

AGROKLIMATOLOGI

**Abdul Jalil
Sujadi Priyansah
Ria Megasari
Mila Sari
Umi Novita Fitriah
Ika Purnamasari**



GET PRESS INDONESIA

AGROKLIMATOLOGI

Penulis :

Abdul Jalil
Sujadi Priyansah
Ria Megasari
Mila Sari
Umi Novita Fitriah
Ika Purnamasari

ISBN :

Editor : Dr. Neila Sulung, S.Pd., Ns., M.Kes.

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Desember 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Agroklimatologi ini.

Buku ini membahas konsep agroklimatologi dalam bidang pertanian, unsur-unsur cuaca dan iklim, Faktor-faktor pengendali cuaca dan iklim, peran, tipe, jenis, klasifikasi, dan penyebaran iklim, Perubahan iklim terhadap pertumbuhan makhluk hidup, Peralatan pencatatan iklim dan teknologi penerapannya.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Desember 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
BAB 1 KONSEP AGROKLIMATOLOGI DALAM	
BIDANG PERTANIAN.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.1.1 Definisi Agroklimatologi.....	1
1.1.2 Peran dan Ruang Lingkup Agroklimatologi	
dalam Pertanian.....	2
1.2 Faktor-Faktor Iklim yang Mempengaruhi Pertanian ..	4
1.2.1 Suhu dan Dampaknya pada Pertumbuhan	
Tanaman.....	4
1.2.2 Pengaruh Curah Hujan terhadap Produksi	
Pertanian.....	6
1.2.3 Kelembaban Udara dan Pengaruhnya terhadap	
Tanaman.....	8
1.3 Penerapan Prinsip Agroklimatologi dalam	
Peningkatan Produksi Pertanian.....	9
1.3.1 Langkah Pengelolaan Agroklimatologi	
Untuk Mengoptimalkan Hasil Pertanian	9
1.3.2 Teknologi Terkini untuk Optimisasi Pertanian	
di Berbagai Kondisi Iklim.....	10
DAFTAR PUSTAKA.....	12
BAB 2 UNSUR-UNSUR CUACA DAN IKLIM	15
2.1 Pendahuluan	15
2.2 Suhu	16
2.3 Tekanan Udara.....	19
2.4 Angin.....	19
2.5 Kelembaban Udara.....	21
2.6 Curah Hujan	22
DAFTAR PUSTAKA.....	24
BAB 3 FAKTOR-FAKTOR PENGENDALI CUACA	
DAN IKLIM.....	25
3.1 Pendahuluan	25
3.2 Faktor-Faktor Pengendali Cuaca/Iklim	26

3.2.1 Radiasi Surya.....	26
3.2.2 Letak Lintang (<i>Latitude</i>)	29
3.2.3 Topografi dan Ketinggian Tempat (<i>Altitude</i>).....	31
3.2.4 Penyebaran Daratan dan Lautan (Perairan)	34
3.2.5 Daerah Pusat Tekanan Tinggi dan Rendah	35
3.2.6 Sirkulasi Lautan.....	36
3.2.7 Komposisi Atmosfer	37
DAFTAR PUSTAKA.....	39
BAB 4 PERAN, TIPE, JENIS, KLASIFIKASI, DAN	
PENYEBARAN IKLIM	41
4.1 Peran Iklim	41
4.1.1 Iklim Matahari.....	41
4.1.2 Iklim Koppen.....	42
4.1.3 Iklim Junghuhn	42
4.1.4 Iklim Schmidt-Ferguson	43
4.1.5 Iklim Oldeman.....	44
4.2 Pengertian Mitigasi.....	46
4.3 Konsep adaptasi dan Mitigasi.....	47
4.4 Perubahan Iklim	49
4.5 Dampak Perubahan Iklim	51
DAFTAR PUSTAKA.....	53
BAB 5 PERUBAHAN IKLIM TERHADAP	
PERTUMBUHAN MAKHLUK HIDUP.....	57
5.1 Perubahan Iklim	57
5.2 Dampak Perubahan Iklim Terhadap	
Keanekaragaman Hayati	60
5.2.1 Dampak Perubahan Iklim Terhadap Tanaman.....	63
5.2.2 Dampak Perubahan Iklim Terhadap Hewan.....	64
5.3 Upaya-upaya yang dapat dilakukan terhadap	
perubahan iklim	66
DAFTAR PUSTAKA.....	69
BAB 6 PERALATAN PENCATATAN IKLIM DAN	
TEKNOLOGI PENERAPANNYA.....	73
6.1 Pendahuluan	73
6.2 Unsur Iklim.....	75
6.2.1 Unsur Iklim di Permukaan dan Bawah	
Permukaan.....	76

6.2.2 Unsur Iklim Udara Atas	76
6.2.3 Unsur Iklim Diukur dengan Penginderaan Jauh.....	77
6.3 Peralatan Pencatatan Iklim	78
6.3.1 Peralatan permukaan dasar	79
6.3.2 Instrumen udara atas	81
6.3.3 Penginderaan jauh berbasis permukaan	82
6.3.4 Penginderaan jauh berbasis pesawat terbang dan penginderaan jauh berbasis ruang angkasa	84
6.3.5 Kalibrasi instrumen	85
6.4 Penempatan Stasiun Klimatologi	86
DAFTAR PUSTAKA.....	88
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sebaran suhu udara secara horizontal.....	16
Gambar 2.2. Sebaran Suhu Udara Secara Vertikal.....	17
Gambar 2.3. Pengaruh Atmosfer Terhadap Energi Panas Matahari.	18
Gambar 2.4. Garis Isobar.....	19
Gambar 2.5. Alat penunjuk arah angin.....	20
Gambar 3.1. Neraca Keseimbangan Energi dari Matahari yang Mendorong Berbagai Proses Iklim di bumi.....	27
Gambar 3.2. Perbedaan Penerimaan Radiasi Matahari karena perbedaan Lintang Bumi	30
Gambar 3.3. Efek topografi memberikan perbedaan ciri iklim pada bagian depan dan belakang pegunungan.....	33
Gambar 3.4. Pola Angin Dunia	36
Gambar 3.5. Arus Pusaran Laut Dunia.....	37
Gambar 4.1. Komponen dan Interaksi Sistem Iklim Bumi.....	50
Gambar 6.1. Sistem Iklim.....	74
Gambar 6.2. Penakar Hujan Otomatis Hellman (a) dan Observatorium (b).	80
Gambar 6.3. Termometer Tanah Sebagai Alat Ukur Suhu Tanah	80
Gambar 6.4. Komponen Automatic Weather Station.....	81
Gambar 6.5. Radiosonde (a) yang dibawa oleh Balon Udara (b).....	82
Gambar 6.6. Radar Cuaca (a) dan Komponen Penyusunnya (b)	82
Gambar 6.7. Curah Hujan Wilayah Indonesia Dari Citra Radar Cuaca	83
Gambar 6.8. Potensi Curah Hujan Indoensia Berdasarkan Satelit Himawari 9	84
Gambar 6.10. Program Penginderaan Jauh Berbasis Satelit Untuk Observasi Cuaca dan Iklim	85

Gambar 6.11. Denah Stasiun Iklim pada Belahan
Bumi Utara Minimum yang menunjukkan
Jarak Instalasi Alat pada..... 87

BAB 1

KONSEP AGROKLIMATOLOGI DALAM BIDANG PERTANIAN

Oleh Abdul Jalil

1.1 Pendahuluan

1.1.1 Definisi Agroklimatologi

Agroklimatologi adalah cabang ilmu yang mempelajari interaksi antara faktor iklim dengan sistem pertanian, termasuk tanaman, hewan, dan lingkungan pertanian. Mencakup analisis tentang bagaimana kondisi iklim memengaruhi produksi pertanian, dan bagaimana prinsip-prinsip agroklimatologi dapat diterapkan untuk mengoptimalkan hasil pertanian dalam berbagai kondisi iklim.

Agroklimatologi menyelidiki berbagai komponen iklim seperti curah hujan, suhu udara, kelembaban, dan pola angin serta bagaimana faktor-faktor ini mempengaruhi proses pertumbuhan tanaman, kesehatan hewan, dan ekosistem perairan. Sebagai instrumen penting, agroklimatologi bertujuan untuk mengembangkan strategi pertanian yang adaptif dan berkelanjutan dalam menghadapi perubahan iklim global.

Agroklimatologi atau Klimatologi Pertanian, dalam *Meteorological Glossary* (McIntosh, 1972), diartikan sebagai ilmu yang mempelajari dan membahas berbagai aspek iklim yang berhubungan dengan permasalahan pertanian. Dalam arti sempit, pertanian hanya meliputi tanaman, dan dalam arti luas juga meliputi peternakan dan perikanan.

Secara luas, klimatologi pertanian melibatkan interaksi setiap hari secara berkelanjutan dalam kurun waktu lama antara cuaca dan hidrologi sebagai komponen fisika lingkungan atau iklim di satu sisi, dengan komponen-komponen pertanian dalam arti luas di sisi lainnya. Pertanian meliputi budidaya tanaman pangan, tanaman perkebunan, tanaman hortikultura, kehutanan, dan usaha

peternakan. Sebenarnya, budidaya perikanan darat (rawa, danau, tambak, kolam, dan sebagainya) dapat ditambahkan, tetapi tidak seluas penangkapan ikan di laut sehingga jarang dikaitkan dalam pertanian (Koesmaryono and Askari, 2014).

1.1.2 Peran dan Ruang Lingkup Agroklimatologi dalam Pertanian

A. Peranan

1. **Analisis Kondisi Iklim:** Agroklimatologi membantu dalam menganalisis pola iklim dan kondisi cuaca secara spesifik di suatu daerah pertanian. Hal ini memungkinkan para petani untuk memahami ancaman potensial yang dapat memengaruhi tanaman dan hewan ternak serta mengambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan.
2. **Pengembangan Model Prediksi:** Melalui pengembangan model prediksi iklim, Agroklimatologi memungkinkan para petani untuk merencanakan kegiatan pertanian mereka dengan lebih efektif. Model ini membantu dalam meramalkan periode tanam yang optimal, pemilihan varietas tanaman yang sesuai dengan kondisi iklim, dan strategi pengelolaan sumber daya pertanian yang tepat.
3. **Strategi Adaptasi terhadap Perubahan Iklim:** Agroklimatologi membantu petani dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dengan menyediakan informasi yang relevan mengenai teknik adaptasi. Ini termasuk pengenalan teknologi tahan iklim, praktik pertanian yang ramah lingkungan, dan pemilihan tanaman atau ternak yang lebih tahan terhadap stres lingkungan.
4. **Perencanaan Pengelolaan Sumber Daya:** Melalui pemahaman mendalam tentang iklim lokal dan regional, Agroklimatologi membantu dalam perencanaan pengelolaan sumber daya pertanian yang berkelanjutan. Ini mencakup pengelolaan air, penggunaan pupuk yang efisien, dan pengendalian hama dan penyakit secara

tepat waktu, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan produktivitas pertanian.

