Nikel sangat penting sebagai kofaktor untuk enzim urease, yang mengkatalisis pemecahan urea menjadi amonia dan karbon dioksida. Proses ini penting dalam metabolisme nitrogen di dalam tanaman. Nikel berperan dalam metabolisme nitrogen selain peran dalam aktivitas enzim urease. Tanpa nikel yang cukup, tanaman tidak dapat memproses nitrogen dengan efisien. Gejala kekurangan nikel yaitu akumulasi urea dalam daun, yang menyebabkan nekrosis pada tepi daun, penurunan pertumbuhan akar dan tajuk tanaman, daun yang menguning dan layu, terutama pada daun tua. Penggunaan pupuk yang mengandung nikel atau pengkayaan tanah dengan bahan organik dapat membantu memperbaiki defisiensi nikel pada tanaman. Namun, karena tanaman hanya membutuhkan nikel dalam jumlah yang sangat kecil, penting untuk tidak memberikan nikel secara berlebihan karena dapat menjadi toksik bagi tanaman (Sachan and Lal, 2017).

DAFTAR PUSTAKA

- Chaudhry, A.H. *et al.* (2021) 'Current Understandings on Magnesium Deficiency and Future Outlooks for Sustainable Agriculture'.
- Das, S.K. *et al.* (2018) 'Zinc in plant-soil system and management strategy Zinc in plant-soil system and management strategy', (April 2021). Available at: <https://doi.org/10.5958/2394-448X.2018.00001.9>.
- Gailite, A. *et al.* (2023) 'Ecophysiology of Endangered Plant Species *Saussurea esthonica*: Effect of Mineral Nutrient Availability and Soil Moisture', pp. 1–21.
- Hafeez, B., Khanif, Y.M. and Saleem, M. (2013) 'Role of Zinc in Plant Nutrition- A Review', 3(2), pp. 374–391.
- Hindt, M.N. and Guerinot, M. Lou (2012) 'Biochimica et Biophysica Acta Getting a sense for signals : Regulation of the plant iron deficiency response ☆', 1823, pp. 1521–1530. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.bbamcr.2012.03.010>.
- Jiang, C.D., Zou, Q. and Shi, L. (2007) 'Effects of iron deficiency on photosynthesis and photosystem II function in soybean leaf', (March).
- Prajapati, K., Collegekalol, S. and Patel, V. (2021) 'THE IMPORTANCE OF ZINC IN PLANT GROWTH – A REVIEW', (February).
- Rai, S. *et al.* (2021) 'Plant Stress Iron homeostasis in plants and its crosstalk with copper , zinc , and manganese', *Plant Stress*, 1(December 2020), p. 100008. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100008>.
- Review, I. (2005) 'The Role of Molybdenum in Agricultural Plant Production', pp. 745–754. Available at: <https://doi.org/10.1093/aob/mci226>.

- Rout, G.R. (2015) 'ROLE OF IRON IN PLANT GROWTH AND', (May). Available at: <https://doi.org/10.7831/ras.3.1>.
- Sachan, P. and Lal, N. (2017) 'An Overview of Nickel (Ni^{2+}) Essentiality , Toxicity and Tolerance Strategies in Plants', 2(4), pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.9734/AJOB/2017/33931>.
- Saleem, M.H. *et al.* (2022) 'Functions and strategies for enhancing zinc availability in plants for sustainable agriculture', (October), pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1033092>.
- Shenkin, A. (2006) 'Micronutrients in health and disease', pp. 559–567. Available at: <https://doi.org/10.1136/pgmj.2006.047670>.
- Shireen, F. *et al.* (2018) 'Boron : Functions and Approaches to Enhance Its Availability in Plants for Sustainable Agriculture', pp. 95–98. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijms19071856>.
- Sparrow, L.A. and Uren, N.C. (2018) 'Manganese oxidation and reduction in soils : Effects of temperature , water potential , pH and their interactions Manganese oxidation and reduction in soils : effects of temperature , water potential , pH and their interactions', (January 2014). Available at: <https://doi.org/10.1071/SR13159>.
- Taylor, P., Street, M. and Wt, L. (2010) 'Access details : Access Details : [subscription number 917343555] CHLORINE NUTRITION OF HIGHER PLANTS: PROGRESS AND', (917343555). Available at: <https://doi.org/10.1080/01904160903242417>.

BAB 9

PERHITUNGAN KEPERLUAN PUPUK

Oleh Muh. Ansar

9.1 Pendahuluan

9.1.1 Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor penting dalam perekonomian banyak negara, termasuk Indonesia, yang menjadi tumpuan bagi sebagian besar penduduknya. Untuk mencapai produksi pangan yang optimal, tanaman memerlukan nutrisi esensial yang dapat diperoleh dari tanah. Namun, tanah seringkali tidak mampu menyediakan semua nutrisi yang diperlukan oleh tanaman dalam jumlah yang cukup. Di sinilah peran pupuk menjadi sangat vital. Pupuk berfungsi sebagai sumber nutrisi tambahan yang mendukung pertumbuhan tanaman dan meningkatkan hasil panen.

Dalam beberapa dekade terakhir, penggunaan pupuk kimia telah meningkat secara signifikan seiring dengan pertumbuhan populasi dan kebutuhan pangan yang terus meningkat. Meskipun penggunaan pupuk telah memberikan dampak positif dalam meningkatkan produktivitas pertanian, hal ini juga membawa beberapa konsekuensi negatif, seperti pencemaran lingkungan dan penurunan kualitas tanah akibat penggunaan yang berlebihan atau tidak tepat. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan pendekatan yang lebih terencana dan terukur dalam penggunaan pupuk, salah satunya melalui perhitungan kebutuhan pupuk yang akurat.

Perhitungan kebutuhan pupuk bukan hanya sekadar menentukan jumlah pupuk yang harus diberikan, tetapi juga mempertimbangkan berbagai faktor seperti jenis tanaman, kondisi tanah, iklim, dan sistem irigasi. Proses ini membutuhkan pemahaman yang baik tentang sifat-sifat tanah dan kebutuhan nutrisi tanaman, serta kemampuan untuk menginterpretasikan hasil analisis tanah dan tanaman.

Namun, di banyak daerah, terutama di kalangan petani kecil, pengetahuan dan akses terhadap teknologi yang diperlukan untuk perhitungan kebutuhan pupuk masih terbatas. Hal ini seringkali menyebabkan penggunaan pupuk yang tidak efisien, baik dalam hal jumlah maupun waktu aplikasi, yang pada akhirnya dapat menurunkan hasil panen dan merugikan petani secara ekonomi.

Latar belakang inilah yang mendorong pentingnya pemahaman yang lebih mendalam tentang perhitungan kebutuhan pupuk. Dengan pendekatan yang tepat, petani dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan pada akhirnya meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian. Analisis perhitungan kebutuhan pupuk ini bertujuan untuk memberikan panduan dan wawasan tentang pentingnya perencanaan penggunaan pupuk yang didasarkan pada data dan analisis ilmiah, sehingga dapat mendukung pertanian yang lebih maju dan berkelanjutan.

9.1.2 Tujuan Perhitungan Keperluan Pupuk

Perhitungan keperluan pupuk dilakukan dengan beberapa tujuan utama yang berkaitan dengan optimalisasi produksi pertanian, efisiensi biaya, serta pelestarian lingkungan. Berikut adalah beberapa tujuan spesifik dari perhitungan keperluan pupuk:

1. Menyediakan Nutrisi yang Tepat untuk Tanaman melalui Perhitungan Kebutuhan Pupuk

Menyediakan nutrisi yang tepat bagi tanaman adalah kunci untuk memastikan pertumbuhan yang optimal dan hasil panen yang berkualitas tinggi. Nutrisi yang diperlukan oleh tanaman harus diberikan dalam jumlah yang sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi tanah. Perhitungan kebutuhan pupuk menjadi alat yang penting untuk mencapai hal ini, dengan berbagai manfaat yang dapat diperoleh dari pemberian nutrisi yang tepat.

a. Memahami Kebutuhan Nutrisi Tanaman

Setiap tanaman memerlukan berbagai unsur hara untuk tumbuh dengan baik, yang terbagi menjadi unsur hara makro dan mikro:

- 1) Unsur hara makro: Nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) adalah tiga unsur hara makro utama yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah besar. Nitrogen penting untuk pertumbuhan daun dan batang, fosfor diperlukan untuk perkembangan akar dan pembungaan, sementara kalium penting untuk pembentukan buah dan ketahanan tanaman terhadap penyakit.
- 2) Unsur hara mikro: Unsur-unsur seperti besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), boron (B), dan molibdenum (Mo) dibutuhkan dalam jumlah kecil, tetapi tetap krusial untuk fungsi fisiologis tanaman, termasuk proses fotosintesis dan sintesis protein.

Memahami kebutuhan ini memungkinkan petani untuk menentukan jenis dan jumlah pupuk yang paling sesuai untuk tanaman yang dibudidayakan.

b. Menentukan Dosis Pupuk yang Tepat

Perhitungan kebutuhan pupuk dilakukan untuk menentukan dosis yang tepat dari setiap unsur hara yang diperlukan oleh tanaman. Dosis ini didasarkan pada:

- 1) Jenis tanaman: Setiap tanaman memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda. Misalnya, tanaman sereal seperti padi atau jagung memerlukan lebih banyak nitrogen, sementara tanaman legum seperti kacang-kacangan lebih membutuhkan fosfor dan kalium.
- 2) Tahap pertumbuhan: Kebutuhan nutrisi tanaman berubah sepanjang siklus pertumbuhannya. Sebagai contoh, pada tahap awal pertumbuhan vegetatif, tanaman biasanya membutuhkan lebih banyak nitrogen untuk mendukung pembentukan daun dan batang. Pada tahap pembungaan dan pembuahan, fosfor dan kalium menjadi lebih penting.
- 3) Kondisi tanah: Analisis tanah memberikan informasi tentang kandungan unsur hara yang sudah tersedia di tanah. Tanah yang kaya akan nutrisi tertentu mungkin memerlukan lebih sedikit pupuk tambahan, sehingga dosis dapat disesuaikan.

Dengan perhitungan ini, pupuk dapat diberikan dalam jumlah yang tepat, menghindari kekurangan atau kelebihan yang bisa merugikan tanaman.

c. Mencegah Kekurangan dan Kelebihan Nutrisi

Pemberian nutrisi yang tepat mencegah terjadinya kekurangan atau kelebihan nutrisi, yang dapat berdampak buruk pada tanaman:

- 1) Kekurangan nutrisi: Tanaman yang kekurangan nutrisi tertentu akan menunjukkan gejala seperti pertumbuhan yang lambat, perubahan warna daun (misalnya, daun menguning karena kekurangan nitrogen), atau produksi buah yang rendah.

Kekurangan ini dapat mengurangi hasil panen dan kualitas produk.

- 2) Kelebihan nutrisi: Sebaliknya, kelebihan nutrisi, terutama nitrogen, dapat menyebabkan pertumbuhan vegetatif yang berlebihan dengan sedikit pembentukan bunga dan buah. Ini juga dapat menyebabkan pencemaran lingkungan melalui pencucian nutrisi ke dalam air tanah dan perairan sekitar.

Dengan perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat, petani dapat menghindari kedua masalah ini dan memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang dibutuhkan secara optimal.

d. Penyesuaian dengan Kondisi Lingkungan

Perhitungan kebutuhan pupuk juga mempertimbangkan kondisi lingkungan, seperti iklim dan sistem irigasi, yang mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan nutrisi oleh tanaman:

- 1) Iklim: Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan pencucian nutrisi dari tanah, sementara kondisi kering dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh akar. Penyesuaian dosis pupuk sesuai dengan kondisi cuaca dapat membantu memaksimalkan efisiensi penggunaan nutrisi.
- 2) Sistem irigasi: Irigasi yang tidak memadai dapat mengurangi efektivitas pupuk, karena nutrisi tidak dapat terserap dengan baik oleh tanaman. Sebaliknya, irigasi yang berlebihan bisa mencuci nutrisi dari tanah. Dengan perhitungan yang tepat, aplikasi pupuk dapat disesuaikan dengan sistem irigasi yang digunakan untuk memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang tepat.

e. Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Pupuk

Perhitungan kebutuhan pupuk tidak hanya memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang tepat, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk itu sendiri. Dengan memberikan pupuk dalam dosis yang tepat dan pada waktu yang tepat, tanaman dapat memanfaatkan nutrisi secara maksimal. Ini mengurangi pemborosan dan mengoptimalkan hasil panen, yang sangat penting bagi keberlanjutan pertanian dan pengelolaan sumber daya yang efektif.

f. Menyesuaikan Jenis Pupuk dengan Kebutuhan Spesifik

Berbagai jenis pupuk tersedia di pasaran, mulai dari pupuk anorganik yang kaya akan unsur hara tertentu, hingga pupuk organik yang memperbaiki struktur tanah dan menyediakan nutrisi dalam jangka panjang. Perhitungan kebutuhan pupuk membantu petani memilih jenis pupuk yang paling sesuai dengan kondisi tanah dan kebutuhan tanaman. Misalnya, jika analisis tanah menunjukkan defisiensi kalium, pupuk yang kaya kalium seperti KCl (Kalium Klorida) dapat dipilih. Jika struktur tanah perlu diperbaiki, pupuk organik seperti kompos atau pupuk kandang mungkin lebih tepat digunakan.

g. Mendukung Pertumbuhan Tanaman yang Optimal

Ketika tanaman mendapatkan semua nutrisi yang dibutuhkannya dalam jumlah yang tepat, mereka dapat tumbuh dengan optimal. Pertumbuhan optimal ini mencakup:

- 1) Pertumbuhan vegetatif yang kuat: Daun yang hijau dan subur menunjukkan bahwa tanaman menerima cukup nitrogen.
- 2) Pembentukan akar yang baik: Akar yang kuat dan menyebar luas menandakan kecukupan fosfor, yang penting untuk penyerapan air dan nutrisi.

- 3) Pembungaan dan pembuahan yang optimal: Pembungaan yang melimpah dan pembentukan buah yang sehat menandakan keseimbangan yang baik antara nitrogen, fosfor, dan kalium.

Pertumbuhan yang optimal ini tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga kualitas produk, seperti rasa, tekstur, dan daya simpan buah atau sayuran.

Menyediakan nutrisi yang tepat bagi tanaman melalui perhitungan kebutuhan pupuk adalah langkah penting dalam praktik pertanian yang efisien dan berkelanjutan. Dengan memastikan bahwa tanaman menerima nutrisi yang dibutuhkannya dalam jumlah yang tepat, petani dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil panen, sambil mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan mengoptimalkan biaya produksi. Ini bukan hanya tentang memberi makan tanaman, tetapi tentang menciptakan kondisi di mana tanaman dapat mencapai potensi penuh mereka, yang pada akhirnya mendukung keberlanjutan pertanian dan kesejahteraan petani.

2. Menghindari Penggunaan Pupuk Berlebihan dalam Perhitungan Kebutuhan Pupuk

Salah satu tujuan penting dari perhitungan ini adalah untuk menghindari penggunaan pupuk yang berlebihan, yang dapat menyebabkan akumulasi nutrisi tertentu dalam tanah. Hal ini tidak hanya boros dari segi biaya, tetapi juga dapat menimbulkan efek negatif seperti pencemaran air tanah dan penurunan kualitas tanah.

Penggunaan pupuk berlebihan adalah salah satu masalah yang sering terjadi dalam praktik pertanian modern. Meskipun pupuk memainkan peran penting dalam meningkatkan produktivitas tanaman, penggunaannya yang tidak tepat, terutama dalam jumlah yang berlebihan, dapat menimbulkan berbagai dampak negatif baik bagi lingkungan maupun ekonomi petani. Oleh karena itu, perhitungan

kebutuhan pupuk yang tepat sangat penting untuk menghindari penggunaan pupuk berlebihan. Berikut adalah bagaimana perhitungan tersebut dapat membantu dalam mencegah penggunaan pupuk yang tidak perlu:

a. Mengetahui Kebutuhan Spesifik Tanaman

Setiap tanaman memiliki kebutuhan nutrisi yang spesifik berdasarkan jenisnya, tahap pertumbuhan, dan kondisi tanah tempat ia ditanam. Perhitungan kebutuhan pupuk dimulai dengan memahami kebutuhan spesifik ini, yang memungkinkan petani untuk menentukan jumlah pupuk yang tepat. Tanpa perhitungan yang akurat, petani mungkin cenderung memberikan pupuk secara berlebihan sebagai tindakan pencegahan, tanpa menyadari bahwa tanaman hanya membutuhkan jumlah yang terbatas.

Contoh Praktis: Misalnya, tanaman padi memerlukan lebih banyak nitrogen pada tahap awal pertumbuhan, tetapi jika diberikan terlalu banyak pada tahap pembuahan, bisa mengakibatkan pertumbuhan vegetatif yang berlebihan dan pengurangan hasil biji.

b. Mencegah Kerusakan Lingkungan

Penggunaan pupuk berlebihan dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan, seperti pencemaran air dan degradasi tanah. Nutrisi seperti nitrogen dan fosfor yang tidak diserap oleh tanaman dapat tercuci ke dalam air tanah atau sungai, menyebabkan eutrofikasi, yang mengakibatkan ledakan pertumbuhan alga dan penurunan kualitas air. Selain itu, penumpukan bahan kimia di dalam tanah dapat mengubah sifat kimia tanah, mengurangi kesuburannya dalam jangka panjang.

Eutrofikasi: Eutrofikasi terjadi ketika nutrisi berlebih, terutama nitrogen dan fosfor, masuk ke perairan dan menyebabkan pertumbuhan alga yang

berlebihan. Ketika alga ini mati dan terurai, proses tersebut menghabiskan oksigen dalam air, yang dapat membunuh ikan dan organisme air lainnya.

c. Mengurangi Biaya Produksi

Penggunaan pupuk berlebihan tidak hanya berdampak buruk pada lingkungan, tetapi juga meningkatkan biaya produksi. Pupuk merupakan salah satu input terbesar dalam pertanian, dan memberikan lebih dari yang diperlukan berarti membuang uang. Perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat memungkinkan petani untuk menggunakan pupuk secara efisien, mengurangi pengeluaran tanpa mengorbankan produktivitas tanaman.

Efisiensi Ekonomi: Dengan mengetahui dosis yang tepat, petani dapat mengalokasikan anggaran untuk pupuk secara lebih efisien, mengurangi pembelian pupuk yang tidak perlu, dan meningkatkan margin keuntungan.

d. Meningkatkan Efisiensi Penyerapan Nutrisi oleh Tanaman

Tanaman hanya dapat menyerap nutrisi dalam jumlah tertentu pada satu waktu. Pemberian pupuk yang berlebihan bisa mengakibatkan nutrisi tidak terserap dengan baik dan malah hilang dari tanah melalui pencucian atau penguapan. Perhitungan kebutuhan pupuk yang akurat membantu memastikan bahwa pupuk diberikan dalam dosis yang sesuai dengan kapasitas penyerapan tanaman, sehingga mengoptimalkan penggunaan nutrisi yang diberikan.

Contoh: Jika pupuk nitrogen diberikan dalam jumlah berlebihan, nitrogen yang tidak diserap oleh tanaman dapat berubah menjadi gas dan hilang ke atmosfer, atau tercuci ke air tanah, yang tidak hanya sia-sia tetapi juga merugikan lingkungan.

e. Mengurangi Risiko Kerusakan Tanaman

Pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan langsung pada tanaman, seperti terbakar akibat konsentrasi garam yang tinggi di zona perakaran. Ini terutama berlaku untuk pupuk yang mengandung nitrogen dalam bentuk urea atau ammonium, yang bisa menyebabkan masalah jika digunakan dalam jumlah berlebihan.

Burning Effect: Terlalu banyak pupuk bisa menyebabkan akumulasi garam di tanah, yang pada gilirannya dapat menyebabkan kerusakan pada akar tanaman dan mengurangi kemampuan tanaman untuk menyerap air dan nutrisi, mengakibatkan pertumbuhan yang terhambat atau bahkan kematian tanaman.

f. Memperbaiki Struktur dan Kesuburan Tanah

Penggunaan pupuk berlebihan, terutama pupuk kimia, dapat berdampak negatif pada struktur tanah, mengurangi kemampuan tanah untuk menahan air dan udara, serta mengganggu keseimbangan mikroba tanah yang penting untuk kesuburan tanah jangka panjang. Dengan menghitung kebutuhan pupuk secara tepat, tanah tidak dibebani dengan bahan kimia berlebihan, sehingga kesehatannya dapat terjaga.

Kesehatan Tanah: Tanah yang sehat dengan struktur yang baik mendukung pertumbuhan akar yang kuat dan penyerapan nutrisi yang efisien, yang pada akhirnya meningkatkan produktivitas tanaman secara keseluruhan.

g. Mengurangi Dampak Negatif Terhadap Kesehatan Manusia

Pupuk yang digunakan secara berlebihan bisa berdampak pada kesehatan manusia, terutama melalui kontaminasi air minum oleh nitrat yang berlebihan.

Nitrat yang larut dalam air dapat meresap ke dalam sumur dan sumber air lainnya, dan jika dikonsumsi dalam jumlah tinggi, dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti methemoglobinemia pada bayi (blue baby syndrome).

Keamanan Kesehatan: Dengan penggunaan pupuk yang terkontrol melalui perhitungan yang tepat, risiko pencemaran air oleh nitrat dan masalah kesehatan yang terkait dapat diminimalkan.

h. Memanfaatkan Teknologi untuk Presisi dalam Pemupukan

Penggunaan teknologi seperti pemetaan lahan, sensor tanah, dan aplikasi berbasis data membantu petani melakukan perhitungan kebutuhan pupuk dengan lebih presisi. Teknologi ini memungkinkan aplikasi pupuk dilakukan secara lebih tepat sasaran, hanya pada area lahan yang benar-benar memerlukan tambahan nutrisi, sehingga mengurangi kemungkinan penggunaan pupuk berlebihan.

Pertanian Presisi: Teknologi pertanian presisi memungkinkan pengelolaan input pertanian, termasuk pupuk, dengan sangat terukur dan tepat, yang berkontribusi pada efisiensi penggunaan pupuk dan pengurangan dampak lingkungan.

Menghindari penggunaan pupuk berlebihan adalah langkah penting dalam praktik pertanian yang berkelanjutan dan efisien. Melalui perhitungan kebutuhan pupuk yang akurat, petani dapat memastikan bahwa tanaman menerima nutrisi yang tepat dalam jumlah yang sesuai, menghindari dampak negatif pada lingkungan, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan produktivitas tanaman. Pendekatan ini bukan hanya bermanfaat bagi hasil panen dan keuntungan petani, tetapi juga bagi pelestarian lingkungan dan kesehatan masyarakat. Dengan demikian, perhitungan kebutuhan pupuk

yang tepat merupakan bagian integral dari manajemen pertanian yang modern dan bertanggung jawab.

3. Mengoptimalkan Biaya Produksi dalam Perhitungan Kebutuhan Pupuk

Mengoptimalkan biaya produksi adalah salah satu tujuan utama dalam perhitungan kebutuhan pupuk. Hal ini sangat penting, terutama dalam konteks pertanian, di mana efisiensi penggunaan sumber daya dapat langsung mempengaruhi keuntungan dan keberlanjutan usaha tani. Berikut ini adalah beberapa cara perhitungan kebutuhan pupuk membantu mengoptimalkan biaya produksi:

a. Penggunaan Pupuk yang Tepat dan Efisien

Dengan menghitung kebutuhan pupuk berdasarkan analisis tanah dan tanaman, petani dapat memastikan bahwa pupuk yang diberikan hanya sebatas yang diperlukan oleh tanaman. Hal ini mencegah pemborosan pupuk yang sering kali terjadi ketika petani memberikan pupuk dalam jumlah berlebihan sebagai langkah antisipasi tanpa data yang jelas. Efisiensi ini mengurangi biaya yang tidak perlu, sehingga anggaran dapat dialokasikan untuk kebutuhan lain yang lebih mendesak.

b. Pemilihan Jenis Pupuk yang Sesuai

Berbagai jenis pupuk tersedia di pasaran, dengan harga dan kandungan nutrisi yang bervariasi. Perhitungan kebutuhan pupuk memungkinkan petani untuk memilih jenis pupuk yang paling sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi tanah. Ini membantu menghindari pembelian pupuk yang lebih mahal tetapi tidak memberikan manfaat tambahan yang signifikan dibandingkan pilihan yang lebih ekonomis.

c. Mengurangi Dampak Negatif Akibat Penggunaan Berlebihan

Penggunaan pupuk yang berlebihan tidak hanya menghabiskan biaya lebih banyak, tetapi juga dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah dalam jangka panjang. Kerusakan tanah akibat akumulasi garam atau pencemaran oleh bahan kimia dari pupuk bisa memerlukan rehabilitasi yang mahal dan mengurangi produktivitas lahan. Dengan perhitungan yang akurat, petani dapat menghindari biaya tambahan yang timbul akibat perlunya perbaikan tanah dan penurunan hasil panen di masa depan.

d. Penerapan Pemupukan Bertahap dan Terkontrol

Sistem pemupukan bertahap atau pemupukan berimbang (*fertilizer splitting*) memungkinkan pemberian pupuk dilakukan dalam beberapa tahap sesuai dengan kebutuhan tanaman di setiap fase pertumbuhan. Dengan mengatur dosis pupuk yang diberikan, petani tidak hanya menghindari penggunaan berlebihan pada awal musim tanam, tetapi juga memastikan bahwa pupuk tersedia dalam jumlah yang optimal ketika tanaman benar-benar membutuhkannya. Pendekatan ini memaksimalkan efisiensi penggunaan pupuk, sehingga biaya dapat ditekan dan hasil panen ditingkatkan.

e. Mengurangi Biaya Transportasi dan Distribusi

Dengan mengetahui jumlah pasti pupuk yang dibutuhkan, petani dapat merencanakan pembelian dan pengiriman pupuk dengan lebih efisien. Ini mengurangi frekuensi pengiriman, yang pada gilirannya mengurangi biaya transportasi. Dalam skala besar, pengurangan biaya distribusi ini bisa sangat signifikan, terutama di wilayah terpencil yang memiliki akses terbatas dan biaya logistik tinggi.

f. Menghindari Ketergantungan pada Pupuk Kimia Mahal

Perhitungan kebutuhan pupuk juga dapat membantu petani mengkombinasikan penggunaan pupuk organik dan anorganik secara lebih efektif. Dengan memanfaatkan bahan organik yang tersedia secara lokal, seperti kompos atau pupuk kandang, petani dapat mengurangi kebutuhan terhadap pupuk kimia yang mahal. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi biaya langsung pembelian pupuk, tetapi juga meningkatkan kesuburan tanah secara alami dalam jangka panjang.

g. Memanfaatkan Teknologi dan Data untuk Efisiensi

Penggunaan teknologi seperti Sistem Informasi Geografis (GIS) dan sensor tanah yang terhubung dengan Internet of Things (IoT) dapat memberikan data real-time mengenai kondisi tanah dan kebutuhan nutrisi tanaman. Dengan data ini, petani dapat membuat keputusan yang lebih tepat mengenai jumlah dan jenis pupuk yang akan digunakan, menghindari pembelian berlebihan, dan memaksimalkan pengembalian investasi (ROI) dari pembelian pupuk. Meskipun ada biaya awal untuk teknologi ini, penghematan yang dihasilkan dari efisiensi penggunaan pupuk seringkali lebih besar dalam jangka panjang.

h. Peningkatan Hasil Panen dan Kualitas Produk

Ketika kebutuhan nutrisi tanaman dipenuhi dengan tepat, hasil panen cenderung meningkat baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Hasil panen yang lebih baik ini berarti pendapatan yang lebih tinggi, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi biaya per satuan produk yang dihasilkan. Dengan demikian, biaya produksi per kilogram hasil panen menurun, dan margin keuntungan meningkat.

Mengoptimalkan biaya produksi melalui perhitungan kebutuhan pupuk tidak hanya berfokus pada penghematan langsung, tetapi juga pada peningkatan efisiensi keseluruhan proses produksi. Dengan penggunaan pupuk yang lebih tepat sasaran, petani dapat mengurangi biaya tanpa mengorbankan produktivitas atau kualitas hasil panen. Dalam konteks pertanian modern yang kompetitif, pengelolaan biaya yang efektif melalui perhitungan kebutuhan pupuk merupakan strategi kunci untuk mencapai keberlanjutan ekonomi dan lingkungan.

4. Meningkatkan Produktivitas Tanaman melalui Perhitungan Kebutuhan Pupuk

Produktivitas tanaman merupakan indikator utama keberhasilan dalam pertanian. Meningkatkan produktivitas tanaman berarti menghasilkan lebih banyak hasil panen dari setiap unit lahan, dengan kualitas yang lebih baik. Salah satu cara paling efektif untuk mencapai hal ini adalah melalui perhitungan kebutuhan pupuk yang akurat dan terencana. Berikut adalah cara-cara perhitungan kebutuhan pupuk dapat meningkatkan produktivitas tanaman:

a. Penyediaan Nutrisi yang Tepat dan Seimbang

Setiap tanaman membutuhkan unsur hara makro seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta unsur hara mikro seperti besi (Fe), mangan (Mn), seng (Zn), dan lain-lain, dalam jumlah yang spesifik untuk tumbuh optimal. Perhitungan kebutuhan pupuk yang didasarkan pada analisis tanah dan kebutuhan spesifik tanaman memastikan bahwa semua unsur hara ini tersedia dalam jumlah yang seimbang. Ketika tanaman mendapatkan nutrisi yang tepat, mereka dapat tumbuh dengan lebih cepat dan sehat, yang langsung berdampak pada peningkatan produktivitas.

b. Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Nutrisi

Tanpa perhitungan yang tepat, pupuk mungkin diberikan secara berlebihan atau di bawah kebutuhan tanaman, yang dapat mengakibatkan nutrisi yang tidak efisien digunakan. Misalnya, nitrogen yang diberikan terlalu banyak bisa hilang melalui pencucian (leaching) atau emisi gas, sehingga tidak terserap oleh tanaman. Dengan perhitungan kebutuhan pupuk yang akurat, dosis dan waktu aplikasi pupuk dapat dioptimalkan, sehingga nutrisi dapat diserap oleh tanaman secara maksimal. Efisiensi ini langsung berkontribusi pada peningkatan hasil panen.

c. Pengendalian Pertumbuhan Tanaman yang Lebih Baik

Tanaman yang mendapatkan nutrisi sesuai dengan kebutuhannya akan memiliki pertumbuhan yang lebih seragam dan kuat. Sebagai contoh, nitrogen mendukung pertumbuhan daun dan batang, fosfor memperkuat sistem akar, dan kalium memperbaiki kualitas buah dan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Dengan menyediakan nutrisi yang tepat pada tahap pertumbuhan yang sesuai, tanaman dapat mencapai potensi genetiknya sepenuhnya, yang mengarah pada peningkatan produksi baik dari segi kuantitas maupun kualitas.

d. Mengurangi Stres pada Tanaman

Stres pada tanaman, baik akibat kekurangan atau kelebihan nutrisi, dapat menurunkan produktivitas. Perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat membantu menjaga keseimbangan nutrisi di dalam tanah, sehingga tanaman terhindar dari stres. Tanaman yang tumbuh tanpa stres memiliki daya tahan yang lebih baik terhadap hama, penyakit, dan kondisi lingkungan yang kurang

menguntungkan, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan produktivitas.

e. Peningkatan Ketahanan terhadap Hama dan Penyakit

Tanaman yang diberi nutrisi yang cukup dan seimbang memiliki sistem kekebalan yang lebih kuat, sehingga lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Perhitungan kebutuhan pupuk memastikan bahwa tanaman tidak hanya tumbuh dengan baik, tetapi juga memiliki ketahanan yang lebih tinggi. Ketahanan ini mengurangi kerugian akibat hama dan penyakit, serta mengurangi kebutuhan penggunaan pestisida yang berlebihan, yang pada akhirnya meningkatkan hasil panen.

f. Memperbaiki Struktur dan Kesehatan Tanah

Pemberian pupuk yang tepat juga berperan dalam memperbaiki struktur tanah dan menjaga kesehatannya. Pupuk organik, misalnya, dapat meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah, yang memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan air dan nutrisi. Tanah yang sehat dan subur memberikan lingkungan yang ideal bagi akar tanaman untuk tumbuh dan menyerap nutrisi dengan lebih efektif. Hal ini secara langsung meningkatkan produktivitas tanaman.

g. Penyesuaian Pupuk dengan Fase Pertumbuhan Tanaman

Kebutuhan nutrisi tanaman berubah sepanjang siklus hidupnya. Misalnya, selama fase pertumbuhan vegetatif, tanaman membutuhkan lebih banyak nitrogen, sedangkan selama fase pembungaan dan pembuahan, tanaman lebih membutuhkan fosfor dan kalium. Dengan perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat, petani dapat menyesuaikan jenis dan jumlah pupuk yang diberikan sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman. Pendekatan

ini memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang tepat pada waktu yang tepat, sehingga produktivitas dapat dimaksimalkan.

h. Penggunaan Teknologi dan Data untuk Optimalisasi

Teknologi modern, seperti sensor tanah, drone, dan aplikasi berbasis data, memungkinkan pemantauan kondisi tanah dan tanaman secara real-time. Dengan data yang akurat dan up-to-date, perhitungan kebutuhan pupuk dapat disesuaikan secara dinamis sesuai dengan kondisi lapangan. Penggunaan teknologi ini tidak hanya meningkatkan presisi dalam pemberian pupuk, tetapi juga memungkinkan respons cepat terhadap perubahan kondisi lapangan, yang dapat mencegah kerugian produksi dan mendukung peningkatan hasil.

i. Mengurangi Efek Negatif dari Ketidakseimbangan Nutrisi

Ketidakseimbangan nutrisi tidak hanya menghambat pertumbuhan tanaman tetapi juga dapat menyebabkan penurunan kualitas hasil panen, seperti ukuran buah yang tidak seragam, warna yang kurang menarik, atau rasa yang kurang optimal. Dengan perhitungan yang tepat, risiko ini dapat diminimalkan, dan hasil panen akan memiliki kualitas yang lebih baik, yang tidak hanya berdampak pada volume produksi tetapi juga pada nilai jual produk.

j. Mendukung Praktik Pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan menekankan pada penggunaan sumber daya secara efisien dan bertanggung jawab untuk jangka panjang. Dengan perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat, petani dapat mengurangi dampak negatif pada lingkungan seperti pencemaran air dan penurunan kesuburan tanah. Pada saat yang sama, mereka dapat meningkatkan produktivitas secara

berkelanjutan, menjaga keseimbangan antara kebutuhan produksi dan pelestarian lingkungan.

Meningkatkan produktivitas tanaman melalui perhitungan kebutuhan pupuk adalah pendekatan yang tidak hanya efektif dari segi hasil panen tetapi juga dari sisi ekonomi dan lingkungan. Dengan mengoptimalkan pemberian nutrisi sesuai kebutuhan tanaman, petani dapat mencapai hasil panen yang lebih tinggi dan berkualitas lebih baik, yang berkontribusi pada keberlanjutan dan kesejahteraan mereka dalam jangka panjang. Pendekatan ini merupakan langkah penting menuju pertanian modern yang lebih cerdas, efisien, dan berkelanjutan.

5. Menjaga Keseimbangan Lingkungan melalui Perhitungan Kebutuhan Pupuk

Salah satu dampak negatif dari penggunaan pupuk yang tidak tepat adalah kerusakan lingkungan, seperti eutrofikasi badan air akibat run-off pupuk. Dengan perhitungan yang akurat, penggunaan pupuk dapat dikendalikan sehingga dampaknya terhadap lingkungan dapat diminimalkan.

Perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat tidak hanya penting untuk meningkatkan produktivitas pertanian, tetapi juga memainkan peran krusial dalam menjaga keseimbangan lingkungan. Penggunaan pupuk yang berlebihan atau tidak tepat dapat menyebabkan berbagai dampak negatif terhadap ekosistem, mulai dari pencemaran air hingga degradasi tanah. Berikut adalah bagaimana perhitungan kebutuhan pupuk dapat membantu menjaga keseimbangan lingkungan:

a. Mengurangi Pencemaran Air

Penggunaan pupuk, terutama yang mengandung nitrogen dan fosfor, dalam jumlah yang berlebihan dapat menyebabkan pencemaran air melalui proses runoff dan leaching. Nutrisi yang tidak terserap oleh tanaman dapat terbawa oleh air hujan ke sungai, danau, dan air tanah,

menyebabkan eutrofikasi—proses di mana konsentrasi nutrisi yang tinggi memicu pertumbuhan alga secara berlebihan. Alga yang tumbuh dalam jumlah besar kemudian mati dan terurai, menghabiskan oksigen di air dan menciptakan kondisi yang tidak layak bagi kehidupan akuatik lainnya.

Peran Perhitungan Pupuk: Dengan menghitung kebutuhan pupuk secara tepat, petani dapat mengurangi jumlah nutrisi berlebih yang mungkin mencemari sumber air. Ini membantu dalam mencegah eutrofikasi dan menjaga kualitas air tetap baik, yang penting bagi ekosistem perairan dan kesehatan manusia.

b. Meminimalkan Emisi Gas Rumah Kaca

Pupuk nitrogen, terutama dalam bentuk amonium dan urea, dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca, seperti dinitrogen oksida (N_2O), yang merupakan salah satu gas rumah kaca yang paling berbahaya dengan efek pemanasan global yang sangat kuat. Penggunaan pupuk yang tidak tepat atau berlebihan dapat meningkatkan emisi ini, yang berkontribusi pada perubahan iklim.

Penggunaan Efisien: Perhitungan kebutuhan pupuk yang akurat memungkinkan aplikasi nitrogen yang lebih efisien, mengurangi emisi gas rumah kaca dan membantu memitigasi dampak perubahan iklim.

c. Mencegah Degradasi dan Penurunan Kualitas Tanah

Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan bisa merusak struktur dan keseimbangan kimia tanah. Penumpukan garam dan bahan kimia lain dari pupuk dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah, perubahan pH tanah, dan kerusakan pada mikroorganisme tanah yang penting untuk menjaga kesehatan tanah. Seiring waktu, ini dapat mengarah pada

degradasi tanah, di mana tanah kehilangan kemampuan untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

Peran Pupuk Organik dan Anorganik yang Tepat: Dengan menghitung kebutuhan pupuk, petani dapat memilih kombinasi pupuk organik dan anorganik yang tepat, serta dosis yang sesuai untuk menjaga keseimbangan tanah, memperbaiki struktur tanah, dan mencegah degradasi.

d. Melindungi Keanekaragaman Hayati

Pencemaran nutrisi dari pupuk bisa berdampak negatif pada keanekaragaman hayati, baik di darat maupun di perairan. Pencemaran air yang menyebabkan eutrofikasi, misalnya, dapat menghancurkan habitat ikan dan organisme akuatik lainnya. Di darat, penggunaan pupuk yang berlebihan dapat merusak vegetasi alami dan mengganggu keseimbangan ekosistem.

Keseimbangan Nutrisi: Dengan perhitungan yang tepat, pemberian pupuk dapat disesuaikan sehingga hanya memberikan nutrisi yang diperlukan oleh tanaman, tanpa mengganggu keseimbangan ekosistem di sekitar lahan pertanian.

e. Mengurangi Risiko Pencemaran Nitrat pada Air Minum

Nitrat dari pupuk yang larut dalam air tanah dapat mencemari sumber air minum, terutama di daerah dengan penggunaan pupuk yang intensif. Peningkatan kadar nitrat dalam air minum bisa berbahaya bagi kesehatan manusia, menyebabkan kondisi seperti methemoglobinemia (*blue baby syndrome*) pada bayi.

Pengendalian Nitrat melalui Perhitungan Pupuk: Dengan menghitung kebutuhan nitrogen yang tepat dan mengaplikasikan pupuk dalam jumlah yang sesuai, risiko pencemaran nitrat di air tanah dapat diminimalkan, menjaga sumber air minum tetap aman.

f. Menghindari Penggunaan Pupuk yang Tidak Tepat Waktu

Pupuk yang diaplikasikan pada waktu yang salah, misalnya sebelum hujan lebat, lebih mungkin tercuci sebelum diserap oleh tanaman, meningkatkan risiko pencemaran air dan kehilangan efisiensi. Perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat melibatkan tidak hanya jumlah tetapi juga timing aplikasi pupuk, yang dapat membantu meminimalkan dampak negatif ini.

Waktu yang Tepat: Dengan memahami kebutuhan tanaman pada berbagai tahap pertumbuhan dan kondisi cuaca yang diprediksi, petani dapat memastikan bahwa pupuk diberikan pada waktu yang paling efektif, mengurangi kemungkinan pencucian dan kehilangan nutrisi.

g. Mendukung Praktik Pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan menekankan pada penggunaan sumber daya alam yang efisien dan minim dampak negatif terhadap lingkungan. Perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat adalah salah satu elemen kunci dalam pertanian berkelanjutan karena memungkinkan penggunaan pupuk yang efisien, mengurangi limbah, dan menjaga keseimbangan ekosistem.

Penggunaan yang Bijaksana: Petani yang menerapkan perhitungan kebutuhan pupuk tidak hanya meningkatkan produktivitas tanaman, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian lingkungan dengan menjaga keseimbangan alami dan mengurangi jejak ekologis mereka.

h. Meningkatkan Kesadaran dan Pendidikan Petani

Melalui proses perhitungan kebutuhan pupuk, petani belajar lebih banyak tentang interaksi antara nutrisi, tanah, tanaman, dan lingkungan. Ini

meningkatkan kesadaran mereka tentang pentingnya menjaga keseimbangan lingkungan dan mendorong praktik pertanian yang lebih bertanggung jawab.

Pendidikan Lingkungan: Pendidikan dan penyuluhan tentang perhitungan kebutuhan pupuk dapat memberikan petani alat yang mereka butuhkan untuk membuat keputusan yang lebih baik, tidak hanya untuk tanaman mereka tetapi juga untuk lingkungan di sekitar mereka.

Menjaga keseimbangan lingkungan melalui perhitungan kebutuhan pupuk adalah langkah yang penting dan mendasar dalam mencapai pertanian yang berkelanjutan. Dengan menerapkan perhitungan yang tepat, petani dapat meminimalkan dampak negatif dari penggunaan pupuk, seperti pencemaran air, emisi gas rumah kaca, dan degradasi tanah, sambil tetap mencapai hasil panen yang optimal. Pendekatan ini mendukung pelestarian sumber daya alam, melindungi kesehatan manusia, dan menjaga keanekaragaman hayati, yang semuanya merupakan komponen esensial dari ekosistem yang seimbang dan berkelanjutan.

6. Menjaga Kesuburan Tanah dalam Jangka Panjang melalui Perhitungan Kebutuhan Pupuk

Penggunaan pupuk yang tepat juga membantu dalam menjaga kesuburan tanah. Nutrisi yang diberikan sesuai kebutuhan tanaman akan meningkatkan kesehatan tanah dalam jangka panjang, sehingga dapat mendukung produksi pertanian yang berkelanjutan.

Menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang adalah aspek penting dari pertanian berkelanjutan. Tanah yang subur menyediakan lingkungan yang mendukung pertumbuhan tanaman, meningkatkan hasil panen, dan menjaga keseimbangan ekosistem. Salah satu cara utama untuk mempertahankan kesuburan tanah adalah melalui

perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat. Berikut adalah bagaimana perhitungan kebutuhan pupuk membantu dalam menjaga kesuburan tanah untuk jangka panjang:

a. Menghindari Akumulasi Garam dan Kimia Berlebihan

Penggunaan pupuk kimia secara terus-menerus, terutama dalam jumlah berlebihan, dapat menyebabkan akumulasi garam dan zat kimia lainnya di dalam tanah. Akumulasi ini dapat mengubah sifat fisik dan kimia tanah, mengurangi kesuburannya, dan bahkan membuat tanah menjadi tidak produktif dalam jangka panjang.

Dosis yang Tepat: Dengan menghitung kebutuhan pupuk secara akurat, petani dapat memberikan nutrisi dalam jumlah yang sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga menghindari akumulasi zat-zat yang merugikan dalam tanah.

b. Meningkatkan Kandungan Bahan Organik

Bahan organik dalam tanah, seperti humus, adalah kunci untuk menjaga kesuburan tanah. Bahan organik memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air, dan menyediakan nutrisi yang stabil bagi tanaman. Pemberian pupuk organik yang tepat berdasarkan perhitungan kebutuhan dapat meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah, yang pada gilirannya mendukung kesuburan tanah dalam jangka panjang.

Pupuk Organik: Penggunaan pupuk organik, seperti kompos atau pupuk kandang, yang didasarkan pada perhitungan kebutuhan pupuk, tidak hanya memberikan nutrisi, tetapi juga memperkaya bahan organik tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang bermanfaat.

c. Memelihara Keseimbangan pH Tanah

pH tanah yang seimbang sangat penting untuk memastikan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Penggunaan pupuk yang tidak tepat, terutama pupuk yang mengandung amonium atau sulfur, dapat menyebabkan perubahan pH tanah, membuatnya terlalu asam atau terlalu basa. Hal ini dapat mengganggu penyerapan nutrisi oleh tanaman dan mengurangi kesuburan tanah.

Penyesuaian pH: Perhitungan kebutuhan pupuk memungkinkan petani menyesuaikan jenis dan jumlah pupuk yang diberikan untuk menjaga pH tanah dalam kisaran yang optimal bagi tanaman yang dibudidayakan.

d. Mendukung Keanekaragaman Mikroorganisme Tanah

Mikroorganisme tanah seperti bakteri, jamur, dan cacing tanah memainkan peran penting dalam siklus nutrisi dan pemeliharaan kesuburan tanah. Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dapat mengganggu aktivitas mikroorganisme ini, sementara pupuk organik yang tepat dapat meningkatkan populasi dan aktivitas mereka.

Pupuk yang Ramah Mikroorganisme: Perhitungan kebutuhan pupuk membantu dalam memilih jenis pupuk yang mendukung kehidupan mikroorganisme tanah, sehingga membantu mempertahankan kesuburan tanah dalam jangka panjang.

e. Mencegah Degradasi Struktur Tanah

Struktur tanah yang baik memungkinkan pergerakan air, udara, dan akar tanaman dengan bebas, yang penting untuk pertumbuhan tanaman. Pemberian pupuk yang tidak tepat dapat mengganggu struktur tanah, misalnya dengan meningkatkan kepadatan tanah atau menyebabkan pembentukan kerak di permukaan tanah.

Pupuk yang Sesuai untuk Struktur Tanah: Melalui perhitungan yang tepat, petani dapat mengaplikasikan pupuk yang sesuai dengan kondisi struktur tanah mereka, membantu mencegah degradasi dan mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih baik.

f. Menghindari Kehilangan Nutrisi Melalui Erosi dan Pencucian

Nutrisi yang tidak terserap oleh tanaman berisiko tercuci oleh air hujan atau hilang melalui erosi tanah, terutama di lahan yang miring atau bertekstur ringan. Perhitungan kebutuhan pupuk membantu memastikan bahwa nutrisi yang diberikan tepat sesuai dengan kapasitas penyerapan tanaman, sehingga mengurangi risiko kehilangan nutrisi dan menjaga kesuburan tanah.

Penempatan dan Timing yang Tepat: Mengaplikasikan pupuk berdasarkan perhitungan yang tepat waktu dan tepat tempat membantu mengurangi pencucian nutrisi dan menjaga nutrisi tetap tersedia bagi tanaman, yang pada gilirannya mempertahankan kesuburan tanah.

g. Mengurangi Ketergantungan pada Pupuk Kimia

Ketergantungan yang tinggi pada pupuk kimia bisa berdampak negatif pada kesehatan tanah dalam jangka panjang. Penggunaan pupuk kimia yang terus-menerus tanpa disertai dengan penambahan bahan organik dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah. Perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat memungkinkan petani untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia dengan mengintegrasikan pupuk organik atau praktik pemupukan alami lainnya.

Rotasi dan Kombinasi: Dengan menghitung kebutuhan pupuk, petani dapat merencanakan rotasi tanaman dan kombinasi penggunaan pupuk yang optimal,

yang membantu menjaga dan bahkan meningkatkan kesuburan tanah dari waktu ke waktu.

h. Mendorong Pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan menekankan pada penggunaan sumber daya alam secara efisien tanpa merusak kemampuan tanah untuk tetap produktif di masa depan. Perhitungan kebutuhan pupuk yang akurat adalah bagian integral dari strategi ini, karena memastikan bahwa tanah tetap subur dan produktif tanpa mengorbankan kualitas lingkungan atau sumber daya alam lainnya.

Pertanian Konservasi: Perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat mendukung praktik pertanian konservasi seperti penanaman penutup tanah, pengomposan, dan rotasi tanaman, yang semuanya berkontribusi pada pemeliharaan kesuburan tanah dalam jangka panjang.

i. Meningkatkan Kesadaran Petani tentang Kesehatan Tanah

Dengan melakukan perhitungan kebutuhan pupuk, petani belajar lebih banyak tentang kondisi tanah mereka, termasuk kebutuhan nutrisi spesifik dan potensi masalah yang mungkin timbul akibat penggunaan pupuk yang tidak tepat. Ini meningkatkan kesadaran mereka tentang pentingnya menjaga kesuburan tanah dan mendorong mereka untuk mengadopsi praktik-praktik yang lebih berkelanjutan.

Penyuluhan dan Pendidikan: Melalui penyuluhan dan pendidikan yang berfokus pada perhitungan kebutuhan pupuk, petani dapat didorong untuk lebih memperhatikan kesehatan tanah mereka dan mengambil langkah-langkah yang tepat untuk menjaga kesuburan tanah.

Menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang melalui perhitungan kebutuhan pupuk adalah langkah penting dalam pertanian berkelanjutan. Dengan memastikan bahwa tanah mendapatkan nutrisi yang tepat dalam jumlah yang sesuai, petani dapat mencegah degradasi tanah, meningkatkan kandungan bahan organik, dan mendukung keseimbangan ekosistem mikroba tanah. Langkah ini tidak hanya meningkatkan hasil panen dalam jangka pendek, tetapi juga menjaga produktivitas tanah untuk generasi mendatang, memastikan keberlanjutan dan kesejahteraan dalam praktik pertanian.

7. Meningkatkan Kesadaran dan Pengetahuan Petani melalui Perhitungan Kebutuhan Pupuk

Melalui proses perhitungan kebutuhan pupuk, petani didorong untuk memahami lebih dalam tentang kebutuhan nutrisi tanaman dan kondisi tanah mereka. Ini akan meningkatkan keterampilan dan pengetahuan petani, yang pada gilirannya akan meningkatkan praktik pertanian yang lebih baik.

Meningkatkan kesadaran dan pengetahuan petani tentang pentingnya perhitungan kebutuhan pupuk adalah langkah kunci dalam mencapai praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan produktif. Pengetahuan yang baik tentang penggunaan pupuk tidak hanya membantu petani meningkatkan hasil panen, tetapi juga memungkinkan mereka menjaga keseimbangan ekosistem dan mengelola sumber daya dengan lebih efisien. Berikut adalah cara-cara perhitungan kebutuhan pupuk dapat meningkatkan kesadaran dan pengetahuan petani:

a. Membangun Pemahaman tentang Nutrisi Tanaman

Banyak petani mungkin memiliki pengetahuan dasar tentang pentingnya pupuk, tetapi seringkali tidak memahami secara detail kebutuhan nutrisi spesifik

tanaman yang mereka tanam. Melalui perhitungan kebutuhan pupuk, petani diajarkan untuk:

Memahami Unsur Hara Makro dan Mikro: Petani dapat belajar tentang pentingnya unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, serta unsur hara mikro seperti besi, mangan, dan zinc, dan bagaimana unsur-unsur ini mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Mengidentifikasi Gejala Kekurangan atau Kelebihan Nutrisi: Dengan pengetahuan yang lebih baik, petani dapat lebih cepat mengenali tanda-tanda kekurangan atau kelebihan nutrisi pada tanaman, seperti perubahan warna daun atau pertumbuhan yang tidak normal, dan mengambil tindakan yang tepat.

b. Mengajarkan Praktik Pemupukan yang Tepat

Perhitungan kebutuhan pupuk memberikan panduan praktis bagi petani tentang cara mengaplikasikan pupuk secara efisien dan efektif:

- 1) Waktu Aplikasi: Petani diajarkan kapan waktu terbaik untuk memberikan pupuk pada tanaman, seperti pada awal musim tanam atau pada fase kritis pertumbuhan tanaman, sehingga nutrisi dapat diserap secara maksimal.
- 2) Metode Aplikasi: Pengetahuan tentang berbagai metode aplikasi pupuk, seperti penaburan langsung, pemupukan lewat air irigasi (fertigasi), atau pemupukan daun (foliar feeding), membantu petani memilih cara yang paling sesuai dengan kondisi lahan mereka.

c. Mendorong Penggunaan Teknologi dan Inovasi

Perhitungan kebutuhan pupuk seringkali melibatkan penggunaan teknologi untuk analisis tanah dan pemantauan tanaman, seperti penggunaan sensor,

drone, atau aplikasi pertanian berbasis data. Melalui penyuluhan ini, petani dapat:

- 1) Memahami Teknologi Pertanian Modern: Petani menjadi lebih akrab dengan teknologi yang dapat membantu mereka meningkatkan efisiensi dan hasil pertanian, seperti aplikasi ponsel yang menghitung dosis pupuk berdasarkan data tanah.
- 2) Mengintegrasikan Data untuk Keputusan yang Lebih Baik: Petani diajarkan cara menggunakan data yang diperoleh dari teknologi ini untuk membuat keputusan yang lebih informatif dan tepat mengenai penggunaan pupuk.

d. Meningkatkan Kesadaran tentang Dampak Lingkungan

Penyuluhan tentang perhitungan kebutuhan pupuk juga mencakup aspek lingkungan, di mana petani belajar tentang dampak negatif penggunaan pupuk yang tidak tepat terhadap ekosistem:

- 1) Mengurangi Pencemaran Lingkungan: Petani diajarkan bagaimana penggunaan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan pencemaran air, udara, dan tanah, serta bagaimana perhitungan yang tepat dapat membantu meminimalkan dampak ini.
- 2) Mendukung Pertanian Berkelanjutan: Dengan pengetahuan yang lebih baik, petani dapat lebih berkomitmen untuk menerapkan praktik pertanian yang berkelanjutan, yang tidak hanya menguntungkan ekonomi mereka tetapi juga melindungi lingkungan untuk generasi mendatang.

e. Meningkatkan Efisiensi Ekonomi

Pengetahuan tentang perhitungan kebutuhan pupuk membantu petani melihat manfaat ekonomi dari penggunaan pupuk yang lebih efisien:

- 1) Mengurangi Pemborosan: Dengan memahami kebutuhan spesifik tanaman dan dosis pupuk yang

tepat, petani dapat menghindari penggunaan pupuk yang berlebihan, mengurangi biaya produksi, dan meningkatkan margin keuntungan.

- 2) Meningkatkan Hasil Panen: Petani yang memiliki pengetahuan lebih baik tentang pemupukan dapat memaksimalkan hasil panen mereka, baik dari segi kuantitas maupun kualitas, yang berdampak langsung pada pendapatan mereka.
- f. Mendorong Partisipasi dalam Program Penyuluhan dan Pelatihan

Program penyuluhan dan pelatihan yang mencakup perhitungan kebutuhan pupuk memberikan kesempatan kepada petani untuk terus belajar dan berbagi pengetahuan:

- 1) Pendidikan Berkelanjutan: Dengan mengikuti program pelatihan, petani dapat terus memperbarui pengetahuan mereka tentang praktik pertanian terbaik dan teknologi terbaru, yang membantu mereka tetap kompetitif dan efisien.
 - 2) Kolaborasi dan Pembelajaran dari Sesama Petani: Pelatihan ini juga memungkinkan petani untuk berinteraksi dengan rekan-rekan mereka, berbagi pengalaman, dan belajar dari praktik terbaik yang diterapkan di lahan lain.
- g. Membangun Kesadaran Kesehatan Tanah

Kesuburan tanah adalah aset utama dalam pertanian, dan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana menjaga kesehatan tanah adalah kunci untuk keberlanjutan:

- 1) Analisis Tanah yang Teratur: Penyuluhan mengajarkan pentingnya melakukan analisis tanah secara teratur untuk memahami kebutuhan nutrisi yang sebenarnya, membantu petani membuat

keputusan yang lebih tepat tentang jenis dan jumlah pupuk yang diperlukan.

- 2) Rotasi Tanaman dan Penggunaan Pupuk Organik: Petani didorong untuk mengadopsi praktik-praktik seperti rotasi tanaman dan penggunaan pupuk organik yang dapat memperbaiki dan mempertahankan kesuburan tanah dalam jangka panjang.

h. Meningkatkan Keberlanjutan Pertanian

Dengan pengetahuan yang lebih baik tentang perhitungan kebutuhan pupuk, petani dapat menerapkan praktik-praktik yang lebih berkelanjutan dalam pertanian mereka:

- 1) Praktik Pertanian Ramah Lingkungan: Petani belajar untuk meminimalkan dampak negatif pada lingkungan dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam secara bijaksana dan efisien.
- 2) Kontribusi pada Keberlanjutan Sosial dan Ekonomi: Pengetahuan yang lebih baik tentang penggunaan pupuk juga dapat membantu memperkuat komunitas pertanian dengan memastikan bahwa tanah dan sumber daya alam lainnya tetap produktif untuk masa depan.

Meningkatkan kesadaran dan pengetahuan petani tentang perhitungan kebutuhan pupuk adalah langkah penting dalam mendorong pertanian yang lebih efisien, produktif, dan berkelanjutan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang nutrisi tanaman, praktik pemupukan yang tepat, dan dampak lingkungan dari penggunaan pupuk, petani dapat membuat keputusan yang lebih baik yang menguntungkan mereka secara ekonomi, melindungi lingkungan, dan menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang. Pendidikan, penyuluhan, dan pelatihan yang berkelanjutan adalah kunci untuk mencapai tujuan ini,

membekali petani dengan pengetahuan dan alat yang mereka butuhkan untuk sukses di era pertanian modern.

8. Mengakomodasi Variabilitas Kondisi Tanah dan Iklim dalam Perhitungan Kebutuhan Pupuk

Perhitungan kebutuhan pupuk juga bertujuan untuk mengakomodasi variasi dalam kondisi tanah dan iklim yang dapat mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor ini, pupuk dapat diaplikasikan dengan lebih efektif dan efisien, sesuai dengan kebutuhan spesifik dari setiap lahan pertanian.

Secara keseluruhan, tujuan dari perhitungan keperluan pupuk adalah untuk mendukung praktik pertanian yang lebih efisien, produktif, dan berkelanjutan, dengan dampak positif baik dari sisi ekonomi bagi petani maupun lingkungan yang lebih luas.

Variabilitas kondisi tanah dan iklim merupakan tantangan yang signifikan dalam pertanian, yang memengaruhi ketersediaan nutrisi dan pertumbuhan tanaman. Tanah dan iklim yang berbeda memerlukan pendekatan pemupukan yang berbeda pula. Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan pupuk harus mampu mengakomodasi variasi ini untuk memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang tepat di lingkungan mereka. Berikut adalah cara perhitungan kebutuhan pupuk dapat mengakomodasi variabilitas kondisi tanah dan iklim:

a. Memahami Karakteristik Tanah

Setiap jenis tanah memiliki karakteristik yang unik, seperti tekstur, struktur, pH, dan kandungan bahan organik, yang mempengaruhi ketersediaan dan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Dengan memahami karakteristik tanah ini, petani dapat menyesuaikan perhitungan kebutuhan pupuk agar sesuai dengan kondisi spesifik lahan mereka.

- 1) Analisis Tanah: Sebelum melakukan perhitungan kebutuhan pupuk, penting untuk melakukan analisis tanah yang mencakup pengukuran pH, kapasitas tukar kation (CEC), kandungan bahan organik, dan ketersediaan unsur hara makro dan mikro. Informasi ini membantu menentukan jenis dan jumlah pupuk yang paling efektif untuk digunakan.
 - 2) Penyesuaian Jenis Pupuk: Misalnya, pada tanah dengan pH rendah (asam), tanaman mungkin mengalami kesulitan dalam menyerap fosfor, sehingga diperlukan pupuk yang dapat meningkatkan pH tanah atau menyediakan fosfor dalam bentuk yang lebih mudah diserap. Sebaliknya, pada tanah berpasir yang memiliki drainase cepat, pupuk dengan pelepasan lambat mungkin lebih efektif untuk mencegah pencucian nutrisi.
- b. Mengatasi Variasi Ketersediaan Nutrisi dalam Tanah

Tanah yang berbeda memiliki kapasitas yang berbeda dalam menyimpan dan melepaskan nutrisi. Variasi ini bisa terjadi bahkan di dalam satu lahan, terutama pada lahan yang luas atau dengan topografi yang bervariasi.

- 1) Pemupukan Berbasis Zona: Menggunakan teknologi seperti pemetaan lahan dengan drone atau sensor tanah, petani dapat membagi lahan mereka menjadi beberapa zona berdasarkan karakteristik tanah yang serupa. Perhitungan kebutuhan pupuk kemudian dapat dilakukan secara berbeda untuk setiap zona, memastikan bahwa setiap bagian lahan mendapatkan dosis pupuk yang sesuai.
- 2) Pemupukan Presisi: Dengan pendekatan ini, pupuk diaplikasikan secara tepat pada area yang membutuhkan, mengurangi pemborosan dan meningkatkan efisiensi pemupukan.

c. Menyesuaikan Pemupukan dengan Kondisi Iklim

Iklim mempengaruhi bagaimana dan kapan nutrisi tersedia bagi tanaman. Faktor-faktor seperti suhu, curah hujan, dan kelembapan memainkan peran penting dalam menentukan kebutuhan pupuk.

- 1) Musim Tanam dan Curah Hujan: Pada musim hujan, pencucian nutrisi seperti nitrogen lebih mungkin terjadi, sehingga aplikasi pupuk nitrogen harus dilakukan dengan lebih hati-hati, mungkin dalam dosis yang lebih kecil tetapi lebih sering. Sebaliknya, di daerah dengan curah hujan rendah, pemupukan harus mempertimbangkan ketersediaan air untuk memastikan nutrisi dapat diserap oleh tanaman.
- 2) Suhu dan Aktivitas Mikrobiologi: Suhu tanah memengaruhi aktivitas mikroba yang berperan dalam mineralisasi bahan organik menjadi nutrisi yang tersedia bagi tanaman. Di daerah dengan suhu rendah, proses ini berjalan lebih lambat, sehingga mungkin diperlukan pupuk tambahan atau penggunaan pupuk dengan pelepasan cepat selama musim tanam untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman.

d. Mengakomodasi Perubahan Iklim

Perubahan iklim yang menyebabkan ketidakpastian dalam pola cuaca, seperti curah hujan yang tidak terduga atau perubahan suhu ekstrem, menambah kompleksitas dalam pengelolaan pemupukan.

- 1) Perencanaan yang Fleksibel: Petani harus siap menyesuaikan rencana pemupukan mereka berdasarkan kondisi cuaca yang berubah-ubah. Misalnya, jika prediksi menunjukkan musim hujan yang lebih pendek dari biasanya, petani mungkin perlu meningkatkan frekuensi aplikasi pupuk untuk

menghindari kekurangan nutrisi selama periode kering.

- 2) Penggunaan Teknologi Ramalan Iklim: Menggunakan prediksi cuaca dan model iklim jangka panjang dapat membantu petani membuat keputusan yang lebih tepat waktu dan proaktif tentang kapan dan berapa banyak pupuk yang harus diterapkan.

e. Meminimalkan Risiko Lingkungan akibat Variabilitas

Variabilitas tanah dan iklim yang tidak diakomodasi dengan baik dalam perhitungan kebutuhan pupuk dapat menyebabkan dampak lingkungan yang negatif, seperti pencemaran air dan penurunan kualitas tanah.

- 1) Pencucian Nutrisi: Di daerah dengan curah hujan tinggi, nutrisi seperti nitrogen dan fosfor lebih rentan tercuci dari tanah dan mencemari perairan sekitar. Dengan perhitungan yang tepat dan aplikasi yang disesuaikan dengan kondisi iklim, risiko pencucian ini dapat diminimalkan.
- 2) Erosi Tanah: Pada lahan dengan topografi miring atau tanah yang tidak stabil, pemupukan yang tidak tepat dapat memperburuk erosi tanah, yang merusak struktur tanah dan mengurangi kesuburannya. Perhitungan pupuk yang mempertimbangkan kondisi tanah dan iklim membantu mengurangi risiko ini.

f. Mengoptimalkan Rotasi Tanaman dan Penggunaan Pupuk

Rotasi tanaman adalah strategi penting untuk menjaga kesuburan tanah, terutama di lahan dengan variabilitas tinggi. Perhitungan kebutuhan pupuk dapat membantu petani merencanakan rotasi tanaman yang tepat dengan mempertimbangkan kondisi tanah dan iklim.

- 1) Rotasi Berbasis Nutrisi: Menanam tanaman dengan kebutuhan nutrisi yang berbeda secara bergantian dapat membantu mengurangi tekanan pada tanah

dan meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk. Misalnya, setelah tanaman yang membutuhkan nitrogen tinggi seperti jagung, petani dapat menanam tanaman kacang-kacangan yang memiliki kemampuan mengikat nitrogen dari udara, mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen pada siklus berikutnya.

- 2) Penyesuaian Pupuk pada Tanaman Rotasi: Setiap tanaman dalam rotasi mungkin membutuhkan jenis dan jumlah pupuk yang berbeda. Dengan menghitung kebutuhan untuk setiap tanaman dalam rotasi, petani dapat memastikan bahwa tanah tidak kekurangan nutrisi meskipun terjadi perubahan kondisi iklim.

g. Meningkatkan Pengelolaan Air melalui Pemupukan

Air adalah elemen kunci yang bekerja bersama dengan pupuk untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Mengakomodasi variabilitas iklim dalam perhitungan kebutuhan pupuk juga melibatkan pengelolaan air yang efektif.

- 1) Irigasi Berbasis Nutrisi: Di daerah dengan variabilitas curah hujan yang tinggi, irigasi harus direncanakan bersama dengan pemupukan untuk memastikan bahwa tanaman mendapatkan air dan nutrisi yang cukup. Teknologi irigasi tetes, misalnya, dapat digunakan untuk menerapkan pupuk larut air secara langsung ke akar tanaman, meningkatkan efisiensi penggunaan air dan pupuk.
- 2) Konservasi Air dan Pupuk: Di daerah kering, teknik konservasi air seperti mulsa atau penutup tanah dapat digunakan untuk mengurangi penguapan dan menjaga kelembapan tanah, sehingga pupuk yang diterapkan lebih efektif.

Mengakomodasi variabilitas kondisi tanah dan iklim dalam perhitungan kebutuhan pupuk adalah esensial untuk praktik pertanian yang sukses dan berkelanjutan. Dengan

menyesuaikan jenis, jumlah, dan waktu aplikasi pupuk berdasarkan kondisi spesifik lahan dan cuaca, petani dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, menjaga kesehatan tanah, mengurangi dampak lingkungan, dan pada akhirnya meningkatkan produktivitas pertanian mereka. Pendekatan ini juga membantu petani lebih adaptif terhadap perubahan iklim, memastikan bahwa praktik pertanian mereka tetap relevan dan efektif di tengah kondisi yang terus berubah.

9.2 Faktor yang Mempengaruhi Kebutuhan Pupuk

Perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat sangat penting untuk memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang diperlukan tanpa menyebabkan pemborosan atau dampak negatif pada lingkungan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kebutuhan pupuk tanaman, yang harus dipertimbangkan untuk mencapai efisiensi dan efektivitas dalam penggunaan pupuk. Berikut adalah faktor-faktor utama yang mempengaruhi kebutuhan pupuk:

1. Jenis Tanaman

Setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda-beda, tergantung pada spesies, tahap pertumbuhan, dan tujuan produksi (misalnya, apakah tanaman ditanam untuk biji, buah, atau daun).

- a. Kebutuhan Nutrisi Spesifik: Tanaman padi, misalnya, memerlukan lebih banyak nitrogen selama fase pertumbuhan vegetatif, sementara tanaman legum seperti kacang-kacangan lebih memerlukan fosfor untuk pengembangan sistem akar.
- b. Siklus Hidup Tanaman: Tanaman tahunan mungkin memerlukan pemupukan yang berbeda dari tanaman semusim. Tanaman hortikultura seperti sayuran atau buah-buahan memiliki kebutuhan pupuk yang

bervariasi tergantung pada fase pertumbuhan (vegetatif, pembungaan, pembuahan).

2. Kondisi Tanah

Kondisi tanah adalah faktor yang sangat penting dalam menentukan kebutuhan pupuk. Beberapa karakteristik tanah yang mempengaruhi kebutuhan pupuk meliputi:

- a. Kandungan Nutrisi Tanah: Tanah yang kaya akan nutrisi alami mungkin memerlukan lebih sedikit pupuk tambahan. Sebaliknya, tanah yang miskin nutrisi memerlukan pupuk dalam jumlah yang lebih banyak untuk mendukung pertumbuhan tanaman.
- b. pH Tanah: pH tanah mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Pada pH yang terlalu rendah (asam) atau terlalu tinggi (basa), beberapa nutrisi penting mungkin tidak tersedia bagi tanaman, sehingga perlu penyesuaian dalam pemupukan.
- c. Tekstur Tanah: Tanah berpasir biasanya memerlukan pemupukan yang lebih sering karena nutrisi mudah tercuci, sementara tanah liat cenderung menahan nutrisi lebih baik tetapi mungkin memerlukan penambahan bahan organik untuk memperbaiki struktur tanah.
- d. Kapasitas Tukar Kation (CEC): Tanah dengan CEC yang tinggi dapat menyimpan lebih banyak nutrisi, mengurangi kebutuhan aplikasi pupuk yang sering.

3. Kondisi Iklim

Iklim memengaruhi ketersediaan dan penyerapan nutrisi oleh tanaman. Faktor-faktor iklim yang perlu dipertimbangkan meliputi:

- a. Curah Hujan: Di daerah dengan curah hujan tinggi, risiko pencucian nutrisi (seperti nitrogen) dari tanah meningkat, yang berarti kebutuhan pupuk juga mungkin lebih tinggi untuk mengganti nutrisi yang hilang.

- b. Suhu: Suhu mempengaruhi aktivitas mikroorganisme tanah yang terlibat dalam proses mineralisasi bahan organik menjadi nutrisi yang tersedia bagi tanaman. Suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat penyerapan nutrisi.
- c. Kelembapan: Ketersediaan air dalam tanah mempengaruhi seberapa baik tanaman dapat menyerap nutrisi. Pada kondisi tanah yang terlalu kering, penyerapan nutrisi oleh akar tanaman menjadi tidak optimal, sehingga mungkin memerlukan penyesuaian dalam jadwal pemupukan.

4. Sistem Irigasi

Sistem irigasi yang digunakan di lahan pertanian juga memengaruhi kebutuhan pupuk. Beberapa aspek yang terkait dengan irigasi meliputi:

- a. Jenis Irigasi: Irigasi tetes memungkinkan pupuk diterapkan secara efisien langsung ke zona perakaran, mengurangi pemborosan nutrisi. Sebaliknya, irigasi berlebihan (misalnya irigasi permukaan) dapat menyebabkan pencucian nutrisi dari tanah, sehingga meningkatkan kebutuhan pupuk.
- b. Kualitas Air Irigasi: Air dengan kandungan garam yang tinggi dapat menyebabkan masalah pada penyerapan nutrisi oleh tanaman, yang berarti perlu penyesuaian dalam dosis dan jenis pupuk yang digunakan.

5. Fase Pertumbuhan Tanaman

Kebutuhan pupuk bervariasi tergantung pada fase pertumbuhan tanaman. Pemberian pupuk harus disesuaikan dengan fase pertumbuhan untuk memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang tepat pada waktu yang tepat.

- a. Pertumbuhan Vegetatif: Pada fase ini, tanaman biasanya membutuhkan lebih banyak nitrogen untuk mendukung pembentukan daun dan batang.

- b. Pembungaan dan Pembuahan: Selama fase ini, kebutuhan tanaman akan fosfor dan kalium meningkat untuk mendukung pembentukan bunga dan buah.
- c. Pematangan dan Pemanenan: Nutrisi yang diberikan selama fase ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil panen, dengan fokus pada kalium untuk meningkatkan daya simpan dan kualitas produk.

6. Rotasi Tanaman dan Pola Tanam

Rotasi tanaman dan pola tanam juga mempengaruhi kebutuhan pupuk:

- a. Rotasi Tanaman: Menanam tanaman dengan kebutuhan nutrisi yang berbeda secara bergantian dapat mengurangi tekanan pada tanah dan menyeimbangkan penggunaan nutrisi. Misalnya, setelah tanaman jagung yang membutuhkan banyak nitrogen, menanam kacang-kacangan yang dapat mengikat nitrogen dari udara dapat mengurangi kebutuhan pupuk nitrogen.
- b. Tumpangsari: Pola tanam di mana beberapa jenis tanaman ditanam bersama-sama (tumpangsari) juga dapat mempengaruhi kebutuhan pupuk, karena setiap jenis tanaman memiliki kebutuhan nutrisi yang berbeda.

7. Kondisi Ekonomi dan Ketersediaan Pupuk

Ketersediaan dan harga pupuk juga menjadi faktor penting dalam menentukan kebutuhan pupuk:

- a. Harga Pupuk: Fluktuasi harga pupuk dapat mempengaruhi jumlah dan jenis pupuk yang dapat digunakan petani. Pada saat harga pupuk tinggi, petani mungkin lebih selektif dalam penggunaan pupuk dan mencari alternatif seperti pupuk organik atau teknologi pemupukan presisi.
- b. Ketersediaan Pupuk di Pasaran: Di beberapa daerah, ketersediaan pupuk tertentu mungkin terbatas,

sehingga petani harus menyesuaikan jenis pupuk yang digunakan dengan yang tersedia di pasar.