5. Mitigasi Risiko Bencana Alam: Agroklimatologi juga membantu dalam mengurangi risiko bencana alam yang dapat memengaruhi pertanian. Dengan memahami pola cuaca ekstrim, seperti banjir, kekeringan, atau badai, para petani dapat mengambil langkah-langkah pencegahan yang diperlukan untuk melindungi tanaman dan hewan ternak mereka.

B. Ruang Lingkup

1. Keterkaitan antara variabilitas iklim dan produksi pertanian: Agroklimatologi meneliti bagaimana perubahan iklim dapat mempengaruhi siklus pertumbuhan tanaman, pola reproduksi hewan, dan kelangsungan hidup organisme akuatik. Ini mencakup analisis terhadap korelasi antara suhu, kelembaban, dan curah hujan dengan hasil pertanian.
2. Pengembangan model prediksi dan perencanaan adaptasi: Agroklimatologi terlibat dalam pengembangan model matematika dan teknik prediksi yang membantu para petani dan nelayan memperkirakan kondisi iklim di masa depan. Selain itu, bidang ini juga memberikan panduan untuk menyusun strategi adaptasi yang efektif guna mengurangi dampak perubahan iklim pada sektor pertanian.
3. Penyelidikan terhadap risiko bencana alam: Agroklimatologi berperan penting dalam mengevaluasi risiko bencana alam seperti banjir, kekeringan, dan badai yang dapat mengganggu produksi pertanian. Dengan memahami pola iklim regional, agroklimatolog dapat memberikan saran mitigasi dan perencanaan bencana yang membantu para petani dalam mempersiapkan diri menghadapi bencana yang terkait dengan iklim.

1.2 Faktor-Faktor Iklim yang Mempengaruhi Pertanian

1.2.1 Suhu dan Dampaknya pada Pertumbuhan Tanaman

Suhu memainkan peran penting dalam pertumbuhan tanaman dan dapat memiliki dampak yang signifikan tergantung pada jenis tanaman dan kondisi lingkungan. Beberapa dampak utama suhu terhadap pertumbuhan tanaman meliputi:

1. Perkecambahan biji: Suhu memengaruhi kecepatan dan tingkat perkecambahan biji. Beberapa tanaman membutuhkan suhu tertentu agar bijinya dapat berkecambah dengan baik. Suhu yang terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat proses perkecambahan, yang pada gilirannya dapat memengaruhi pertumbuhan awal tanaman.
2. Pertumbuhan vegetatif: Suhu yang optimal mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman, termasuk pembentukan daun, batang, dan akar. Suhu yang terlalu rendah dapat menghambat pertumbuhan tanaman, sementara suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan stres panas dan menghambat proses fotosintesis.
3. Pembungaan dan pembuahan: Tanaman sering membutuhkan suhu tertentu untuk memicu proses pembungaan dan pembuahan. Suhu yang tepat diperlukan untuk merangsang produksi bunga dan polen yang sehat, yang pada akhirnya berkontribusi pada pembentukan buah dan biji.
4. Kematangan dan panen: Suhu juga memengaruhi waktu kematangan tanaman dan panen. Pada suhu yang optimal, tanaman cenderung mencapai kematangan pada waktunya dan menghasilkan hasil yang baik. Namun, suhu yang tidak sesuai dapat mengakibatkan keterlambatan dalam kematangan atau bahkan rusaknya hasil tanaman.
5. Respon terhadap stres lingkungan: Suhu yang ekstrem, baik dingin maupun panas, dapat menyebabkan stres tanaman. Hal ini dapat mengurangi produktivitas tanaman, menyebabkan penurunan kualitas hasil panen, dan

meningkatkan kerentanan terhadap penyakit dan serangan hama.

6. Pemahaman yang mendalam tentang preferensi suhu tanaman tertentu dan bagaimana suhu memengaruhi proses pertumbuhan sangat penting bagi para petani dan ahli pertanian untuk mengoptimalkan produksi tanaman mereka. Melalui penggunaan teknologi yang tepat dan praktik pertanian yang berkelanjutan, petani dapat mengelola suhu lingkungan dengan lebih efektif, sehingga memastikan pertumbuhan dan hasil tanaman yang maksimal.

Dalam beberapa hasil penelitian suhu dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman.

Berdasarkan hasil penelitian (Maharani and Arimurti, 2018), suhu pengontrolan 24°C tidak sesuai dengan kontrol, sedangkan suhu 27°C lebih stabil dibandingkan dengan yang lain. Nilai kelembaban yang terbaca berkisar antara 70%-80%. Dalam penelitian ini, suhu terbaik terjadi pada parameter tinggi tanaman, diameter batang, dan jumlah daun dengan nilai rata-rata masing-masing 12,92 cm, 0,44 cm, dan 8 daun. Parameter luas daun mencapai nilai rata-rata 7,87 cm² pada suhu 24°C. Jumlah kandungan klorofil tertinggi terdapat pada tanaman kontrol dengan nilai 42,5 unit, sedangkan pada tanaman di dalam plant factory mencapai puncaknya pada suhu 24°C dengan rata-rata 39,2 unit.

Hasil penelitian (Usamah Jaisyurahman *et al.*, 2020), menunjukkan bahwa karakteristik jumlah anakan total, jumlah gabah isi per malai, jumlah gabah hampa per malai, jumlah gabah total per malai, laju pengisian biji, persentase gabah isi, dan bobot gabah total per tanaman mengalami gangguan akibat cekaman suhu tinggi. Suhu tinggi menurunkan fertilitas polen pada keseluruhan genotipe yang diuji. Genotipe IPB 4S diidentifikasi sebagai genotipe yang sensitif terhadap cekaman suhu tinggi. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengembangan varietas untuk mengatasi cekaman suhu tinggi.

1.2.2 Pengaruh Curah Hujan terhadap Produksi Pertanian

Curah hujan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap produksi pertanian dan dapat memengaruhi hasil panen secara keseluruhan. Pengaruh tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. **Ketersediaan Air:** Curah hujan yang cukup penting untuk penyediaan air yang memadai bagi pertumbuhan tanaman. Kekurangan curah hujan dapat menyebabkan kekeringan dan menghambat pertumbuhan tanaman, sedangkan curah hujan yang berlebihan dapat menyebabkan genangan air dan memicu penyakit serta penurunan kualitas tanaman.
2. **Ketersediaan Nutrisi:** Curah hujan membantu dalam pengangkutan nutrisi ke dalam tanah yang diperlukan oleh tanaman untuk pertumbuhan yang sehat. Kekurangan curah hujan dapat mengurangi ketersediaan nutrisi tanah, sedangkan curah hujan yang berlebihan dapat menyebabkan erosi tanah dan pencucian nutrisi yang penting bagi tanaman.
3. **Pola Tanam:** Curah hujan yang tidak terduga atau pola curah hujan yang tidak normal dapat memengaruhi rencana tanam dan panen. Kondisi cuaca yang tidak stabil akibat curah hujan yang tidak teratur dapat mengganggu siklus tanam, menyebabkan penundaan tanam, atau bahkan kerugian panen akibat banjir atau kekeringan yang tidak terduga.
4. **Kualitas Tanaman:** Curah hujan yang tepat pada waktunya dan dalam jumlah yang sesuai penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan memastikan produksi tanaman berkualitas tinggi. Curah hujan yang tidak memadai atau berlebihan dapat menyebabkan stres tanaman, memengaruhi perkembangan buah, dan mengurangi kualitas hasil panen.
5. **Kesiapan Pasar:** Curah hujan yang tidak stabil atau ekstrim dapat mengganggu pasokan hasil panen ke pasar. Gangguan pasokan ini dapat memengaruhi harga dan ketersediaan produk pertanian, yang pada akhirnya dapat berdampak pada ekonomi pertanian secara keseluruhan.

Menurut (Latiri *et al.*, 2010), Curah hujan memiliki korelasi yang tinggi dengan komponen hasil. Pola curah hujan memiliki dampak yang cukup besar terhadap tanaman semusim, terutama tanaman pangan. Salah satu faktor curah hujan yang dapat berperan sebagai indikator kebutuhan air pada tanaman. Air merupakan bahan alami yang mutlak diperlukan oleh tanaman dalam jumlah yang cukup dan pada waktu yang tepat. Kelebihan maupun kekurangan air dapat dengan mudah menimbulkan masalah dan bencana.

Curah hujan merupakan salah satu unsur iklim yang memiliki peran sangat besar dalam mendukung ketersediaan air, terutama pada lahan tadah hujan dan lahan kering (Mardawilis and Ritonga, 2016). Jika curah hujan melebihi batas, akan mengakibatkan peningkatan volume air pada permukaan tanah sehingga dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman. Curah hujan yang berlebihan akan mempengaruhi produktivitas tanaman dan mengganggu pertumbuhannya.

Dari hasil yang dilakukan oleh (Santoso, Supriana and Girsang, 2022b), curah hujan memiliki pengaruh signifikan terhadap produksi ubi kayu di ketiga daerah tipe curah hujan. Perubahan rata-rata curah hujan di wilayah lokal menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan perubahan rata-rata produksi ubi kayu di wilayah tipe hujan monsun dan lokal. Sementara itu, perubahan rata-rata produksi ubi kayu di wilayah monsun tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan perubahan rata-rata produksi ubi kayu di wilayah ekuatorial.

Berdasarkan hasil penelitian produksi padi gogo yang dilakukan oleh (Santoso, Supriana and Girsang, 2022a), terungkap bahwa secara statistik terdapat perbedaan yang signifikan di tiga tipe wilayah. Wilayah dengan tipe curah hujan ekuatorial menunjukkan pengaruh terhadap produksi sebesar 3,15 ton, sementara wilayah monsun dan lokal masing-masing memberikan pengaruh negatif terhadap produksi sebesar -0,17 ton dan -10,66 ton.