8. Tujuan Produksi

Tujuan dari budidaya tanaman juga mempengaruhi kebutuhan pupuk. Apakah tujuan utamanya untuk:

- a. **Produksi Skala Besar:** Pada produksi skala besar, seperti tanaman pangan utama (padi, jagung), penggunaan pupuk mungkin lebih intensif untuk memastikan hasil panen maksimal.
- b. **Produksi Organik:** Untuk pertanian organik, penggunaan pupuk kimia dibatasi atau tidak diperbolehkan, sehingga petani lebih mengandalkan pupuk organik yang memerlukan perhitungan lebih kompleks untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman.

9. Ketersediaan Bahan Organik

Ketersediaan bahan organik di lahan pertanian juga mempengaruhi kebutuhan pupuk. Tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi cenderung memiliki kapasitas lebih baik dalam menyimpan nutrisi dan mendukung pertumbuhan mikroorganisme yang membantu dalam proses mineralisasi.

Penggunaan Pupuk Organik: Ketersediaan pupuk kandang, kompos, atau pupuk hijau dapat mengurangi kebutuhan pupuk anorganik dengan menyediakan nutrisi dan meningkatkan kualitas tanah.

Kebutuhan pupuk dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berkaitan, termasuk jenis tanaman, kondisi tanah dan iklim, sistem irigasi, fase pertumbuhan tanaman, dan aspek ekonomi. Memahami dan mengintegrasikan semua faktor ini dalam perhitungan kebutuhan pupuk adalah kunci untuk mencapai efisiensi penggunaan pupuk, meningkatkan hasil panen, menjaga kesuburan tanah, dan mendukung pertanian yang berkelanjutan. Petani yang memperhatikan faktor-faktor ini dapat mengoptimalkan

penggunaan pupuk mereka, mengurangi biaya, dan meminimalkan dampak negatif pada lingkungan.

9.3 Metode Perhitungan Keperluan Pupuk

Perhitungan kebutuhan pupuk yang tepat sangat penting untuk memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang diperlukan secara optimal, tanpa menyebabkan pemborosan atau dampak negatif pada lingkungan. Ada beberapa metode perhitungan kebutuhan pupuk yang umum digunakan dalam pertanian. Berikut ini adalah beberapa metode utama yang dapat diterapkan:

1. Metode Analisis Tanah (*Soil Testing Method*)

Metode ini melibatkan pengambilan sampel tanah dari lahan pertanian untuk dianalisis di laboratorium. Analisis tanah ini akan memberikan informasi tentang kandungan unsur hara yang tersedia di dalam tanah, seperti nitrogen, fosfor, kalium, dan mikro-nutrien lainnya, serta karakteristik penting lainnya seperti pH dan kapasitas tukar kation (CEC).

Langkah-Langkah

- a. Pengambilan Sampel Tanah: Sampel tanah diambil dari beberapa titik di lahan pertanian untuk mendapatkan hasil yang representatif.
- b. Analisis Laboratorium: Sampel tanah dikirim ke laboratorium untuk dianalisis kandungan unsur haranya.
- c. Interpretasi Hasil: Hasil analisis tanah digunakan untuk menentukan kekurangan atau kecukupan nutrisi di dalam tanah.
- d. Penentuan Dosis Pupuk: Berdasarkan hasil analisis, dosis pupuk dihitung untuk memenuhi kebutuhan nutrisi yang tidak tersedia dalam jumlah cukup di tanah.

Keunggulan

- a. Memberikan informasi yang akurat tentang kondisi tanah.
- b. Memungkinkan penyesuaian dosis pupuk yang spesifik untuk lahan tertentu.
- c. Mengurangi risiko penggunaan pupuk berlebihan.

Keterbatasan

- a. Memerlukan akses ke laboratorium untuk analisis tanah.
- b. Biaya analisis tanah bisa mahal untuk petani kecil.
- c. Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil analisis.

2. Metode Perbandingan Hasil (*Yield Target Method*)

Metode ini menghitung kebutuhan pupuk berdasarkan target hasil panen yang diinginkan. Metode ini mempertimbangkan seberapa banyak nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman untuk mencapai target hasil panen tertentu, serta memperhitungkan kontribusi nutrisi dari tanah dan sisa-sisa tanaman sebelumnya.

Langkah-Langkah

- a. Menentukan Target Hasil: Tentukan target hasil panen (misalnya, ton per hektar).
- b. Kebutuhan Nutrisi untuk Target Hasil: Hitung kebutuhan nutrisi untuk mencapai target hasil panen, berdasarkan data empiris atau panduan teknis.
- c. Kandungan Nutrisi Tanah: Perkirakan kontribusi nutrisi dari tanah berdasarkan hasil analisis tanah atau data historis.
- d. Hitung Dosis Pupuk: Kebutuhan pupuk dihitung dengan mengurangi jumlah nutrisi yang tersedia di tanah dari total kebutuhan nutrisi tanaman untuk mencapai target hasil.

Keunggulan

- a. Memudahkan petani untuk merencanakan pemupukan berdasarkan target hasil panen.
- b. Dapat disesuaikan dengan berbagai kondisi lahan dan tanaman.
- c. Sederhana dan mudah dipahami oleh petani.

Keterbatasan

- a. Memerlukan data yang akurat tentang kebutuhan nutrisi tanaman dan ketersediaan nutrisi di tanah.
- b. Tidak mempertimbangkan variabilitas dalam efisiensi penggunaan pupuk.
- c. Hasil yang kurang akurat jika kondisi tanah sangat bervariasi di dalam satu lahan.

3. Metode Keseimbangan Hara (*Nutrient Balance Method*)

Metode keseimbangan hara menghitung kebutuhan pupuk dengan membandingkan jumlah nutrisi yang diambil oleh tanaman dengan jumlah nutrisi yang tersedia di dalam tanah. Ini mencakup nutrisi yang diserap oleh tanaman dari tanah dan yang hilang melalui pencucian, erosi, atau run-off.

Langkah-Langkah

- a. Estimasi Penyerapan Nutrisi oleh Tanaman: Berdasarkan data tentang jenis tanaman dan target hasil, tentukan jumlah nutrisi yang diserap oleh tanaman.
- b. Penentuan Ketersediaan Nutrisi di Tanah: Perkirakan jumlah nutrisi yang tersedia di tanah, termasuk yang berasal dari pupuk sebelumnya, bahan organik, dan residu tanaman.
- c. Hitung Keseimbangan Hara: Bandingkan jumlah nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman dengan jumlah yang tersedia di tanah. Tambahkan nutrisi tambahan melalui pupuk sesuai dengan kebutuhan yang tidak terpenuhi.

Keunggulan

- a. Memungkinkan penyesuaian yang tepat berdasarkan kondisi spesifik lahan dan tanaman.
- b. Mengurangi risiko kekurangan atau kelebihan nutrisi.
- c. Dapat diadaptasi untuk berbagai jenis tanaman dan sistem pertanian.

Keterbatasan

- a. Memerlukan data yang cukup tentang ketersediaan nutrisi di tanah dan penyerapan oleh tanaman.
- b. Kompleksitas dalam menghitung keseimbangan hara, terutama di lahan dengan variasi yang tinggi.

4. Metode Uji Daun (*Leaf Analysis Method*)

Metode ini melibatkan analisis daun tanaman untuk menentukan kadar nutrisi yang diserap oleh tanaman. Hasil dari analisis daun digunakan untuk menilai apakah tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup atau memerlukan tambahan pupuk.

Langkah-Langkah

- a. Pengambilan Sampel Daun: Ambil sampel daun dari tanaman pada tahap pertumbuhan tertentu.
- b. Analisis Laboratorium: Daun dianalisis di laboratorium untuk menentukan kadar nutrisi yang dikandungnya.
- c. Interpretasi Hasil: Bandingkan hasil analisis dengan standar yang telah ditetapkan untuk menentukan apakah ada kekurangan atau kelebihan nutrisi.
- d. Penyesuaian Pupuk: Berdasarkan hasil analisis, dosis pupuk disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan tanaman.

Keunggulan

- a. Memberikan gambaran langsung tentang status nutrisi tanaman.

- b. Dapat digunakan untuk diagnosa masalah nutrisi di lapangan.
- c. Memungkinkan penyesuaian cepat jika ada kekurangan nutrisi.
- d. Keterbatasan:
 - a. Memerlukan laboratorium dan peralatan untuk analisis daun.
 - b. Hasil analisis hanya mewakili status nutrisi pada waktu pengambilan sampel, sehingga memerlukan pemantauan berkelanjutan.
 - c. Tidak memberikan informasi tentang nutrisi yang tersedia di dalam tanah.

5. Metode Penggunaan Buku Pedoman atau Rekomendasi (*Guideline or Recommendation Method*)

Metode ini menggunakan panduan atau rekomendasi yang telah dikembangkan berdasarkan penelitian untuk jenis tanaman tertentu, kondisi tanah, dan lingkungan. Buku pedoman ini biasanya disediakan oleh pemerintah, lembaga penelitian, atau organisasi pertanian.

Langkah-Langkah

- a. Identifikasi Tanaman dan Kondisi Lahan: Tentukan jenis tanaman dan kondisi tanah di lahan yang akan ditanami.
- b. Rujuk Buku Pedoman: Gunakan buku pedoman atau rekomendasi resmi yang tersedia untuk menentukan dosis pupuk yang disarankan.
- c. Aplikasi Pupuk: Terapkan pupuk sesuai dengan dosis dan jadwal yang direkomendasikan.

Keunggulan

- a. Mudah digunakan, terutama oleh petani kecil tanpa akses ke laboratorium atau teknologi canggih.

- b. Berdasarkan penelitian yang luas, sehingga memiliki dasar ilmiah yang kuat.
- c. Dapat diterapkan secara luas untuk berbagai jenis tanaman dan kondisi tanah.

Keterbatasan

- a. Kurang fleksibel dalam menyesuaikan dengan kondisi spesifik lahan.
- b. Rekomendasi umum mungkin tidak selalu sesuai dengan variabilitas lokal dalam tanah dan iklim.
- c. Tidak seakurat metode yang melibatkan analisis langsung tanah atau tanaman.

6. Metode Pemupukan Presisi (*Precision Fertilization Method*)

Metode ini menggunakan teknologi modern seperti GPS, sensor tanah, drone, dan aplikasi berbasis data untuk melakukan pemupukan secara presisi sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman di berbagai bagian lahan. Pemupukan presisi memungkinkan aplikasi pupuk yang lebih efisien, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan hasil panen.

Langkah-Langkah

- a. Pemetaan Lahan: Gunakan teknologi seperti GPS dan drone untuk memetakan variabilitas tanah di seluruh lahan.
- b. Analisis Data: Analisis data yang dikumpulkan dari sensor tanah dan tanaman untuk menentukan kebutuhan pupuk di berbagai zona dalam lahan.
- c. Aplikasi Presisi: Terapkan pupuk dengan mesin yang dikendalikan oleh GPS atau teknologi lain yang memungkinkan aplikasi presisi sesuai dengan kebutuhan di setiap zona.

Keunggulan

- a. Meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk.
- b. Mengurangi dampak lingkungan akibat penggunaan pupuk yang berlebihan.
- c. Meningkatkan hasil panen dengan aplikasi nutrisi yang lebih tepat sasaran.

Keterbatasan

- a. Memerlukan investasi awal yang cukup besar dalam teknologi dan peralatan.
- b. Membutuhkan pengetahuan dan pelatihan untuk menggunakan teknologi dengan benar.
- c. Tidak semua petani, terutama di daerah terpencil atau dengan skala usaha kecil, memiliki akses ke teknologi ini.

Pemilihan metode perhitungan kebutuhan pupuk tergantung pada berbagai faktor seperti kondisi tanah, jenis tanaman, akses ke teknologi, dan sumber daya yang tersedia. Masing-masing metode memiliki keunggulan dan keterbatasannya sendiri, tetapi tujuan utamanya adalah sama: memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang mereka butuhkan untuk tumbuh dengan baik tanpa memboroskan sumber daya atau merusak lingkungan. Dengan memahami dan menerapkan metode yang paling sesuai dengan kondisi spesifik mereka, petani dapat meningkatkan efisiensi pemupukan, menjaga kesuburan tanah, dan mencapai hasil panen yang optimal.

9.4 Aplikasi Pupuk : Metode dan Pertimbangan untuk Efektivitas Optimal

Aplikasi pupuk adalah proses penerapan pupuk ke lahan atau tanaman untuk menyediakan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal. Metode aplikasi pupuk yang tepat

penting untuk memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi secara efisien, mengurangi pemborosan, dan meminimalkan dampak lingkungan. Berikut adalah beberapa metode utama aplikasi pupuk dan pertimbangan penting untuk masing-masing:

1. Aplikasi Pupuk Dasar (*Basal Application*)

Pupuk dasar diterapkan sebelum atau pada saat tanam, dan biasanya dibenamkan ke dalam tanah. Tujuannya adalah untuk menyediakan nutrisi yang cukup bagi tanaman sejak awal pertumbuhan.

Metode

- a. Penaburan (*Broadcasting*): Pupuk ditaburkan secara merata di seluruh permukaan tanah, kemudian dicampur dengan tanah menggunakan alat seperti bajak atau cangkul.
- b. Pembenaman (*Incorporation*): Pupuk dibenamkan ke dalam tanah pada kedalaman tertentu, seringkali bersamaan dengan persiapan lahan sebelum penanaman.

Pertimbangan

- a. Efisiensi: Membenamkan pupuk ke dalam tanah mengurangi kehilangan nutrisi akibat penguapan atau pencucian oleh air hujan.
- b. Jenis Pupuk: Pupuk yang bersifat lambat larut (seperti superfosfat atau pupuk organik) sering kali diterapkan sebagai pupuk dasar.
- c. Kondisi Tanah: Pada tanah yang rentan terhadap erosi, pembenaman pupuk membantu mengurangi risiko hilangnya pupuk.

2. Aplikasi Pupuk Susulan (*Topdressing*)

Pupuk susulan diberikan setelah tanaman mulai tumbuh, biasanya pada fase pertumbuhan vegetatif atau

pembungaan. Tujuannya adalah untuk menyediakan nutrisi tambahan yang dibutuhkan tanaman pada fase-fase kritis pertumbuhan.

Metode

- a. Penyebaran Permukaan (*Surface Application*): Pupuk disebar di permukaan tanah di sekitar tanaman tanpa dicampur dengan tanah. Metode ini sering digunakan untuk pupuk nitrogen.
- b. Penempatan Baris (*Side-dressing*): Pupuk diaplikasikan di sepanjang barisan tanaman pada kedalaman tertentu, seringkali menggunakan alat khusus untuk memastikan pupuk diletakkan dekat dengan akar.

Pertimbangan

- a. Efisiensi Penyerapan: Pemberian pupuk nitrogen secara susulan membantu tanaman menyerap nutrisi pada saat mereka paling membutuhkannya, seperti selama fase pertumbuhan yang cepat.
- b. Waktu Pemberian: Pupuk susulan biasanya diberikan dalam beberapa kali aplikasi kecil untuk menghindari pemborosan dan memastikan ketersediaan nutrisi yang berkelanjutan.
- c. Penggunaan Irigasi: Aplikasi pupuk bersamaan dengan irigasi (fertigasi) dapat meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi.

3. Pemupukan Melalui Daun (*Foliar Application*)

Pupuk cair diterapkan langsung ke daun tanaman melalui penyemprotan. Nutrisi diserap oleh daun dan masuk langsung ke jaringan tanaman.

Metode

- a. Penyemprotan (*Spraying*): Larutan pupuk disemprotkan secara merata ke permukaan daun menggunakan alat semprot tangan atau mesin penyemprot.

- b. Penyapuan (*Wiping*): Pada tanaman tertentu, larutan pupuk dapat diaplikasikan ke daun dengan menggunakan kain atau alat lain yang menyapukan pupuk secara langsung ke permukaan daun.

Pertimbangan

- a. Penyerapan Cepat: Pemupukan daun memungkinkan nutrisi diserap dengan cepat oleh tanaman, yang sangat bermanfaat dalam situasi kekurangan nutrisi akut.
- b. Cuaca: Hindari penyemprotan pada saat cuaca panas terik atau menjelang hujan, karena hal ini dapat mengurangi efektivitas penyerapan.
- c. Jenis Pupuk: Pemupukan daun biasanya menggunakan pupuk mikro atau pupuk yang mudah larut dalam air, seperti urea cair atau pupuk yang mengandung mikro-nutrien.

4. Aplikasi Pupuk melalui Irigasi (Fertigasi)

Fertigasi adalah metode aplikasi pupuk melalui sistem irigasi, memungkinkan pupuk diterapkan bersamaan dengan air irigasi, langsung ke zona perakaran tanaman.

Metode

- a. Irigasi Tetes (*Drip Irrigation*): Pupuk cair atau larut diterapkan melalui sistem irigasi tetes yang mengalirkan air dan pupuk langsung ke zona akar tanaman.
- b. Irigasi Sprinkler (*Sprinkler Irrigation*): Pupuk dicampur dengan air dan disemprotkan ke tanaman melalui sistem sprinkler.

Pertimbangan

- a. Efisiensi Penggunaan Air dan Pupuk: Fertigasi memungkinkan penghematan air dan pupuk dengan menerapkannya langsung ke akar, mengurangi pemborosan dan meningkatkan penyerapan nutrisi.

- b. Kontrol Nutrisi yang Lebih Baik: Petani dapat dengan mudah menyesuaikan dosis dan jadwal aplikasi pupuk sesuai dengan kebutuhan tanaman.
- c. Kebutuhan Infrastruktur: Fertigasi memerlukan sistem irigasi yang baik dan peralatan yang tepat, yang bisa menjadi investasi awal yang signifikan.

5. Aplikasi Pupuk Berlapis (*Banding and Row Placement*)

Pupuk diaplikasikan dalam barisan atau lapisan tertentu, biasanya di sebelah atau di bawah benih saat penanaman. Metode ini sering digunakan pada tanaman baris seperti jagung, kedelai, atau kapas.

Metode

- a. *Banding*: Pupuk ditempatkan dalam satu atau dua barisan di samping barisan benih pada kedalaman yang sama dengan benih atau sedikit lebih dalam.
- b. *In-row Placement*: Pupuk ditempatkan langsung di dalam barisan benih, seringkali bersamaan dengan penanaman.

Pertimbangan

- a. Efisiensi Penyerapan: Penempatan pupuk dekat dengan akar meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman, terutama pada awal pertumbuhan.
- b. Pengurangan Risiko Pencucian: Penempatan pupuk yang tepat dapat mengurangi risiko pencucian nutrisi, terutama di daerah dengan curah hujan tinggi.
- c. Pemilihan Jenis Pupuk: Pupuk dengan sifat larut lambat sering digunakan dalam aplikasi berlapis untuk memberikan pasokan nutrisi yang berkelanjutan.

6. Aplikasi Pupuk Organik

Pupuk organik seperti kompos, pupuk kandang, atau pupuk hijau diaplikasikan untuk memperbaiki struktur tanah, meningkatkan bahan organik, dan menyediakan nutrisi bagi tanaman.

Metode

- a. Penaburan (*Broadcasting*): Pupuk organik ditaburkan secara merata di seluruh lahan dan kemudian dibenamkan ke dalam tanah.
- b. Pembenanaman (*Incorporation*): Pupuk organik dibenamkan ke dalam tanah pada saat persiapan lahan, seringkali bersama dengan pupuk dasar lainnya.

Pertimbangan

- a. Peningkatan Kesuburan Tanah: Pupuk organik membantu memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air, dan mendukung kehidupan mikroorganisme tanah.
- b. Lambat Larut: Pupuk organik biasanya melepaskan nutrisi secara perlahan, sehingga dapat digunakan sebagai pupuk dasar yang memberikan pasokan nutrisi jangka panjang.
- c. Ketersediaan: Ketersediaan pupuk organik dapat bervariasi tergantung pada lokasi, dan kualitasnya juga bisa bervariasi berdasarkan bahan baku yang digunakan.

7. Aplikasi Pupuk Pelepas Terkendali (*Controlled-Release Fertilizers*)

Pupuk pelepas terkendali dirancang untuk melepaskan nutrisi secara perlahan sesuai dengan kebutuhan tanaman selama periode tertentu. Ini biasanya dilakukan dengan menggunakan pupuk yang dilapisi dengan polimer atau bahan lainnya yang mengontrol laju pelepasan nutrisi.

Metode

- a. Pembenaman (*Incorporation*): Pupuk ditempatkan di dalam tanah pada kedalaman tertentu, seringkali bersamaan dengan penanaman atau sebagai pupuk dasar.
- b. Penempatan di Baris (*Banding*): Pupuk ditempatkan di barisan atau di samping barisan tanaman untuk memberikan nutrisi yang lebih dekat ke akar.

Pertimbangan

- a. Pengurangan Frekuensi Aplikasi: Karena nutrisi dilepaskan secara bertahap, pupuk pelepas terkendali mengurangi kebutuhan aplikasi pupuk berulang kali selama musim tanam.
- b. Efisiensi Penyerapan Nutrisi: Nutrisi dilepaskan sesuai dengan kebutuhan tanaman, sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan dan mengurangi pemborosan.
- c. Biaya: Pupuk pelepas terkendali sering kali lebih mahal dibandingkan pupuk konvensional, meskipun biaya ini dapat diimbangi oleh pengurangan frekuensi aplikasi dan peningkatan hasil panen.

Aplikasi pupuk yang tepat merupakan kunci untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal, meningkatkan hasil panen, dan menjaga kesuburan tanah. Pilihan metode aplikasi pupuk harus disesuaikan dengan jenis pupuk, jenis tanaman, kondisi tanah, dan kondisi iklim. Dengan memahami keunggulan dan keterbatasan setiap metode, petani dapat memilih pendekatan yang paling efisien dan efektif untuk lahan mereka, sehingga tidak hanya meningkatkan produktivitas pertanian tetapi juga mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan.

9.5 Penyesuaian Kebutuhan Pupuk Berdasarkan Hasil Pemantauan

Penyesuaian kebutuhan pupuk berdasarkan hasil pemantauan adalah langkah penting dalam manajemen pemupukan yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengoptimalkan pertumbuhan tanaman, dan menjaga keseimbangan ekosistem. Pemantauan dilakukan secara berkala untuk mengevaluasi kondisi tanaman dan tanah, serta untuk menyesuaikan dosis dan jenis pupuk yang diberikan agar sesuai dengan kebutuhan aktual tanaman pada berbagai tahap pertumbuhan. Berikut adalah langkah-langkah dan strategi untuk melakukan penyesuaian kebutuhan pupuk berdasarkan hasil pemantauan:

1. Pemantauan Kondisi Tanah

a. Analisis Tanah Secara Berkala

Pemantauan kondisi tanah melalui analisis tanah berkala sangat penting untuk mengetahui perubahan kandungan nutrisi di dalam tanah setelah aplikasi pupuk. Analisis ini dapat memberikan informasi tentang:

- 1) Kandungan Nutrisi yang Tersisa: Memantau sisa nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan kalium setelah aplikasi pupuk sebelumnya.
- 2) pH Tanah: Mengamati perubahan pH tanah yang dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi.
- 3) Kapasitas Tukar Kation (CEC): Menilai kemampuan tanah dalam menyimpan dan melepaskan nutrisi.

b. Penyesuaian Berdasarkan Hasil:

- 1) Pemberian Pupuk Susulan: Jika analisis tanah menunjukkan defisiensi nutrisi tertentu, pupuk susulan dapat diberikan untuk memenuhi kebutuhan tanaman.
- 2) Modifikasi pH Tanah: Jika pH tanah berubah signifikan, aplikasi bahan pengubah pH seperti kapur (untuk tanah asam) atau sulfur (untuk tanah basa) dapat dilakukan untuk mengoptimalkan penyerapan nutrisi.

2. Pemantauan Kondisi Tanaman

a. Uji Daun (*Leaf Analysis*)

Uji daun adalah metode yang digunakan untuk menilai status nutrisi tanaman secara langsung. Dengan mengambil sampel daun dan menganalisis kandungan nutrisi di laboratorium, petani dapat mengidentifikasi apakah tanaman mendapatkan cukup nutrisi atau mengalami kekurangan.

Penyesuaian Berdasarkan Hasil:

- 1) Aplikasi Pupuk Daun (*Foliar Feeding*): Jika hasil uji daun menunjukkan kekurangan nutrisi mikro, aplikasi pupuk daun dapat dilakukan untuk memberikan nutrisi tambahan secara cepat.
- 2) Penyesuaian Dosis Pupuk Susulan: Jika ditemukan kekurangan nutrisi makro, dosis pupuk susulan dapat ditingkatkan sesuai kebutuhan tanaman yang terpantau.

b. Pengamatan Visual

Pengamatan visual secara berkala terhadap tanaman dapat memberikan indikasi awal tentang masalah nutrisi, seperti daun yang menguning (kekurangan nitrogen) atau daun yang mengering di tepinya (kekurangan kalium).

Penyesuaian Berdasarkan Hasil: Tindakan Korektif Cepat: Identifikasi gejala kekurangan nutrisi melalui pengamatan visual memungkinkan petani untuk segera memberikan pupuk tambahan atau melakukan penyesuaian lain yang diperlukan sebelum masalah semakin parah.

3. Pemantauan Pertumbuhan dan Hasil Panen

a. Pemantauan Pertumbuhan Tanaman

Pemantauan tinggi tanaman, jumlah daun, jumlah bunga, dan perkembangan buah secara berkala

membantu menilai efektivitas program pemupukan yang sedang berjalan.

Penyesuaian Berdasarkan Hasil: Aplikasi Pupuk Tambahan pada Fase Kritis: Jika pertumbuhan tanaman melambat pada fase tertentu, misalnya saat pembungaan atau pembuahan, penambahan pupuk dapat dilakukan untuk mendukung fase pertumbuhan kritis ini.

b. Pemantauan Hasil Panen

Menganalisis hasil panen sebelumnya juga penting untuk menilai apakah strategi pemupukan yang digunakan sudah efektif atau perlu disesuaikan untuk musim tanam berikutnya.

Penyesuaian Berdasarkan Hasil: Evaluasi dan Perencanaan Ulang: Jika hasil panen menunjukkan bahwa hasilnya lebih rendah dari yang diharapkan, evaluasi menyeluruh terhadap program pemupukan dilakukan untuk menyesuaikan kebutuhan pupuk di musim tanam berikutnya.

4. Penggunaan Teknologi untuk Pemantauan

a. Sensor Tanah dan *Drone*

Teknologi seperti sensor tanah dan drone dengan pencitraan multispektral dapat memberikan data *real-time* tentang kondisi tanah dan tanaman. Sensor tanah dapat mengukur kelembapan, suhu, dan kandungan nutrisi, sedangkan drone dapat memantau pertumbuhan tanaman dari udara.

Penyesuaian Berdasarkan Hasil:

Pemupukan Presisi: Data dari sensor tanah dan *drone* dapat digunakan untuk melakukan pemupukan presisi, di mana pupuk diterapkan secara spesifik pada

area lahan yang membutuhkannya, menghindari pemborosan dan meningkatkan efisiensi.

b. Aplikasi Mobile dan Sistem Informasi Geografis (GIS)

Aplikasi berbasis mobile dan GIS memungkinkan petani memantau kondisi lahan secara terintegrasi, menggabungkan data tanah, tanaman, dan iklim untuk membuat keputusan pemupukan yang lebih tepat.

Penyesuaian Berdasarkan Hasil:

Optimalisasi Jadwal Pemupukan: Aplikasi mobile dapat memberikan rekomendasi waktu yang tepat untuk pemupukan berdasarkan data cuaca dan kondisi tanaman yang terkini.

5. Penyesuaian Berdasarkan Faktor Iklim

a. Pemantauan Cuaca

Perubahan iklim dan cuaca sangat mempengaruhi kebutuhan pupuk. Misalnya, curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan pencucian nutrisi, sedangkan kekeringan dapat mengurangi kemampuan tanaman untuk menyerap nutrisi.

b. Penyesuaian Berdasarkan Hasil

- 1) Penambahan Pupuk Setelah Hujan Lebat: Jika terjadi hujan lebat yang berpotensi mencuci nutrisi dari tanah, penyesuaian dosis pupuk dapat dilakukan untuk mengganti nutrisi yang hilang.
- 2) Pengaturan Irigasi dan Fertigasi: Pada kondisi kekeringan, kombinasi pemupukan dengan irigasi (fertigasi) dapat digunakan untuk meningkatkan penyerapan nutrisi.

6. Rekomendasi dan Penyuluhan Berkelanjutan

Melibatkan ahli pertanian atau penyuluh dalam pemantauan dan penyesuaian program pemupukan dapat memberikan pandangan yang lebih luas dan strategi yang lebih efektif.

Penyesuaian Berdasarkan Hasil

Penyempurnaan Program Pemupukan: Konsultasi dengan ahli dapat menghasilkan rekomendasi baru atau perbaikan dalam strategi pemupukan berdasarkan hasil pemantauan di lapangan.

Penyesuaian kebutuhan pupuk berdasarkan hasil pemantauan adalah praktik penting dalam pertanian modern yang bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk dan meningkatkan hasil panen. Melalui pemantauan berkala terhadap kondisi tanah, tanaman, dan lingkungan, petani dapat membuat keputusan yang lebih informatif dan tepat waktu, yang memungkinkan mereka untuk menyesuaikan dosis dan jenis pupuk sesuai dengan kebutuhan aktual tanaman. Dengan demikian, efisiensi penggunaan pupuk meningkat, biaya dapat ditekan, hasil panen ditingkatkan, dan dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan.

9.7 Kesimpulan

9.7.1 Pentingnya Perhitungan yang Akurat

Perhitungan yang akurat dalam menentukan kebutuhan pupuk sangat penting untuk mendukung keberhasilan dalam pertanian. Dengan perhitungan yang tepat, petani dapat memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang diperlukan untuk tumbuh optimal, menghasilkan panen yang melimpah, dan menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang.

Berikut adalah beberapa alasan mengapa perhitungan yang akurat dalam pemupukan sangat penting:

a. Meningkatkan Produktivitas Tanaman

Perhitungan kebutuhan pupuk yang akurat memastikan bahwa tanaman menerima jumlah nutrisi yang tepat sesuai dengan kebutuhannya pada setiap tahap pertumbuhan. Tanaman yang mendapatkan nutrisi secara optimal akan tumbuh lebih sehat, memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap hama dan penyakit, serta menghasilkan panen yang lebih tinggi dan berkualitas.

Contoh: Pemberian nitrogen yang cukup pada fase vegetatif akan mendorong pertumbuhan daun dan batang, sedangkan aplikasi fosfor dan kalium pada fase pembungaan dan pembuahan akan meningkatkan pembentukan buah dan kualitas hasil panen.

b. Menghindari Penggunaan Pupuk yang Berlebihan atau Kurang

Penggunaan pupuk yang berlebihan atau kurang sama-sama dapat merugikan. Pupuk yang terlalu banyak dapat menyebabkan pencemaran lingkungan, kerusakan tanah, dan peningkatan biaya produksi tanpa memberikan manfaat tambahan yang signifikan bagi tanaman. Sebaliknya, pupuk yang terlalu sedikit tidak akan mencukupi kebutuhan tanaman, sehingga menghambat pertumbuhan dan mengurangi hasil panen.

Dampak Lingkungan: Penggunaan pupuk nitrogen yang berlebihan dapat menyebabkan pencucian nitrogen ke air tanah dan badan air, yang kemudian dapat mengakibatkan eutrofikasi dan kerusakan ekosistem perairan.

c. Mengoptimalkan Efisiensi Biaya Produksi

Perhitungan kebutuhan pupuk yang akurat membantu petani mengoptimalkan penggunaan pupuk, sehingga biaya produksi dapat ditekan. Dengan memberikan pupuk dalam jumlah yang tepat, petani dapat menghindari pemborosan dan memaksimalkan pengembalian investasi.

Efisiensi Biaya: Dengan menghitung kebutuhan pupuk secara tepat, petani dapat menghemat biaya pembelian pupuk dan mengalokasikan anggaran untuk input pertanian lainnya, seperti benih berkualitas atau pestisida yang efektif.

d. Meningkatkan Kesuburan Tanah dalam Jangka Panjang

Penggunaan pupuk yang tidak tepat dapat merusak kesuburan tanah. Pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan akumulasi garam dan bahan kimia lain yang mengganggu keseimbangan kimia tanah, sementara penggunaan pupuk yang kurang dapat menguras nutrisi tanah tanpa menggantinya. Perhitungan yang akurat membantu menjaga keseimbangan nutrisi dalam tanah, mendukung kesehatan tanah, dan memastikan bahwa tanah tetap produktif untuk jangka panjang.

Kesehatan Tanah: Penggunaan pupuk organik yang tepat, misalnya, dapat meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan aktivitas mikroba yang bermanfaat.

e. Mengurangi Dampak Negatif terhadap Lingkungan

Penggunaan pupuk yang tidak tepat, terutama dalam jumlah yang berlebihan, dapat menyebabkan berbagai masalah lingkungan, seperti pencemaran air, emisi gas rumah kaca, dan penurunan keanekaragaman hayati. Dengan perhitungan yang akurat, petani dapat mengurangi

dampak negatif ini dan mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

Contoh: Pemupukan presisi yang berdasarkan perhitungan akurat dapat mengurangi emisi gas rumah kaca seperti dinitrogen oksida (N_2O) yang dihasilkan dari pemecahan **pupuk** nitrogen di dalam tanah.

f. Menyesuaikan dengan Variabilitas Kondisi Tanah dan Iklim

Setiap lahan memiliki karakteristik tanah dan kondisi iklim yang berbeda, yang mempengaruhi kebutuhan nutrisi tanaman. Perhitungan yang akurat memungkinkan penyesuaian dosis dan jenis pupuk sesuai dengan kondisi spesifik lahan, sehingga tanaman dapat tumbuh optimal di berbagai kondisi lingkungan.

Adaptasi terhadap Perubahan Iklim: Dengan menggunakan data iklim dan tanah yang terbaru, perhitungan pupuk dapat disesuaikan untuk mengakomodasi perubahan pola cuaca, seperti musim hujan yang lebih pendek atau periode kekeringan yang lebih panjang.

g. Mendukung Pertanian Presisi

Pertanian presisi menggunakan teknologi canggih seperti sensor tanah, *drone*, dan aplikasi berbasis data untuk memantau kondisi tanaman dan tanah secara *real-time*. Perhitungan pupuk yang akurat adalah fondasi dari pertanian presisi, karena memungkinkan aplikasi pupuk yang lebih tepat sasaran, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan hasil.

Penggunaan Teknologi: Teknologi sensor tanah dapat memberikan data yang akurat tentang kebutuhan nutrisi di berbagai bagian lahan, memungkinkan petani menerapkan pupuk hanya di area yang membutuhkannya.

h. Meningkatkan Pengetahuan dan Kesadaran Petani

Proses perhitungan yang akurat mendorong petani untuk lebih memahami kebutuhan nutrisi tanaman dan pentingnya manajemen pupuk yang tepat. Pengetahuan ini tidak hanya meningkatkan keterampilan petani dalam mengelola lahan mereka, tetapi juga mendorong praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pendidikan Berkelanjutan: Dengan memahami konsep perhitungan kebutuhan pupuk, petani dapat mengadopsi praktik-praktik terbaik dalam pertanian, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

i. Memastikan Kualitas Produk

Tanaman yang mendapatkan nutrisi yang tepat cenderung menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik, seperti buah yang lebih besar, lebih manis, dan tahan lama. Hal ini sangat penting untuk meningkatkan nilai jual produk di pasar.

Peningkatan Kualitas: Buah atau sayuran yang ditanam dengan nutrisi yang seimbang biasanya memiliki kandungan nutrisi yang lebih baik, warna yang lebih menarik, dan daya simpan yang lebih lama.

j. Mendukung Praktik Pertanian Berkelanjutan

Perhitungan pupuk yang akurat adalah salah satu kunci untuk mencapai pertanian berkelanjutan, di mana hasil produksi yang tinggi dapat dicapai tanpa merusak lingkungan atau menguras sumber daya alam. Ini membantu menciptakan keseimbangan antara kebutuhan ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam praktik pertanian.

Kelestarian Sumber Daya: Dengan memastikan bahwa pupuk digunakan secara efisien dan tepat, sumber daya tanah dan air dapat dilestarikan untuk generasi mendatang.

Perhitungan yang akurat dalam pemupukan adalah esensial untuk mencapai hasil yang optimal dalam pertanian, baik dari segi produktivitas, efisiensi biaya, maupun kelestarian lingkungan. Dengan memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang tepat, petani dapat meningkatkan hasil panen, menjaga kesuburan tanah, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Pada akhirnya, perhitungan yang akurat adalah fondasi dari praktik pertanian yang cerdas, efisien, dan berkelanjutan, yang mendukung kesejahteraan petani serta kelestarian sumber daya alam.

9.7.2 Dampak Penggunaan Pupuk yang Efisien dalam Pertanian

Penggunaan pupuk yang efisien memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap berbagai aspek pertanian, mulai dari peningkatan produktivitas tanaman hingga pelestarian lingkungan. Efisiensi dalam penggunaan pupuk berarti memberikan nutrisi yang tepat dalam jumlah yang tepat, pada waktu yang tepat, dan dengan metode yang tepat. Berikut adalah beberapa dampak positif dari penggunaan pupuk yang efisien:

a. Peningkatan Produktivitas Tanaman

Penggunaan pupuk yang efisien secara langsung berkontribusi pada peningkatan produktivitas tanaman. Ketika tanaman mendapatkan jumlah nutrisi yang tepat, mereka dapat tumbuh lebih cepat, lebih sehat, dan lebih kuat, yang berujung pada peningkatan hasil panen baik dari segi kuantitas maupun kualitas.