1.2.3 Kelembaban Udara dan Pengaruhnya terhadap Tanaman

1. **Transpirasi:** Kelembaban udara memengaruhi tingkat transpirasi tanaman, yaitu proses di mana tanaman mengeluarkan uap air melalui stomata daun. Kelembaban udara yang tinggi dapat mengurangi laju transpirasi, sementara kelembaban udara yang rendah dapat meningkatkan risiko kekeringan pada tanaman.
2. **Fotosintesis:** Tingkat kelembaban udara memengaruhi kemampuan tanaman untuk melakukan fotosintesis. Kelembaban udara yang rendah dapat mengurangi laju fotosintesis karena penutupan stomata pada tanaman, yang pada akhirnya dapat menghambat pertumbuhan dan produksi tanaman.
3. **Penyakit dan Hama:** Kelembaban udara yang tinggi cenderung menciptakan kondisi yang ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme patogen dan serangga hama. Kelembaban udara yang tinggi dapat memicu pertumbuhan jamur, bakteri, dan virus yang merugikan tanaman, sehingga meningkatkan risiko infeksi penyakit dan serangan hama.
4. **Kualitas Tanaman:** Kelembaban udara yang tepat dapat memastikan kualitas dan kuantitas hasil panen yang optimal. Kelembaban udara yang stabil dan sesuai membantu dalam menjaga tekstur, rasa, dan kandungan nutrisi tanaman, yang pada gilirannya berkontribusi pada hasil pertanian yang berkualitas tinggi.
5. **Adaptasi Tanaman:** Beberapa tanaman memiliki preferensi khusus terhadap tingkat kelembaban udara yang berbeda. Tanaman yang berasal dari lingkungan dengan kelembaban udara tinggi cenderung lebih cocok tumbuh di daerah dengan kelembaban udara tinggi, sedangkan tanaman yang berasal dari lingkungan kering lebih mampu bertahan dalam kondisi kelembaban udara yang rendah.

Hasil penelitian (Sunarya and Suyudi, 2016) pada tanaman Mendong (*Fymbristylis Globulosa (Retz.) Kunt*) menunjukkan bahwa pada umur 60 HST, terdapat interaksi antara pupuk organik dan kelembaban tanah terhadap bobot brangkas segar dan bobot

brangkasian kering tanaman per rumpun. Penambahan kelembaban tanah mengakibatkan peningkatan baik pada bobot brangkasian segar maupun kering tanaman pada umur 60 HST di media tanah. Pada kondisi kelembaban tanah yang jenuh, peran pupuk kandang terutama berperan sebagai penyedia hara daripada sebagai pengikat air, sehingga pengaruhnya terhadap bobot brangkasian tidak signifikan. Namun, peran pupuk kandang sapi menjadi lebih terlihat pada kondisi kelembaban tanah yang tidak jenuh.

Dari hasil penelitian (Purba, 2018), terungkap bahwa setiap peningkatan 1% dalam kelembaban udara dan intensitas cahaya matahari di Kota Medan dari tahun 2013 hingga 2017 akan menyebabkan penurunan produksi tanaman padi sawah dan gogo masing-masing sebesar 619,04 dan 249,94 ton. Hubungan antara kelembaban udara dan intensitas penyinaran matahari terhadap produksi tanaman padi sawah dan gogo adalah sebesar 34,10%.

1.3 Penerapan Prinsip Agroklimatologi dalam Peningkatan Produksi Pertanian

1.3.1 Langkah Pengelolaan Agroklimatologi Untuk Mengoptimalkan Hasil Pertanian

Praktik terbaik dalam pengelolaan agroklimatologi meliputi sejumlah langkah yang bertujuan untuk mengoptimalkan hasil pertanian dalam berbagai kondisi iklim. Beberapa praktik terbaik tersebut meliputi:

1. **Pemantauan Cuaca dan Iklim:** Melakukan pemantauan cuaca dan iklim secara teratur untuk memahami pola iklim lokal dan memprediksi perubahan cuaca yang mungkin terjadi. Ini membantu para petani dalam perencanaan tanam yang tepat dan pengelolaan pertanian yang adaptif.
2. **Penggunaan Teknologi Pertanian Berbasis Iklim:** Mengadopsi teknologi pertanian berbasis iklim, seperti sistem irigasi cerdas, metode penanaman yang tahan iklim, dan pemilihan varietas tanaman yang sesuai dengan kondisi iklim, untuk meningkatkan ketahanan tanaman terhadap perubahan iklim.
3. **Pengelolaan Sumber Daya Air:** Mengelola sumber daya air secara efisien dengan memanfaatkan teknologi irigasi yang

tepat dan praktik konservasi air, seperti pengumpulan air hujan, pengaturan tata air yang efektif, dan penggunaan teknik penghematan air untuk memastikan pasokan air yang memadai bagi tanaman.

4. Praktik Pertanian Berkelanjutan: Mengadopsi praktik pertanian berkelanjutan yang memperhatikan keseimbangan ekologi, seperti penggunaan pupuk organik, pengelolaan tanah yang berkelanjutan, dan rotasi tanaman yang sesuai, untuk menjaga kelestarian lingkungan pertanian dan mengurangi dampak negatif terhadap iklim.
5. Diversifikasi Tanaman: Menerapkan diversifikasi tanaman dengan menanam berbagai varietas tanaman yang tahan terhadap kondisi iklim yang berbeda, sehingga mengurangi risiko gagal panen akibat perubahan iklim ekstrem.

Melalui penerapan langkah ini, para petani dapat mengurangi risiko yang terkait dengan perubahan iklim untuk meningkatkan produktivitas pertanian, dan memastikan keberlanjutan sektor pertanian di masa depan.

1.3.2 Teknologi Terkini untuk Optimisasi Pertanian di Berbagai Kondisi Iklim

Ada beberapa teknologi terkini yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan pertanian di berbagai kondisi iklim. Berikut adalah beberapa contoh teknologi terkini yang dapat digunakan untuk tujuan ini:

1. Sistem Irigasi Cerdas: Penggunaan sistem irigasi cerdas dengan teknologi presisi yang dapat mengukur kebutuhan air tanaman secara akurat berdasarkan kondisi tanah dan cuaca. Teknologi ini membantu dalam penggunaan air secara efisien dan mengurangi pemborosan air.
2. Sensor Tanah dan Pemantauan Cuaca: Pemanfaatan sensor tanah dan perangkat pemantauan cuaca yang dapat memberikan informasi real-time tentang kelembaban tanah, suhu, dan kondisi cuaca. Data yang diperoleh dari sensor ini memungkinkan petani untuk mengoptimalkan jadwal

penyiraman, pemberian pupuk, dan tindakan lainnya sesuai dengan kebutuhan tanaman.

3. Pertanian Vertikal: Penggunaan pertanian vertikal dengan sistem hidroponik atau aeroponik yang memungkinkan pertumbuhan tanaman dalam lingkungan terkendali, terlepas dari kondisi iklim ekstrem di luar ruangan. Teknologi ini memungkinkan produksi tanaman dalam skala besar di daerah yang terbatas, sehingga meningkatkan ketahanan pangan di daerah perkotaan.
4. Penginderaan Jauh dan Analisis Data: Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh melalui satelit dan pesawat tanpa awak yang dapat memberikan informasi penting tentang kondisi pertanian, kesehatan tanaman, dan perkiraan panen. Analisis data yang dihasilkan dari teknologi ini membantu petani dan ahli pertanian dalam membuat keputusan yang lebih cerdas dan efisien.
5. Pemuliaan Tanaman Berbasis Genom: Pengembangan varietas tanaman yang tahan terhadap stres iklim melalui pemuliaan tanaman berbasis genom dan teknik rekayasa genetika. Teknologi ini membantu dalam menciptakan tanaman yang lebih adaptif terhadap perubahan suhu, kekeringan, banjir, dan kondisi iklim ekstrem lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Koesmaryono, Y. and Askari, M. 2014. *Klimatologi Pertanian*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Latiri, K. *et al.* 2010. 'Wheat production in Tunisia: Progress, inter-annual variability and relation to rainfall', *European Journal of Agronomy* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.02.004>.
- Maharani, D.M. and Arimurti, P. 2018. 'Pengontrolan Suhu Dan Kelembaban (Rh) Terhadap Pertumbuhan Vegetatif Cabai Merah (*Capsicum Annuum* L.) Pada Plant factory', *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan ...*, 6(2).
- Mardawilis and Ritonga, E. 2016. 'Pengaruh Curah Hujan Terhadap Produksi Tanaman Pangan Kabupaten Kampar Provinsi Riau', *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2016*, pp. 281–289.
- McIntosh, D.H. 1972. *Meteorological Glossary. 5th in dj.* London: Her Majesty's Stationery Office.
- Purba, Z. 2018. 'Regresi Linier Berganda Kelembaban Udara dan Intensitas Cahaya Matahari terhadap Produksi Tanaman Padi di Perkotaan', *Jurnal Pembangunan Perkotaan*, 6(2), pp. 112–117.
- Santoso, A.B., Supriana, T. and Girsang, M.A. 2022a. 'Pengaruh Curah Hujan pada Produksi Padi Gogo di Indonesia', *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.18343/jipi.27.4.606>.
- Santoso, A.B., Supriana, T. and Girsang, M.A. 2022b. 'Pengaruh Curah Hujan terhadap Produksi Ubi Kayu di Indonesia', *Agro Bali: Agricultural Journal* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.37637/ab.v5i3.1051>.
- Sunarya, Y. and Suyudi. 2016. 'Pengaruh Pupuk Organik Dan Kelembaban Tanah Terhadap Pertumbuhan Tanaman Mendong (*Fymbristylis Globulosa* (Retz.) Kunt)', *Jurnal Siliwangi Seri Sains dan Teknologi*, 2(1), pp. 96–100.

Usamah Jaisyurahman *et al.* 2020. 'Dampak Suhu Tinggi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi', *Jurnal Agronomi Indonesia (Indonesian Journal of Agronomy)*, 47(3), pp. 248–254. Available at: <https://doi.org/10.24831/jai.v47i3.24892>.

BAB 2

UNSUR-UNSUR CUACA DAN IKLIM

Oleh Sujadi Priyansah

2.1 Pendahuluan

Cuaca dan iklim merupakan dua istilah yang hampir sama namun mempunyai arti yang berbeda terutama dalam jangka waktu tertentu. Cuaca merupakan bentuk utama dari kondisi fisik langsung udara pada suatu tempat dan waktu tertentu, sedangkan iklim merupakan kondisi tambahan dan sekumpulan kondisi cuaca yang kemudian dikumpulkan dan dihitung dalam bentuk kondisi cuaca rata-rata dalam jangka waktu tertentu (Winarso, 2003).

Penelitian/kajian ilmiah mengenai perubahan cuaca dari ruang dan waktu yang terbatas, sedangkan ilmu iklim atau klimatologi adalah suatu cabang ilmu yang juga mempelajari gejala-gejala cuaca namun ciri-ciri dan gejalanya mempunyai ciri-ciri umum dalam kurun waktu dan wilayah yang luas. Menurut Rafi'i (1995).

Menurut Trewartha dan Horn (2001), iklim adalah suatu konsep abstrak dimana iklim merupakan kombinasi kondisi cuaca sehari-hari dan unsur-unsur atmosfer di suatu wilayah tertentu dalam jangka waktu yang lebih lama.

Iklim bukan sekedar cuaca rata-rata, karena tidak ada konsep iklim yang cukup tanpa kesinambungan periode cuaca akibat perubahan cuaca harian dan perubahan cuaca musiman serta gangguan atmosfer yang terus berubah, walaupun kajian iklim fokus pada rata-rata, namun penyimpangan, fluktuasi dan kondisi atau nilai-nilai ekstrim juga penting.

Unsur-unsur yang mempengaruhi cuaca dan iklim suatu wilayah atau wilayah yaitu: suhu udara, tekanan udara, angin, kelembaban udara dan curah hujan. Kami menjelaskan elemen-elemen tersebut di bawah ini.

2.2 Suhu

Suhu udara adalah tingkat panas yang dihasilkan oleh aktivitas molekul di atmosfer, disebabkan oleh radiasi panas dari matahari yang diserap oleh bumi. Alat yang digunakan untuk menghitung temperatur adalah termometer, biasanya suhu diukur dalam tiga skala yaitu Celcius (C), Reamur (R), dan Fahrenheit (F).

Ada beberapa faktor yang memengaruhi tingkat penerimaan panas oleh bumi, di antaranya:

1. Arah Sinar Matahari, Ketika sinar matahari datang dengan sudut yang lebih kecil, maka panas yang diterima oleh bumi juga akan menjadi lebih sedikit jika dibandingkan dengan sinar matahari datang tegak lurus.
2. Semakin lama matahari bersinar
3. Kondisi permukaan bumi
4. Banyaknya awan.

Ada dua jenis persebaran suhu, yaitu horisontal dan vertikal. Untuk informasi lebih lanjut, silakan lihat penjelasan berikut:

1. Sebaran suhu udara secara horisontal.

Isotherm adalah garis yang menghubungkan tempat-tempat dengan suhu udara rata-rata yang sama dalam peta. Persebaran yang tidak teratur secara horisontal dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan sekitarnya. Sebagai contoh, perbedaan suhu di daratan dan lautan. Terdapat beberapa jenis isoterma, seperti isoterma bulan Januari, isoterma bulan Juli, dan isoterma tahunan.



a. Pada bulan Januari



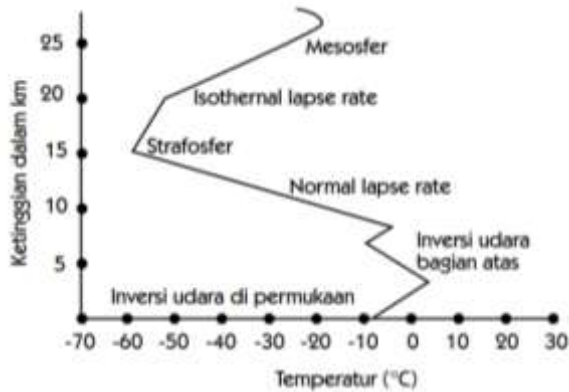
b. Pada bulan Juli

Gambar 2.1. Sebaran suhu udara secara horisontal.

(Karyati. 2022.)

- a. Isoterm Januari

- b. Isoterm pada bulan Juli
 - c. Isoterm tahunan
2. Sebaran suhu udara secara vertikal
- Bersama dengan peningkatan ketinggian, suhu udara akan semakin menurun. Secara umum, suhu udara akan turun $0,5^{\circ}\text{C}$ setiap naik 100 meter. Perairan memainkan peran yang sangat besar dalam mengontrol suhu, sehingga mengurangi perbedaan suhu ekstrim. Dengan variasi dalam penyebaran suhu udara secara horizontal maupun vertikal, dapat menyebabkan terjadinya gejala cuaca seperti kabut dan awan.

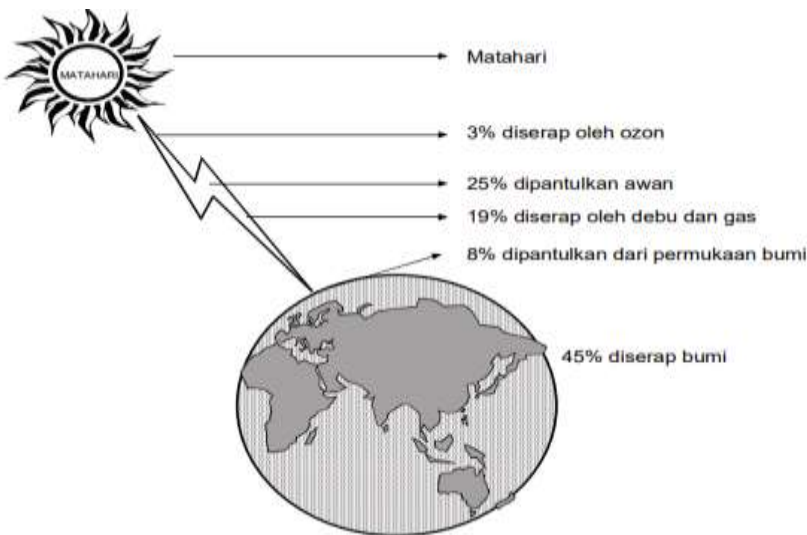


Gambar 2.2. Sebaran Suhu Udara Secara Vertikal.
(Karyati. 2022)

Matahari adalah sumber panas. Pemanasan udara dapat dilakukan dengan dua proses pemanasan yaitu pemanasan langsung dan tidak langsung.

1. Pemanasan secara langsung bisa terjadi melalui beberapa metode berikut:
 - a. Proses penyerapan komponen radiasi matahari, contohnya sinar gamma, sinar-X, dan ultraviolet. Proses Absorpsi dikenal sebagai fenomena di mana unsur-unsur seperti O_2 , nitrogen, ozon, hidrogen, dan debu menyerap radiasi matahari.

- b. Panas Matahari memengaruhi udara, namun kemudian dikembali lagi ke atmosfer. Proses yang disebut refleksi ini terjadi.
 - c. Proses yang menyebabkan langit berwarna biru adalah disebut dengan difusi.
2. Pemanasan secara tidak langsung terjadi melalui beberapa metode berikut:
- a. Konduksi adalah proses di mana panas dari matahari diteruskan ke lapisan udara bagian bawah, dan selanjutnya lapisan udara tersebut mengalirkan panas ke lapisan udara di atasnya.
 - b. Konveksi adalah proses dimana panas disebarkan melalui pergerakan udara ke atas..
 - c. Adveksi adalah proses perpindahan panas melalui pergerakan udara secara horizontal di bidang mendatar.
 - d. Turbulensi adalah proses di mana panas disebabkan oleh pergerakan udara yang tidak teratur dan berputar-putar ke arah atas. Namun, sebagian panas tersebut juga dipantulkan kembali ke atmosfer.



Gambar 2.3. Pengaruh Atmosfer Terhadap Energi Panas Matahari.
(Bakosurtanal, 1995)

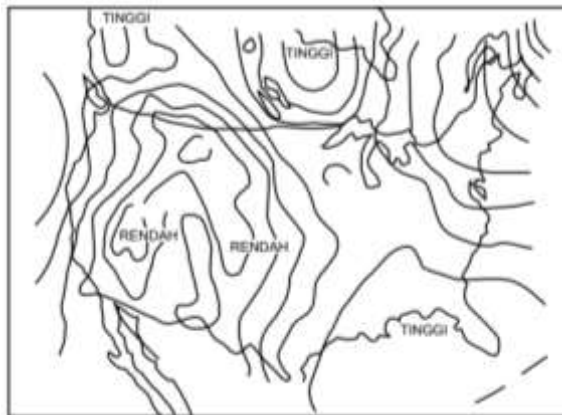
2.3 Tekanan Udara

Sebuah kekuatan yang muncul karena adanya tekanan dari lapisan udara. Tekanan udara di berbagai tempat seringkali mengalami perubahan yang tidak konsisten. Ketika ketinggian suatu lokasi meningkat dari permukaan laut, tekanan udara akan semakin rendah karena jumlah udara yang menekan menjadi berkurang. Pengukuran tekanan udara dilakukan menggunakan barometer dan hasilnya diungkapkan dalam satuan milibar (mb).

Ada tiga jenis tekanan udara, yakni:

1. Tekanan atmosfer yang berada di atas 1013 mb adalah tekanan udara yang sangat tinggi.
2. Tekanan udara yang terdapat di lingkungan ini tergolong rendah, dengan nilai yang berada di bawah 1013 mb.
3. Tekanan atmosfer di permukaan laut adalah 1013 mb.

Isobar adalah garis imajiner pada peta yang menghubungkan lokasi dengan tekanan udara yang sama.



Gambar 2.4. Garis Isobar.
(Karyati. 2022)

2.4 Angin

Angin merupakan aliran udara yang berpindah dari wilayah pada tekanan udara yang tinggi ke wilayah tekanan udara yang rendah. Ada beberapa informasi yang perlu dipahami mengenai

angin, antara lain adalah karakteristik angin seperti kecepatan, intensitas, dan arahnya.