Contoh: Dengan aplikasi pupuk nitrogen yang tepat selama fase vegetatif, tanaman padi dapat menghasilkan lebih banyak anakan dan meningkatkan potensi hasil gabah per hektar.

b. Penghematan Biaya Produksi

Efisiensi penggunaan pupuk membantu petani mengurangi biaya yang dikeluarkan untuk pembelian pupuk. Dengan menghindari penggunaan pupuk yang berlebihan, petani dapat mengalokasikan sumber daya ke aspek lain yang juga penting dalam manajemen pertanian, seperti pengendalian hama atau irigasi.

Efisiensi Biaya: Petani yang mengoptimalkan penggunaan pupuk dapat menghemat pengeluaran tanpa mengorbankan hasil panen, sehingga meningkatkan margin keuntungan mereka.

c. Pelestarian Kesuburan Tanah

Penggunaan pupuk yang efisien membantu menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah dalam jangka panjang. Pemberian nutrisi yang tepat mendukung kesehatan tanah dengan menjaga keseimbangan kimia, memperbaiki struktur tanah, dan mendorong aktivitas mikroorganisme yang bermanfaat.

Perlindungan Tanah: Tanah yang diperlakukan dengan pupuk secara efisien cenderung memiliki kandungan bahan organik yang lebih tinggi dan pH yang stabil, yang mendukung produktivitas jangka panjang.

d. Pengurangan Dampak Lingkungan

Penggunaan pupuk yang efisien mengurangi risiko pencemaran lingkungan. Pemberian pupuk dalam jumlah yang tepat mengurangi kemungkinan pencucian nutrisi seperti nitrogen dan fosfor ke dalam air tanah atau aliran

air, yang dapat menyebabkan eutrofikasi dan kerusakan ekosistem perairan.

Contoh: Pemupukan presisi yang diterapkan pada lahan pertanian mengurangi risiko *run-off* pupuk ke sungai dan danau, menjaga kualitas air dan kesehatan ekosistem akuatik.

e. Meningkatkan Keberlanjutan Pertanian

Efisiensi dalam penggunaan pupuk mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan. Dengan memaksimalkan penggunaan sumber daya yang ada dan mengurangi pemborosan, petani dapat menjaga produktivitas lahan mereka tanpa merusak lingkungan, memastikan bahwa sumber daya alam tetap tersedia untuk generasi mendatang.

Keberlanjutan: Praktik pertanian yang efisien dalam penggunaan pupuk membantu mengurangi jejak ekologi dari kegiatan pertanian dan mendukung keberlanjutan sosial, ekonomi, dan lingkungan dalam jangka panjang.

f. Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca

Penggunaan pupuk yang efisien dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, khususnya dinitrogen oksida (N_2O) yang merupakan salah satu gas rumah kaca paling kuat yang dihasilkan dari pemecahan pupuk nitrogen di dalam tanah.

Pengurangan Emisi: Dengan menggunakan pupuk nitrogen secara efisien, misalnya melalui teknik aplikasi yang tepat waktu dan dosis yang terukur, petani dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim.

g. Meningkatkan Kualitas Hasil Pertanian

Penggunaan pupuk yang tepat dan efisien tidak hanya meningkatkan kuantitas hasil panen tetapi juga

kualitasnya. Tanaman yang diberi nutrisi secara optimal menghasilkan buah, sayuran, atau biji dengan kualitas yang lebih baik, termasuk rasa, tekstur, kandungan nutrisi, dan daya tahan.

Kualitas Produk: Buah yang diberi pupuk kalium secara tepat, misalnya, cenderung memiliki rasa yang lebih manis dan kulit yang lebih tahan lama, yang meningkatkan daya saing di pasar.

h. Meningkatkan Ketahanan Terhadap Hama dan Penyakit

Tanaman yang diberi nutrisi secara tepat memiliki sistem kekebalan yang lebih kuat, yang membuat mereka lebih tahan terhadap serangan hama dan penyakit. Ini mengurangi kebutuhan akan pestisida, yang pada gilirannya mengurangi biaya dan dampak lingkungan.

Kesehatan Tanaman: Pemupukan yang efisien meningkatkan kesehatan keseluruhan tanaman, yang mengurangi kerugian akibat hama dan penyakit serta meningkatkan hasil panen.

i. Optimalisasi Penggunaan Air

Penggunaan pupuk yang efisien sering kali dikombinasikan dengan pengelolaan air yang cerdas. Misalnya, fertigasi (aplikasi pupuk melalui sistem irigasi) memungkinkan penggunaan pupuk dan air secara bersamaan, yang meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman dan mengurangi pemborosan air.

Pengelolaan Sumber Daya: Kombinasi pemupukan yang efisien dengan irigasi yang tepat memastikan bahwa nutrisi dan air diserap oleh tanaman secara optimal, mengurangi pemborosan dan meningkatkan hasil.

j. Meningkatkan Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

Pertanian yang efisien dalam penggunaan pupuk lebih adaptif terhadap perubahan iklim. Dengan memahami dan menyesuaikan dosis pupuk berdasarkan kondisi iklim yang berubah-ubah, petani dapat mengurangi dampak negatif dari perubahan cuaca ekstrem seperti kekeringan atau curah hujan yang berlebihan.

Adaptasi Iklim: Efisiensi dalam penggunaan pupuk memungkinkan petani untuk menyesuaikan strategi pemupukan mereka dengan cepat dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, sehingga meningkatkan ketahanan pertanian.

k. Meningkatkan Pengetahuan dan Kesadaran Petani

Penggunaan pupuk yang efisien memerlukan pengetahuan yang baik tentang kebutuhan nutrisi tanaman, kondisi tanah, dan teknik aplikasi pupuk. Petani yang menerapkan pemupukan secara efisien cenderung lebih sadar akan pentingnya pengelolaan lahan yang berkelanjutan dan lebih terampil dalam mengambil keputusan agronomis.

Pendidikan dan Kesadaran: Dengan terus belajar dan menerapkan praktik terbaik dalam pemupukan, petani dapat meningkatkan keterampilan mereka, yang berdampak positif pada produktivitas dan keberlanjutan usaha tani mereka.

Penggunaan pupuk yang efisien membawa berbagai dampak positif yang signifikan, baik dari segi produktivitas tanaman, efisiensi biaya, kualitas hasil pertanian, hingga pelestarian lingkungan. Efisiensi dalam penggunaan pupuk tidak hanya meningkatkan hasil panen, tetapi juga menjaga kesuburan tanah, mengurangi dampak lingkungan, dan mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan. Dengan memaksimalkan potensi manfaat dari pupuk melalui penggunaan yang cerdas dan

terukur, petani dapat mencapai keseimbangan antara peningkatan produksi dan pelestarian sumber daya alam untuk masa depan.

9.8 Lampiran

9.8.1 Contoh Perhitungan

1. Perhitungan Kebutuhan Pupuk untuk Tanaman Padi Menggunakan Metode Analisis Tanah (*Soil Testing Method*)

Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan pupuk untuk tanaman padi menggunakan Metode Analisis Tanah (*Soil Testing Method*).

Contoh Kasus:

Anda seorang petani padi yang akan menanam di lahan seluas 1 hektar. Sebelum musim tanam, Anda melakukan analisis tanah di laboratorium untuk mengetahui kandungan nutrisi di dalam tanah. Berikut adalah hasil analisis tanah Anda:

- Nitrogen (N): 40 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 15 kg/ha
- Kalium (K_2O): 80 kg/ha

Berdasarkan rekomendasi teknis untuk tanaman padi, kebutuhan nutrisi untuk hasil panen optimal (misalnya, 6 ton gabah kering per hektar) adalah:

- Nitrogen (N): 120 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 60 kg/ha
- Kalium (K_2O): 100 kg/ha

Berikut adalah langkah-langkah untuk menghitung kebutuhan pupuk berdasarkan hasil analisis tanah:

Langkah 1: Tentukan Kekurangan Nutrisi Berdasarkan Hasil Analisis Tanah

Untuk menentukan jumlah pupuk yang diperlukan, pertama-tama kita harus menghitung kekurangan nutrisi yang ada di tanah dibandingkan dengan kebutuhan optimal tanaman.

- Nitrogen (N):
 - Kebutuhan = 120 kg/ha
 - Kandungan di Tanah = 40 kg/ha
 - Kekurangan = 120 kg - 40 kg = 80 kg N/ha
- Fosfor (P_2O_5):
 - Kebutuhan = 60 kg/ha
 - Kandungan di Tanah = 15 kg/ha
 - Kekurangan = 60 kg - 15 kg = 45 kg P_2O_5 /ha
- Kalium (K_2O):
 - Kebutuhan = 100 kg/ha
 - Kandungan di Tanah = 80 kg/ha
 - Kekurangan = 100 kg - 80 kg = 20 kg K_2O /ha

Langkah 2: Tentukan Jumlah Pupuk yang Diperlukan

Berdasarkan kebutuhan tambahan nutrisi, Anda perlu menghitung jumlah pupuk yang harus diterapkan. Berikut adalah pupuk yang dapat digunakan:

- Urea (mengandung 46% Nitrogen (N))
- SP-36 (mengandung 36% Fosfor (P_2O_5))
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*) (mengandung 60% Kalium (K_2O))

Hitung Kebutuhan Pupuk:

- Urea (untuk Nitrogen):

- Kebutuhan N = 80 kg N/ha
- Kebutuhan pupuk Urea = $(80 \text{ kg N/ha})/0,46 = 174 \text{ kg Urea/ha}$
- 1. SP-36 (untuk Fosfor):
 - Kebutuhan $P_2O_5 = 45 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
 - Kebutuhan pupuk SP-36 = $(45 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha})/0,36 = 125 \text{ kg SP-36/ha}$
- 2. KCl (MOP/*Muriate of Potash*) (untuk Kalium):
 - Kebutuhan $K_2O = 20 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$
 - Kebutuhan pupuk KCl = $(20 \text{ kg } K_2O/\text{ha})/0,60 = 33 \text{ kg KCl/ha}$

Langkah 3: Rekomendasi Aplikasi Pupuk

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, berikut adalah rekomendasi aplikasi pupuk untuk lahan 1 hektar:

- Urea: 174 kg/ha
- SP-36: 125 kg/ha
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*): 33 kg/ha

Langkah 4: Pembagian Aplikasi Pupuk

Untuk memastikan penyerapan nutrisi yang optimal, aplikasi pupuk dapat dibagi menjadi beberapa tahap sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman:

1. Pupuk Dasar:
 - SP-36 dan KCl: Aplikasikan seluruhnya saat tanam sebagai pupuk dasar.
 - Urea: Aplikasikan 50% dari total kebutuhan (87 kg/ha) sebagai pupuk dasar.
2. Pupuk Susulan:

- Urea: Aplikasikan sisa 50% (87 kg/ha) dalam dua kali aplikasi susulan:
 - Aplikasi pertama pada 30 hari setelah tanam (43,5 kg/ha).
 - Aplikasi kedua pada 60 hari setelah tanam (43,5 kg/ha).

Catatan Tambahan

1. Pemantauan Tanaman: Setelah aplikasi pupuk, lakukan pemantauan terhadap pertumbuhan tanaman untuk memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup. Uji daun dapat dilakukan untuk memastikan bahwa tanaman menyerap nutrisi dengan baik.
2. Penyesuaian Berdasarkan Kondisi: Jika terjadi perubahan kondisi lingkungan seperti curah hujan yang berlebihan atau kekeringan, Anda mungkin perlu menyesuaikan dosis pupuk untuk menghindari kekurangan atau kehilangan nutrisi.

Perhitungan kebutuhan pupuk menggunakan Metode Analisis Tanah memungkinkan Anda untuk secara tepat menentukan jumlah dan jenis pupuk yang diperlukan oleh tanaman padi di lahan Anda. Dengan melakukan perhitungan ini, Anda dapat mengoptimalkan penggunaan pupuk, meningkatkan hasil panen, dan menjaga kesuburan tanah, serta meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

2. Perhitungan Kebutuhan Pupuk untuk Tanaman Padi Menggunakan Metode Perbandingan Hasil (*Yield Target Method*)

Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan pupuk untuk tanaman padi menggunakan Metode Perbandingan Hasil (*Yield Target Method*).

Contoh Kasus:

- Anda seorang petani padi yang ingin mencapai target hasil panen sebesar 6 ton gabah kering per hektar (6.000 kg/ha). Berdasarkan rekomendasi umum dan data lokal, diketahui bahwa untuk menghasilkan 1 ton gabah kering, tanaman padi memerlukan:
- Nitrogen (N): 20 kg/ton
- Fosfor (P_2O_5): 10 kg/ton
- Kalium (K_2O): 20 kg/ton
- Anda telah melakukan analisis tanah dan menemukan bahwa tanah Anda sudah mengandung:
- Nitrogen (N): 30 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 20 kg/ha
- Kalium (K_2O): 50 kg/ha
- Berikut adalah langkah-langkah perhitungan kebutuhan pupuk:

Langkah 1: Hitung Kebutuhan Nutrisi Berdasarkan Target Hasil

Untuk mencapai target hasil 6 ton/ha, pertama-tama kita menghitung kebutuhan total nutrisi:

- Nitrogen (N):
 - Kebutuhan = $6 \text{ ton} \times 20 \text{ kg/ton} = 120 \text{ kg N/ha}$
- Fosfor (P_2O_5):
 - Kebutuhan = $6 \text{ ton} \times 10 \text{ kg/ton} = 60 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
- Kalium (K_2O):
 - Kebutuhan = $6 \text{ ton} \times 20 \text{ kg/ton} = 120 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$

Langkah 2: Kurangi Nutrisi yang Sudah Tersedia di Tanah

Sekarang, kita kurangi jumlah nutrisi yang sudah tersedia di dalam tanah:

- Nitrogen (N):

- Kebutuhan tambahan = $120 \text{ kg N/ha} - 30 \text{ kg N/ha} = 90 \text{ kg N/ha}$
- Fosfor (P_2O_5):
 - Kebutuhan tambahan = $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha} - 20 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha} = 40 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$
- Kalium (K_2O):
 - Kebutuhan tambahan = $120 \text{ kg K}_2\text{O/ha} - 50 \text{ kg K}_2\text{O/ha} = 70 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$

Langkah 3: Tentukan Dosis Pupuk yang Akan Digunakan

- Berikut adalah kandungan hara dari pupuk yang umum digunakan:
- Urea: 46% Nitrogen (N)
- SP-36: 36% Fosfor (P_2O_5)
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*): 60% Kalium (K_2O)
- Hitung jumlah pupuk yang diperlukan:
- Urea (untuk Nitrogen):
 - Kebutuhan pupuk Urea = $(90 \text{ kg N/ha})/0,46 = 196 \text{ kg Urea/ha}$
- SP-36 (untuk Fosfor):
 - Kebutuhan pupuk SP-36 = $(40 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha})/0,36 = 111 \text{ kg SP-36/ha}$
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*) (untuk Kalium):
 - Kebutuhan pupuk KCl = $(70 \text{ kg K}_2\text{O/ha})/0,60 = 117 \text{ kg KCl/ha}$

Langkah 4: Rekomendasi Aplikasi Pupuk

- Berdasarkan perhitungan di atas, berikut adalah rekomendasi aplikasi pupuk untuk mencapai target hasil panen sebesar 6 ton/ha:

- Urea: 196 kg/ha
- SP-36: 111 kg/ha
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*): 117 kg/ha

Catatan Tambahan:

1. Pembagian Aplikasi: Pupuk nitrogen (Urea) sering kali diberikan dalam beberapa kali aplikasi selama musim tanam untuk menghindari kehilangan nitrogen dan memastikan pasokan yang berkelanjutan.
2. Pemupukan Susulan: Pemupukan fosfor dan kalium biasanya dilakukan sebagai pupuk dasar, tetapi pemupukan tambahan mungkin diperlukan tergantung pada kondisi pertumbuhan tanaman.
3. Faktor Lingkungan: Perhitungan ini dapat disesuaikan lebih lanjut dengan mempertimbangkan kondisi spesifik lingkungan, seperti curah hujan dan tipe tanah, yang mempengaruhi penyerapan nutrisi oleh tanaman.

Dengan perhitungan ini, Anda dapat mengoptimalkan penggunaan pupuk, meningkatkan efisiensi biaya, dan mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal untuk mencapai hasil panen yang diinginkan.

3. Perhitungan Kebutuhan Pupuk untuk Tanaman Padi Menggunakan Metode Keseimbangan Hara (*Nutrient Balance Method*)

Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan pupuk untuk tanaman padi menggunakan Metode Keseimbangan Hara (*Nutrient Balance Method*).

Contoh Kasus:

Anda akan menanam padi di lahan seluas 1 hektar, dengan target hasil panen sebesar 6 ton gabah kering per hektar. Berdasarkan data lokal dan penelitian, diketahui bahwa tanaman padi membutuhkan sejumlah nutrisi tertentu untuk

mencapai target hasil tersebut. Berikut ini adalah kebutuhan nutrisi untuk menghasilkan 6 ton gabah kering per hektar:

- Nitrogen (N): 120 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 60 kg/ha
- Kalium (K_2O): 120 kg/ha

Anda juga memiliki informasi mengenai sumber nutrisi dari sisa tanaman sebelumnya, pupuk organik yang diaplikasikan sebelumnya, dan hasil analisis tanah:

- Nitrogen yang Tersedia dari Tanah dan Sisa Tanaman: 40 kg/ha
- Fosfor yang Tersedia dari Tanah dan Sisa Tanaman: 20 kg/ha
- Kalium yang Tersedia dari Tanah dan Sisa Tanaman: 50 kg/ha

Langkah 1: Hitung Kebutuhan Nutrisi Berdasarkan Target Hasil

Berdasarkan target hasil panen sebesar 6 ton/ha, hitung kebutuhan total nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman padi:

- Nitrogen (N): 120 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 60 kg/ha
- Kalium (K_2O): 120 kg/ha

Langkah 2: Tentukan Nutrisi yang Sudah Tersedia di Tanah

Selanjutnya, tentukan jumlah nutrisi yang sudah tersedia dari tanah, sisa tanaman, dan aplikasi pupuk organik sebelumnya:

- Nitrogen (N) yang Tersedia: 40 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5) yang Tersedia: 20 kg/ha
- Kalium (K_2O) yang Tersedia: 50 kg/ha

Langkah 3: Hitung Kebutuhan Nutrisi Tambahan

Hitung jumlah nutrisi tambahan yang perlu diberikan melalui pupuk berdasarkan keseimbangan hara:

- Kebutuhan Nitrogen (N):
 - Kebutuhan total: 120 kg N/ha
 - Tersedia di tanah: 40 kg N/ha
 - Kebutuhan tambahan = 120 kg - 40 kg = 80 kg N/ha
- Kebutuhan Fosfor (P_2O_5):
 - Kebutuhan total: 60 kg P_2O_5 /ha
 - Tersedia di tanah: 20 kg P_2O_5 /ha
 - Kebutuhan tambahan = 60 kg - 20 kg = 40 kg P_2O_5 /ha
- Kebutuhan Kalium (K_2O):
 - Kebutuhan total: 120 kg K_2O /ha
 - Tersedia di tanah: 50 kg K_2O /ha
 - Kebutuhan tambahan = 120 kg - 50 kg = 70 kg K_2O /ha

Langkah 4: Tentukan Jumlah Pupuk yang Akan Diberikan

Untuk memenuhi kebutuhan nutrisi tambahan, pilih pupuk yang sesuai dan hitung jumlah yang dibutuhkan. Berikut adalah kandungan hara dari pupuk yang umum digunakan:

- Urea: 46% Nitrogen (N)
- SP-36: 36% Fosfor (P_2O_5)
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*): 60% Kalium (K_2O)

Hitung Jumlah Pupuk yang Dibutuhkan:

1. Urea (untuk Nitrogen):
 - Kebutuhan N = 80 kg N/ha
 - Kebutuhan pupuk Urea = $(80 \text{ kg N/ha}) / 0,46 = 174 \text{ kg Urea/ha}$
2. SP-36 (untuk Fosfor):
 - Kebutuhan P_2O_5 = 40 kg P_2O_5 /ha

- Kebutuhan pupuk SP-36 = $(40 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha})/0,36 = 111 \text{ kg SP-36/ha}$

3. KCl (MOP/*Muriate of Potash*) (untuk Kalium):

- Kebutuhan $\text{K}_2\text{O} = 70 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$
- Kebutuhan pupuk KCl = $(70 \text{ kg K}_2\text{O/ha})/0,60 = 117 \text{ kg KCl/ha}$

Langkah 5: Rekomendasi Aplikasi Pupuk

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, berikut adalah rekomendasi aplikasi pupuk untuk lahan 1 hektar:

- Urea: 174 kg/ha
- SP-36: 111 kg/ha
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*): 117 kg/ha

Langkah 6: Penjadwalan Aplikasi Pupuk

Pembagian aplikasi pupuk dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Pupuk Dasar:

- SP-36 dan KCl (*MOP/Muriate of Potash*): Diberikan seluruhnya sebagai pupuk dasar saat persiapan lahan atau sebelum tanam.

2. Pupuk Susulan:

- Urea: Diberikan dalam beberapa tahap:
 - Tahap 1: 50% dari total kebutuhan (87 kg/ha) diberikan pada 2-3 minggu setelah tanam (saat fase vegetatif awal).
 - Tahap 2: 50% sisanya (87 kg/ha) diberikan pada 5-6 minggu setelah tanam (saat fase pembentukan anakan).

Catatan Tambahan

1. Pemantauan Tanaman: Selama masa pertumbuhan, lakukan pemantauan kondisi tanaman dan tanah untuk memastikan

nutrisi diserap dengan baik dan tidak terjadi kekurangan atau kelebihan nutrisi.

2. Penyesuaian Berdasarkan Hasil Pemantauan: Jika ada tanda-tanda kekurangan nutrisi pada tanaman (misalnya, daun menguning akibat kekurangan nitrogen), lakukan penyesuaian dosis pupuk berdasarkan hasil pemantauan.

Dengan menggunakan Metode Keseimbangan Hara, Anda dapat menghitung kebutuhan pupuk berdasarkan perbedaan antara kebutuhan nutrisi tanaman dan ketersediaan nutrisi di tanah. Metode ini membantu memastikan bahwa tanaman padi mendapatkan nutrisi yang mereka butuhkan untuk mencapai hasil panen yang optimal, sekaligus menjaga kesuburan tanah dan menghindari penggunaan pupuk yang berlebihan. Pendekatan ini mendukung praktik pertanian yang efisien, berkelanjutan, dan produktif.

4. Perhitungan Kebutuhan Pupuk untuk Tanaman Padi Menggunakan Metode Uji Daun (*Leaf Analysis Method*)

Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan pupuk untuk tanaman padi menggunakan Metode Uji Daun (*Leaf Analysis Method*).

Contoh Kasus:

Anda seorang petani yang menanam padi di lahan seluas 1 hektar. Pada fase vegetatif awal, Anda melakukan uji daun untuk menganalisis status nutrisi tanaman. Hasil analisis daun menunjukkan:

- Nitrogen (N): 2,5% (ideal: 3,0%)
- Fosfor (P): 0,25% (ideal: 0,30%)
- Kalium (K): 1,0% (ideal: 1,5%)

Berdasarkan hasil ini, Anda mengetahui bahwa tanaman padi Anda mengalami kekurangan nitrogen, fosfor, dan kalium. Tujuan Anda adalah menambah pupuk yang sesuai untuk

memenuhi kebutuhan nutrisi tanaman sehingga mereka dapat tumbuh optimal dan mencapai hasil panen yang maksimal.

Langkah 1: Hitung Defisiensi Nutrisi Berdasarkan Uji Daun

Untuk menentukan kebutuhan pupuk, pertama-tama kita hitung defisiensi nutrisi berdasarkan perbedaan antara kandungan nutrisi aktual dan kandungan nutrisi ideal yang seharusnya ada pada daun.

- Nitrogen (N):
 - Kandungan aktual: 2,5%
 - Kandungan ideal: 3,0%
 - Defisiensi = $3,0\% - 2,5\% = 0,5\%$ atau 5 g/kg daun
- Fosfor (P):
 - Kandungan aktual: 0,25%
 - Kandungan ideal: 0,30%
 - Defisiensi = $0,30\% - 0,25\% = 0,05\%$ atau 0,5 g/kg daun
- Kalium (K):
 - Kandungan aktual: 1,0%
 - Kandungan ideal: 1,5%
 - Defisiensi = $1,5\% - 1,0\% = 0,5\%$ atau 5 g/kg daun

Langkah 2: Tentukan Dosis Pupuk Berdasarkan Defisiensi Nutrisi

Sekarang kita akan menghitung jumlah pupuk yang perlu diterapkan untuk mengatasi defisiensi tersebut. Anggap bahwa setiap tanaman padi pada fase vegetatif memiliki berat daun sekitar 300 kg/ha.

Hitung Kebutuhan Pupuk:

1. Nitrogen (N):

- Defisiensi = $5 \text{ g/kg} \times 300 \text{ kg/ha} = 1.500 \text{ g N/ha}$ atau $1,5 \text{ kg N/ha}$
- Untuk memenuhi kebutuhan ini dengan pupuk Urea (mengandung 46% N):
- Kebutuhan pupuk Urea = $(1,5 \text{ kg N/ha})/0,46 = 3,26 \text{ kg Urea/ha}$

2. Fosfor (P_2O_5):

- Defisiensi = $0,5 \text{ g/kg} \times 300 \text{ kg/ha} = 150 \text{ g P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ atau $0,15 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$
- Untuk memenuhi kebutuhan ini dengan pupuk SP-36 (mengandung 36% P_2O_5):
- Kebutuhan pupuk SP-36 = $(0,15 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha})/0,36 = 0,42 \text{ kg SP-36/ha}$

3. Kalium (K_2O):

- Defisiensi = $5 \text{ g/kg} \times 300 \text{ kg/ha} = 1.500 \text{ g K}_2\text{O/ha}$ atau $1,5 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$
- Untuk memenuhi kebutuhan ini dengan pupuk KCl (MOP/ Muriate of Potash) (mengandung 60% K_2O):
- Kebutuhan pupuk KCl = $(1,5 \text{ kg K}_2\text{O/ha})/0,60 = 2,5 \text{ kg KCl/ha}$

Langkah 3: Aplikasi Pupuk Berdasarkan Hasil Uji Daun

Berdasarkan perhitungan di atas, berikut adalah rekomendasi tambahan aplikasi pupuk:

- Urea: $3,26 \text{ kg/ha}$
- SP-36: $0,42 \text{ kg/ha}$
- KCl (MOP/ Muriate of Potash): $2,5 \text{ kg/ha}$

Langkah 4: Penyesuaian Aplikasi Pupuk

Aplikasi pupuk tambahan ini biasanya dilakukan sebagai pemupukan daun (foliar feeding) untuk memastikan bahwa nutrisi yang dibutuhkan dapat langsung diserap oleh tanaman melalui daun.

- Waktu Aplikasi: Sebaiknya dilakukan pada pagi atau sore hari untuk menghindari penguapan yang tinggi dan memastikan penyerapan yang maksimal.
- Frekuensi Aplikasi: Pupuk daun dapat diaplikasikan dalam beberapa kali aplikasi dengan interval tertentu untuk menghindari kelebihan nutrisi pada tanaman.

Langkah 5: Pemantauan Lanjutan

Setelah aplikasi pupuk, lakukan uji daun kembali dalam beberapa minggu untuk memantau perubahan status nutrisi tanaman. Jika masih ditemukan kekurangan, aplikasi pupuk tambahan dapat dilakukan dengan menyesuaikan dosis sesuai dengan hasil pemantauan terbaru.

Catatan Tambahan

1. Tingkat Penyerapan: Penyerapan nutrisi melalui daun biasanya lebih cepat dibandingkan melalui akar, tetapi efeknya mungkin sementara. Oleh karena itu, pemupukan akar tetap diperlukan sebagai pendukung.
2. Faktor Lingkungan: Perhatikan kondisi cuaca, seperti angin, suhu, dan kelembapan, saat melakukan pemupukan daun untuk memastikan efektivitas aplikasi.

Metode Uji Daun (*Leaf Analysis Method*) memberikan pendekatan yang dinamis dan responsif dalam manajemen pemupukan. Dengan melakukan analisis daun, petani dapat secara langsung menilai status nutrisi tanaman dan menyesuaikan aplikasi pupuk berdasarkan kebutuhan yang aktual. Ini memungkinkan penggunaan pupuk yang lebih efisien, mengurangi risiko kekurangan atau kelebihan nutrisi, dan

mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal untuk mencapai hasil panen yang maksimal.

5. Perhitungan Kebutuhan Pupuk untuk Tanaman Padi Menggunakan Metode Penggunaan Buku Pedoman atau Rekomendasi (*Guideline or Recommendation Method*)

Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan pupuk untuk tanaman padi menggunakan Metode Penggunaan Buku Pedoman atau Rekomendasi (*Guideline or Recommendation Method*).

Contoh Kasus:

Anda seorang petani padi yang akan menanam di lahan seluas 1 hektar. Anda ingin menggunakan metode yang sederhana dan praktis untuk menentukan kebutuhan pupuk, sehingga Anda memutuskan untuk menggunakan buku pedoman atau rekomendasi resmi dari dinas pertanian setempat.

Menurut buku pedoman yang berlaku di daerah Anda, berikut adalah rekomendasi pemupukan untuk tanaman padi dengan target hasil panen 6 ton/ha:

- Nitrogen (N): 100 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 50 kg/ha
- Kalium (K_2O): 75 kg/ha

Anda akan menggunakan pupuk yang tersedia di pasaran, yaitu:

- Urea (46% Nitrogen)
- SP-36 (36% Fosfor)
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*) (60% Kalium)

Langkah 1: Tentukan Dosis Pupuk Berdasarkan Rekomendasi

Berdasarkan rekomendasi dari buku pedoman, Anda perlu menghitung jumlah pupuk yang dibutuhkan untuk memenuhi dosis yang disarankan.

Hitung Jumlah Pupuk yang Diperlukan:

1. Urea (untuk Nitrogen):

- Kebutuhan N = 100 kg N/ha
- Kebutuhan pupuk Urea = $(100 \text{ kg N/ha})/0,46 = 217 \text{ kg Urea/ha}$

2. SP-36 (untuk Fosfor):

- Kebutuhan $P_2O_5 = 50 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
- Kebutuhan pupuk SP-36 = $(50 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha})/0,36 = 139 \text{ kg SP-36/ha}$

3. KCl (MOP/*Muriate of Potash*) (untuk Kalium):

- Kebutuhan $K_2O = 75 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$
- Kebutuhan pupuk KCl = $(75 \text{ kg } K_2O/\text{ha})/0,60 = 125 \text{ kg KCl/ha}$

Langkah 2: Rekomendasi Aplikasi Pupuk

Berdasarkan perhitungan di atas, berikut adalah dosis pupuk yang direkomendasikan untuk lahan 1 hektar:

- Urea: 217 kg/ha
- SP-36: 139 kg/ha
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*): 125 kg/ha

Langkah 3: Penjadwalan Aplikasi Pupuk

Pembagian aplikasi pupuk berdasarkan buku pedoman biasanya dilakukan dalam beberapa tahap sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman:

1. Pupuk Dasar:

- SP-36 dan KCl (MOP/*Muriate of Potash*): Diberikan seluruhnya sebagai pupuk dasar sebelum atau pada saat tanam, untuk memastikan ketersediaan fosfor dan kalium di awal pertumbuhan.

2. Pupuk Susulan:

- Urea: Dibagi dalam beberapa kali aplikasi selama masa pertumbuhan:
 - Tahap 1: 50% dari total kebutuhan (109 kg/ha) diberikan 2-3 minggu setelah tanam.
 - Tahap 2: 25% dari total kebutuhan (54 kg/ha) diberikan 5-6 minggu setelah tanam.
 - Tahap 3: 25% dari total kebutuhan (54 kg/ha) diberikan saat tanaman mulai berbunga.

Langkah 4: Pemantauan dan Penyesuaian

Setelah aplikasi pupuk, penting untuk melakukan pemantauan kondisi tanaman secara berkala. Jika ada tanda-tanda kekurangan nutrisi (misalnya, daun yang menguning atau pertumbuhan yang terhambat), dosis pupuk susulan dapat disesuaikan berdasarkan kebutuhan tanaman yang terpantau.

Catatan Tambahan:

1. Kondisi Lingkungan: Perhatikan kondisi tanah dan cuaca, seperti curah hujan atau suhu, karena hal ini dapat mempengaruhi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Misalnya, curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan pencucian nutrisi, sehingga mungkin diperlukan aplikasi pupuk tambahan.
2. Ketersediaan Pupuk: Pastikan pupuk yang digunakan sesuai dengan spesifikasi yang direkomendasikan dalam buku pedoman. Jika ada perbedaan kandungan hara pada pupuk yang tersedia, sesuaikan dosisnya.

Metode Penggunaan Buku Pedoman atau Rekomendasi adalah pendekatan yang praktis dan mudah diikuti untuk menghitung kebutuhan pupuk. Dengan mengikuti rekomendasi yang ada dalam pedoman, petani dapat secara langsung menerapkan dosis pupuk yang sesuai dengan kondisi tanah dan target hasil panen. Ini membantu memastikan bahwa tanaman

mendapatkan nutrisi yang dibutuhkan, meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, dan mendukung praktik pertanian yang berkelanjutan. Pendekatan ini sangat berguna bagi petani yang mencari cara yang terstandarisasi dan terbukti untuk meningkatkan produktivitas lahan mereka.

6. Perhitungan Kebutuhan Pupuk untuk Tanaman Padi Menggunakan Metode Pemupukan Presisi

Metode Pemupukan Presisi adalah pendekatan modern dalam pertanian yang menggunakan teknologi seperti GPS, sensor tanah, *drone*, dan data berbasis geografis untuk menerapkan pupuk dengan tepat sesuai kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi tanah di berbagai zona dalam satu lahan. Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan pupuk untuk tanaman padi menggunakan metode ini.

Contoh Kasus:

Anda seorang petani padi yang menanam di lahan seluas 5 hektar. Anda ingin menggunakan metode pemupukan presisi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, meminimalkan pemborosan, dan mengoptimalkan hasil panen. Sebelum musim tanam, Anda memutuskan untuk memetakan lahan menggunakan drone dan sensor tanah untuk memahami variabilitas kondisi tanah di seluruh lahan.

Langkah 1: Pemetaan Lahan dan Pengumpulan Data

1. Pemetaan Zona Tanah:

- Dengan bantuan drone yang dilengkapi dengan sensor multispektral dan GPS, lahan Anda dipetakan untuk mengidentifikasi zona-zona dengan karakteristik tanah yang berbeda, seperti variasi dalam kandungan nutrisi, tekstur tanah, kelembapan, dan topografi.
- Lahan dibagi menjadi tiga zona berbeda berdasarkan hasil analisis: Zona A, Zona B, dan Zona C.

2. Analisis Tanah di Setiap Zona:

- Zona A: Mengandung 40 kg/ha Nitrogen (N), 20 kg/ha Fosfor (P_2O_5), dan 50 kg/ha Kalium (K_2O).
- Zona B: Mengandung 30 kg/ha Nitrogen (N), 15 kg/ha Fosfor (P_2O_5), dan 40 kg/ha Kalium (K_2O).
- Zona C: Mengandung 50 kg/ha Nitrogen (N), 25 kg/ha Fosfor (P_2O_5), dan 60 kg/ha Kalium (K_2O).