1. Kecepatan Angin

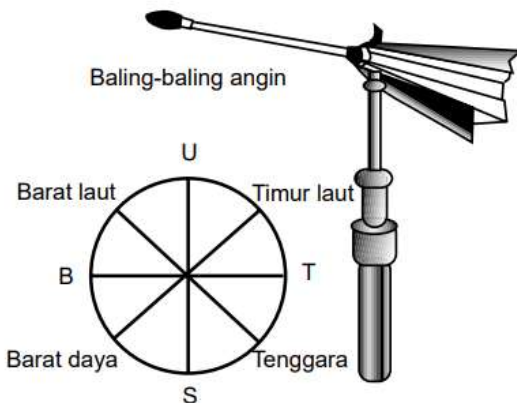
Partikel-partikel udara bergerak dengan kecepatan mengarah ke timur, sejalan dengan rotasi bumi. Istilah untuk gerakan tersebut merupakan kecepatan linier. Hal ini terjadi karena bentuk bumi yang bulat menyebabkan kecepatan linier menjadi lebih lambat saat mendekati kutub. Anemometer adalah sebuah instrumen yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin.

2. Kekuatan Angin

Kecepatan angin menentukan kekuatannya, semakin tinggi kecepatan angin, semakin besar kekuatannya.

3. Arah Angin

Berdasarkan pernyataan ahli meteorologi asal Netherland, Buys Ballot, dia menyatakan bahwa udara akan bergerak dari tempat dengan tekanan tinggi ke tempat dengan tekanan rendah. Di bagian utara bumi, arah angin berbelok ke arah kanan, sementara di bagian selatan bumi, angin berbelok ke arah kiri, untuk memahami cuaca, penting untuk mengetahui arah angin sebagai salah satu faktornya. Dalam menentukan arah angin, kita dapat menggunakan arah baling-baling angin sebagai acuan.



Gambar 2.5. Alat penunjuk arah angin.
(Karyati. 2022)

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi penentuan arah angin :

1. Besar Atau Kecil Gradien Barometrik

Gradien Barometrik adalah bilangan yang mengindikasikan perbedaan tekanan udara antara dua garis isobar yang berjarak lurus. Sesuai dengan prinsip Stevenson, kecepatan angin meningkat seiring dengan meningkatnya gradien barometrik. Semakin tinggi perbedaan tekanan atmosferik, semakin tinggi kecepatannya.

2. Relief Permukaan Bumi

Berhembus dengan kecepatan tinggi di wilayah yang datar tanpa ada hambatan. Tetapi jika angin berhembus di daerah dengan banyak perbukitan dan rintangan, kecepatannya akan menurun.

3. Keberadaan tanaman

Bila terdapat banyak pohon, kecepatan angin akan terhambat, tetapi sebaliknya, jika pohonnya sedikit, hambatan terhadap kecepatan angin juga minim.

4. Tinggi dari permukaan tanah

Berhembusan angin di permukaan bumi akan mengalami perlambatan akibat gesekan dengan tanah, sedangkan angin yang berhembus pada ketinggian yang lebih tinggi bebas dari halangan.

2.5 Kelembaban Udara

Kelembapan udara adalah jumlah uap air yang ada dalam jumlah tertentu di massa udara pada suatu waktu dan tempat. Semakin tinggi temperatur udara, semakin besar kemampuannya untuk mengandung uap air. Artinya, ini mengindikasikan bahwa udara menjadi semakin lembap. Sebuah alat yang digunakan untuk mengukur kelembaban udara disebut psychrometer atau hygrometer. Udara yang mengandung kelembaban bisa dikategorikan menjadi:

1. Kelembapan mutlak, yaitu banyaknya uap air dalam gram satu meter kubik (1 m³).
2. kelembaban relatif, merupakan angka yang menyatakan persentase antara jumlah uap air yang ada di udara dengan

jumlah maksimum uap air yang dapat ditampung udara dan dinyatakan dalam persen(%).

2.6 Curah Hujan

Banyaknya hujan yang turun di suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu. *Rain Gauge* digunakan untuk mengestimasi jumlah hujan yang jatuh dalam periode harian, bulanan, dan tahunan.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi jumlah hujan di Indonesia.

1. Rupa medan atau topografi;
2. Orientasi keadaan topografi;
3. Arah angin yang bergerak sejajar dengan garis pantai
4. Jarak yang dilalui oleh angin di atas tanah yang rata.

Hujan merupakan partikel-partikel air yang dilepaskan dari atmosfer dan jatuh ke daratan. Di sisi lain, isohyet adalah garis penghubung lokasi-lokasi di peta yang menerima jumlah sama. Terdapat dua jenis hujan, yaitu berdasarkan ukuran butiran dan sumber terjadinya. Ada empat jenis hujan berdasarkan ukuran butiran yang jatuh dari langit, yang meliputi:

1. Hujan yang memiliki ukuran butiran di bawah 0,5 mm dikenal sebagai Hujan Gerimis.
2. Hujan Gerimis adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan hujan yang terdiri dari kristal-kristal es dan memiliki suhu di bawah titik beku.
3. Curahan es yang jatuh berasal dari awan dengan suhunya pada titik beku adalah penyebab terbentuknya hujan dalam cuaca panas. Sering kali disebut sebagai Hujan Batu Es.
4. Hujan Deras adalah ketika air jatuh dari awan yang memiliki suhu di atas beku dan ukuran butirannya sebesar 7 mm.

Terdapat empat jenis hujan yang dapat dibedakan berdasarkan sumbernya, yakni:

1. Fenomena cuaca yang terjadi ketika udara panas/lembab bertemu dengan udara dingin dan mengalami kondensasi,

- menghasilkan turunnya hujan, dikenal sebagai Hujan front.
2. Hujan konveksi terjadi karena adanya aliran konveksi yang disebabkan menguapnya air di khatulistiwa naik vertikal. Proses ini terjadi akibat pemanasan air laut yang terus menerus, kemudian mengalami kondensasi dan jatuh sebagai hujan.
 3. Hujan orografi adalah proses uap air terkondensasi di udara yang dibawah oleh angin untuk naik ke lereng gunung lalu menjadi hujan.
 4. Hujan buatan istilah proses di mana awan dipacu dengan menggunakan zat garam untuk menghasilkan uap air di udara pada ketinggian 3000 dpl dapat air berkondensasi menjadi hujan turun.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayong Tjasyono, Dr, Klimatologi Umum, Bandung: FMIPA - ITB, 1999.
- Critchfield, Howard J., 1979. General Climatology. Prentice Hall India.
- Daniel Murdiyarso, Konvesi Perubahan Iklim, Jakarta: Kompas, 2003.
- Dengel, G.O.F., 1956. Dasar-Dasar Ilmu Cuaca, J.B. Wolters Jakarta.
- Kartasapoetra, A.G. 1993. Klimatologi : Pengaruh Iklim Terhadap Tanah dan Tanaman. Bumi Aksara. Jakarta.
- Karyati. 2022. Agroklimatologi. Mulawarman University Press, Samarinda
- Philip D. Thompson, Robert O'Brien, Weather, USA: Time Life Book Inc, 1983.
- Rafi'i, Suryatna. 1995. Meteorologi dan Klimatologi. Penerbit Angkasa Bandung. Bandung.
- Schmidt dan Ferguson, 1951. Rainfall Types Based ratios for Indonesia with Western New Guinea, verhandelng, no 42 Kementrian Perhubungan RI.
- Trewartha, Glenn T., & Horn, Lyle H. 2001. Pengantar Iklim. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Winarso, P. A, 2003, Pengelolaan Bencana Cuaca dan Iklim untuk masa mendatang. KLH, Indonesia.

BAB 3

FAKTOR-FAKTOR PENGENDALI CUACA DAN IKLIM

Oleh Ria Megasari

3.1 Pendahuluan

Iklim merupakan suatu konsep yang abstrak, di mana iklim merupakan komposit dari keadaan cuaca hari ke hari dan elemen-elemen atmosfer didalam suatu kawasan tertentu dalam jangka waktu yang panjang. Iklim bukan hanya sekedar cuaca rata-rata, karena tidak ada konsep iklim yang cukup memadai tanpa ada apresiasi atas perubahan cuaca harian dan perubahan cuaca musiman serta suksesi episode cuaca yang ditimbulkan oleh gangguan atmosfer yang bersifat selalu berubah, meski dalam studi tentang iklim penekanan diberikan pada nilai rata-rata, namun penyimpangan, variasi dan keadaan atau nilai yang ekstrim juga mempunyai arti penting (Trewartha and Horn, 1995).

Cuaca dan iklim yang terjadi disuatu tempat dibumi khususnya Indonesia, merupakan hasil dari proses panjang dari beberapa aktivitas yang terjadi diatmosfer. Aktivitas-aktivitas tersebut dikenal sebagai "pengendali cuaca dan iklim" yang didominasi oleh interaksi antara lautan dan atmosfer. Peneliti meteorologis menemukan bahwa interaksi laut-udara antara lautan pasifik tengah dengan atmosfer yang dikenal dengan El-Nino dan La-Nina. El-nino adalah fenomena menjadi hangatnya suhu permukaan laut disamudera Pasifik bagian tengah yang memicu terjadinya penurunan tekanan udara diatmosfer bagian atasnya. Penurunan tekanan udara menyebabkan massa-massa udara dari tempat lain mengalir menuju Samudera Pasifik dengan tekanan udara terendah. Sehingga awan-awan yang berada dilangit Indonesia yang seharusnya menurunkan hujan, justru ikut bergerak bersama menuju ke Samudera pasifik. Maka dari itu El-Nilo merupakan salah satu fenomena yang memicu terjadinya

kekeringan, di mana $\pm 60\%$ wilayah di Indonesia terkena dampaknya (Effendy, 2001).