Langkah 2: Tentukan Kebutuhan Nutrisi Berdasarkan Target Hasil

Target hasil panen Anda adalah 6 ton gabah kering per hektar. Berdasarkan panduan agronomis, kebutuhan nutrisi untuk mencapai target tersebut adalah:

- Nitrogen (N): 120 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 60 kg/ha
- Kalium (K_2O): 100 kg/ha

Langkah 3: Hitung Kekurangan Nutrisi di Setiap Zona

Berdasarkan analisis tanah di setiap zona, hitung jumlah nutrisi tambahan yang dibutuhkan:

- Zona A:
 - Nitrogen: $120 \text{ kg} - 40 \text{ kg} = 80 \text{ kg N/ha}$
 - Fosfor: $60 \text{ kg} - 20 \text{ kg} = 40 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
 - Kalium: $100 \text{ kg} - 50 \text{ kg} = 50 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$
- Zona B:
 - Nitrogen: $120 \text{ kg} - 30 \text{ kg} = 90 \text{ kg N/ha}$
 - Fosfor: $60 \text{ kg} - 15 \text{ kg} = 45 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
 - Kalium: $100 \text{ kg} - 40 \text{ kg} = 60 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$

- Zona C:
 - Nitrogen: $120 \text{ kg} - 50 \text{ kg} = 70 \text{ kg N/ha}$
 - Fosfor: $60 \text{ kg} - 25 \text{ kg} = 35 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$
 - Kalium: $100 \text{ kg} - 60 \text{ kg} = 40 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$

Langkah 4: Tentukan Jumlah Pupuk yang Diperlukan untuk Setiap Zona

Gunakan pupuk yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan nutrisi di setiap zona. Berikut adalah pupuk yang akan digunakan:

- Urea (46% Nitrogen)
- SP-36 (36% Fosfor)
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*) (60% Kalium)

Hitung Kebutuhan Pupuk untuk Setiap Zona:

1. Zona A:

- Urea: $(80 \text{ kg N/ha})/0,46 = 174 \text{ kg Urea/ha}$
- SP-36: $(40 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha})/0,36 = 111 \text{ kg SP-36/ha}$
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*): $(50 \text{ kg K}_2\text{O/ha})/0,60 = 83 \text{ kg KCl/ha}$

2. Zona B:

- Urea: $(90 \text{ kg N/ha})/0,46 = 196 \text{ kg Urea/ha}$
- SP-36: $(45 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha})/0,36 = 125 \text{ kg SP-36/ha}$
- KCl (MOP/*Muriate of Potash*): $(60 \text{ kg K}_2\text{O/ha})/0,60 = 100 \text{ kg KCl/ha}$

3. Zona C:

- Urea: $(70 \text{ kg N/ha})/0,46 = 152 \text{ kg Urea/ha}$
- SP-36: $(35 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha})/0,36 = 97 \text{ kg SP-36/ha}$

- KCl (MOP/*Muriate of Potash*): $(40 \text{ kg K}_2\text{O/ha})/0,60 = 67 \text{ kg KCl/ha}$

Langkah 5: Aplikasi Pupuk dengan Teknologi Presisi

Dengan menggunakan alat pemupukan presisi yang dilengkapi GPS dan sistem otomatis, pupuk diterapkan sesuai dengan kebutuhan setiap zona:

1. Zona A (2 ha):

- Urea: $174 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha} = 348 \text{ kg Urea}$
- SP-36: $111 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha} = 222 \text{ kg SP-36}$
- KCl: $83 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha} = 166 \text{ kg KCl}$

2. Zona B (2 ha):

- Urea: $196 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha} = 392 \text{ kg Urea}$
- SP-36: $125 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha} = 250 \text{ kg SP-36}$
- KCl: $100 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha} = 200 \text{ kg KCl}$

3. Zona C (1 ha):

- Urea: $152 \text{ kg/ha} \times 1 \text{ ha} = 152 \text{ kg Urea}$
- SP-36: $97 \text{ kg/ha} \times 1 \text{ ha} = 97 \text{ kg SP-36}$
- KCl: $67 \text{ kg/ha} \times 1 \text{ ha} = 67 \text{ kg KCl}$

Langkah 6: Pemantauan dan Penyesuaian

Setelah aplikasi, lakukan pemantauan terhadap kondisi tanaman dan tanah menggunakan sensor tanah atau analisis daun untuk menilai penyerapan nutrisi dan kebutuhan lebih lanjut. Teknologi presisi memungkinkan penyesuaian aplikasi pupuk secara real-time jika diperlukan.

Metode Pemupukan Presisi memungkinkan Anda menerapkan pupuk sesuai dengan kebutuhan spesifik di berbagai zona lahan Anda, meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, memaksimalkan hasil panen, dan mengurangi pemborosan serta dampak lingkungan. Dengan pendekatan ini,

Anda dapat memanfaatkan teknologi untuk mencapai hasil pertanian yang lebih baik dan berkelanjutan.

9.8.2 Studi Kasus

1. Studi Kasus: Implementasi Metode Analisis Tanah (*Soil Testing Method*) pada Pertanian Padi di Desa Makmur

1. Latar Belakang

Desa Makmur adalah sebuah desa di Indonesia yang mayoritas penduduknya bekerja sebagai petani padi. Selama beberapa tahun terakhir, para petani di desa ini menghadapi tantangan dalam meningkatkan hasil panen dan menjaga kesuburan tanah. Salah satu penyebabnya adalah penggunaan pupuk yang tidak tepat, baik dalam hal dosis maupun jenis pupuk yang diberikan. Hal ini menyebabkan beberapa lahan pertanian mengalami penurunan kesuburan dan hasil panen yang tidak optimal.

Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah setempat bekerja sama dengan Dinas Pertanian dan sebuah lembaga penelitian agrikultur untuk mengimplementasikan Metode Analisis Tanah (*Soil Testing Method*) di lahan percontohan seluas 10 hektar. Tujuan dari studi ini adalah untuk menentukan kebutuhan pupuk yang tepat berdasarkan kondisi tanah, meningkatkan produktivitas padi, dan memulihkan kesuburan tanah.

2. Pendekatan dan Metode

1) Pengambilan Sampel Tanah

Langkah pertama dalam implementasi metode ini adalah pengambilan sampel tanah. Tim dari Dinas Pertanian bersama dengan petani melakukan pengambilan sampel tanah dari berbagai titik di lahan percontohan.

- **Sampel Tanah:** Diambil dari 10 titik berbeda di lahan seluas 10 hektar untuk mendapatkan hasil yang representatif.

- Kedalaman Pengambilan: Sampel diambil dari kedalaman 0-20 cm, yang merupakan zona akar utama bagi tanaman padi.

2) Analisis Laboratorium

Sampel tanah yang telah diambil kemudian dikirim ke laboratorium untuk dianalisis. Parameter utama yang dianalisis meliputi:

- Kandungan Nitrogen (N): Menilai ketersediaan nitrogen di tanah, yang penting untuk pertumbuhan vegetatif.
- Kandungan Fosfor (P_2O_5): Menilai ketersediaan fosfor, yang penting untuk pengembangan akar dan pembungaan.
- Kandungan Kalium (K_2O): Menilai ketersediaan kalium, yang penting untuk ketahanan tanaman dan kualitas hasil.
- pH Tanah: Mengukur keasaman atau kebasaan tanah, yang mempengaruhi ketersediaan nutrisi.
- Bahan Organik: Menilai kandungan bahan organik yang berperan dalam struktur tanah dan ketersediaan nutrisi.

3) Interpretasi Hasil Analisis

Hasil analisis tanah menunjukkan variasi dalam kandungan nutrisi di lahan percontohan. Berikut adalah hasil dari beberapa titik sampel:

- Titik 1 (Zona A):
 - Nitrogen: 30 kg/ha
 - Fosfor: 15 kg/ha
 - Kalium: 40 kg/ha
 - pH: 5,5 (Agak Asam)
- Titik 2 (Zona B):
 - Nitrogen: 45 kg/ha
 - Fosfor: 20 kg/ha

- Kalium: 60 kg/ha
- pH: 6,0 (Netral)
- Titik 3 (Zona C):
 - Nitrogen: 25 kg/ha
 - Fosfor: 10 kg/ha
 - Kalium: 35 kg/ha
 - pH: 5,0 (Asam)

4) Penentuan Kebutuhan Pupuk

Berdasarkan hasil analisis tanah, kebutuhan pupuk untuk setiap zona dihitung untuk memenuhi kebutuhan nutrisi yang optimal bagi tanaman padi dengan target hasil panen 6 ton gabah kering per hektar:

- Kebutuhan Nutrisi Umum:
 - Nitrogen (N): 120 kg/ha
 - Fosfor (P_2O_5): 60 kg/ha
 - Kalium (K_2O): 100 kg/ha

Kebutuhan Pupuk Berdasarkan Zona:

1. Zona A (Titik 1):

- Nitrogen: $120 \text{ kg} - 30 \text{ kg} = 90 \text{ kg N/ha}$
- Fosfor: $60 \text{ kg} - 15 \text{ kg} = 45 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
- Kalium: $100 \text{ kg} - 40 \text{ kg} = 60 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$

2. Zona B (Titik 2):

- Nitrogen: $120 \text{ kg} - 45 \text{ kg} = 75 \text{ kg N/ha}$
- Fosfor: $60 \text{ kg} - 20 \text{ kg} = 40 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
- Kalium: $100 \text{ kg} - 60 \text{ kg} = 40 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$

3. Zona C (Titik 3):

- Nitrogen: $120 \text{ kg} - 25 \text{ kg} = 95 \text{ kg N/ha}$
- Fosfor: $60 \text{ kg} - 10 \text{ kg} = 50 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$
- Kalium: $100 \text{ kg} - 35 \text{ kg} = 65 \text{ kg K}_2\text{O/ha}$

5) Aplikasi Pupuk

Dengan menggunakan pupuk yang sesuai (misalnya, Urea untuk Nitrogen, SP-36 untuk Fosfor, dan KCl (MOP) untuk Kalium), pupuk diaplikasikan di masing-masing zona sesuai dengan hasil perhitungan:

- Zona A (2 ha):
 - Urea: $90 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha} = 180 \text{ kg Urea}$
 - SP-36: $45 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha} = 90 \text{ kg SP-36}$
 - KCl: $60 \text{ kg/ha} \times 2 \text{ ha} = 120 \text{ kg KCl}$
- Zona B (4 ha):
 - Urea: $75 \text{ kg/ha} \times 4 \text{ ha} = 300 \text{ kg Urea}$
 - SP-36: $40 \text{ kg/ha} \times 4 \text{ ha} = 160 \text{ kg SP-36}$
 - KCl: $40 \text{ kg/ha} \times 4 \text{ ha} = 160 \text{ kg KCl}$
- Zona C (4 ha):
 - Urea: $95 \text{ kg/ha} \times 4 \text{ ha} = 380 \text{ kg Urea}$
 - SP-36: $50 \text{ kg/ha} \times 4 \text{ ha} = 200 \text{ kg SP-36}$
 - KCl: $65 \text{ kg/ha} \times 4 \text{ ha} = 260 \text{ kg KCl}$

6) Pemantauan dan Evaluasi

Setelah aplikasi pupuk, pemantauan dilakukan secara berkala untuk menilai respons tanaman terhadap pemupukan. Pengamatan dilakukan terhadap pertumbuhan vegetatif, pembentukan anakan, pembungaan, dan hasil panen. Uji daun juga dilakukan untuk memastikan bahwa tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup.

c. Hasil dan Evaluasi

Setelah musim panen, berikut adalah hasil yang dicapai dari implementasi metode analisis tanah:

1. Peningkatan Hasil Panen:

- Hasil panen di lahan percontohan meningkat rata-rata 18% dibandingkan dengan lahan di luar percontohan yang tidak menggunakan analisis tanah.
- Zona C, yang sebelumnya memiliki hasil paling rendah, mengalami peningkatan hasil sebesar 25% setelah diberi pemupukan yang sesuai.

2. Efisiensi Penggunaan Pupuk:

- Penggunaan pupuk lebih efisien, dengan pengurangan 15% pada total volume pupuk yang diterapkan dibandingkan dengan metode pemupukan konvensional.
- Tanah di Zona A dan B yang sebelumnya sudah subur hanya menerima pupuk tambahan sesuai kebutuhan, mengurangi risiko pencucian nutrisi dan kerusakan tanah.

3. Perbaikan Kesuburan Tanah:

- Di beberapa zona, kandungan bahan organik dan keseimbangan pH membaik setelah aplikasi pupuk yang sesuai, meningkatkan kesuburan tanah jangka panjang.
- Keseimbangan pH di Zona C yang sebelumnya asam berhasil ditingkatkan dengan aplikasi bahan pengapuran (dolomit) yang tepat.

d. Kesimpulan

Implementasi Metode Analisis Tanah (*Soil Testing Method*) di Desa Makmur berhasil meningkatkan hasil panen padi, mengoptimalkan penggunaan pupuk, dan memulihkan kesuburan tanah. Dengan pendekatan ini, para petani di desa dapat menentukan kebutuhan pupuk berdasarkan kondisi tanah yang spesifik, menghindari pemborosan pupuk, dan mendukung

praktik pertanian yang lebih berkelanjutan. Metode ini telah terbukti efektif dalam memberikan panduan yang akurat untuk manajemen lahan, dan direkomendasikan untuk diterapkan di seluruh desa serta wilayah lainnya dengan kondisi tanah yang beragam.

2. Studi Kasus: Implementasi Metode Perbandingan Hasil (*Yield Target Method*) pada Pertanian Padi di Desa Tani Maju

a. Latar Belakang

Desa Tani Maju adalah sebuah desa agraris di Indonesia yang sebagian besar penduduknya bekerja sebagai petani padi. Selama beberapa tahun terakhir, para petani di desa ini mengalami tantangan dalam meningkatkan hasil panen padi meskipun sudah menggunakan pupuk dalam jumlah yang cukup banyak. Hasil panen yang didapat tidak selalu sebanding dengan jumlah pupuk yang diaplikasikan, menyebabkan pemborosan dan biaya produksi yang tinggi.

Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah daerah bekerja sama dengan lembaga penelitian agrikultur menginisiasi implementasi Metode Perbandingan Hasil (*Yield Target Method*) di lahan percontohan seluas 5 hektar. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengoptimalkan penggunaan pupuk berdasarkan target hasil panen yang spesifik, sehingga meningkatkan produktivitas dan efisiensi biaya dalam pertanian padi.

b. Pendekatan dan Metode

1). Penentuan Target Hasil Panen

Langkah pertama dalam penerapan metode ini adalah menentukan target hasil panen. Setelah diskusi dengan para petani dan ahli agronomi, ditetapkan bahwa target hasil panen adalah 7 ton gabah kering per hektar.

2) Menentukan Kebutuhan Nutrisi Berdasarkan Target Hasil

Berdasarkan target hasil panen, kebutuhan nutrisi dihitung menggunakan data empiris dari penelitian pertanian. Untuk menghasilkan 1 ton gabah kering, kebutuhan nutrisi adalah:

- Nitrogen (N): 20 kg/ton
- Fosfor (P_2O_5): 7 kg/ton
- Kalium (K_2O): 20 kg/ton

Sehingga, untuk mencapai hasil panen 7 ton/ha, kebutuhan nutrisi per hektar adalah:

- Nitrogen (N): $7 \text{ ton} \times 20 \text{ kg/ton} = 140 \text{ kg N/ha}$
- Fosfor (P_2O_5): $7 \text{ ton} \times 7 \text{ kg/ton} = 49 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
- Kalium (K_2O): $7 \text{ ton} \times 20 \text{ kg/ton} = 140 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$

3) Analisis Tanah untuk Menilai Ketersediaan Nutrisi

Sebelum aplikasi pupuk, analisis tanah dilakukan untuk menilai kandungan nutrisi yang sudah tersedia di tanah. Hasil analisis tanah menunjukkan:

- Nitrogen (N): 30 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 20 kg/ha
- Kalium (K_2O): 50 kg/ha

4) Hitung Kebutuhan Pupuk Berdasarkan Keseimbangan Nutrisi

Berdasarkan hasil analisis tanah dan target hasil panen, hitung jumlah pupuk tambahan yang diperlukan:

- Nitrogen (N):
 - Kebutuhan = 140 kg/ha
 - Tersedia di tanah = 30 kg/ha
 - Kekurangan = $140 \text{ kg} - 30 \text{ kg} = 110 \text{ kg N/ha}$
- Fosfor (P_2O_5):

- Kebutuhan = 49 kg/ha
- Tersedia di tanah = 20 kg/ha
- Kekurangan = $49 \text{ kg} - 20 \text{ kg} = 29 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$
- Kalium (K_2O):
 - Kebutuhan = 140 kg/ha
 - Tersedia di tanah = 50 kg/ha
 - Kekurangan = $140 \text{ kg} - 50 \text{ kg} = 90 \text{ kg K}_2\text{O}/\text{ha}$

5) Penentuan Dosis Pupuk

Untuk memenuhi kekurangan nutrisi, digunakan pupuk berikut:

- Urea (46% Nitrogen)
- SP-36 (36% Fosfor)
- KCl (MOP) (60% Kalium)

Perhitungan jumlah pupuk yang diperlukan:

- Urea (untuk Nitrogen):
 - Kebutuhan = $(110 \text{ kg N}/\text{ha})/0,46 = 239 \text{ kg Urea}/\text{ha}$
- SP-36 (untuk Fosfor):
 - Kebutuhan = $(29 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha})/0,36 = 81 \text{ kg SP-36}/\text{ha}$
- KCl (MOP) (untuk Kalium):
 - Kebutuhan = $(90 \text{ kg K}_2\text{O}/\text{ha})/0,60 = 150 \text{ kg KCl}/\text{ha}$

6) Aplikasi Pupuk

Pupuk diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan yang telah dihitung:

- Urea: 239 kg/ha
- SP-36: 81 kg/ha
- KCl (MOP): 150 kg/ha

Pembagian aplikasi pupuk:

1. Pupuk Dasar:

- SP-36 dan KCl (MOP): Diberikan seluruhnya sebelum tanam sebagai pupuk dasar.

2. Pupuk Susulan:

- Urea: Dibagi menjadi tiga kali aplikasi:
 - Aplikasi pertama: 50% (119,5 kg/ha) pada 2-3 minggu setelah tanam.
 - Aplikasi kedua: 25% (59,75 kg/ha) pada 5-6 minggu setelah tanam.
 - Aplikasi ketiga: 25% (59,75 kg/ha) pada saat tanaman mulai berbunga.

7) Pemantauan dan Penyesuaian

Pemantauan dilakukan secara berkala untuk mengamati pertumbuhan tanaman dan memastikan bahwa tanaman menyerap nutrisi secara optimal. Jika terdapat tanda-tanda kekurangan nutrisi, aplikasi pupuk tambahan dapat dilakukan.

c. Hasil dan Evaluasi

Setelah panen, hasil menunjukkan bahwa implementasi metode ini berhasil meningkatkan produktivitas padi di lahan percontohan:

1. Peningkatan Hasil Panen:

- Petani di lahan percontohan berhasil mencapai hasil panen rata-rata 7,2 ton/ha, sedikit melampaui target yang ditetapkan.
- Dibandingkan dengan lahan yang menggunakan metode pemupukan tradisional, hasil panen di lahan percontohan meningkat sebesar 15%.

2. Efisiensi Penggunaan Pupuk:

- Penggunaan pupuk menjadi lebih efisien dengan berkurangnya pemborosan akibat aplikasi pupuk yang lebih tepat sasaran.
- Petani melaporkan penurunan biaya produksi sekitar 10% karena penggunaan pupuk yang lebih efisien dan efektif.

3. Kualitas Tanah:

- Pemantauan menunjukkan bahwa kualitas tanah di lahan percontohan tetap baik, tanpa tanda-tanda penurunan kesuburan atau kerusakan tanah akibat aplikasi pupuk.

d. Kesimpulan

Implementasi Metode Perbandingan Hasil (*Yield Target Method*) di Desa Tani Maju telah menunjukkan keberhasilan dalam meningkatkan hasil panen padi dan efisiensi penggunaan pupuk. Dengan pendekatan ini, petani dapat menentukan kebutuhan pupuk **secara** lebih akurat berdasarkan target hasil yang diinginkan, sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya, meningkatkan produktivitas, dan mengurangi biaya produksi. Metode ini direkomendasikan untuk diadopsi oleh petani lain di desa ini dan wilayah sekitarnya untuk mencapai hasil yang lebih baik dan berkelanjutan dalam pertanian padi.

3. Studi Kasus: Implementasi Metode Keseimbangan Hara (*Nutrient Balance Method*) pada Pertanian Padi di Desa Subur Makmur

a. Latar Belakang

Desa Subur Makmur adalah sebuah desa agraris di Indonesia dengan mayoritas penduduk bekerja sebagai petani padi. Selama beberapa tahun terakhir, para petani mengalami masalah dengan penurunan hasil panen dan degradasi kesuburan tanah, meskipun telah menggunakan pupuk secara intensif. Penggunaan pupuk yang berlebihan dan tidak tepat

sering menyebabkan ketidakseimbangan hara di dalam tanah, yang berdampak negatif pada produktivitas pertanian.

Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah daerah, bersama dengan Dinas Pertanian dan lembaga penelitian agrikultur, memutuskan untuk menerapkan Metode Keseimbangan Hara (*Nutrient Balance Method*) di lahan percontohan seluas 5 hektar. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengoptimalkan pemupukan berdasarkan keseimbangan hara yang dibutuhkan tanaman padi, sehingga meningkatkan hasil panen, menjaga kesuburan tanah, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

b. Pendekatan dan Metode

1) Pengambilan Sampel Tanah dan Analisis

Langkah pertama dalam implementasi metode ini adalah pengambilan sampel tanah dari lahan percontohan. Sampel tanah diambil dari beberapa titik di lahan untuk memastikan representativitas. Sampel kemudian dianalisis di laboratorium untuk menentukan kandungan hara dan kondisi tanah saat ini.

- Parameter yang Dianalisis:
 - Kandungan Nitrogen (N)
 - Kandungan Fosfor (P_2O_5)
 - Kandungan Kalium (K_2O)
 - pH Tanah
 - Kandungan Bahan Organik

Hasil analisis menunjukkan variasi kandungan hara di seluruh lahan:

- Nitrogen (N): 35 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 25 kg/ha
- Kalium (K_2O): 55 kg/ha
- pH Tanah: 5,8 (agak asam)

- Bahan Organik: 2,5% (cukup rendah)

2) Menentukan Kebutuhan Hara Berdasarkan Target Hasil

Target hasil panen ditetapkan sebesar 6 ton gabah kering per hektar. Berdasarkan rekomendasi agronomis, kebutuhan hara untuk mencapai hasil tersebut adalah:

- Nitrogen (N): 120 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 60 kg/ha
- Kalium (K_2O): 100 kg/ha

3) Perhitungan Keseimbangan Hara

Langkah berikutnya adalah menghitung keseimbangan hara, yaitu selisih antara kebutuhan hara tanaman dan ketersediaan hara di dalam tanah.

- Nitrogen (N):
 - Kebutuhan = 120 kg/ha
 - Tersedia di tanah = 35 kg/ha
 - Kekurangan = $120 \text{ kg} - 35 \text{ kg} = 85 \text{ kg N/ha}$
- Fosfor (P_2O_5):
 - Kebutuhan = 60 kg/ha
 - Tersedia di tanah = 25 kg/ha
 - Kekurangan = $60 \text{ kg} - 25 \text{ kg} = 35 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
- Kalium (K_2O):
 - Kebutuhan = 100 kg/ha
 - Tersedia di tanah = 55 kg/ha
 - Kekurangan = $100 \text{ kg} - 55 \text{ kg} = 45 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$

4) Menentukan Dosis Pupuk

Berdasarkan kekurangan hara yang telah dihitung, dosis pupuk yang dibutuhkan untuk menyeimbangkan hara dalam tanah adalah sebagai berikut:

- Pupuk yang Digunakan:
 - Urea (mengandung 46% Nitrogen)
 - SP-36 (mengandung 36% Fosfor)
 - KCl (MOP) (mengandung 60% Kalium)
- Kebutuhan Pupuk:
 - Urea (untuk Nitrogen):
 - Kebutuhan = $(85 \text{ kg N/ha})/0,46 = 185 \text{ kg Urea/ha}$
 - SP-36 (untuk Fosfor):
 - Kebutuhan = $(35 \text{ kg P}_2\text{O}_5\text{/ha})/0,36 = 97 \text{ kg SP-36/ha}$
 - KCl (MOP) (untuk Kalium):
 - Kebutuhan = $(45 \text{ kg K}_2\text{O/ha})/0,60 = 75 \text{ kg KCl/ha}$

5) Aplikasi Pupuk Berdasarkan Keseimbangan Hara

Pupuk diaplikasikan sesuai dengan kebutuhan yang telah dihitung:

- Zona Lahan (5 hektar):
 - Urea: $185 \text{ kg/ha} \times 5 \text{ ha} = 925 \text{ kg Urea}$
 - SP-36: $97 \text{ kg/ha} \times 5 \text{ ha} = 485 \text{ kg SP-36}$
 - KCl (MOP): $75 \text{ kg/ha} \times 5 \text{ ha} = 375 \text{ kg KCl}$

6) Pembagian Aplikasi Pupuk

Pembagian aplikasi pupuk dilakukan dalam beberapa tahap untuk memastikan penyerapan nutrisi yang optimal:

- Pupuk Dasar:

- SP-36 dan KCl (MOP): Diberikan seluruhnya sebagai pupuk dasar sebelum tanam untuk menyediakan fosfor dan kalium yang dibutuhkan sejak awal.
- Pupuk Susulan:
 - Urea: Dibagi menjadi dua kali aplikasi:
 - Aplikasi pertama: 50% (462,5 kg untuk 5 ha) diberikan 2 minggu setelah tanam.
 - Aplikasi kedua: 50% (462,5 kg untuk 5 ha) diberikan 6 minggu setelah tanam.

7) Pemantauan dan Penyesuaian

Selama musim tanam, pemantauan dilakukan untuk menilai pertumbuhan tanaman dan efektivitas pemupukan. Jika diperlukan, penyesuaian dosis pupuk dilakukan berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan analisis tanah ulang.

c. Hasil dan Evaluasi

Setelah panen, evaluasi menunjukkan bahwa implementasi Metode Keseimbangan Hara memberikan hasil yang positif:

- Peningkatan Hasil Panen:
 - Rata-rata hasil panen mencapai 6,5 ton/ha, lebih tinggi dari target 6 ton/ha.
 - Dibandingkan dengan lahan yang menggunakan metode pemupukan konvensional, hasil panen di lahan percontohan meningkat sebesar 18%.
- Efisiensi Penggunaan Pupuk:
 - Penggunaan pupuk menjadi lebih efisien, dengan pengurangan 10% dalam jumlah total pupuk yang digunakan dibandingkan dengan metode sebelumnya.
 - Petani melaporkan penurunan biaya produksi dan peningkatan efisiensi pengeluaran.

- Keseimbangan Nutrisi dan Kualitas Tanah:
 - Tanah di lahan percontohan menunjukkan perbaikan dalam keseimbangan nutrisi, tanpa tanda-tanda penurunan kesuburan tanah.
 - Kandungan bahan organik dan pH tanah stabil, mendukung kondisi tanah yang sehat untuk musim tanam berikutnya.

d. Kesimpulan

Implementasi Metode Keseimbangan Hara (*Nutrient Balance Method*) di Desa Subur Makmur berhasil meningkatkan produktivitas padi, mengoptimalkan penggunaan pupuk, dan menjaga kesuburan tanah. Pendekatan ini memungkinkan petani untuk menerapkan pemupukan yang tepat sesuai kebutuhan spesifik tanaman dan kondisi tanah, yang pada akhirnya meningkatkan hasil panen dan efisiensi biaya. Metode ini direkomendasikan untuk diterapkan secara lebih luas di desa ini dan daerah sekitarnya untuk mendorong pertanian yang lebih berkelanjutan dan produktif.

4. Studi Kasus: Implementasi Metode Uji Daun (*Leaf Analysis Method*) pada Pertanian Padi di Desa Hijau Lestari

a. Latar Belakang

Desa Hijau Lestari adalah sebuah desa pertanian di Indonesia yang terkenal dengan produksi padinya. Meskipun demikian, beberapa tahun terakhir, para petani di desa ini menghadapi tantangan dalam mempertahankan hasil panen padi yang tinggi. Beberapa lahan menunjukkan gejala kekurangan nutrisi, seperti daun yang menguning dan pertumbuhan yang terhambat, meskipun pupuk telah diaplikasikan secara rutin.

Untuk mengatasi masalah ini, pemerintah desa bekerja sama dengan Dinas Pertanian dan lembaga penelitian setempat memutuskan untuk menerapkan Metode Uji Daun (*Leaf Analysis*

Method) di lahan percontohan seluas 5 hektar. Tujuan dari studi ini adalah untuk memantau status nutrisi tanaman secara langsung melalui analisis daun dan menyesuaikan aplikasi pupuk secara real-time berdasarkan kebutuhan aktual tanaman, sehingga dapat meningkatkan hasil panen dan efisiensi penggunaan pupuk.

b. Pendekatan dan Metode

1) Pengambilan Sampel Daun

Langkah pertama dalam implementasi metode ini adalah pengambilan sampel daun dari tanaman padi pada fase vegetatif awal, sekitar 30 hari setelah tanam. Sampel daun diambil dari beberapa titik di lahan percontohan untuk mendapatkan hasil yang representatif.

- Jumlah Sampel: Sampel daun diambil dari 10 titik berbeda di lahan seluas 5 hektar.
- Fase Tanaman: Sampel diambil pada fase vegetatif awal ketika tanaman padi sedang dalam fase pertumbuhan aktif.

2) Analisis Laboratorium

Sampel daun yang telah diambil kemudian dikirim ke laboratorium untuk dianalisis. Analisis ini bertujuan untuk menentukan kadar nutrisi utama dalam daun, seperti:

- Nitrogen (N)
- Fosfor (P)
- Kalium (K)

Hasil analisis menunjukkan:

- Nitrogen (N): 2,3% (ideal: 3,0%)
- Fosfor (P): 0,25% (ideal: 0,30%)
- Kalium (K): 0,9% (ideal: 1,5%)

3) Interpretasi Hasil Analisis Daun

Hasil analisis daun menunjukkan bahwa tanaman padi di lahan percontohan mengalami kekurangan beberapa nutrisi utama:

- Kekurangan Nitrogen (N): Kadar N di daun adalah 2,3%, sementara kadar ideal adalah 3,0%. Ini menunjukkan defisiensi sebesar 0,7%.
- Kekurangan Fosfor (P): Kadar P di daun adalah 0,25%, sementara kadar ideal adalah 0,30%. Ini menunjukkan defisiensi sebesar 0,05%.
- Kekurangan Kalium (K): Kadar K di daun adalah 0,9%, sementara kadar ideal adalah 1,5%. Ini menunjukkan defisiensi sebesar 0,6%.

4) Penentuan Kebutuhan Pupuk Berdasarkan Hasil Uji Daun

Berdasarkan hasil uji daun, kebutuhan pupuk dihitung untuk mengatasi kekurangan nutrisi yang terdeteksi. Misalnya, jika berat daun pada lahan adalah sekitar 300 kg/ha, perhitungan kebutuhan pupuk adalah sebagai berikut:

- Nitrogen (N):
 - Defisiensi = $0,7\% \times 300 \text{ kg} = 2,1 \text{ kg N/ha}$
 - Untuk memenuhi kebutuhan ini dengan pupuk Urea (mengandung 46% Nitrogen):
 - Kebutuhan Urea = $(2,1 \text{ kgN/ha}) / 0,46 = 4,57 \text{ kg Urea/ha}$
- Fosfor (P_2O_5):
 - Defisiensi = $0,05\% \times 300 \text{ kg} = 0,15 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$
 - Untuk memenuhi kebutuhan ini dengan pupuk SP-36 (mengandung 36% Fosfor):
 - Kebutuhan SP-36 = $(0,15 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}) / 0,36 = 0,42 \text{ kg SP-36/ha}$

- Kalium (K_2O):
 - Defisiensi = $0,6\% \times 300 \text{ kg} = 1,8 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$
 - Untuk memenuhi kebutuhan ini dengan pupuk KCl (mengandung 60% Kalium):
 - Kebutuhan KCl = $(1,8 \text{ kg } K_2O/\text{ha})/0,60 = 3 \text{ kg KCl}/\text{ha}$

5) Aplikasi Pupuk Berdasarkan Hasil Uji Daun

Berdasarkan perhitungan di atas, pupuk diberikan sebagai aplikasi foliar (pemupukan melalui daun) atau dengan aplikasi tanah sesuai dengan kebutuhan nutrisi yang terdeteksi:

- Aplikasi Urea: $4,57 \text{ kg}/\text{ha}$ sebagai pemupukan daun untuk meningkatkan kadar Nitrogen.
- Aplikasi SP-36: $0,42 \text{ kg}/\text{ha}$ sebagai pupuk dasar atau foliar untuk meningkatkan kadar Fosfor.
- Aplikasi KCl: $3 \text{ kg}/\text{ha}$ sebagai pemupukan daun atau aplikasi tanah untuk meningkatkan kadar Kalium.

6) Pemantauan Lanjutan

Setelah aplikasi pupuk, dilakukan pemantauan lanjutan terhadap kondisi tanaman. Uji daun diulangi pada interval waktu tertentu (misalnya, setiap 2 minggu) untuk memastikan bahwa defisiensi nutrisi telah teratasi dan tanaman menerima nutrisi yang cukup.

Jika hasil uji daun menunjukkan bahwa defisiensi masih ada atau muncul gejala baru, aplikasi pupuk disesuaikan berdasarkan hasil terbaru.

c. Hasil dan Evaluasi

Setelah panen, hasil menunjukkan bahwa implementasi Metode Uji Daun memberikan hasil yang positif:

- Peningkatan Hasil Panen:
 - Hasil panen di lahan percontohan meningkat sebesar 20% dibandingkan dengan lahan di luar percontohan yang tidak menggunakan metode uji daun.
 - Tanaman menunjukkan pertumbuhan yang lebih baik, dengan lebih sedikit gejala kekurangan nutrisi selama musim tanam.
- Efisiensi Penggunaan Pupuk:
 - Penggunaan pupuk menjadi lebih efisien karena aplikasi pupuk didasarkan pada kebutuhan aktual tanaman yang terpantau melalui uji daun.
 - Biaya produksi menurun sekitar 15% karena penggunaan pupuk yang lebih tepat sasaran.
- Kesehatan Tanaman dan Kualitas Hasil:
 - Tanaman di lahan percontohan lebih tahan terhadap penyakit dan stres lingkungan, berkat nutrisi yang lebih seimbang.
 - Kualitas gabah yang dihasilkan lebih baik, dengan biji yang lebih besar dan berat jenis yang lebih tinggi.

d. Kesimpulan

Implementasi Metode Uji Daun (*Leaf Analysis Method*) di Desa Hijau Lestari berhasil meningkatkan hasil panen padi, efisiensi penggunaan pupuk, dan kesehatan tanaman. Dengan memantau status nutrisi tanaman secara langsung melalui uji daun, petani dapat menyesuaikan aplikasi pupuk secara tepat waktu dan sesuai dengan kebutuhan spesifik tanaman. Metode ini memberikan pendekatan yang lebih responsif dan dinamis dalam manajemen pemupukan, sehingga mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan produktif. Metode ini direkomendasikan untuk diadopsi lebih luas di desa ini dan di daerah lain dengan masalah serupa.

5. Studi Kasus: Implementasi Metode Penggunaan Buku Pedoman atau Rekomendasi (*Guideline or Recommendation Method*) pada Pertanian Padi di Desa Sawah Jaya

a. Latar Belakang

Desa Sawah Jaya adalah sebuah desa pertanian di Indonesia dengan mayoritas penduduknya bekerja sebagai petani padi. Selama beberapa tahun, petani di desa ini menghadapi tantangan dalam menentukan dosis pupuk yang tepat untuk tanaman padi. Ketidaktepatan dalam pemberian pupuk sering kali menyebabkan biaya produksi yang tinggi tanpa peningkatan yang signifikan dalam hasil panen. Untuk membantu para petani mengatasi masalah ini, pemerintah desa bekerja sama dengan Dinas Pertanian setempat menginisiasi program untuk menerapkan Metode Penggunaan Buku Pedoman atau Rekomendasi (*Guideline or Recommendation Method*) di lahan percontohan seluas 10 hektar.

Tujuan dari program ini adalah untuk meningkatkan hasil panen padi melalui aplikasi pupuk yang tepat sesuai dengan rekomendasi resmi, sehingga mengoptimalkan penggunaan pupuk dan mengurangi biaya produksi.

b. Pendekatan dan Metode

1) Penggunaan Buku Pedoman Resmi

Dinas Pertanian menyediakan buku pedoman pemupukan untuk tanaman padi, yang mencakup rekomendasi dosis pupuk berdasarkan jenis tanah, target hasil panen, dan kondisi lingkungan setempat. Buku pedoman ini telah dikembangkan berdasarkan penelitian agronomi dan pengalaman lapangan di wilayah tersebut.

- **Target Hasil Panen:** Petani menargetkan hasil panen sebesar 6 ton gabah kering per hektar.
- **Jenis Tanah:** Tanah di lahan percontohan merupakan tanah sawah dengan pH netral dan tingkat kesuburan sedang.

2) Rekomendasi Pupuk Berdasarkan Buku Pedoman

Berdasarkan target hasil panen dan jenis tanah, buku pedoman merekomendasikan dosis pupuk sebagai berikut:

- Nitrogen (N): 100 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 50 kg/ha
- Kalium (K_2O): 75 kg/ha

Jenis pupuk yang direkomendasikan:

- Urea (46% Nitrogen)
- SP-36 (36% Fosfor)
- KCl (MOP) (60% Kalium)

3) Perhitungan Dosis Pupuk

Berdasarkan rekomendasi tersebut, dosis pupuk yang dibutuhkan dihitung sebagai berikut:

- Urea (untuk Nitrogen):
 - Kebutuhan N = 100 kg N/ha
 - Kebutuhan pupuk Urea = $(100 \text{ kg N/ha}) / 0,46 = 217 \text{ kg Urea/ha}$
- SP-36 (untuk Fosfor):
 - Kebutuhan $P_2O_5 = 50 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}$
 - Kebutuhan pupuk SP-36 = $(50 \text{ kg } P_2O_5/\text{ha}) / 0,36 = 139 \text{ kg SP-36/ha}$
- KCl (MOP) (untuk Kalium):
 - Kebutuhan $K_2O = 75 \text{ kg } K_2O/\text{ha}$
 - Kebutuhan pupuk KCl = $(75 \text{ kg } K_2O/\text{ha}) / 0,60 = 125 \text{ kg KCl/ha}$

4) Aplikasi Pupuk Sesuai Rekomendasi

Pupuk diaplikasikan sesuai dengan rekomendasi yang diberikan oleh buku pedoman:

- Pupuk Dasar:
 - SP-36 dan KCl (MOP): Seluruh dosis diberikan sebagai pupuk dasar sebelum atau saat tanam untuk memastikan ketersediaan fosfor dan kalium sejak awal pertumbuhan.
- Pupuk Susulan:
 - Urea: Dibagi dalam dua atau tiga kali aplikasi selama masa pertumbuhan untuk mengoptimalkan penyerapan nitrogen:
 - Aplikasi pertama: 50% dari total kebutuhan (109 kg/ha) pada 2-3 minggu setelah tanam.
 - Aplikasi kedua: 50% sisanya (109 kg/ha) pada 6 minggu setelah tanam.

5) Pemantauan dan Evaluasi

Selama musim tanam, pemantauan dilakukan untuk mengamati respons tanaman terhadap pemupukan. Parameter yang dipantau meliputi pertumbuhan tanaman, pembentukan anakan, dan munculnya gejala kekurangan nutrisi. Jika ditemukan adanya masalah, penyesuaian dilakukan berdasarkan saran dari penyuluh pertanian yang merujuk pada pedoman tersebut.

c. Hasil dan Evaluasi

Setelah panen, hasil menunjukkan bahwa implementasi Metode Penggunaan Buku Pedoman atau Rekomendasi memberikan dampak positif yang signifikan:

- Peningkatan Hasil Panen:
 - Hasil panen rata-rata mencapai 6,1 ton/ha, sesuai dengan target yang ditetapkan dan lebih tinggi dibandingkan dengan hasil sebelumnya yang hanya mencapai 5,2 ton/ha.
 - Petani melaporkan peningkatan kualitas gabah, dengan biji yang lebih besar dan kadar air yang lebih stabil.
- Efisiensi Penggunaan Pupuk:
 - Penggunaan pupuk menjadi lebih tepat sasaran, mengurangi pemborosan dan biaya. Biaya produksi terkait pupuk menurun sekitar 12%.
 - Petani juga menyadari pentingnya mengikuti dosis yang direkomendasikan, menghindari aplikasi pupuk berlebihan yang sebelumnya sering dilakukan.
- Pengetahuan dan Kesadaran Petani:
 - Petani yang berpartisipasi dalam program ini memperoleh pengetahuan baru tentang pentingnya dosis pupuk yang tepat dan manajemen nutrisi berdasarkan rekomendasi ilmiah.
 - Program ini juga meningkatkan kesadaran tentang dampak negatif dari penggunaan pupuk yang tidak sesuai dan pentingnya praktik pertanian yang berkelanjutan.
- Kondisi Tanah:
 - Pemantauan setelah panen menunjukkan bahwa kondisi tanah tetap baik tanpa adanya tanda-tanda degradasi atau penurunan kesuburan.
 - Penggunaan pupuk yang sesuai membantu menjaga keseimbangan nutrisi di dalam tanah, mendukung keberlanjutan lahan pertanian untuk musim tanam berikutnya.

d. Kesimpulan

Implementasi Metode Penggunaan Buku Pedoman atau Rekomendasi (*Guideline or Recommendation Method*) di Desa Sawah Jaya terbukti efektif dalam meningkatkan hasil panen padi, efisiensi penggunaan pupuk, dan pemahaman petani tentang pentingnya manajemen nutrisi yang tepat. Dengan mengikuti rekomendasi yang telah terbukti secara ilmiah, petani dapat mencapai hasil yang lebih baik sambil menjaga kesuburan tanah dan mengurangi biaya produksi. Metode ini direkomendasikan untuk diterapkan secara lebih luas di desa ini dan wilayah sekitarnya, sebagai bagian dari strategi untuk meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan.

6. Studi Kasus: Implementasi Metode Pemupukan Presisi pada Pertanian Padi di Desa Sejahtera

a. Latar Belakang

Desa Sejahtera adalah sebuah desa agraris di Indonesia yang sebagian besar penduduknya bermata pencaharian sebagai petani. Salah satu komoditas utama di desa ini adalah padi. Selama bertahun-tahun, petani di desa ini mengalami berbagai tantangan dalam mencapai hasil panen yang optimal. Beberapa di antaranya adalah penggunaan pupuk yang tidak efisien, baik karena dosis yang berlebihan maupun tidak tepat waktu, serta adanya variabilitas dalam kondisi tanah di seluruh lahan pertanian.

Dalam rangka meningkatkan produktivitas pertanian dan efisiensi penggunaan pupuk, pemerintah setempat, bekerja sama dengan lembaga penelitian agrikultur, memutuskan untuk menerapkan Metode Pemupukan Presisi di lahan percontohan seluas 10 hektar. Tujuan dari studi ini adalah untuk meningkatkan hasil panen padi, mengoptimalkan penggunaan pupuk, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

b. Pendekatan dan Metode

1) Pemetaan Lahan dan Pengumpulan Data

Langkah pertama dalam implementasi metode pemupukan presisi adalah pemetaan lahan menggunakan drone yang dilengkapi dengan sensor multispektral dan GPS. Alat ini digunakan untuk memetakan variasi kondisi tanah di seluruh lahan percontohan.

- Pemetaan Zona Tanah: Berdasarkan hasil pemetaan, lahan dibagi menjadi empat zona berdasarkan karakteristik tanah, seperti kandungan nutrisi, kelembapan, dan topografi:
 - Zona A: Tanah subur dengan kadar nutrisi tinggi.
 - Zona B: Tanah sedang dengan kadar nutrisi sedang.
 - Zona C: Tanah kurang subur dengan kadar nutrisi rendah.
 - Zona D: Tanah kritis dengan kadar nutrisi sangat rendah dan tekstur tanah berpasir.

2) Analisis Tanah

Sampel tanah dari setiap zona diambil dan dianalisis di laboratorium untuk mengetahui kandungan nitrogen (N), fosfor (P_2O_5), dan kalium (K_2O). Hasil analisis menunjukkan perbedaan signifikan dalam kandungan nutrisi di setiap zona:

- Zona A: 60 kg/ha Nitrogen, 25 kg/ha Fosfor, 70 kg/ha Kalium
- Zona B: 40 kg/ha Nitrogen, 20 kg/ha Fosfor, 50 kg/ha Kalium
- Zona C: 30 kg/ha Nitrogen, 15 kg/ha Fosfor, 40 kg/ha Kalium
- Zona D: 20 kg/ha Nitrogen, 10 kg/ha Fosfor, 30 kg/ha Kalium

3) Penentuan Kebutuhan Nutrisi

Berdasarkan hasil analisis tanah, kebutuhan tambahan nutrisi untuk mencapai target hasil panen 6 ton gabah kering per hektar dihitung. Kebutuhan nutrisi yang direkomendasikan adalah:

- Nitrogen (N): 120 kg/ha
- Fosfor (P_2O_5): 60 kg/ha
- Kalium (K_2O): 100 kg/ha

4) Hitung Kebutuhan Pupuk untuk Setiap Zona

Untuk setiap zona, kebutuhan pupuk dihitung berdasarkan kekurangan nutrisi yang ditemukan dalam analisis tanah:

- Zona A:
 - Kekurangan N: 60 kg/ha (butuh 130 kg Urea/ha)
 - Kekurangan P_2O_5 : 35 kg/ha (butuh 97 kg SP-36/ha)
 - Kekurangan K_2O : 30 kg/ha (butuh 50 kg KCl/ha)
- Zona B:
 - Kekurangan N: 80 kg/ha (butuh 174 kg Urea/ha)
 - Kekurangan P_2O_5 : 40 kg/ha (butuh 111 kg SP-36/ha)
 - Kekurangan K_2O : 50 kg/ha (butuh 83 kg KCl/ha)
- Zona C:
 - Kekurangan N: 90 kg/ha (butuh 196 kg Urea/ha)
 - Kekurangan P_2O_5 : 45 kg/ha (butuh 125 kg SP-36/ha)
 - Kekurangan K_2O : 60 kg/ha (butuh 100 kg KCl/ha)
- Zona D:
 - Kekurangan N: 100 kg/ha (butuh 217 kg Urea/ha)
 - Kekurangan P_2O_5 : 50 kg/ha (butuh 139 kg SP-36/ha)
 - Kekurangan K_2O : 70 kg/ha (butuh 117 kg KCl/ha)

5) Aplikasi Pupuk dengan Teknologi Presisi

Setelah kebutuhan pupuk dihitung, aplikasi pupuk dilakukan menggunakan mesin pemupukan presisi yang terintegrasi dengan GPS. Mesin ini diatur untuk menerapkan

dosis pupuk yang berbeda di setiap zona sesuai dengan kebutuhan spesifik.

- Zona A (3 ha): Pupuk diterapkan dengan dosis sesuai dengan kebutuhan, yaitu 130 kg Urea/ha, 97 kg SP-36/ha, dan 50 kg KCl/ha.
- Zona B (3 ha): Pupuk diterapkan dengan dosis 174 kg Urea/ha, 111 kg SP-36/ha, dan 83 kg KCl/ha.
- Zona C (2 ha): Pupuk diterapkan dengan dosis 196 kg Urea/ha, 125 kg SP-36/ha, dan 100 kg KCl/ha.
- Zona D (2 ha): Pupuk diterapkan dengan dosis 217 kg Urea/ha, 139 kg SP-36/ha, dan 117 kg KCl/ha.

6) Pemantauan dan Penyesuaian

Selama musim tanam, pemantauan dilakukan secara berkala menggunakan sensor tanah dan drone untuk menilai kondisi tanaman dan tanah. Jika ditemukan kekurangan atau kelebihan nutrisi, dosis pupuk disesuaikan dalam aplikasi berikutnya.

c. Hasil dan Evaluasi

Setelah panen, hasil menunjukkan bahwa implementasi metode pemupukan presisi memberikan hasil yang signifikan:

1. Peningkatan Hasil Panen:

- Petani di Zona A dan B melaporkan peningkatan hasil panen sebesar 15% dibandingkan dengan metode pemupukan konvensional.
- Di Zona C dan D, peningkatan hasil panen mencapai 20%, terutama karena kondisi tanah yang sebelumnya kurang subur menjadi lebih optimal dengan aplikasi pupuk yang tepat.

2. Efisiensi Penggunaan Pupuk:

- Penggunaan pupuk secara keseluruhan menurun sekitar 10% karena pupuk diterapkan secara efisien hanya di area yang membutuhkan, mengurangi pemborosan dan biaya input.

3. Dampak Lingkungan:

- Erosi tanah dan pencucian nutrisi berkurang, terutama di zona dengan topografi yang miring dan sebelumnya rentan terhadap run-off.
- Kualitas air di sekitar lahan tetap baik karena pencemaran oleh pupuk berkurang secara signifikan.

d. Kesimpulan

Implementasi Metode Pemupukan Presisi di Desa Sejahtera menunjukkan bahwa penggunaan teknologi modern dalam pemupukan dapat meningkatkan produktivitas pertanian, mengoptimalkan penggunaan sumber daya, dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan pendekatan yang berbasis data dan teknologi, petani dapat membuat keputusan yang lebih tepat dalam manajemen lahan mereka, yang pada akhirnya meningkatkan kesejahteraan ekonomi dan ekologi di komunitas agraris. Metode ini direkomendasikan untuk diadopsi lebih luas, terutama di wilayah dengan variabilitas kondisi tanah yang tinggi dan di mana sumber daya pupuk terbatas.

DAFTAR PUSTAKA

- Brady, N.C., & Weil, R.R. (2016). *The Nature and Properties of Soils* (15th Edition). Pearson Education.
- Chen, X., Zhang, F., Rengel, Z., & Shen, J. (2013). "Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops." *Plant and Soil*, 372(1), 1-20.
- Dobermann, A., & Cassman, K.G. (2002). "Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia." *Plant and Soil*, 247(1), 153-175.
- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (2013). *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management* (8th Edition). Pearson.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C., & Jones, C.A. (2011). *Growth and mineral nutrition of field crops*. CRC Press.
- Fageria, N.K. (2012). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Press.
- Fixen, P.E. (2020). "Can we define a global framework for nutrient stewardship?" *Crop & Pasture Science*, 71(8), 699-709.
- Jiang, P., & Thelen, K.D. (2004). "Effect of soil and topographic properties on crop yield in a North-Central corn-soybean cropping system." *Agronomy Journal*, 96(1), 252-258.
- Mengel, K., & Kirkby, E.A. (2012). *Principles of Plant Nutrition* (5th Edition). Springer.
- Rengel, Z. (Ed.). (2007). *Handbook of Soil Acidity*. CRC Press.
- Roy, R.N., Finck, A., Blair, G.J., & Tandon, H.L.S. (2006). *Plant nutrition for food security: A guide for integrated nutrient management*. FAO
- Shukla, A.K., & Behera, S.K. (2018). *Soil Fertility Management for Sustainable Development*. Springer.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., & Fixen, P.E. (2009). "Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects." *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133(3-4), 247-266.

- Stevenson, F.J., & Cole, M.A. (1999). *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients* (2nd Edition). Wiley.
- Tandon, H.L.S. (2004). *Fertilizers in Indian Agriculture: From 20th to 21st Century*. Fertiliser Development and Consultation Organization.
- Zhang, F., Cui, Z., Fan, M., Zhang, W., Chen, X., & Jiang, R. (2012). "Integrated nutrient management for food security and environmental quality in China." *Advances in Agronomy*, 116, 1-40.

BAB 10

CARA PENYIMPANAN DAN PENCAMPURAN PUPUK

Oleh Agnes Tutik Purwani Irianti

10.1 Pendahuluan

Pupuk merupakan produk yang mengandung unsur kimia, oleh karena itu dalam pemanfaatannya dapat mengganggu kesehatan dan mengancam keselamatan kita. Untuk itu perlu pengelolaan yang tepat untuk meminimalisir dampak negatif yang ditimbulkan (AgroMedia, 2007). Pengelolaan pupuk antara lain menyangkut penyimpanan dan pencampuran pupuk.

Pupuk harus disimpan dengan baik, jika tidak maka bisa merusak sifat kimia dan sifat fisik pupuk, hal ini dapat menurunkan kualitas pupuk dan mengurangi efisiensinya (Wibowo, 2023). Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam penyimpanan pupuk antara lain adalah suhu, kelembapan dan pemisahan jenis pupuk. Pupuk tidak boleh disimpan di ruangan dengan suhu rendah dan kelembapan yang tinggi. Oleh karena itu sirkulasi udara dalam ruangan harus diperhatikan (Anonim, 2023). Selain itu pupuk tidak boleh dicampur antara jenis satu dengan jenis lainnya, hal ini bertujuan untuk memudahkan pengawasan dan menjaga kualitas pupuk (Prakastiwi, 2021).

Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk dapat dilakukan pencampuran 2 atau lebih jenis pupuk. Pencampuran pupuk bertujuan untuk meningkatkan efisiensi serta menghemat waktu dan tenaga dalam aplikasi pupuk di lapangan

(AgroMedia, 20027). Diperlukan kehati-hatian dalam proses pencampuran pupuk, sebab jika tidak tepat dapat menimbulkan kerugian, seperti hilangnya unsur hara, bahkan dapat menimbulkan keracunan pada tanaman. (Parwoto, 2023).

Pencampuran pupuk dapat dilakukan secara maual dengan peralatan sederhana atau secara mekanis menggunakan mesin khusus. Perlu diketahui bahwa tidak semua jenis pupuk bisa dicampur, ada yang bereaksi baik satu dengan yang lain dan ada yang tidak. Untuk itu sebelum melakukan pencampuran pupuk perlu memahami karakteristik masing-masing pupuk (Lestari, 2019).

Penyimpanan dan pencampuran pupuk yang tepat diharapkan dapat memaksimalkan penggunaan pupuk, meningkatkan produksi tanaman dan menjaga keberlanjutan budidaya tanaman yang ramah lingkungan (Prihmantoro, 1999).

10.2 Penyimpanan Pupuk

Untuk menjaga efektifitas dan kualitas pupuk perlu dilakukan penyimpanan yang tepat. Pupuk padat maupun pupuk cair harus disimpan di tempat yang kering dengan kelembapan yang rendah. Untuk pupuk padat, ruang penyimpanan pupuk harus ada ventilasi dan sirkulasi udara yang baik. Pupuk cair harus disimpan dalam wadah yang tertutup rapat dan tidak boleh terkena sinar matahari secara langsung agar tidak terjadi perubahan sifat kimia yang dapat menurunkan efisiensinya (AgroMedia, 20027).

Pupuk harus disimpan dengan baik untuk menjaga kualitasnya, efisiensi dan keamanannya. Pupuk yang disimpan di ruang terbuka dapat mengalami degradasi dan menurunkan efektivitasnya. Beberapa jenis pupuk bersifat korosif atau mudah terbakar, jika tidak disimpan dengan baik dapat menimbulkan kecelakaan. Pupuk yang disimpan dengan baik

akan memudahkan pengambilan dan penggunaannya sehingga bisa digunakan dengan efisien pada waktu yang tepat. (Lal *et al.*, 2018)

Cara penyimpanan pupuk yang benar adalah sebagai berikut:

1. Kemasan Tertutup

Pupuk harus dikemas dengan baik dan tertutup untuk mengurangi penguapan dan agar tidak terkena sinar matahari langsung. Pada pupuk organik, kemasan tertutup akan mendorong mikroorganisme yang ada dalam pupuk bisa beraktivitas dengan baik (Prihantoro dan Indriani, 2017)

2. Tempat Ternaungi

Pupuk organik harus disimpan di tempat yang ternaungi dan tidak terpapar oleh sinar matahari langsung (Prihantoro, 2007). Selain itu pupuk tidak boleh diletakkan di tempat yang tergenang air. Unsur hara yang terkandung dalam pupuk seperti Nitrogen dan Belerang mudah menguap jika terkena sinar matahari atau tercuci oleh air sehingga berkurang jumlahnya. Panas matahari dan kondisi jenuh air juga dapat membunuh mikroorganisme yang berperan sebagai dekomposer dalam pupuk tersebut (AgroMedia, 2007).

3. Suhu dan Kelembapan Sesuai

Suhu yang sesuai untuk penyimpanan pupuk adalah suhu yang tidak terlalu rendah dan tidak terlalu tinggi, yaitu pada kisaran 10°C-30°C dan kelembapan 50%-70%. Jika suhu terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat terjadi reaksi kimia yang tidak diinginkan (Lal *et al.*, 2018). Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi kualitas pupuk (Apriliyanto, 2017)

Untuk pupuk organik cair suhu ideal 5°C-15°C (Kumar *et al.*, 2019) dan kelembaban 40-60% (Lal *et al.*, 2018).

4. Sirkulasi Udara Baik

Penumpukan udara bisa merusak pupuk, oleh karena itu pupuk harus disimpan di tempat yang memiliki ventilasi dan sirkulasi udara yang baik (Kumar *et al.*, 2019). Sebaiknya pupuk tidak ditumpuk terlalu tinggi, agar pupuk di bagian bawah tidak tertekan, yang dapat mengakibatkan pupuk akan mengeras (AgroMedia, 2007).

5. Jauh dari Pestisida

Pupuk harus ditempatkan terpisah dari pestisida agar tidak terkontaminasi dengan bahan beracun (Rosilawati *et al.*, 2024).

Kualitas dan manfaat pupuk diharapkan dapat dipertahankan dengan penyimpanan yang benar, sehingga dapat digunakan secara efektif selama pemupukan tanaman (Maulana dan Setiawan, 2021)

10.2.1 Jenis-Jenis Pupuk yang Perlu Disimpan Secara Khusus

Ada beberapa jenis pupuk yang perlu disimpan secara khusus yaitu:

1. Pupuk Anorganik

Pupuk anorganik yang bersifat higroskopis perlu disimpan secara khusus, karena pupuk tersebut dapat mencair jika kelembapan berkurang. Pupuk tersebut juga bisa mengeras dan membentuk bongkahan besar sehingga sulit untuk diaplikasikan (Maulana dan Setiawan, 2021). Contoh pupuk higroskopis adalah Urea, pupuk ini harus

disimpan di tempat yang ternaungi dengan sirkulasi udara yang baik (Prakastiwi, 2021).

2. Pupuk Organik

Pupuk organik yang perlu disimpan secara khusus adalah:

a. Pupuk Kandang

Pupuk kandang sebaiknya disimpan di tempat yang teduh dan tidak terkena sinar matahari langsung, terlindung dari air hujan serta memiliki sirkulasi udara yang baik sehingga kondisi pupuk tidak panas (Tajoedin & Iswanto, 2002). Suhu ruang yang ideal untuk penyimpanan pupuk kandang adalah suhu yang tidak terlalu rendah untuk menjaga kandungan hayati dalam pupuk tetap aktif (Anonim, 2023).

b. Pupuk Kompos

Pupuk kompos sebaiknya disimpan dalam ruang tertutup untuk menghindari tumbuhnya jamur dan terkontaminasi benih yang terbawa oleh angin atau binatang (Rinaldi, 2022).

c. Pupuk Hijau

Pupuk hijau sebaiknya disimpan di tempat yang teduh dan tidak terkena dari sinar matahari langsung dengan suhu ruang yang tidak terlalu rendah agar mikroorganisme dalam pupuk tetap aktif (Fadilah, 2022).

d. Humus

Humus sebaiknya disimpan di tempat yang teduh dan tidak terkena dari sinar matahari langsung dengan suhu ruang yang tidak terlalu rendah agar mikroorganisme dalam pupuk tetap aktif (Fadilah, 2022).

10.2.2 Tempat Penyimpanan Pupuk

1. Tempat Penyimpanan Pupuk Anorganik

Pupuk anorganik harus disimpan dalam gudang dengan suhu yang ideal, tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah, kelembapan tidak boleh terlalu tinggi, memiliki ventilasi dan sirkulasi udara yang baik. Pupuk tidak boleh ditumpuk terlalu tinggi, sebaiknya maksimal 20 tumpukan (Prihmantoro, 2008)



**Gambar 10. 1. Gudang Penyimpanan Pupuk Anorganik
(Sumber : Kompas.id)**

2. Tempat Penyimpanan Pupuk Organik

Pupuk organik padat dan pupuk organik cair disimpan sebagai berikut:

a. Tempat Penyimpanan Pupuk Organik Padat

Pupuk Organik padat disimpan di ruangan dengan lantai dan dinding yang kedap air. Ruangan harus luas agar bisa dilakukan pengadukan pupuk padat secara homogen. Pupuk organik padat juga dapat disimpan di

tempat berupa lubang dalam tanah dan ditutup dengan plastik atau karung goni (Sriyanto, 2010). Pupuk organik yang berbentuk granul sebaiknya disimpan dalam gudang yang tidak terlalu lembab dan terlindungi dari gangguan binatang (Wahyono *et al.*, 2011)



Gambar 10. 2. Tempat Penyimpanan Pupuk Organik Padat
(Sumber : Ramadan, 2022)

Hasil penelitian Adiningsih (2008) menunjukkan bahwa pupuk yang disimpan di luar ruangan mengalami kehilangan unsur hara lebih tinggi dibanding pupuk yang disimpan di dalam ruangan.

b. Tempat Penyimpanan Pupuk Organik Cair

Pupuk organik cair harus disimpan dalam wadah yang tertutup rapat. Wadah tersebut bisa berupa botol plastik, botol kaca, wadah ember dan wadah lainnya dan disimpan di tempat yang teduh (Suryati, 2014). Pupuk organik cair harus dikemas dan disimpan hati-hati agar kandungannya tidak rusak. Proses pengemasan harus dilakukan di tempat yang kering dan tidak terkena cahaya matahari langsung karena dapat menyebabkan

kematian mikroorganisme yang tidak tahan terhadap sinar ultraviolet (Parnata, 2004). Pupuk organik cair juga dapat disimpan dalam tangki atau bak yang dibuat dari beton yang kedap air dan dapat ditutup rapat (Sriyanto, 2010)



Gambar 10. 3. Pengemasan Pupuk Organik Cair
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

10.3 Pencampuran Pupuk

Pencampuran pupuk bertujuan untuk mengoptimalkan ketersediaan pupuk bagi tanaman, mengurangi kerugian akibat pencucian dan penguapan, serta efisiensi dalam aplikasi pupuk dari segi waktu maupun tenaga. Sebelum melakukan pencampuran pupuk perlu dipertimbangkan jenis tanaman, kondisi tanah dan kebutuhan nutrisi secara spesifik. Untuk itu perlu dilakukan analisis tanah. Selanjutnya dihitung kebutuhan nutrisi berdasarkan luas areal tanam dan dosis yang direkomendasikan (AgroMedia, 20027)

10.3.1 Cara Menghitung Campuran Pupuk Majemuk

Contoh pembuatan campuran pupuk NPK dari pupuk tunggal. Terlebih dahulu harus dilihat kadar unsur pupuk

tunggal tersebut. Selanjutnya ditentukan kadar unsur NPK dan jumlah pupuk yang akan dibuat serta dihitung kebutuhan masing-masing unsur pupuk tunggal dalam pupuk majemuk tersebut. Kemudian dihitung kebutuhan masing-masing pupuk tunggal hingga beratnya mencapai jumlah pupuk majemuk yang akan dibuat (Lingga dan Marsono, 2008).

Berikut adalah contoh perhitungan pembuatan pupuk majemuk: Jika ingin membuat pupuk majemuk sejenis NPK dengan kadar 15-15-15 sebanyak 2000 kg, berarti kandungannya adalah 15% N, 15% P_2O_5 , dan 15% K_2O . Pupuk N, P dan K yang dibutuhkan masing-masing sebesar $2000 \text{ kg} \times 15\%$ atau 300 kg. Setelah itu, bahan baku yang akan berfungsi sebagai sumber unsur N, P, dan K diidentifikasi. Dalam contoh ini, pupuk yang dipilih adalah urea (46% N, 46% P), TSP (46% P), dan KCl (60% K_2O). Untuk mendapatkan 300 kg N dibutuhkan Urea : $100/46 \times 300 \text{ kg} = 652 \text{ kg}$, TSP : $100/46 \times 300 \text{ kg} = 652 \text{ kg}$ dan KCl : $100/60 \times 300 \text{ kg} = 500 \text{ kg}$. Kebutuhan bahan baku = 652 kg + 652 kg + 500 kg = 1804 kg. Sisanya sekitar 10% sisa adalah bahan perekat yang akan digunakan membuat pupuk NPK berbentuk butiran (AgroMedia, 2007).

10.3.2 Pupuk yang Boleh Dicampur

Berikut adalah jenis-jenis pupuk yang boleh dicampur (Anonim, 2023):

1. Pupuk KCL dan Pupuk Phosphate
2. Pupuk ZK dan Pupuk TSP
3. Pupuk KCL dan Pupuk TSP (Lingga dan Marsono, 2008)

10.3.3 Pupuk yang Tidak Boleh Dicampur

Berikut adalah jenis-jenis pupuk yang tidak boleh dicampur (Anonim, 2021):

1. Pupuk Urea dan KCL, dapat menyebabkan terbentuknya gumpalan dan membuat pupuk tidak merata penyebarannya dan sulit diserap oleh tanaman.
2. Pupuk Urea dan Phosphate, sebaiknya tidak dicampur karena bisa menurunkan pH tanah. Pada pH tanah yang rendah mikroorganisme tanah penghasil enzim urenase bisa mati.
3. Pupuk Kalium dan Dolomit, jika dicampur dapat mengakibatkan unsur kalsium sulit diserap oleh tanaman. Hal ini disebabkan oleh adanya reaksi antagonis antara unsur kalium dengan unsur kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) yang terkandung dalam pupuk dolomit (Parwoto, 2023).
4. Pupuk Kalium dan Kieserite, jika dicampur dapat menimbulkan interaksi antagonis.
5. Pupuk Urea jika dicampur dengan ZA akan menimbulkan reaksi kimia yang dapat mempengaruhi kualitas dan efisiensi pupuk (Gunawan, 2019)

ZA	Urea	A.S.N.	Fostal alam	Superfotat	F.M.P.	Z.K.	K.Cl	Patentkali	
○	△	○	○	△	△	○	○	△	ZA
△	—	△	○	⊗	○	△	○	△	Urea
○	△	—	○	△	△	○	○	○	A.S.N.
○	○	○	—	△	△	○	○	○	Fostal alam
△	⊗	△	△	—	△	○	○	△	Superfotat
△	○	△	△	△	—	○	○	△	F.M.P.
○	△	○	○	○	○	—	○	○	Z.K.
○	○	○	○	○	○	○	—	○	K.Cl
△	△	○	○	△	△	○	○	—	Patentkali

○	Dapat di campur dan disimpan lama	△	Dapat di campur tetapi tidak dapat disimpan lama (1–2 hari)
⊗	Tidak dapat dicampur	—	Dapat disimpan, kalau disimpan lama akan menjadi basah

Gambar 10. 4. Tabel Pencampuran pupuk
(Sumber : Wahyudi *et al.* 2008)

Dampak negatif dari campuran pupuk yang tidak boleh dicampur pada tanaman dapat berupa beberapa hal berikut:

1. Terbentuknya Gumpalan

Contoh: pencampuran pupuk Urea dan KCL dapat menyebabkan terbentuknya gumpalan-gumpalan yang membuat penyebaran pupuk tidak merata dan sulit diserap oleh tanaman (Parwoto, 2023)

2. Menurunkan pH Tanah

Contoh: Campuran Urea dan TSP dapat menurunkan pH tanah, yang dapat menyebabkan kematian mikroorganisme menguntungkan yang ada di dalam tanah (Parwoto, 2023)

3. Penurunan Penyerapan Hara Mikro

Contoh: Campuran Urea dan Rock Phosphate dapat menekan unsur mikro seperti tembaga, sehingga

penyerapannya oleh tanaman menjadi menurun (Anonim, 2023).

4. Perubahan Warna dan Aroma

Pencampuran pupuk yang tidak tepat dapat menyebabkan perubahan warna larutan dan aroma yang tidak diinginkan, dan dapat mengganggu proses pemupukan (Anonim, 2023).

5. Interaksi Antagonis

Beberapa jenis pupuk jika dicampur bisa bersifat antagonis dan menyebabkan unsur hara tidak dapat diserap oleh tanaman dengan baik (Parwoto, 2023).

6. Hilangnya Unsur Hara

Pencampuran pupuk yang kurang tepat dapat mengakibatkan hilangnya unsur hara sehingga pemupukan menjadi tidak efisien (Setiadi, 2011).

Untuk melakukan pemupukan yang efektif dan aman bagi tanaman, sangat penting untuk mengetahui jenis pupuk apa yang boleh dan tidak boleh dicampur (Parwoto, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, Y. 2008. *Perubahan Kandungan Nitrogen, Phospat dan Kalium pada Penyimpanan Pupuk NPK*. Jurnal Riset Teknologi Industri, 2(4), pp.19-23.
- AgroMedia. 2007. *Petunjuk Pemupukan*. Jakarta: PT. AgroMedia Pustaka.
- Anonim. 2021. *Pupuk Kimia yang Tidak Boleh Dicampur*. <https://www.neurafarm.com/blog/InfoTania/Budidaya%20Tanaman/pupuk-kimia-yang-tidak-boleh-dicampur>
- Anonim. 2023. *6 Pupuk Tidak Boleh Dicampur*. <https://tokodeeres.com/6-pupuk-tidak-boleh-dicampur-bagaimana-campur-pupuk-daun-mikroba/>
- Anonim. 2003. *Teknik Mencampur Pupuk Kimia yang Tepat dan Aman*. <https://kumparan.com/seputar-hobi/teknik-mencampur-pupuk-kimia-yang-tepat-dan-aman-21LaPOQdYMf/full>
- Anonim. 2023. *Tips Menyimpan Pupuk Tanaman dengan Benar*. <https://gokomodo.com/blog/tips-menyimpan-pupuk-tanaman-dengan-benar>
- Apriliyanto, D. 2017G. *Uji Dua Jenis Bahan Organik Dan Suhu Penyimpanan Terhadap Kualitas Pupuk Hayati Bradyrhizobium Japonicum Pada Tanaman Kedelai (Glycine max (L.) Merrill)*. <https://www.semanticscholar.org/paper/96704b6b5f91911498657d46c0a07cd457055c1a>
- Fadilah, U. 2022. *Jenis-jenis Pupuk yang Wajib Diketahui*. <https://www.mertani.co.id/post/jenis-jenis-pupuk-yang-wajib-petani-ketahui>
- Gunawan, S., 2019. *Peningkatan Produktivitas Kelapa Sawit Modul Pelatihan*. Yogyakarta: Instiper Press.

- Kumar, P., Kumar, A., & Singh, R. (2019). *Impact of Storage Conditions on the Quality of Fertilizers*. Journal of Agricultural Science and Technology, 19(3), 123-135.
- Lal, R., Stewart, B. A., & Singh, B. R. (2018). *Soil Fertility and Fertilizer Use in Sustainable Agriculture*. Springer.
- Lestari, T. 2019. *Membangun Kebun Sawit Rakyat (KSR) Berteknologi Leisa Menuju Petani Sejahtera*. Surabaya: CV. Jakad Media Publishing.
- Lingga, P. dan Marsono. 2008. *Petunjuk Penggunaan Pupuk*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Maulana, A.H. dan Setiawan, S.R.D. 2021. *Cara Menyimpan Pupuk Tanaman agar Kandungan nutrisinya Tidak Hilang*. <https://www.kompas.com/homey/read/2021/02/01/125106876/cara-menyimpan-pupuk-tanaman-agar-kandungan-nutrisinya-tidak-hilang>.
- Parnata, A.S. 2004. *Pupuk Organik Cair Aplikasi dan Manfaatnya*. Jakarta: PT. AgroMedia Pustaka.
- Parwoto. 2023. ***Sebelum Melakukan Pemupukan Perhatikan Pencampuran Pupuk***. <https://klunggen.desa.id/berita/read/sebelum-melakukan-pemupukan-perhatikan-pencampuran-pupuk-3312192011/0>
- Prakastiwi, D.M. 2021. *Pupuk Kimia dan Pupuk Organik: Saling Melengkapi Sesuai Komposisi*. Elementa Agro Lestari. Website: www.kutulis.com.
- Prihmantoro, H. 2007. *Memupuk Tanaman Sayur*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Prihmantoro. 2008. *Memupuk Tanaman Buah*. Jakarta: PT. Penebar Swadaya.
- Prihmantoro, H. dan Indriani, Y.H. 2017. *Petunjuk Praktis Menanam Tanaman Sayuran*. Jakarta: Penebar Swadaya.

- Ramadan, A. 2022. Pakar Sarankan Petani Gunakan Pupuk Organik Atasi Tingginya Harga.
<https://megapolitan.antaranews.com/berita/222225/pakar-sarankan-petani-gunakan-pupuk-organik-atasi-tingginya-harga>.
- Rinaldi, M. 2022. *Panduan Mengolah & Bisnis Pupuk Kompos Skala Rumahan & Pertanian*. Bogor: Ilmu Cemerlang Group.
- Rosilawati, P., Zamriyetti dan Tarigan, R.R.A.,2024. *Penerapan Good Agricultural Practices (GAP) Dalam Budidaya Cabai Merah (Capsicum annum L.)*. PT Sonpedia Publishing Indonesia, Website: www.buku.sonpedia.com
- Setiadi. 2011. *Bertanam Cabai di Lahan dan Pot*. Jakarta: Penebar Swadaya
- Sriyanto, S. 2010. *Panen Duit dari Bisnis Padi Organik*. Jakarta: AgroMedia.
- Suryati, T. 2014. *Bebas Sampah dari Rumah, Cara Bijak Mengolah Sampah Menjadi Kompos dan Pupuk Cair*. Jakarta: PT AgroMedia Pustaka.
- Tajoedin, T.H. & Iswanto, H. 2002. *Kiat Mengatasi Permasalahan Praktis, Mengebunkan Mengkudu Secara Intensif*. Jakarta: AgroMedia.
- Wahyudi, T., Panggabean, T.R. dan Pujiyanto. 2008. *Panduan Lengkap Kakao*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Wahyono, S., Sahwan, F.L., dan Suryanto, F. 2011. *Membuat Pupuk Organik Granule dari Aneka Limbah*. Jakarta: AgroMedia Pustaka.
- Wibowo, G.Y. 2023. *Cara Pencampuran dan Penyimpanan Pupuk*.
<https://cybex.id/artikel/100841/cara-pencampuran-dan-penyimpanan-pupuk/>

BAB 11

PUPUK ORGANIK

Oleh Sutikarini

11.1 Pendahuluan

Pupuk organik merupakan satu diantara jenis pupuk yang berasal dari bahan-bahan alami terdiri dari nutrisi penting bagi tanaman. Pupuk organik memiliki tahap proses penguraian bahan – bahan yang berasal dari organik seperti sisa-sisa tanaman, kotoran hewan, limbah pertanian, dan bahan-bahan organik lainnya ((Dahlia et al., 2022; Inka Dahlianah, 2015; Nur et al., 2018).

Pupuk organik memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan pupuk kimia anorganik. Pupuk organik sangat ramah terhadap lingkungan karena lebih aman dari bahan kimia berbahaya khususnya yang mencemari air dan tanah. Pupuk organik dapat mencegah serangan hama dan penyakit pada tanaman sehingga dapat mengurangi ketergantungan petani yang tinggi pada pupuk kimia anorganik dan obat-obat tanaman.