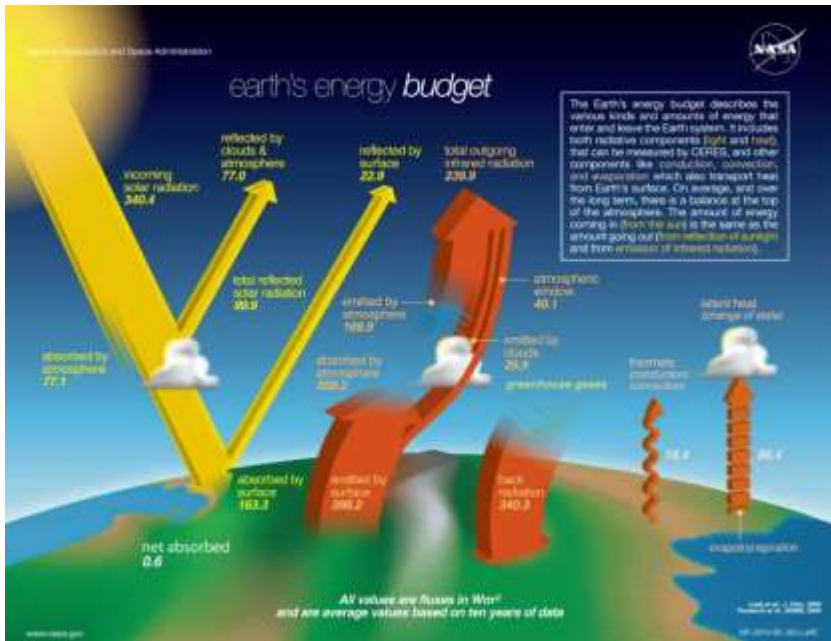
La-Nina adalah sebuah fenomena yang terjadi karena penurunan/pendinginan suhu permukaan laut disamudera pasifik bagian tengah yang memicu peningkatan tekanan udara di atmosfer. Jika El-Nino memicu kekeringan lain halnya dengan La-Nina justru memicu peningkatan hujan untuk diwilayah Indonesia, karena awan yang akan menjadi hujan didistribusikan ke tempat-tempat dengan suhu permukaan laut yang lebih hangat termasuk Indonesia (Baihaqi, 2021).

3.2 Faktor-Faktor Pengendali Cuaca/Iklim

Cuaca yang senantiasa berubah dari waktu ke waktu yang berlangsung dalam waktu tertentu sedangkan iklim berbeda dari satu tempat ke tempat yang lain atau dari satu daerah ke daerah yang lain. Perbedaan tersebut terutama disebabkan oleh berbagai faktor yang disebut pengendali cuaca/iklim (*weather/climatic control*). Faktor pengendali tersebut dapat berupa salah satu atau lebih unsur cuaca/iklim dan sifat dari permukaan bumi. Beberapa faktor pengendali cuaca /iklim adalah 1) radiasi surya; 2) letak lintang (*latitude*); 3) topografi dan ketinggian tempat (*altitude*); 4) penyebaran lautan (perairan) dan daratan; 5) daerah pusat tekanan tinggi (*high*) dan pusat tekanan rendah (*low*); 6) sirkulasi lautan; 7) gangguan – gangguan atmosfer (Sabaruddin, 2014).

3.2.1 Radiasi Surya

Iklim bumi adalah sistem bertenaga surya. Jadi untuk benar-benar memahami iklim bumi, pemahaman tentang keseimbangan energi bumi sangatlah penting. Perhatikan gambar 1 dibawah ini tentang bagaimana matahari mengirimkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik, termasuk cahaya tampak dan radiasi inframerah. Ketika radiasi matahari mencapai atmosfer bumi, ada tiga kemungkinan interaksi yang terjadi; penyerapan, pemantulan dan transmisi (Dastrup, 2020)



Gambar 3.1. Neraca Keseimbangan Energi dari Matahari yang Mendorong Berbagai Proses Iklim di bumi
(Sumber: *Nasa is licensed as Public Domain*)

Sebagian besar radiasi matahari yang mencapai atmosfer Bumi diserap oleh atmosfer, awan dan permukaan bumi. Radiasi ini memanaskan atmosfer dan permukaan, serta mendorong berbagai proses iklim. Salah satu aspek penting dari radiasi matahari sebagai kontrol iklim adalah distribusinya yang tidak merata dipermukaan bumi. Ini disebabkan oleh bentuk bumi yang bulat dan kemiringan sumbu rotasi bumi (Baihaqi, 2021)

Radiasi matahari yang masuk terkonsentrasi di sekitar khatulistiwa dan merambat ke arah kutub. Akibatnya ada perbedaan suhu dan tekanan atmosfer antara daerah tropis dan daerah kutub. Perbedaan suhu dan tekanan menciptakan sistem sirkulasi atmosfer yang penting. Panas berlebih di daerah tropis menyebabkan udara panas naik, membentuk wilayah rendah tekanan. Udara yang naik kemudian akan bergerak ke kutub dan turun di wilayah kutub membentuk wilayah bertekanan tinggi, yang biasanya dikenal sebagai sirkulasi atmosfer global.

Sirkulasi atmosfer global menciptakan pola angin dipermukaan bumi, seperti aliran pasat dan angin barat. Angin ini mempengaruhi distribusi panas dipermukaan bumi dan memainkan peran penting dalam pengangkutan kelembapan dan energi panas diseluruh planet. Selain itu, radiasi matahari juga mempengaruhi pergerakan air disamudera dan lautan. Radiasi matahari memanaskan permukaan air, menyebabkan perbedaan suhu antara daerah tropis dan daerah kutub disamudera.

Perbedaan suhu ini menciptakan gradien termal yang mendorong aliran *termohalin* disamudera. Aliran ini membawa air hangat ke kutub dan air dingin ke khatulistiwa, membantu mengatur iklim regional dan mempengaruhi pola curah hujan dan arus samudera. Selain itu radiasi matahari juga mempengaruhi siklus hidrologi dibumi. Panas matahari memanaskan air dipermukaan dan menyebabkan evaporasi. Di mana uap air terbentuk kemudian mengalami kondensasi membentuk awan dan presipitasi, seperti hujan, salju atau hujan es. Siklus hidrologi ini memiliki peran penting dalam mempengaruhi pola curah hujan, distribusi air dan keberlangsungan ekosistem diberbagai wilayah.

Perbedaan musim juga dipengaruhi oleh radiasi matahari. Perubahan dalam jumlah radiasi matahari yang diterima dipermukaan bumi menyebabkan perubahan suhu dan iklim. Ketika salah satu belahan bumi mendapatkan radiasi matahari yang lebih intens maka, wilayah tersebut akan mengalami musim panas. Sebaliknya, jika belahan bumi lainnya menjauh dari matahari dan menerima radiasi matahari yang lebih sedikit, maka wilayah tersebut akan mengalami musim dingin.

Dalam jangka waktu yang sangat panjang, radiasi matahari juga berperan dalam bentuk perubahan iklim secara keseluruhan. Meskipun perubahan radiasi matahari tersebut secara langsung tidak signifikan dalam skala waktu pendek, perubahan dalam aktivitas matahari dapat mempengaruhi iklim bumi dalam skala waktu yang lebih panjang, seperti dalam siklus *Milankovith*.

Siklus *Milankovith* adalah perubahan periodik dalam orbit bumi yang mempengaruhi jumlah radiasi matahari yang diterima dipermukaan bumi. Perubahan ini termasuk perubahan eksentrisitas orbit, kemiringan sumbu rotasi bumi dan perubahan

presesi. Siklus ini berlangsung dalam skala ribuan hingga puluhan ribu tahun dan memiliki dampak pada distribusi radiasi matahari dipermukaan bumi sehingga mempengaruhi iklim global.

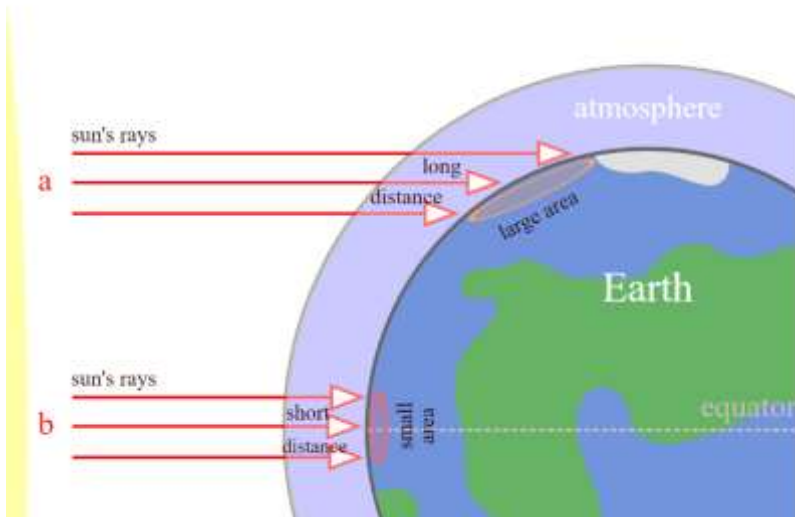
Meskipun radiasi matahari merupakan kontrol iklim yang penting, perlu diingat bahwa perubahan dalam aktivitas matahari bukanlah faktor utama dibalik perubahan iklim saat ini.

Penelitian ilmiah telah menunjukkan bahwa perubahan iklim dalam konsentrasi gas rumah kaca akibat aktivitas manusia seperti, peningkatan emisi CO₂ adalah faktor yang paling dominan dalam perubahan iklim saat ini. Secara keseluruhan radiasi matahari merupakan kontrol iklim utama yang mempengaruhi pergerakan atmosfer, sirkulasi samudera, siklus hidrologi, musim dan perubahan iklim dalam jangka panjang.

3.2.2 Letak Lintang (*Latitude*)

Pengendali utama yang mempengaruhi iklim suatu wilayah adalah garis lintang, karena garis lintang yang berbeda menerima jumlah radiasi matahari yang berbeda pula. Tergantung pada posisi bumi dalam revolusi mengelilingi matahari, wilayah antara 23,5⁰ Utara dan Selatan menerima radiasi paling banyak.

Daerah kutub menerima radiasi matahari paling sedikit karena kelengkungan bumi. Malam berlansung enam bulan selama musim dingin. Bahkan saat musim panas, matahari tidak pernah terbit tinggi dilangit. Sinar matahari menyaring lapisan atmosfer yang tebal, sehingga intensitas sinar matahari menjadi berkurang. Albedo yang tinggi, karena es dan salju memantulkan sebagian besar cahaya matahari. Gambar 3.2 di bawah ini adalah perbedaan saat sinar matahari menyinari garis khatulistiwa.



Gambar 3.2. Perbedaan Penerimaan Radiasi Matahari karena perbedaan Lintang Bumi

(Sumber: "Oblique Rays" oleh Peter Halasz dilisensikan di bawah lisensi Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.5 Generic.)