Dalam penerapannya, penggunaan pupuk organik secara profesional melibatkan pemilihan jenis pupuk organik yang tepat, penerapan dosis yang tepat, dan waktu yang sesuai untuk memastikan nutrisi dalam pupuk organik tersedia secara optimal bagi tanaman. Pupuk organik juga dapat digunakan dalam berbagai sistem pertanian, mulai dari pertanian konvensional hingga pertanian organik.

11.2 Definisi Pupuk Organik

Definisi pupuk organik terdiri dari pupuk yang berasal bahan-bahan organik baik yang terdiri dari tumbuhan maupun hewan, atau gabungan keduanya, yang digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan hasil tanaman ((Ekawati et al., 2022; Sutikarini et al., 2022; Sutikarini, Rosalina Yuliana Ayen, et al., 2023; Sutikarini, Masulili, et al., 2023). American Plant Food Control Officials (AAPFCO) mendefinisikan pupuk organik yaitu bahan yang terdiri dari karbon dan satu atau lebih unsur hara yang esensial bagi tanaman. USEPA menyatakan pupuk organik merupakan hasil dari kotoran atau kompos yang melalui beberapa proses untuk diterapkan sebagai sumber unsur hara bagi tanaman. Ditambahkan oleh, USDA National Organic Program bahwa pupuk organik adalah pupuk yang berasal dari tanaman atau hewan dimana tidak termasuk bahan non organik seperti lumpur limbah berbahaya (Funk 2014 dalam Hartatik et al., 2015).

Dari definisi-definisi ini dapat disimpulkan bahwa pupuk organik merupakan pupuk alami yang terdiri tumbuhan atau hewan maupun gabungannya yang mengandung satu atau lebih unsur hara yang berintegrasi dengan unsur karbon.

Ciri-ciri pupuk termasuk dalam kategori pupuk organik yaitu:

- a) Kandungan bahan utama : terdiri dari bahan organik yang berasal dari sisa tanaman, limbah hewan, atau bahan organik lainnya.
- b) Kandungan Mikroorganisme: memiliki banyak kandungan mikroorganisme seperti golongan bakteri, golongan jamur, dan cacing tanah yang bermanfaat bagi tanah.
- c) Adanya Proses Penyerapan Unsur Hara: Unsur hara dilepaskan secara bertahap sesuai dengan proses dekomposisi bahan organik.

11.3 Jenis-jenis Pupuk Organik

Dalam aplikasinya terdapat banyak jenis pupuk organik. Beberapa jenis pupuk organik yang umumnya di jumpai dalam pertanian modern (Andriani et al., 2021; Krisnata et al., 2023; Yovita, 2021):

❖ **Kompos**

Kompos merupakan hasil dari proses dekomposisi bahan-bahan organik baik itu sisa makanan, bagian tanaman (daun, batang, buah), dan kotoran hewan. Kompos mengandung berbagai nutrisi yang penting untuk tanaman dan membantu memperbaiki struktur tanah. Kompos sering kali dihasilkan melalui proses pengomposan yang terkontrol untuk menghindari patogen dan biji gulma.



Gambar 11. 1Kompos

(Sumber : www.istockphoto.com)

❖ **Vermikompos**

Vermikompos merupakan kompos hasil dekomposisi bahan-bahan organik melalui bantuan cacing tanah, terutama cacing merah. Proses vermikomposting melibatkan cacing yang memecah bahan organik menjadi humus yang kaya nutrisi. Vermikompos dikenal memiliki kandungan nutrisi yang lebih tinggi dibandingkan kompos biasa.



Gambar 11. 2. Vermikompos

(Sumber : www.istockphoto.com)

❖ Pupuk Hijau

Pupuk ini merupakan pupuk yang berasal dari bagian tanaman yang ditanam agar dapat ditanam kembali sebagai bahan organik. Tanaman seperti legum atau clover ditanam, dipotong, dan dibiarkan membusuk di tanah. Proses ini meningkatkan kandungan nitrogen tanah dan memperbaiki struktur tanah.



Gambar 11. 3. Pupuk Hijau

(Sumber : www.blibli.com)

❖ Pupuk Kandang

Pupuk ini umumnya paling sering dijumpai. Pupuk ini berasal dari kotoran hewan yang telah terdekomposisi, seperti sapi, kambing, atau ayam. Biasanya, pupuk ini juga

dicampur dengan bahan lain seperti jerami atau sisa tanaman untuk memperbaiki kualitasnya. Pupuk kandang kaya akan nitrogen, fosfor, dan kalium, serta bahan organik lainnya.



Gambar 11. 4. Pupuk Kandang
(Sumber : www.kompas.com)

❖ Biochar

Biochar adalah bentuk karbon yang dihasilkan dari pembakaran biomassa pada suhu tinggi dalam kondisi terbatas oksigen (pirolisis). Biochar dapat meningkatkan kapasitas penahanan air dan unsur hara di tanah.



Gambar 11. 5. Biochar
(Sumber : www.wikipedia.com)

❖ Pupuk Organik Cair

Pupuk organik cair merupakan pupuk cair yang berasal dari fermentasi bahan organik baik itu bahan tanaman, kotoran hewan, maupun limbah rumah tangga. Pupuk ini jauh lebih efektif bila digunakan langsung kepada tanaman, sehingga dapat meningkatkan penyerapan unsur hara dengan cepat.



Gambar 11. 6. Pupuk Organik Cair

(Sumber : www.bbpbbinuang.bppsdp.pertanian.go.id)

❖ Pupuk Organik Granul

Pupuk organik granul merupakan satu diantara pupuk organik yang diproses menjadi bentuk butiran atau granul. Ini memudahkan aplikasi dan penyebaran pupuk di lahan. Pupuk ini terdiri dari berbagai bahan organik baik itu tanaman, hewan, gabungan tanaman dan hewan, serta bahan lainnya.

❖ Pupuk dari Limbah Industri Pertanian

Limbah dari industri pertanian, seperti limbah hasil olahan jagung atau kedelai, juga bisa diolah menjadi pupuk organik. Limbah ini diproses untuk mengembalikan nutrisi ke tanah dan mengurangi dampak lingkungan dari limbah industri.

❖ **Pupuk Fermentasi**

Jenis pupuk ini melibatkan proses fermentasi bahan organik dengan mikroba tertentu. Contoh termasuk EM4 (*Effective Microorganisms*), yang merupakan campuran mikroba yang membantu meningkatkan kesehatan tanah dan tanaman.

❖ **Pupuk Berbasis Mikroba**

Pupuk ini mengandung mikroba hidup, seperti bakteri dan jamur yang bermanfaat, yang bertujuan untuk meningkatkan kandungan unsur hara bagi tanaman serta memperbaiki kondisi biologi dan kimia tanah. Contoh mikoriza (jamur akar) dan inokulan bakteri pengikat nitrogen.

❖ **Pupuk Organik Kombinasi**

Pupuk organik kombinasu merupakan gabungan berbagai jenis pupuk organik, seperti pupuk hijau, biochar, dan pupuk kandang. Kombinasi ini bertujuan untuk memanfaatkan manfaat dari masing-masing jenis pupuk untuk hasil yang optimal.

Penggunaan pupuk organik tidak hanya membantu meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan sistem pertanian berkelanjutan, serta mengurangi penggunaan pupuk kimia an organik.

11.4 Keunggulan dan Kekurangan Pupuk Organik

Keunggulan Pupuk Organik

1) Peningkatan Kualitas Tanah

Penggunaan pupuk organik, contohnya kompos dan vermikompos, membantu memperbaiki struktur tanah. Tanah jauh lebih gembur, memperbaiki drainase serta meningkatkan sirkulasi udara.

2) Peningkatan Kemampuan Menahan Air

Pemberian pupuk organik dapat menahan air dalam tanah sehingga mengurangi kebutuhan irigasi, dan menjaga kelembapan tanah lebih lama.

3) Penyediaan Nutrisi Secara Bertahap

Nutrisi dalam pupuk organik dilepaskan secara perlahan, memberikan suplai nutrisi yang berkelanjutan dan mengurangi risiko kelebihan nutrisi.

4) Peningkatan Aktivitas Mikroba Tanah

Pertumbuhan mikroba tanah yang penting bagi tanaman membutuhkan bahan organik sebagai sumber energinya. Peningkatan aktivitas mikroba tanah ini dapat meningkatkan biologi, fisik dan kimia tanah. Unsur hara yang tidak terserap menjadi lebih mudah terserap oleh tanaman.

5) Pengurangan Erosi Tanah

Pupuk organik selain memperbaiki struktu tanah juga dapat mengurangi erosi tanah. Hal ini karena kemampuan bahan organik dalam mengurangi laju aliran permukaan.

6) Keberlanjutan Lingkungan

Pupuk organik biasanya dibuat dari bahan daur ulang atau limbah pertanian, mengurangi limbah dan dampak lingkungan dibandingkan dengan pupuk kimia.

7) Peningkatan Kesehatan Tanaman

Pupuk organik banyak mengandung unsur hara penting yang dibutuhkan tanaman. Tanaman yang kaya unsur hara ini maka akan lebih sehat dan lebih tahan serangan hama dan penyakit

Kekurangan Pupuk Organik

1) Variasi Kandungan Nutrisi

Kandungan nutrisi dalam pupuk organik bisa bervariasi tergantung pada bahan dan proses pembuatan, menyulitkan pengendalian dan pengukuran nutrisi yang tepat.

2) Kecepatan Aplikasi

Nutrisi dalam pupuk organik dilepaskan secara bertahap, sehingga hasilnya mungkin tidak segera terlihat seperti pada pupuk kimia yang memberikan efek lebih cepat.

3) Volume dan Berat

Pupuk organik sering memerlukan aplikasi dalam jumlah besar, yang dapat menyulitkan penyimpanan dan penanganan, terutama untuk pertanian besar.

4) Kemungkinan Kontaminasi Patogen

Keterbatasan: Jika tidak diolah dengan benar, pupuk organik seperti pupuk kandang dapat mengandung patogen atau biji gulma yang dapat merugikan tanaman atau tanah.

5) Biaya dan Ketersediaan

Beberapa jenis pupuk organik, terutama yang berkualitas tinggi seperti vermikompos atau biochar, harganya bisa lebih tinggi dibandingkan pupuk kimia anorganik. Hal ini berhubungan dengan kondisi ketersediaan

pupuk tersebut. Semakin banyak tersedia harganya akan jauh lebih terjangkau.

6) Waktu Pembuatan

Proses pembuatan pupuk organik seperti kompos memerlukan waktu beberapa minggu hingga bulan, yang mungkin tidak ideal untuk kebutuhan tanaman yang mendesak.

7) Pengaruh pada pH Tanah

Beberapa pupuk organik dapat memengaruhi pH tanah secara signifikan, yang mungkin memerlukan penyesuaian pH tambahan untuk menjaga keseimbangan yang tepat untuk pertumbuhan tanaman.

Pupuk organik menawarkan berbagai kelebihan untuk pertanian berkelanjutan dan kesehatan tanah, namun juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan. Untuk hasil terbaik, seringkali diperlukan kombinasi antara pupuk organik dan kimia sesuai dengan kebutuhan tanaman dan kondisi tanah. Memahami manfaat dan keterbatasan ini akan membantu petani membuat keputusan yang lebih baik dalam memilih dan menggunakan pupuk (Adam et al., 2023; Suryati et al., 2019).

11.5 Kandungan Pupuk Organik

Pupuk organik umumnya terdiri dari unsur hara yang bermanfaat untuk tanaman. Adapun kandungan pupuk organik dapat dilihat pada tabel 11.1.

Jenis Pupuk Organik	Kandungan Utama	Fungsi Utama
Kompos	➤ Nitrogen (N) : 1 – 2% ➤ Fosfor (P) : 0,5 – 1% ➤ Kalium (K) : 0,5 – 1% ➤ Kalsium (Ca), Magnesium (Mg)	Menyediakan nutrisi makro dan mikro Memperbaiki struktur tanah
Pupuk Kandang	➤ Nitrogen (N) : 0,5 – 2% ➤ Fosfor (P) : 0,2 – 1% ➤ Kalium (K) : 0,5 – 1% ➤ Kalsium (Ca), Magnesium (Mg)	Menambah kandungan humus dan nutrisi tanah Meningkatkan retensi air
Pupuk Hijau	➤ Nitrogen (N) : 2 – 4% ➤ Fosfor (P) : 0,2 – 0,5% ➤ Kalium (K) : 0,5 – 1% ➤ Kalsium (Ca), Magnesium (Mg)	Menyediakan nitrogen tambahan Memperbaiki struktur tanah

Sumber : (Nusantoro et al., 2019; Soemargono et al., 2021)

11.6 Cara Pembuatan Pupuk Organik

a) Pupuk Organik Padat (Bokashi)

Alat dan Bahan

Alat:

- Pisau 1 bh
- Sekop 1 bh
- Terpal 1 bh
- Gembor 1 bh

Bahan:

- Limbah hasil tanaman 100 kh
- Dekomposer 20 ml
- Gula pasir 3 kg
- Air kelapa dan, 2 ltr
- Air bersih secukupnya

Cara Membuat:

- a) Potong kecil-kecil (cacah) limbah hasil tanaman dengan pisau.
- b) menambahkan dekomposer, gula, dan air kelapa kemudian diaduk sampai rata dengan sekop.
- c) Menutup bahan dengan menggunakan terpal.
- d) Setiap 2 atau 3 hari sekali buka terpal lalu aduk bahan sambil disiram air bersih dengan gembur secukupnya (tidak kering dan juga basah).
- e) Ciri - ciri pupuk organik padat (bokasi) sudah dapat dimanfaatkan yaitu berwarna coklat kehitaman dengan tekstur tanah remah serta memiliki aroma seperti bau tanah (+ 10 – 14 hari).

Sumber : ((Sutikarini et al., 2020; Sutikarini, Masulili, et al., 2023)

b) Pembuatan Pupuk Organik Cair**Alat dan Bahan****Alat:**

- Pisau 1 bh
- Sekop 1 bh
- Pengaduk 1 bh
- Ember 1 bh
- Saringan 1 bh
- Jerigen 1 bh

Bahan:

- Limbah hasil tanaman 100 kh
- Dekomposer 20 ml

- | | |
|-------------------|--------|
| ➤ Gula pasir | 3 kg |
| ➤ Air kelapa dan, | 2 ltr |
| ➤ Air bersih | 20 ltr |

Cara Membuat:

- a) Potong kecil-kecil (cacah) limbah hasil tanaman dengan pisau.
- b) menambahkan dekomposer, gula, dan air kelapa kemudian diaduk sampai rata dengan sekop.
- c) Memasukkan bahan ke dalam ember
- d) Menambahkan air ke dalam ember dan aduk menggunakan pengaduk sampai rata.
- e) Menutup bahan yang telah di aduk dengan rapat selama 7 – 10 hari.
- f) Menyaring untuk memisahkan sampah dengan air.
- g) Memasukkan Pupuk Organik Cair yang telah jadi kedalam jerigen.
- h) Ciri-ciri pupuk organik cair telah berhasil yaitu tidak berbau busuk, tidak panas, berwarna coklat dan endapan sampahnya berwarna putih.

Sumber : (Suryati et al., 2019)

DAFTAR PUSTAKA

- Adam, K. Al, Resthu, M., Pratama, S. M., Achwan, S., & Koesmara, H. (2023). Pemberdayaan Kelompok Tani Ternak melalui Pelatihan Pembuatan Kompos di Desa Reudeup Kecamatan Montasik Kabupaten Aceh Besar. *JURNAL PENGABDIAN MAHA KARYA MASYARAKAT INDONESIA*, 1(1). <https://doi.org/10.24815/pemasi.v1i1.30610>
- Andriani, E., Wahyudi, J., Elfianty, L., & Widawati, L. (2021). Pemanfaatan Sampah Organik dalam Produksi Pupuk Bokashi di Gabungan Kelompok Tani Rinjani Kecamatan Singaran Pati Kota Bengkulu. *Abdihaz: Jurnal Ilmiah Pengabdian Pada Masyarakat*, 3(1). <https://doi.org/10.32663/abdihaz.v3i1.1765>
- Dahlia, A. B., Hujemiati, H., Suyuti DM, Y., & Jumardi, J. (2022). Proses Pengolahan Limbah Jagung Menjadi Pupuk Organik Di Desa Wellulang Kecamatan Amali Kabupaten Bone. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(4). <https://doi.org/10.55983/empjcs.v1i4.178>
- Ekawati, E., Rizieq, R., Ellyta, E., Masulili, A., & Sutikarini, S. (2022). Penyuluhan Pembuatan Pupuk Organik Cair, Pemasaran Online Pada Usaha Hidroponik Panti Asuhan Baitul Hikmah Kabupaten Kuburaya. *SEMAR (Jurnal Ilmu Pengetahuan, Teknologi, Dan Seni Bagi Masyarakat)*, 11(2). <https://doi.org/10.20961/semar.v11i2.63056>
- Hartatik, W., Husnain, H., & Widowati, L. R. (2015). Peranan pupuk organik dalam peningkatan produktivitas tanah dan tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan*.
- Inka Dahlianah. (2015). Pemanfaatan Sampah Organik Sebagai Bahan Baku Pupuk Kompos dan Pengaruhnya Terhadap Tanaman dan Tanah. *Klorofil*, 10(1).

- Krisnata, W., Virgawati, S., & Julianto, E. A. (2023). KESESUAIAN LAHAN UNTUK TANAMAN ANGGUR DI KELURAHAN PAKEMBINANGUN, KAPANEWON PAKEM, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA. *JURNAL TANAH DAN AIR (Soil and Water Journal)*, 19(1). <https://doi.org/10.31315/jta.v19i1.9462>
- Nur, T., Noor, A. R., & Elma, M. (2018). Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Sampah Organik Rumah Tangga dengan Bioaktivator EM4 (Effective Microorganisms). *Konversi*, 5(2).
- Nusantoro, S., Awaludin, A., Peternakan, J., & Negeri Jember Jl Matrip BOX, P. P. (2019). PEMBUATAN PUPUK ORGANIK PADAT (POP) BERBASIS BAHAN KOTORAN TERNAK DENGAN MEMANFAATKAN BIOAKTIVATOR ISI RUMEN SAPI. *Prosiding*.
- Soemargono, Sasongko, P. E., & Erliyanti, N. K. (2021). Teknologi Tepat Guna Pembuatan Pupuk Organik Padat dan Cair Berbasis Kotoran Ternak Sapi. In *CV. Mitra Abisatya*.
- Suryati, Misriana, Mellyssa, W., Razi, F., & Hayati, R. (2019). Pemanfaatan Limbah Air Kelapa sebagai Pupuk Organik Cair. *Pemanfaatan Limbah Air Kelapa Sebagai Pupuk Organik Cair*, 3(1).
- Sutikarini, Masulili, A., Setiawan, Suryani, R., & Mulyadi. (2020). PEMANFAATAAN LIMBAH TANAMAN SEBAGAI PEMBENAH TANAH PADA POKTAN SAKERSA RASAU JAYA II. *JURNAL MASYARAKAT NEGERI ROKANIA*, 1(2). <https://doi.org/10.56313/jmn.v1i2.14>
- Sutikarini, Rosalina Yuliana Ayen, & Hendrianus Hen. (2023). PENGARUH PUPUK ORGANIK CAIR BUAH MENGKUDU DAN PUPUK KANDANG AYAM TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN BAWANG MERAH (ALLIUM ASCALONICUM L.) PADA TANAH ALUVIAL. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(11).

<https://doi.org/10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v2i11.6113>

- Sutikarini, S., Masulili, A., & Youlla, D. (2023). Pembuatan Biochar dan Pupuk Organik Untuk Budidaya Tanaman Anggur pada KWT Mentari Kota Pontianak. *Jurnal Pengembangan Dan Pengabdian Masyarakat Multikultural*, 1(3). <https://doi.org/10.57152/batik.v1i3.1086>
- Sutikarini, Wisudawandinata, T. A., & Putra, A. M. (2022). Pengaruh Bokasi Kulit Nanas terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Panjang pada Tanah Aluvial. *Indonesian Journal of Agriculture and Environmental Analytics*, 1(1). <https://doi.org/10.55927/ijaea.v1i1.899>
- Yovita. (2021). Membuat Kompos Secara Kilat. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 3, Issue Mi).
- Adam, K. Al, Resthu, M., Pratama, S. M., Achwan, S., & Koesmara, H. (2023). Pemberdayaan Kelompok Tani Ternak melalui Pelatihan Pembuatan Kompos di Desa Reudeup Kecamatan Montasik Kabupaten Aceh Besar. *JURNAL PENGABDIAN MAHAKARYA MASYARAKAT INDONESIA*, 1(1). <https://doi.org/10.24815/pemasi.v1i1.30610>
- Andriani, E., Wahyudi, J., Elfianty, L., & Widawati, L. (2021). Pemanfaatan Sampah Organik dalam Produksi Pupuk Bokashi di Gabungan Kelompok Tani Rinjani Kecamatan Singaran Pati Kota Bengkulu. *Abdihaz: Jurnal Ilmiah Pengabdian Pada Masyarakat*, 3(1). <https://doi.org/10.32663/abdihaz.v3i1.1765>
- Dahliaana, A. B., Hujemiati, H., Suyuti DM, Y., & Jumardi, J. (2022). Proses Pengolahan Limbah Jagung Menjadi Pupuk Organik Di Desa Wellulang Kecamatan Amali Kabupaten Bone. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(4). <https://doi.org/10.55983/empjcs.v1i4.178>
- Ekawati, E., Rizieq, R., Ellyta, E., Masulili, A., & Sutikarini, S.

- (2022). Penyuluhan Pembuatan Pupuk Organik Cair, Pemasaran Online Pada Usaha Hidroponik Panti Asuhan Baitul Hikmah Kabupaten Kuburaya. *SEMAR (Jurnal Ilmu Pengetahuan, Teknologi, Dan Seni Bagi Masyarakat)*, 11(2). <https://doi.org/10.20961/semar.v11i2.63056>
- Hartatik, W., Husnain, H., & Widowati, L. R. (2015). Peranan pupuk organik dalam peningkatan produktivitas tanah dan tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan*.
- Inka Dahlianah. (2015). Pemanfaatan Sampah Organik Sebagai Bahan Baku Pupuk Kompos dan Pengaruhnya Terhadap Tanaman dan Tanah. *Klorofil*, 10(1).
- Krisnata, W., Virgawati, S., & Julianto, E. A. (2023). KESESUAIAN LAHAN UNTUK TANAMAN ANGGUR DI KELURAHAN PAKEMBINANGUN, KAPANEWON PAKEM, DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA. *JURNAL TANAH DAN AIR (Soil and Water Journal)*, 19(1). <https://doi.org/10.31315/jta.v19i1.9462>
- Nur, T., Noor, A. R., & Elma, M. (2018). Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Sampah Organik Rumah Tangga dengan Bioaktivator EM4 (Effective Microorganisms). *Konversi*, 5(2).
- Nusantoro, S., Awaludin, A., Peternakan, J., & Negeri Jember Jl Mastrip BOX, P. P. (2019). PEMBUATAN PUPUK ORGANIK PADAT (POP) BERBASIS BAHAN KOTORAN TERNAK DENGAN MEMANFAATKAN BIOAKTIVATOR ISI RUMEN SAPI. *Prosiding*.
- Soemargono, Sasongko, P. E., & Erliyanti, N. K. (2021). Teknologi Tepat Guna Pembuatan Pupuk Organik Padat dan Cair Berbasis Kotoran Ternak Sapi. In *CV. Mitra Abisatya*.
- Suryati, Misriana, Mellyssa, W., Razi, F., & Hayati, R. (2019). Pemanfaatan Limbah Air Kelapa sebagai Pupuk Organik Cair. *Pemanfaatan Limbah Air Kelapa Sebagai Pupuk Organik Cair*, 3(1).

- Sutikarini, Masulili, A., Setiawan, Suryani, R., & Mulyadi. (2020). PEMANFAATAAN LIMBAH TANAMAN SEBAGAI PEMBENAH TANAH PADA POKTAN SAKERSA RASAU JAYA II. *JURNAL MASYARAKAT NEGERI ROKANIA*, 1(2). <https://doi.org/10.56313/jmnr.v1i2.14>
- Sutikarini, Rosalina Yuliana Ayen, & Hendrianus Hen. (2023). PENGARUH PUPUK ORGANIK CAIR BUAH MENKUDU DAN PUPUK KANDANG AYAM TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN BAWANG MERAH (ALLIUM ASCALONICUM L.) PADA TANAH ALUVIAL. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(11). <https://doi.org/10.53625/jcijurnalcakrawalailmiah.v2i11.6113>
- Sutikarini, S., Masulili, A., & Youlla, D. (2023). Pembuatan Biochar dan Pupuk Organik Untuk Budidaya Tanaman Anggur pada KWT Mentari Kota Pontianak. *Jurnal Pengembangan Dan Pengabdian Masyarakat Multikultural*, 1(3). <https://doi.org/10.57152/batik.v1i3.1086>
- Sutikarini, Wisudawandinata, T. A., & Putra, A. M. (2022). Pengaruh Bokasi Kulit Nanas terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Panjang pada Tanah Aluvial. *Indonesian Journal of Agriculture and Environmental Analytics*, 1(1). <https://doi.org/10.55927/ijaea.v1i1.899>
- Yovita. (2021). Membuat Kompos Secara Kilat. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (Vol. 3, Issue Mi).

BAB 12

DAMPAK PUPUK BAGI TANAH

Oleh Ismail Astar

12.1 Pendahuluan

Tanah, sebagai pondasi kehidupan di bumi, memainkan peran krusial dalam menyokong produksi pangan global dan menjaga keseimbangan ekosistem. Seiring dengan pertumbuhan populasi dunia yang pesat, tuntutan terhadap produktivitas tanah semakin meningkat. Dalam konteks ini, pupuk telah menjadi komponen integral dalam sistem pertanian modern, menawarkan solusi cepat untuk meningkatkan hasil panen. Namun, di balik manfaat yang ditawarkan, penggunaan pupuk juga membawa dampak signifikan terhadap kesehatan dan kualitas tanah jangka panjang.

Sebagaimana dinyatakan oleh Tilman et al. (2002) bahwa peningkatan dramatis dalam produksi pertanian selama setengah abad terakhir dicapai terutama melalui penggunaan varietas tanaman hasil tinggi, irigasi, pupuk kimia, dan pestisida. Meskipun praktik ini telah meningkatkan pasokan makanan dunia, mereka juga telah mengurangi keanekaragaman hayati, mengurangi sumber daya air tawar yang tersedia, menurunkan kualitas tanah, dan menyebabkan eutrofikasi perairan.

Pernyataan ini menyoroti dilema yang kita hadapi: kebutuhan untuk mempertahankan produktivitas pertanian tinggi sembari menjaga kesehatan tanah dan lingkungan. Pupuk, baik organik maupun anorganik, memiliki potensi untuk

meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung pertumbuhan tanaman. Namun, penggunaan yang tidak tepat atau berlebihan dapat mengakibatkan degradasi tanah, pencemaran lingkungan, dan gangguan ekosistem.

Lal (2009), dalam studinya tentang manajemen tanah berkelanjutan, menekankan pentingnya pemahaman mendalam tentang interaksi pupuk dengan tanah. Manajemen nutrisi tanah yang tepat adalah kunci untuk meningkatkan dan mempertahankan produktivitas tanah sambil meminimalkan dampak lingkungan yang merugikan. Ini memerlukan pemahaman yang komprehensif tentang siklus nutrisi, dinamika bahan organik tanah, dan interaksi antara pupuk dan ekosistem tanah.

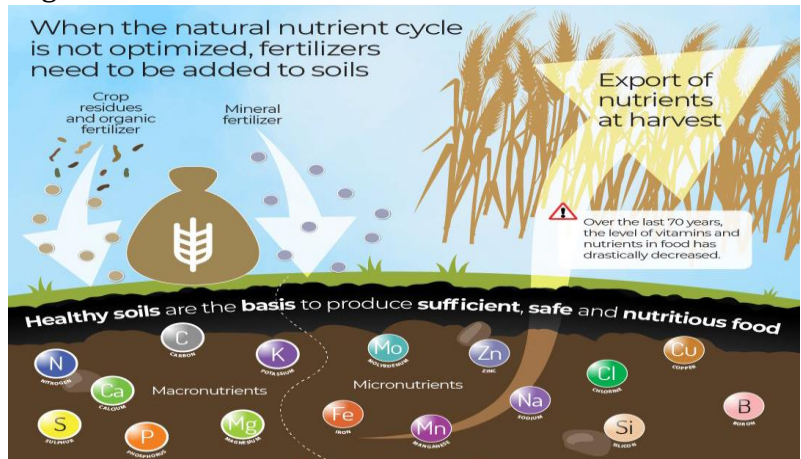
12.2 Dampak Positif Pupuk bagi Tanah

Pupuk, jika digunakan dengan tepat, dapat memberikan berbagai manfaat bagi tanah dan pertumbuhan tanaman. Penting untuk diketahui bahwa manfaat-manfaat ini dapat dicapai ketika pupuk digunakan dengan tepat dan sesuai dengan kebutuhan spesifik tanah dan tanaman. Penggunaan pupuk yang berlebihan atau tidak tepat dapat memiliki dampak negatif pada tanah dan lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan pupuk harus selalu didasarkan pada analisis tanah dan kebutuhan tanaman untuk memaksimalkan manfaat dan meminimalkan risiko. Berikut adalah penjelasan rinci tentang dampak positif pupuk bagi tanah:

- 1. Peningkatan kesuburan tanah**

Pupuk meningkatkan ketersediaan nutrisi esensial dalam tanah, yang penting untuk pertumbuhan tanaman. Menurut Stewart et al. (2005), penggunaan pupuk yang tepat dapat meningkatkan produktivitas tanah hingga 30-

50%. Gambar 2.1 menunjukkan pentingnya unsur hara bagi tanah.



Gambar 2.1. Pentingnya pupuk bagi tanah
Sumber: (Santillán, 2022)

2. Perbaikan struktur tanah
Terutama pupuk organik, dapat meningkatkan struktur tanah dengan memperbaiki agregasi tanah. Penambahan bahan organik melalui pupuk dapat meningkatkan stabilitas agregat tanah dan porositas (Diacono and Montemurro, 2010).
3. Peningkatan kapasitas penahan air
Pupuk organik meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan air. Penambahan kompos dapat meningkatkan kapasitas menahan air tanah hingga 25% (Ma et al., 2024).
4. Stimulasi aktivitas mikroba tanah
Pupuk, terutama yang organik, menyediakan substrat untuk mikroorganisme tanah. Penambahan pupuk organik dapat meningkatkan biomassa dan aktivitas mikroba tanah secara signifikan (Lehmann et al., 2011).

5. Peningkatan Kapasitas Tukar Kation (KTK)
Pupuk organik dapat meningkatkan KTK tanah, yang penting untuk retensi nutrisi. Menurut Brady dan Weil (2008), peningkatan KTK membantu tanah menahan lebih banyak nutrisi untuk digunakan tanaman (Weil and Brady, 2017).
6. Penyangga pH tanah
Beberapa jenis pupuk, seperti kapur pertanian, dapat membantu menyeimbangkan pH tanah. Goulding (2016) menjelaskan bahwa pengapuran dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi dan aktivitas mikroba di tanah asam (Goulding, 2016).
7. Peningkatan sekuestrasi karbon
Penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan kandungan karbon organik tanah. Lal (2004) menyatakan bahwa peningkatan karbon organik tanah tidak hanya meningkatkan kualitas tanah tetapi juga berpotensi mengurangi CO₂ atmosfer (Lal, 2004).
8. Remediasi tanah terdegradasi
Pupuk dapat membantu merestorasi tanah yang terdegradasi. Studi oleh Bhattacharyya et al. (2015) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk yang tepat dapat memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yang rusak (Bhattacharyya et al., 2010).

12.3 Dampak Negatif Penggunaan Pupuk bagi Tanah

Penggunaan pupuk telah menjadi praktik umum dalam pertanian modern untuk meningkatkan hasil panen. Namun, penggunaan pupuk yang berlebihan atau tidak tepat dapat menyebabkan berbagai dampak negatif pada tanah. Penggunaan pupuk memang penting untuk meningkatkan produktivitas pertanian, namun penggunaannya harus dilakukan secara bijaksana dan terkendali. Praktik pertanian berkelanjutan,

seperti manajemen nutrisi terintegrasi dan penggunaan pupuk organik, dapat membantu mengurangi dampak negatif sambil tetap menjaga produktivitas tanah. Berikut adalah beberapa dampak utama:

1. Acidifikasi tanah

Penggunaan pupuk nitrogen yang berlebihan dapat menyebabkan acidifikasi tanah. Guo et al. (2010) melaporkan bahwa aplikasi jangka panjang pupuk amonium sulfat dapat menurunkan pH tanah secara signifikan, mempengaruhi ketersediaan nutrisi dan aktivitas mikroba (Guo et al., 2010).

2. Salinisasi tanah

Penggunaan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan akumulasi garam dalam tanah. Menurut Rengasamy (2006), salinisasi tanah dapat mengurangi kesuburan tanah dan menghambat pertumbuhan tanaman (Rengasamy, 2006).

3. Penurunan kualitas struktur tanah

Penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan tanpa penambahan bahan organik dapat menyebabkan degradasi struktur tanah. Bronick dan Lal (2009) menjelaskan bahwa hal ini dapat mengurangi stabilitas agregat tanah dan meningkatkan kepadatan tanah (Bronick and Lal, 2005).

4. Pencemaran air tanah

Kelebihan nutrisi dari pupuk dapat tercuci ke dalam air tanah. Sebagaimana dilaporkan oleh Galloway et al. (2008), hal ini dapat menyebabkan eutrofikasi badan air dan kontaminasi sumber air minum (Galloway et al., 2008).

5. Gangguan keseimbangan mikroba tanah

Penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dapat mengganggu keseimbangan komunitas mikroba tanah.

Geisseler dan Scow (2014) menemukan bahwa pemupukan intensif jangka panjang dapat mengubah komposisi dan fungsi mikrobioma tanah (Geisseler and Scow, 2014).

6. Akumulasi logam berat

Beberapa pupuk, terutama fosfat, dapat mengandung logam berat sebagai kontaminan. Menurut Jiao et al. (2012), akumulasi logam berat dalam tanah dapat menjadi toksik bagi tanaman dan organisme tanah (Jiao et al., 2012).

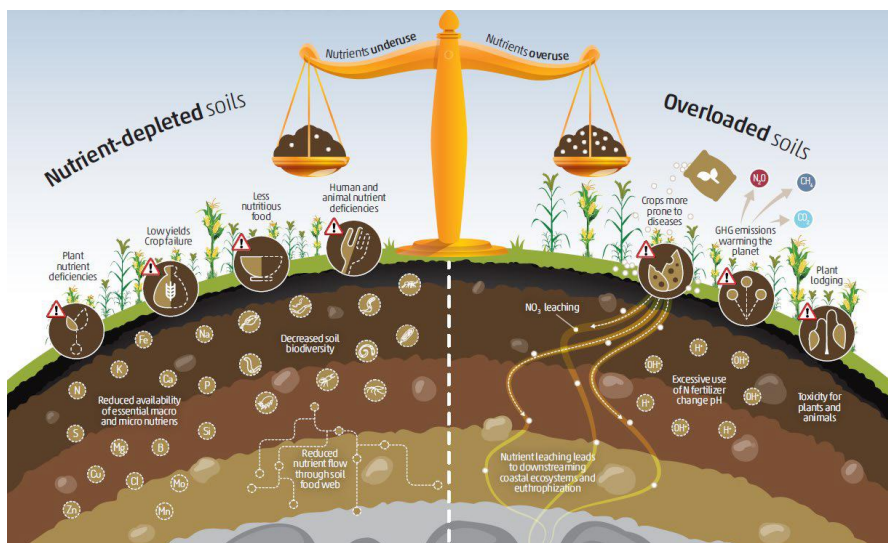
7. Penurunan efisiensi penggunaan nutrisi

Penggunaan pupuk yang berlebihan dapat menyebabkan tanaman menjadi kurang efisien dalam menyerap nutrisi. Tilman et al. (2002) menunjukkan bahwa hal ini dapat menyebabkan pemborosan sumber daya dan peningkatan pencemaran lingkungan (Tilman et al., 2002).

8. Peningkatan emisi gas rumah kaca

Penggunaan pupuk nitrogen yang berlebihan dapat meningkatkan emisi nitrous oxide, gas rumah kaca yang kuat. Shcherbak et al. (2014) melaporkan bahwa emisi N₂O meningkat secara eksponensial dengan peningkatan aplikasi pupuk nitrogen (Shcherbak, Millar and Robertson, 2014).

Dampak negatif pupuk bagi tanah secara umum dapat diamati pada gambar 12.2 berikut:



Gambar 12. 1. Dampak negatif pupuk bagi tanah

Sumber: (Santillán, 2022)

12.4 Pengaruh Pupuk pada Sifat Fisik Tanah

Secara keseluruhan, meskipun pupuk sangat penting untuk meningkatkan produktivitas tanaman, dampak mereka pada sifat fisik tanah bisa baik dan buruk. Manajemen yang tepat dan penggunaan pupuk yang seimbang sangat penting untuk menjaga kesehatan tanah dan memastikan praktik pertanian yang berkelanjutan.

1. Struktur Tanah

Pupuk, terutama pupuk organik, dapat meningkatkan struktur tanah terutama dengan penambahan bahan organik melalui pupuk meningkatkan pembentukan agregat tanah, yang penting untuk aerasi dan infiltrasi air (Bronick and Lal, 2005).

2. Porositas Tanah

Penggunaan pupuk organik dapat meningkatkan porositas tanah. Hamidpour et al. (2012) melaporkan bahwa aplikasi kompos meningkatkan total porositas tanah, yang bermanfaat untuk pertumbuhan akar dan pergerakan air.

3. Densitas Bulk Tanah

Pupuk organik dapat mengurangi densitas bulk tanah. Studi oleh Hati et al. (2006) menunjukkan bahwa aplikasi jangka panjang pupuk kandang menurunkan densitas bulk tanah, meningkatkan infiltrasi air dan pertumbuhan akar (Hati et al., 2006).

4. Kapasitas Menahan Air

Pupuk, terutama yang organik, dapat meningkatkan kapasitas menahan air tanah. Rawls et al. (2003) menemukan bahwa peningkatan kandungan bahan organik tanah melalui pemupukan meningkatkan kapasitas menahan air tanah (Rawls et al., 2003).

5. Stabilitas Agregat

Pupuk organik meningkatkan stabilitas agregat tanah. Six et al. (2004) melaporkan bahwa penambahan bahan organik melalui pupuk meningkatkan pembentukan dan stabilitas makroagregat tanah (Six et al., 2004).

6. Infiltrasi Air

Penggunaan pupuk yang tepat dapat meningkatkan laju infiltrasi air. Haynes dan Naidu (1998) menjelaskan bahwa peningkatan bahan organik tanah melalui pemupukan dapat meningkatkan infiltrasi air dan mengurangi limpasan permukaan (Haynes and Naidu, 1998).

7. Ketahanan Penetrasi Tanah

Pupuk dapat mempengaruhi ketahanan penetrasi tanah. Celik et al. (2010) menemukan bahwa aplikasi pupuk organik mengurangi ketahanan penetrasi tanah, yang

menguntungkan untuk pertumbuhan akar (Celik et al., 2010).

8. Suhu Tanah

Pupuk organik dapat mempengaruhi rezim suhu tanah. Abu-Hamdeh (2003), melaporkan bahwa penambahan bahan organik melalui pupuk dapat memodifikasi kapasitas panas tanah dan konduktivitas termal, mempengaruhi fluktuasi suhu tanah.

12.5 Pengaruh Pupuk pada Sifat Kimia Tanah

Penggunaan pupuk, khususnya pupuk kimia, berpengaruh signifikan terhadap sifat kimia tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi kesehatan tanah dan produktivitas pertanian. Secara keseluruhan, meskipun pupuk kimia dapat meningkatkan kadar nutrisi tanah dan meningkatkan hasil panen, efek jangka panjang mereka terhadap sifat kimia tanah dapat merugikan jika tidak dikelola dengan baik. Praktik berkelanjutan yang mencakup pupuk kimia dan organik dianjurkan untuk menjaga kesehatan dan produktivitas tanah. Berikut pengaruh pupuk terhadap sifat kimia tanah.

1. pH tanah

Pupuk dapat secara signifikan mempengaruhi pH tanah. Guo et al. (2010) melaporkan bahwa penggunaan jangka panjang pupuk nitrogen, terutama pupuk amonium, dapat menyebabkan acidifikasi tanah (Guo et al., 2010). Sebaliknya, Whalen et al. (2000) menunjukkan bahwa pupuk organik seperti pupuk kandang dapat meningkatkan pH tanah asam (Whalen *et al.*, 2000).

2. Kapasitas tukar kation (KTK)

Pupuk organik dapat meningkatkan KTK tanah. Menurut Diacono dan Montemurro (2010), penambahan bahan

organik melalui pupuk meningkatkan KTK tanah, yang penting untuk retensi dan ketersediaan nutrisi.

3. Ketersediaan nutrisi

Pupuk secara langsung meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam tanah. Fageria (2014) menjelaskan bahwa pupuk tidak hanya menambahkan nutrisi ke tanah, tetapi juga dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi yang ada melalui perubahan pH dan aktivitas mikroba (Fageria, 2014).

4. Karbon organik tanah

Penggunaan pupuk, terutama pupuk organik, dapat meningkatkan kandungan karbon organik tanah. Lal (2004) menunjukkan bahwa praktek manajemen yang memasukkan pupuk organik dapat meningkatkan sekuestrasi karbon dalam tanah.

5. Salinitas tanah

Penggunaan pupuk yang berlebihan dapat meningkatkan salinitas tanah. Menurut Rengasamy (2010), akumulasi garam dari pupuk kimia dapat menyebabkan degradasi tanah dan mengurangi produktivitas.

6. Redoks potensial

Pupuk dapat mempengaruhi kondisi redoks tanah. (Husson, 2013) menjelaskan bahwa penambahan bahan organik melalui pupuk dapat mempengaruhi potensial redoks tanah, yang berdampak pada ketersediaan nutrisi dan aktivitas mikroba.

7. Kompleks pertukaran tanah

Pupuk mempengaruhi komposisi kompleks pertukaran tanah. Brady dan Weil (2008) menjelaskan bahwa penambahan kation melalui pupuk dapat mengubah keseimbangan kation pada kompleks pertukaran tanah.

8. Kelarutan mineral tanah

Pupuk dapat mempengaruhi kelarutan mineral tanah. Menurut (Lindsay, 1980), perubahan pH tanah akibat

pemupukan dapat mempengaruhi kelarutan berbagai mineral tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi ketersediaan nutrisi.

12.6 Pengaruh Pupuk pada Sifat Biologi Tanah

Penggunaan pupuk, baik kimia maupun organik, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat biologi tanah. Pupuk kimia dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan cepat namun memiliki dampak negatif jangka panjang terhadap struktur tanah dan lingkungan. Sebaliknya, pupuk organik menawarkan manfaat jangka panjang dengan meningkatkan struktur tanah, aktivitas mikroorganisme, dan kesuburan tanah secara berkelanjutan. Oleh karena itu, penggunaan pupuk organik lebih disarankan untuk menjaga keseimbangan ekosistem tanah dan keberlanjutan pertanian. Pupuk akan memberikan dampak pada sifat biologi tanah. Adapun dampak yang ditimbulkan dari aplikasi pupuk pada sifat biologi tanah adalah sebagai berikut:

1. **Aktivitas Mikroba Tanah**
Pupuk dapat secara signifikan mempengaruhi aktivitas mikroba tanah. Geisseler and Scow (2014) melaporkan bahwa pemupukan jangka panjang dapat meningkatkan biomassa mikroba dan aktivitas enzim tanah.
2. **Keragaman Mikroba Tanah**
Jenis pupuk yang digunakan dapat mempengaruhi keragaman komunitas mikroba. Menurut (Sumono, Loka and Nasution, 2018), penggunaan pupuk organik cenderung meningkatkan keragaman mikroba tanah dibandingkan dengan pupuk anorganik.
3. **Fiksasi Nitrogen**
Pupuk nitrogen dapat mempengaruhi aktivitas bakteri pengikat nitrogen. Barłóg, Grzebisz and Łukowiak (2022)

menjelaskan bahwa pemupukan nitrogen yang berlebihan dapat mengurangi fiksasi nitrogen biologis oleh bakteri simbiotik [3].

4. Aktivitas Enzim Tanah

Pupuk mempengaruhi aktivitas enzim tanah. Studi oleh Zhao et al. (2016) menunjukkan bahwa penggunaan pupuk organik meningkatkan aktivitas enzim tanah seperti urease, fosfatase, dan β -glukosidase.

5. Fauna Tanah

Pemupukan dapat mempengaruhi populasi dan keragaman fauna tanah. Birkhofer et al. (2008) menemukan bahwa penggunaan pupuk organik meningkatkan keragaman dan kelimpahan mesofauna tanah seperti collembola dan tungau [5].

6. Simbiosis Mikoriza

Jenis dan jumlah pupuk dapat mempengaruhi kolonisasi mikoriza. Treseder (2004) melaporkan bahwa pemupukan nitrogen dan fosfor yang berlebihan dapat mengurangi kolonisasi mikoriza pada akar tanaman.

7. Patogen Tanah

Pupuk dapat mempengaruhi populasi patogen tanah. Menurut Termorshuizen and Jeger (2008), manajemen pemupukan yang tepat dapat meningkatkan ketahanan tanah terhadap patogen.

8. Siklus Karbon Tanah

Pupuk mempengaruhi siklus karbon dalam tanah. Lal (2004) menjelaskan bahwa penambahan bahan organik melalui pupuk dapat meningkatkan sekuestrasi karbon dan aktivitas mikroba yang terkait dengan dekomposisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Hamdeh, N.H. (2003) "Thermal properties of soils as affected by density and water content," *Biosystems Engineering*, 86(1), pp. 97–102. Available at: [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00112-0](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00112-0).
- Barłóg, P., Grzebisz, W. and Łukowiak, R. (2022) "Fertilizers and Fertilization Strategies Mitigating Soil Factors Constraining Efficiency of Nitrogen in Plant Production," *Plants*, 11(14). Available at: <https://doi.org/10.3390/plants11141855>.
- Bhattacharyya, R. et al. (2010) "Long term effects of fertilization on carbon and nitrogen sequestration and aggregate associated carbon and nitrogen in the Indian sub-Himalayas," *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 86(1), pp. 1–16. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10705-009-9270-y>.
- Birkhofer, K. et al. (2008) "Long-term organic farming fosters below-and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control, and productivity," *Soil Biology and Biochemistry*, 40(9), pp. 2297–2308. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.05.007>.
- Bronick, C.J. and Lal, R. (2005) "Soil structure and management: A review," *Geoderma*, 124(1–2), pp. 3–22. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.
- Celik, I. et al. (2010) "Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions," *Geoderma*, 160(2), pp. 236–243. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.028>.

- Diacono, M. and Montemurro, F. (2010) "Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review," *Agronomy for Sustainable Development*, 30(2), pp. 401–422. Available at: <https://doi.org/10.1051/agro/2009040>.
- Fageria, N.K.. (2014) *Mineral nutrition of rice*. CRC Press.
- Galloway, J.N. et al. (2008) "Transformation of the nitrogen cycle: Recent trends, questions, and potential solutions," *Science*, pp. 889–892. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1136674>.
- Geisseler, D. and Scow, K.M. (2014) "Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms - A review," *Soil Biology and Biochemistry*, 75, pp. 54–63. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023>.
- Goulding, K.W.T. (2016) "Soil acidification and the importance of liming agricultural soils with particular reference to the United Kingdom," *Soil Use and Management*, 32(3), pp. 390–399. Available at: <https://doi.org/10.1111/sum.12270>.
- Guo, J.H. et al. (2010) "Significant acidification in major chinese croplands," *Science*, 327(5968), pp. 1008–1010. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1182570>.
- Hamidpour, M. et al. (2012) "Composted municipal waste effect on chosen properties of calcareous soil," *International Agrophysics*, 26(4), pp. 365–374. Available at: <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0051-5>.
- Hati, K.M. et al. (2006) "Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India," *Bioresource Technology*, 97(16),

- pp. 2182–2188. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.033>.
- Haynes, R.J. and Naidu, R. (1998) “Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: A review,” *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 51(2), pp. 123–137. Available at:
<https://doi.org/10.1023/A:1009738307837>.
- Husson, O. (2013) “Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: A transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy,” *Plant and Soil*. Kluwer Academic Publishers, pp. 389–417. Available at:
<https://doi.org/10.1007/s11104-012-1429-7>.
- Jiao, W. et al. (2012) “Environmental risks of trace elements associated with long-term phosphate fertilizers applications: A review,” *Environmental Pollution*, 168, pp. 44–53. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.03.052>.
- Lal, R. (2004) “Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security,” *Science*, 304, pp. 1623–1627. Available at: <http://science.sciencemag.org/>.
- Lal, R. (2009) “Soils and food sufficiency. A review,” *Agronomy for Sustainable Development*, 29(1), pp. 113–133. Available at: <https://doi.org/10.1051/agro:2008044>.
- Lehmann, J. et al. (2011) “Biochar effects on soil biota - A review,” *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), pp. 1812–1836. Available at:
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>.
- Lindsay, W.L. (1980) “Chemical Equilibria in Soils,” *Clays and Minerals*, 28(4), p. 319.

- Ma, L. et al. (2024) "Green manure application improves insect resistance of subsequent crops through the optimization of soil nutrients and rhizosphere microbiota," *iScience*, 27(7). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110320>.
- Rawls, W.J. et al. (2003) "Effect of soil organic carbon on soil water retention," *Geoderma*, 116(1-2), pp. 61-76. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00094-6).
- Rengasamy, P. (2006) "World salinization with emphasis on Australia," *Journal of Experimental Botany*, 57(5), pp. 1017-1023. Available at: <https://doi.org/10.1093/jxb/erj108>.
- Shcherbak, I., Millar, N. and Robertson, G.P. (2014) "Global metaanalysis of the nonlinear response of soil nitrous oxide (N₂O) emissions to fertilizer nitrogen," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(25), pp. 9199-9204. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1322434111>.
- Six, J. et al. (2004) "A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics," *Soil and Tillage Research*, pp. 7-31. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.03.008>.
- Stewart, W.M. et al. (2005) "The Contribution of Commercial Fertilizer Nutrients to Food Production," *Agronomy Journal*. Published by American Society of Agronomy. All copyrights reserved. *Agronomy Journal*, 97(1), pp. 1-6.
- Sumono, Loka, S.P. and Nasution, D.L.S. (2018) "Revamping of entisol soil physical characteristics with compost treatment," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Institute of Physics Publishing.

Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012090>.

Termorshuizen, A.J. and Jeger, M.J. (2008) "Strategies of soilborne plant pathogenic fungi in relation to disease suppression," *Fungal Ecology*, pp. 108–114. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.funeco.2008.10.006>.

Tilman, D. et al. (2002) "Agricultural sustainability and intensive production practices," *Nature*, 418, pp. 671–677. Available at: www.nature.com/nature.

Treseder, K.K. (2004) "A meta-analysis of mycorrhizal responses to nitrogen, phosphorus, and atmospheric CO₂ in field studies," *New Phytologist*, 164(2), pp. 347–355. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01159.x>.

Santillán, V.S. (2022) Status and challenges of soils for nutrition, https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/GSOIL4N/Presentations/26Jul/016_vinisa_GSOIL4N_Status_and_Challenges_S4N.pdf.

Walen, J.K. et al. (2000) "Cattle Manure Amendments Can Increase the pH of Acid Soils," *Soil Science Society*, 4, pp. 962–966.

Weil, R.R. and Brady, N.C.. (2017) *The nature and properties of soils*. Pearson.

Zhao, J. et al. (2016) "Effects of organic-inorganic compound fertilizer with reduced chemical fertilizer application on crop yields, soil biological activity and bacterial community structure in a rice-wheat cropping system," *Applied Soil Ecology*, 99, pp. 1–12. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.11.006>.

INDEKS

E

Efektivitas, 15, 36, 40, 45, 104, 106, 203, 337

F

Fotosintesis, 132, 135, 140, 145

G

Granul, 99, 100, 298

Guano, 38, 72

K

Klorofil, 131, 306, 309

M

Mikroorganisme, 37, 41, 42, 43, 47, 48, 74, 76, 179, 294

O

Osmosis, 63

P

Pemupukan, 1, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 14, 34, 55, 79, 81, 82, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 92, 93, 95, 96,
106, 165, 167, 183, 188, 189, 191, 202, 205, 206, 212, 213, 214, 217, 221, 222, 231,
242, 245, 269, 273, 289, 290, 322, 335

Pertanian Berkelanjutan, 34, 88, 172, 176, 181, 184, 218

pH Tanah, 71, 136, 179, 193, 210, 247, 256, 287, 302

Plasmolisis, 73

Pupuk, 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 33,
34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58,
60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 80, 81, 85, 86, 87, 88, 89,
90, 92, 94, 95, 96, 101, 102, 103, 104, 106, 109, 110, 111, 112, 114, 117, 118, 120, 121,
122, 131, 134, 147, 155, 156, 157, 158, 160, 161, 163, 164, 166, 168, 169, 171, 173,

174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 182, 186, 187, 188, 190, 191, 192, 195, 196, 197, 198, 200, 201, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216, 219, 225, 226, 227, 228, 230, 231, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 244, 245, 248, 249, 250, 252, 253, 254, 255, 257, 258, 259, 262, 263, 264, 266, 267, 268, 271, 272, 273, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 289, 290, 291, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 335, 342, 348

Pupuk anorganik, 28, 44, 45, 46, 280, 282

Pupuk majemuk, 45, 94, 95, 96, 101, 102, 103, 104

Pupuk organik, 7, 8, 22, 26, 41, 42, 43, 76, 89, 171, 208, 279, 281, 282, 283, 293, 298, 299, 300, 301, 302, 313, 314, 318, 319

Pupuk tunggal, 45, 109, 110, 114, 117, 118, 121, 122

S

Salinitas Tanah, 75

U

Unsur Hara, 10, 17, 50, 183, 288, 294

Unsur hara makro, 12, 18, 157

Unsur hara mikro, 12, 50, 157

GLOSARIUM

Fotosintesis : proses metabolisme yang dilakukan oleh tumbuhan berhijau daun, yaitu pembentukan glukosa dari zat anorganik (kardondioksida dan air)

Granul : salah satu bentuk pupuk padat yang berbentuk butiran

Guano: salah satu pupuk alam yang berasal dari kotoran burung atau kelelawar yang tinggal di goa-goa

Nutrisi tanaman : unsur hara yang diperlukan tanaman untuk menjalankan proses kehidupannya

Pupuk : bahan yang ditambahkan pada tanah atau tanaman untuk meningkatkan kesuburan tanah atau menambah hara bagi tanaman

Pupuk tunggal : pupuk yang hanya mengandung satu unsur hara

Pupuk majemuk : pupuk yang mengandung dua unsur hara atau lebih

Pemupukan : kegiatan mengaplikasikan pupuk pada tanam atau tanaman

Pupuk organik : pupuk yang berasal dari bahan organik (sisa-sisa makhluk hidup, atau bagian makhluk hidup yang telah mati)

Pupuk anorganik : pupuk hasil proses rekayasa secara kimia, fisik dan/atau biologis, dan merupakan hasil industri atau pabrik pembuat pupuk.

Unsur hara esensial : unsur hara yang mutlak diperlukan tanaman untuk melengkapi siklus hidupnya, dan kalau

unsur ini kekurangan pada tanaman maka pertumbuhan tanaman tidak normal

Unsur hara makro : unsur hara esensial yang diperlukan dalam jumlah banyak, terdiri dari 9 unsur yaitu C, H, O, N, P, K, S, Ca, dan Mg

Unsur hara mikro : unsur hara esensial yang diperlukan dalam jumlah sedikit, terdiri dari 7 unsur yaitu Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B, Cl

Pupuk: Bahan yang ditambahkan pada tanah, dengan tujuan agar tanaman dapat tumbuh dan berkembang.

Defisiensi: Kekurangan unsur hara

Dekomposisi: Proses pemecahan atau penguraian suatu benda atau struktur menjadi bagian-bagian yang lebih kecil atau lebih sederhana. Dalam konteks ilmiah, dekomposisi sering merujuk pada proses alami di mana bahan organik, seperti sisa tumbuhan atau hewan, diurai oleh mikroorganisme menjadi zat-zat dasar seperti karbon dioksida, air, dan nutrisi.

Efektivitas: Istilah yang digunakan untuk menggambarkan sejauh mana suatu tindakan, metode, atau proses berhasil mencapai tujuan yang diinginkan. Jika sesuatu efektif, berarti itu mampu menghasilkan hasil yang diharapkan dengan cara yang optimal.

Granul: Istilah yang digunakan untuk menggambarkan partikel atau butiran kecil yang dapat ditemukan dalam berbagai konteks.

Mikroorganisme: Organisme mikroskopis yang ukurannya sangat kecil sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang dan memerlukan mikroskop untuk

mengamatinya. Mikroorganisme mencakup berbagai jenis organisme, seperti bakteri, virus, jamur, protozoa, dan beberapa jenis alga.

Osmosis: Proses perpindahan air atau pelarut lain melalui membran semipermeabel dari daerah dengan konsentrasi pelarut yang lebih tinggi ke daerah dengan konsentrasi pelarut yang lebih rendah. Membran semipermeabel adalah membran yang memungkinkan pelarut (seperti air) untuk melewati tetapi mencegah zat terlarut (seperti garam) untuk melintas.

pH Tanah: Ukuran keasaman atau kebasaan tanah, yang dinyatakan dalam skala pH dari 0 hingga 14. Skala pH ini menunjukkan konsentrasi ion hidrogen (H^+) dalam tanah.

Plasmolisis: Proses di mana sel tumbuhan mengalami penyusutan atau kehilangan air ketika ditempatkan dalam larutan hipertonik (larutan dengan konsentrasi zat terlarut yang lebih tinggi daripada cairan di dalam sel).

Salinitas Tanah: Salinitas tanah merujuk pada kandungan garam terlarut yang ada di dalam tanah. Garam-garam ini bisa berupa natrium klorida (garam meja), sulfat, karbonat, atau garam-garam lain yang terlarut dalam air tanah.

Fisiologis: salah satu cabang biologi yang mempelajari cara kerja tubuh manusia, mulai dari selular, jaringan, organ, sistem tubuh, hingga organisme secara utuh.

Fotosintesis: proses biokimia yang dilakukan oleh tumbuhan untuk membuat makanan

Klorofil: pigmen hijau kompleks yang ditemukan pada tumbuhan, alga, dan bakteri tertentu

Pertanian Berkelanjutan: metode bercocok tanam yang berfokus pada produksi pangan yang sehat dan berkualitas tinggi, sambil memperhatikan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan

Pigmen tumbuhan: zat berwarna yang diproduksi oleh tumbuhan dan penting dalam mengendalikan fotosintesis, pertumbuhan, dan perkembangan.

Slow-release Fertilizer: pupuk yang melepaskan nutrisi secara bertahap, berbeda dengan pupuk fast release yang melepaskan nutrisi secara cepat.

BIODATA PENULIS



Ir. Edy Syafril Hayat, MP

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains, dan Teknologi
Universitas Panca Bhakti

Penulis lahir di Sambas tanggal 5 Mei 1968. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi Universitas Panca Bhakti sejak tahun 1993 . Menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura pada tahun 1992 dan menyelesaikan S2 di Program Studi Ilmu Tanah Universitas Padjadjaran dengan Bidang Kajian Utama Kesuburan Tanah dan Gizi Tanaman pada tahun 2004. Telah melakukan beberapa penelitian terkait kesuburan tanah dan pemanfaatan bahan pembenah tanah pada lahan suboptimal sejak tahun 2014- sekarang. Adapun buku-buku yang sudah diterbitkan adalah : **Inovasi Teknologi Biochar dan Bokashi pada Tanaman Kedelai di Tanah Suboptimal Basah Secara Berkelanjutan** (Maret, 2024), **Biokompos Kunci Pengelolaan Lahan Suboptimal** (Maret, 2024), **Dasar Ilmu Tanah** (Juli 2024), dan **Ilmu Tanah** (Agustus, 2024).

BIODATA PENULIS



Ir. Sri Andayani, M.MA.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi
Universitas Panca Bhakti

Penulis lahir di Pontianak tanggal 16 September 1968. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Panca Bhakti. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian dan melanjutkan S2 pada Jurusan Manajemen Agribisnis. Sudah banyak penelitian yang dilakukan terkait dengan pupuk organik seperti kompos, biokompos dan bokashi yang berasal dari limbah pertanian. Penulis juga telah menyusun beberapa buku, antara lain tentang pemanfaatan limbah untuk pertanian dengan judul : Pengendalian Limbah Industri, Inovasi Teknologi Biochar dan Bokashi Pada Tanaman Kedelai di Tanah Suboptimal Basah Secara Berkelanjutan, Biokompos Kunci Pengelolaan Lahan Suboptimal

BIODATA PENULIS



Mulyadi, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi Universitas Panca
Bhakti

Penulis adalah anak kesembilan dari sembilan bersaudara dan dilahirkan di Pemangkat pada 10 Agustus 1975. Fakultas Pertanian Sains dan Teknologi Universitas Panca Bhakti mempekerjakan penulis sebagai dosen tetap di Program Studi Agroteknologi. Menyelesaikan studi S1 di Agronomi dan melanjutkan studi S2 di Agroteknologi . Buku Pupuk dan Pemupukan ini adalah buku pertama yang ditulis oleh penulis. Buku ini ditulis untuk kedua orang tua penulis, Ayah H. Solihin dan Ibu Hj. Jamiah, yang keduanya adalah petani Tulen dari kaum Marhaen. Semoga mereka diberikan Surga Firdaus oleh Allah SWT, Aamiin.

BIODATA PENULIS



Ir. Agus Suyanto, M.MA.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi

Agus Suyanto lahir di Pontianak, 3 Agustus 1967. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Agronomi Institut Pertanian Bogor pada tahun 1992, dan S2 Program Studi Manajemen Agribisnis di Universitas Tanjungpura Pontianak pada tahun 2011. Aktivitas saat ini menjadi tenaga pengajar pada bidang Agronomi Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Sains, dan Teknologi Universitas Panca Bhakti Pontianak.

Penulis juga aktif menulis dalam jurnal ilmiah internasional dan nasional terutama yang berkaitan dengan bidang pangan khususnya tanaman padi di lahan pasang surut. The Use of Rice Harvest Residue as Soil Amendment for Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) on Acid Sulfate Soil (2023); Effectiveness of Use of *Tithonia diversifolia* Biomass and Local Microorganisms of Banana Weevil to Increase Growth and Yield in Spinach (*Amaranthus* spp.) (2023); Peningkatan Produktivitas Tanaman Padi Di Lahan Rawa Pasang Surut Melalui Pemberiaan Hara Berimbang Dan Pemangkasan Tajuk Tanaman (2023);

Efektivitas Penggunaan Pembenh Tanah Organik dalam Meningkatkan Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) pada Tanah Sulfat Masam (2023); Uji Adaptasi Beberapa Jenis Varietas Padi (*Oryza sativa* L.) Pada Tanah Sulfat Masam Dengan Tingkat Pengapuran Yang Berbeda (2023); Ability Test of *Trichoderma harzianum* in Inhibiting the Growth of *Phytophthora palmivora* Causing Black Pod Disease of Cocoa (2022); The Study of Utilization of Coconut Shell Compost (ARKOBA) to Increase the Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) in West Kalimantan (2019) dan lain-lain. Penulis saat ini menjabat sebagai Dekan di Fakultas Pertanian, Sains, dan Teknologi Universitas Panca Bhakti masa periode 2023-2027. Korespondensi bisa dilakukan melalui alamat email: agussuyanto@upb.ac.id, atau bisa melalui Facebook Agus Suyanto.

BIODATA PENULIS



Rini Suryani, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi
Universitas Panca Bhakti

Penulis lahir di Pontianak tanggal 27 September 1983. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Panca Bhakti. Pendidikan Sarjana (S1) dari Fakultas Pertanian Jurusan Budidaya Pertanian, Program Studi Agronomi Universitas Tanjungpura, lulus tahun 2006. Pendidikan Magister (S2) dari Program Studi Agroteknologi Universitas Tanjungpura, lulus tahun 2016. Saat ini penulis menjabat sebagai Wakil Dekan III di Fakultas Pertanian, Universitas Panca Bhakti. Pengalaman organisasi diantaranya, Anggota Asosiasi Biochar Indonesia dan Anggota Himpunan Ilmu Tanah Komda Kalimantan Barat.

BIODATA PENULIS



DR. Ir. Aguslim Masulili, M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi
Universitas Panca Bhakti

Aguslim Masulili, lahir di Tongkonunuk Luwuk Banggai, Sulawesi Tengah, pada tanggal 25 Agustus 1969. Pendidikan Sarjana (S1) dari Fakultas Pertanian Jurusan Budidaya Pertanian, Universitas Tadulako, lulus tahun 1993. Pendidikan Magister (S2) dari Program Studi Pengelolaan Tanah dan Air, Universitas Brawijaya, lulus tahun 2002. Program Pendidikan Doktor (S3) Program Studi Doktor Ilmu Pertanian, Universitas Brawijaya, bidang minat Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, lulus tahun 2010. Selama mengabdikan sebagai Dosen Tetap Universitas Panca Bhakti, penulis pernah menjabat sebagai Kepala Laboratorium (1999-2002), Ketua Jurusan Agronomi (2004 -2007), Pembantu Dekan I (2010 - 2011, Dekan Fakultas Pertanian (2011 - 2015, 2015 - 2019). Sejak tahun 2019, penulis menjabat sebagai Pembantu Rektor I (periode 2019-2022 dan periode 2022-2026). Pengalaman organisasi diantaranya, Anggota Kelompok Kerja Ahli Badan Ketahanan Pangan Provinsi

Kalimantan Barat, Wakil Ketua Asosiasi Biochar Indonesia (2016-2018), Anggota Himpunan Ilmu Tanah Komda Kalimantan Barat, Anggota PERHEPI Komda Kalimantan Barat dan Anggota Masyarakat Perkelapasawitan Indonesia wilayah Kalimantan Barat Aktif dalam pertemuan ilmiah di tingkat lokal, nasional dan internasional

BIODATA PENULIS



Setiawan, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Sain dan Teknologi
Universitas Panca Bhakti
Pontianak

Penulis lahir di Desa Redin, Kecamatan Gebang, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah pada tanggal 15 Pebruari 1976. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Panca Bhakti Pontianak. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Agroteknologi Universitas Panca Bhakti Pontianak dan melanjutkan S2 pada Program Studi Agroteknologi Universitas Lam bung Mangkurat, Banjarmasin Kalimantan Selatan.

Penulis juga aktif menulis dalam jurnal ilmiah internasional dan nasional terutama yang berkaitan dengan bidang Budidaya Tanaman Hortikultura, Pangan, Perkebunan dan Teknologi Pangan diantaranya. THE INFLUENCE OF AQUACULTURE TO LEAF PRODUCTIVITY ALOE VERA L. IN PONTIANAK CITY **(2012)**, PENINGKATAN PRODUKTIVITAS BEBERAPA VARIETAS LOKAL UBI JALAR (*Ipomoea batatas* L.) DENGAN PENGUNAAN PUPUK ORGANIK (2016), THE EFFECT OF LAMTORO AS GREEN

FERTILIZER ON GROWTH AND RESULTS OF EGGPLANT ON SOIL RED YELLOW PODSOLIC (2018), PENGARUH CAMPURAN PUPUK ORGANIK CAIR NASA DENGAN HORMONIK TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN CABAI RAWIT (*Capisum frutescens* L.) PADA TANAH ALUVIAL DIPOLYBAG (2019), Goat Urine as Liquid Organic Fertilizer for Shrub Pepper Nurseries (*Piper nigrum* L.) (2020), RESPON TANAMAN KEMBANG KOL (*Brassica oleraceae* var. Botrytis L.) AKIBAT EKSTRAK BERAS TERHADAP DIAMETER BUNGANYA (2021), Pengaruh Biochar dan NPK Mutiara Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) Pada Tanah Aluvial (2021), PENGARUH PLANT GROWTH PROMOTING RHIZOBACTERIA (PGRP) TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN JAHE GAJAH (*Zingiber officinale* Rose) (2022), Pemanfaatan Pupuk Kandang Ayam dan NPK Mutiara Terhadap Hasil Kembang Kol (*Brassica oleraceae* var.botrytis L.) (2023). Korespondensi bisa dilakukan melalui alamat email: iwansetiawan@upb.ac.id, atau bisa melalui Facebook Setiawan Selmitri dan telegram Setiawan.

BIODATA PENULIS



Ida Ayu Suci, S.Pd., M.Si

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains, dan Teknologi

Penulis lahir di Mempawah Kalimantan Barat tanggal 22 Mei 1988. Menyelesaikan pendidikan sebagai Sarjana Pendidikan Kimia di Universitas Tanjungpura angkatan 2006, kemudian melanjutkan studi Magister Kimia di Institut Pertanian Bogor (IPB) angkatan 2013. Selama mengemban ilmu di IPB, penulis aktif dalam organisasi IMAPASKA IPB. Selain itu penulis juga aktif mengikuti organisasi Gita Swara Pascasarjana IPB. Saat ini, penulis merupakan dosen tetap Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Sains, dan Teknologi Universitas Panca Bhakti. Penulis aktif sebagai pengurus dalam organisasi Alumni Bisnis Cendekia Himpunan Alumni Insitut Pertanian Bogor (ABC HA IPB Chapter Kalimantan Barat). Penulis juga aktif sebagai tutor di Universitas Terbuka. Penulis

juga tergabung sebagai Mediator di International Mediation and Arbitration Center (IMAC). Selain aktif mengajar, penulis juga aktif menulis jurnal ilmiah, menjadi pembicara di berbagai seminar internasional, terlibat di berbagai organisasi keprofesian maupun organisasi kemasyarakatan serta pernah terlibat sebagai juri dalam beberapa lomba terkait keilmuan kimia.

BIODATA PENULIS



Ir. Muh. Ansar, SP, M.Si

Dosen Program Studi Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin

Penulis lahir di Lingkungan Biroro Kecamatan Bulukumpa Kabupaten Bulukumba Provinsi Sulawesi Selatan tanggal 3 Mei 1973. Tahun 1992 penulis lulus dari SMA Negeri I Bulukumba dan lulus ujian seleksi masuk Universitas Hasanuddin pada tahun 1993 melalui Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB), selesai tahun 1997. Penulis memilih Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian dan Kehutanan. Kemudian melanjutkan S2 pada tahun 2007 di Program Studi Ilmu Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) di IPB University, selesai tahun 2009.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis menjadi Asisten Dosen pada mata kuliah Dasar-Dasar Ilmu Tanah pada tahun 1994/1997, mata kuliah Hidrologi dan Irigasi pada tahun 1995/1997, dan mata kuliah Konservasi Tanah dan Air pada tahun 1996/2000.

Penulis bekerja sebagai Staf Pengajar di Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin sejak tahun 2001. Mata kuliah yang menjadi tanggung jawab penulis adalah Agrohidrologi, Pengelolaan DAS Terpadu, dan Konservasi Tanah dan Air.

BIODATA PENULIS



Ir. Agnes Tutik Purwani Irianti, MP

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi
Universitas Panca Bhakti Pontianak

Penulis lahir di Gunungkidul tanggal 30 Juli 1964. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi, Universitas Panca Bhakti Pontianak. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Ilmu Hama Tanaman UGM dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Hama Tanaman. UGM Penulis menekuni bidang pertanian berkelanjutan.

BIODATA PENULIS



Sutikarini, SP., M.Sc.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Panca Bhakti

Penulis lahir di Pontianak tanggal 25 Februari 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Panca Bhakti. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Agroteknologi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan. Penulis menekuni bidang Penelitian dan Menulis.

BIODATA PENULIS



Ismail Astar, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi, Universitas Panca
Bhakti

Ismail Astar lahir di Parit Pangeran 16 Juni 1986. Menyelesaikan Pendidikan S1 pada tahun 2011 dan S2 pada tahun 2017 di Universitas Tanjungpura Pontianak pada bidang Studi Kimia dengan fokus kajian katalis dalam pembuatan dan produksi biodisel. Aktivitas saat ini menjadi tenaga pengajar pada bidang Kimia dan Kimia Fisika Tanah Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Panca Bhakti Pontianak.

Penulis juga aktif menulis dalam jurnal ilmiah internasional dan nasional terutama yang berkaitan dengan bidang pertanian diantaranya Maximizing cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedling growth through liquid coconut shell smoke in Ultisols soil (2024), Role of biochar amendments in improving the properties of acid sulphate soil (2022), Use of Balanced Fertilizer Doses and Pruning Methods to Increase Growth and Yield of Rice Plants in Acidic Sulphate Lands in West Borneo (2023), Penggunaan *Streptomyces Ambofaciens* sebagai Bioaktivator dalam Pembuatan Pupuk Organik Cair dari Limbah

Organik (2022), Enkapsulasi Urea Menggunakan Biokomposit Zeolit Alam-Alginat-Pati Sagu sebagai Model Pupuk Lepas Lambat (Slow Release Fertilizer) (2022), Enkapsulasi Urea Pada Lumpur PDAM-Alginat sebagai Pupuk Lepas Lambat (2022) dan lain-lain.

Selain aktif menulis dalam jurnal, Penulis juga aktif dalam kegiatan kampanye green energi biodiesel seperti Trans Borneo Biodiesel Expedition (Pontianak Indonesia-Kucing Malaysia-Brunei Darussalam) tahun 2010 yang diikuti oleh perwakilan Indonesia dan malaysia, dan Trans Java-Bali Biodiesel Expedition (Banten-Bali) 2012 yang diikuti oleh perwakilan Indonesia, Malaysia dan Vietnam dengan melakukan road show kendaraan berbahan bakar biodiesel. Korespondensi bisa dilakukan melalui alamat email: ismailastar@gmail.com, atau bisa melalui Facebook Ismail doank dan twitter @ismail_astar.