Fenomena iklim seperti iklim tropis, iklim subtropis, iklim sedang dan iklim kutub terjadi karena adanya variasi dalam sinar matahari yang diterima berdasarkan lokasi garis lintang. Posisi lintang bumi mempengaruhi jumlah sinar matahari yang diterima dipermukaan bumi. Daerah yang dekat dengan khatulistiwa menerima sinar matahari secara lebih langsung sepanjang tahun, sehingga cenderung memiliki iklim tropis atau subtropis.

Di daerah tropis, sinar matahari yang kuat dan konstan menyebabkan suhu yang tinggi dan kelembapan yang tinggi, serta curah hujan yang melimpah. Daerah sekitar khatulistiwa cenderung terkena sinar matahari sepanjang tahun karena sudut yang lebih rendah. Hal tersebut yang menyebabkan perbedaan musim yang lebih jelas dan perbedaan antara musim hujan dan musim kemarau. Selain itu daerah dekat khatulistiwa juga cenderung mengalami iklim subtropis dengan karakteristik musim kering dan musim hujan yang jelas.

Ketika kita bergerak ke wilayah lintang lebih tinggi, misalnya daerah sedang dan kutub, sinar matahari mengenai permukaan bumi dengan sudut yang lebih rendah sepanjang tahun. Akibatnya suhu rata-rata tahunan menjadi rendah dan variasi suhu antara musim panas dan musim dingin menjadi lebih jelas. Di daerah sedang, kita akan menemukan iklim sedang yang ditandai oleh empat musim yang berbeda antara lain; musim panas yang hangat, musim gugur yang sejuk, musim dingin yang dingin dan musim semi yang nyaman.

Saat kita mendekati daerah kutub, sinar matahari yang diterima makin sedikit dan sudut datangnya semakin rendah. Hal tersebut menyebabkan suhu sangat rendah dan wilayah kutub memiliki iklim kutub yang ekstrim dengan musim dingin yang sangat dingin dan musim panas yang pendek dan sejuk.

Posisi lintang bumi juga mempengaruhi distribusi curah hujan. Daerah lintang rendah dan dekat khatulistiwa, kondisi akan lembab karena sinar matahari yang kuat menguapkan lebih banyak air dari permukaan laut dan menyebabkan hujan lebih sering. Sedangkan daerah lintang tinggi, jauh dari khatulistiwa (kutub), curah hujannya lebih sedikit karena sinar matahari yang lemah menyebabkan penguapan lebih rendah.

Interaksi antara posisi lintang bumi dengan sirkulasi atmosfer juga mempengaruhi pola cuaca dan iklim diseluruh planet. Misalnya didaerah lintang rendah, angin musim timur atau barat laut (*trade wind*) dominan, sementara dilintang sedang dan tinggi, angin barat (*westerlies*) menjadi lebih dominan.

Secara keseluruhan posisi lintang bumi mempengaruhi iklim melalui variasi sinar matahari yang diterima diberbagai wilayah. Perbedaan dalam sudut datangnya sinar matahari menghasilkan perbedaan suhu, musim dan pola curah hujan diseluruh wilayah.

3.2.3 Topografi dan Ketinggian Tempat (*Altitude*)

Ketinggian tempat diatas permukaan laut mudah berubah antara tempat pada jarak pendek faktor ini berpengaruh terhadap suhu udara. Penurunan suhu udara berhubungan erat dengan ketinggian tempat. Laju penurunan suhu udara terhadap ketinggian tempat atau *lapse rate* suhu rata-rata sedunia adalah $dt/dz = -$

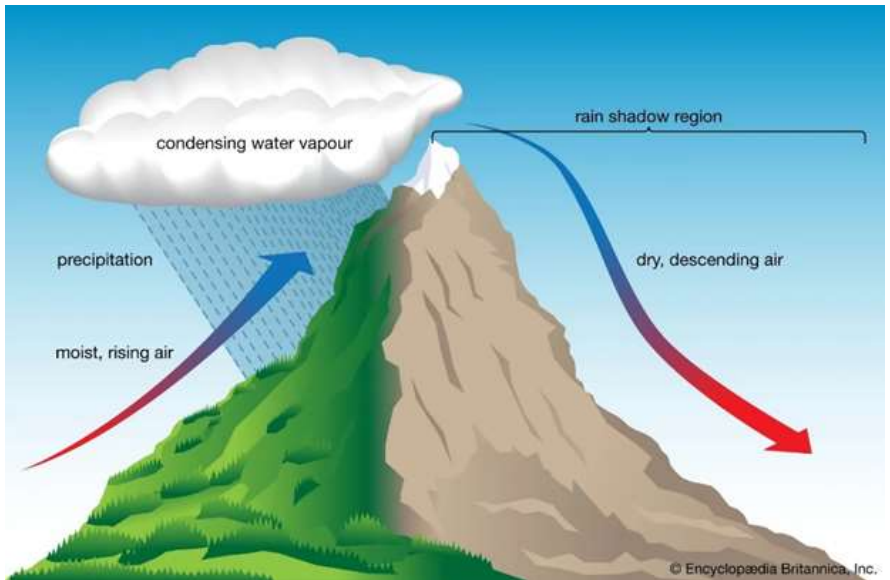
6,5°C/100 m dan rata-rata diindonesia $dt/dz = -6,1^\circ\text{C}/1000 \text{ m}$. Berdasarkan Braak (1929) rata-rata suhu pantai (t_{z0}) adalah 26,3°C maka setiap tempat dihitung suhu rata-rata tahunannya (t_{z1}) asalkan diketahui ketinggian tempatnya (Z_1 dalam km), dengan persamaan:

$$t_{z1} = \frac{t_{z0} - Z_1}{6,1^\circ\text{C}} \rightarrow t_{z1} = \frac{26,3 - Z_1}{6,1^\circ\text{C}}$$

Perpindahan pusat-pusat tekanan udara tinggi dan rendah semi permanen antara benua dibelahan bumi berbeda seperti contoh antara benua asia dan Australia membangkitkan Gerakan massa udara regional yang berganti arah setiap enam bulan, biasanya disebut aktivitas *Monsoon* atau angin muson. Fakta membuktikan bahwa tipe angin ini telah mengakibatkan pola distribusi air hujan dan musim (hujan dan kemarau) di sebagian besar kepulauan Indonesia. Selanjutnya juga telah mengakibatkan pola perwilayahan tanaman pangan dan tanaman perkebunan serta pola kegiatan pertanian (Susena and Prabawayudha, 2022).

Suhu udara akan semakin rendah seiring dengan semakin tingginya ketinggian tempat dari permukaan laut. Suhu akan menurun sekitar 0,6°C setiap 100 meter kenaikan ketinggian tempat. Permukaan bumi yang kasar di buktikan dengan adanya daerah yang landai dan tinggi/curam. Berdasarkan variasi kekasaran, permukaan daratan digolongkan menjadi tiga yaitu; 1) dataran tinggi $\geq 700 \text{ m dpl}$; 2) dataran menengah $\pm 400 - 700 \text{ m dpl}$ dan 3) dataran rendah $\leq 400 \text{ m dpl}$.

Topografi juga mempengaruhi iklim melalui penghalang fisik terhadap aliran udara. Ketika angin mengalir melintasi pegunungan, terjadi fenomena yang disebut angin orografis.



Gambar 3.3. Efek topografi memberikan perbedaan ciri iklim pada bagian depan dan belakang pegunungan
(Sumber : <https://www.britannica.com/science/orographic-precipitation>)

Pegunungan memiliki dua pengaruh terhadap iklim wilayah sekitarnya. Yang pertama adalah sesuatu yang disebut efek bayangan hujan, yang membawa iklim hangat dan kering ke sisi bawah pegunungan. Yang kedua adalah kemampuannya untuk memisahkan wilayah pesisir dari wilayah benua lainnya. Karena massa udara yang ada dilautan mungkin akan kesulitan naik ke atas pegunungan, wilayah pesisir akan memiliki iklim lautan, namun wilayah pedalaman disisi bawah akan memiliki iklim kontinental (Dastrup, 2020).

Topografi juga mempengaruhi pola angin dan tekanan atmosfer. Ketika angin mengalir melintasi pegunungan, terjadi pembentukan sel-sel angin lokal. Udara dia atas pegunungan menjadi panas dan naik, menciptakan tekanan rendah, sedangkan dataran rendah terjadi kebalikannya. Perbedaan tekana ini menciptakan gradien tekanan yang menyebabkan angin bergerak dari daerah tekanan tinggi ke daerah tekanan rendah. Pola angin

lokal seperti itu akan mempengaruhi pola cuaca dan iklim wilayah tersebut.

Daerah pegunungan yang tinggi dapat mempengaruhi pola aliran *jet stream*, yang merupakan arus udara yang kuat dan berkelanjutan di atmosfer. Perubahan dalam aliran *jet stream* tersebut dapat mempengaruhi pola cuaca jangka panjang di wilayah yang jauh dari topografi itu sendiri. Secara keseluruhan topografi berperan penting dalam pengendalian iklim bumi melalui penghalang fisik terhadap aliran udara, pembentukan angin orografis, perubahan suhu, pola angin lokal dan pola hujan musiman.

3.2.4 Penyebaran Daratan dan Lautan (Perairan)

Penyebaran daratan dan lautan di bumi memainkan peran penting sebagai faktor pengendali iklim. Penyebaran daratan dan lautan mempengaruhi iklim melalui perbedaan kapasitas panas dan konduktivitas termal. Laut memiliki kapasitas panas yang lebih tinggi daripada daratan, yang berarti lautan dapat menyimpan dan memancarkan energi panas dalam jumlah yang lebih besar. Sebagai hasilnya, wilayah dengan sebagian besar lautan seperti samudera cenderung memiliki suhu yang stabil dan moderat dibandingkan dengan wilayah daratan yang terpapar langsung sinar matahari. Selain itu lautan juga berkontribusi pada pembentukan dan regulasi arus udara. Perbedaan suhu antara daratan dan lautan menciptakan perbedaan tekanan udara yang pada gilirannya menciptakan angin.

Angin yang terbentuk dari lautan ke daratan disebut angin darat, sementara angin yang terbentuk dari daratan ke lautan disebut angin laut. Perbedaan dalam distribusi daratan dan lautan mempengaruhi pola arus udara regional dan global, yang pada gilirannya mempengaruhi pola cuaca dan iklim diseluruh planet.

Distribusi daratan dan lautan juga mempengaruhi pola curah hujan. Daratan cenderung memanaskan lebih cepat daripada lautan saat terkena sinar matahari. Ini menyebabkan udara di atas daratan menjadi lebih hangat dan naik, menciptakan kondisi konvektif yang menghasilkan awan dan hujan. Di sisi lain, lautan cenderung memancarkan panas lebih lambat, sehingga udara di atas lautan cenderung lebih dingin dan membatasi pembentukan awan dan

hujan. Sebagai hasilnya, wilayah dengan sebagian besar daratan cenderung memiliki curah hujan yang lebih tinggi daripada dengan sebagian besar lautan.

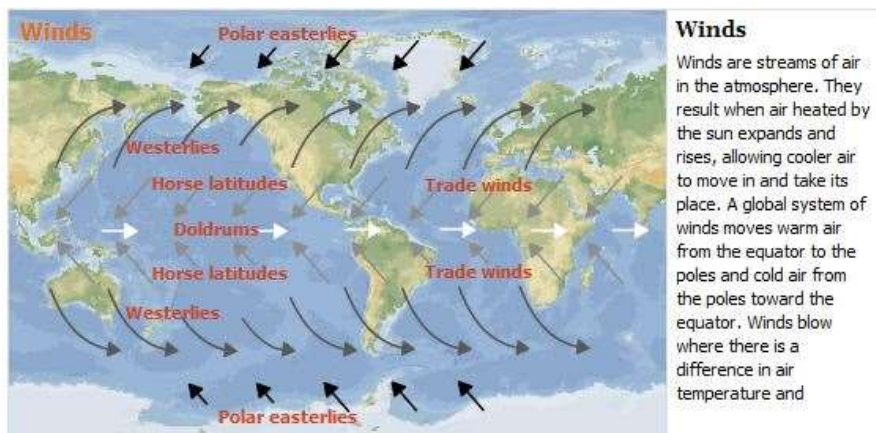
Pembentukan pola angin global juga dipengaruhi oleh distribusi daratan dan lautan. Udara akan naik disekitar khatulistiwa dan akan bergerak ke kutub ketika matahari memanaskan daerah sekitar khatulistiwa secara tidak merata. Hal ini biasanya disebut sel *Hadley* di mana peristiwa tersebut menghasilkan aliran dari daerah sekitar khatulistiwa ke daerah kutub. Namun ketika udara mencapai daerah kutub, udara menjadi dingin dan turun kembali ke permukaan, membentuk sel polar. Hal ini akan mempengaruhi pola sirkulasi atmosfer global dan pola angin.

Distribusi daratan dan lautan juga berperan dalam pengaturan iklim global. Perbedaan suhu permukaan laut antara wilayah samudera Pasifik Timur dan samudera Hindia menyebabkan fenomena seperti EL-Nino dan La-Nina yang mempengaruhi pola cuaca dan iklim diseluruh dunia. Perubahan suhu permukaan laut juga dapat mempengaruhi perubahan arus laut yang memiliki dampak signifikan pada iklim global.

3.2.5 Daerah Pusat Tekanan Tinggi dan Rendah

Pemusatan tekanan udara tinggi dan rendah menyebabkan dinamika angin. Tekanan tinggi menyebabkan angin bergerak menuju daerah bertekanan rendah. Sebagai salah satu unsur cuaca, pemusatan tekanan sangat berperan sebagai pengendali cuaca. Didalam pusat-pusat tekanan tinggi maupun rendah menyebabkan cuaca didaerah tersebut berbeda dengan yang lainnya. Perbedaan tekanan ini dapat dibuktikan dengan adanya pergerakan angin yang relatif cepat. Sehingga dengan adanya pergerakan tersebut, dapat diketahui keadaan cuaca pada saat itu dan prakiraan cuaca untuk hari-hari berikutnya. Prakiraan cuaca ini dapat dilakukan dengan mengukur tekanan udara dan unsur-unsur cuaca lainnya. Selain itu dengan melihat *peta isobar*, yaitu untuk memperkirakan arah gerakan angin suatu daerah. Karena didalam *peta isobar* terdapat informasi besarnya tekanan pada garis-garis yang menghubungkan daerah-daerah yang bertekanan sama.

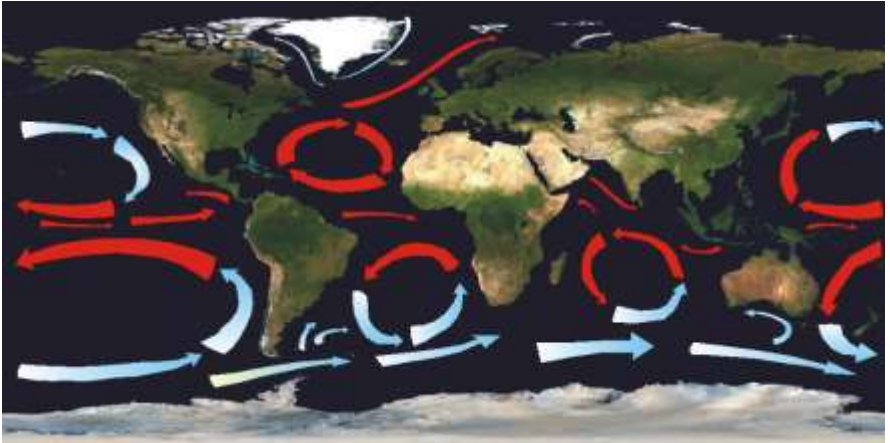
Selanjutnya sebagai pengendali iklim, pemusatan tekanan udara didaerah lintang tertentu menyebabkan angin bergerak dengan arah yang berbeda-beda. Perbedaan arah angin ini juga dipengaruhi oleh gaya *coriolis*. Arah inilah yang selanjutnya mempengaruhi musim suatu wilayah. Musim ini menjadi karakteristik iklim suatu wilayah. Misalnya pemusatan tekanan udara rendah, Indonesia memiliki iklim tropis dengan dua musim yang dicirikan dengan pergerakan angin akibat pemusatan tekanan tersebut. Sama halnya dengan daerah lain yang berakibat iklim dibagi menjadi empat, yaitu; tropis, subtropis, sedang dan kutub/dingin. Arah angin disetiap lintang dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 3.4. Pola Angin Dunia
(Sumber : Encarta Encyclopedia)

3.2.6 Sirkulasi Lautan

Meskipun sejauh ini fokus kita terutama pada atmosfer, lautan juga memainkan peran penting dalam mengurangi ketidakseimbangan radiasi dengan mengangkut panas dari lintang rendah ke lintang tinggi. Lautan juga memainkan peran penting dalam variabilitas iklim dan perubahan iklim, seperti yang akan kita lihat nanti. Ada dua komponen utama sirkulasi laut. Komponen pertama adalah sirkulasi horizontal, yang ditandai dengan pusaran laut yang digerakkan oleh angin.



Gambar 3.5. Arus Pusaran Laut Dunia
(Sumber: <https://commons.wikimedia.org/>)

Sirkulasi laut berperan dalam mengatur suhu permukaan laut. Air laut mampu menyimpan panas dalam jumlah yang besar, sehingga suhu permukaan laut relatif lebih stabil dibandingkan dengan suhu udara. Aliran massa air laut yang terjadi melalui pergerakan samudera dan arus laut membantu dalam penyebaran panas diseluruh planet. Arus laut hangat, seperti Arus *Gulf Stream* disamudera Atlantik, membawa panas dari wilayah tropis ke wilayah lebih kutub. Sebaliknya, arus dingin seperti Arus *Humboldt* dilepas pantai Amerika Selatan membawa air dingin dari kutub ke wilayah tropis. Pola ini mempengaruhi suhu permukaan laut yang pada akhirnya mempengaruhi pola cuaca dan iklim.

Sirkulasi laut juga berperan dalam mempengaruhi pola curah hujan diberbagai wilayah. Aliran massa air laut membawa kelembapan dari satu wilayah ke wilayah lainnya. Ketika massa air laut mengalir melintasi daerah yang lebih dingin, terjadi penguapan yang meningkatkan kelembapan atmosfer.

3.2.7 Komposisi Atmosfer

Troposfer terdiri dari nitrogen (78%), oksigen (21%), argon (kurang dari 1%), dan berbagai gas lainnya. Ada beberapa gas, termasuk ozon dan metana. Ozon terutama ditemukan distratosfer yang menciptakan lapisan ozon. Ozon juga ditemukan didekat

permukaan bumi dari kabut fotokimia, dari emisi kendaraan. Sumber metana yang signifikan mencakup pencernaan makanan dari ternak, pengolahan gas alam, tambang batu bara, dan penggundulan hutan. Karena sumber-sumber ini memiliki lokasi geografis di mana sumber-sumber tersebut muncul, sumber-sumber yang konsisten di permukaan bumi dapat ditemukan.

Gas rumah kaca terdiri dari karbon dioksida, uap air, metana, dan beberapa gas lainnya dalam jumlah yang lebih kecil. Gas-gas ini penting untuk dipantau, dianalisis, dan dipahami oleh para ilmuwan karena kemampuannya dalam memerangkap radiasi di atmosfer bagian bawah. Kekuatan dan intensitas efek rumah kaca akan bergantung pada suhu atmosfer dan jumlah gas rumah kaca yang terkandung di atmosfer.

Istilah “efek rumah kaca” adalah deskripsi yang salah tentang bagaimana energi ditahan di troposfer. Rumah kaca menghangatkan atmosfer di dalamnya dengan mengurangi aliran dan sirkulasi udara, bukan dengan “memerangkap panas”. Meskipun demikian, efek rumah kaca alami di bumi sangat penting untuk mendukung kehidupan. Aktivitas manusia, seperti pembakaran bahan bakar fosil dan penggundulan hutan, telah memperkuat efek rumah kaca alami dan menyebabkan atmosfer bumi memanas dalam waktu yang sangat singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Baihaqi, A. 2021. *Pengendali Cuaca, Perubahan Iklim, dan Ketidakpastian Cuaca*.
- Dastrup, R.A. 2020. *Physical Geography and Natural Disasters*. USA: Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.
- Effendy, S. 2001. *Urgensi Prediksi Cuaca dan Iklim di Bursa Komoditas Unggulan Pertanian*. Institut Pertanian Bogor.
- Sabaruddin, L. 2014. *Agroklimatologi (Aspek-aspek Klimatik untuk Sistem Budidaya Tanaman)*. Bandung: CV Alfabeta.
- Susena, Weri.E.S. and Prabawayudha, E. 2022. *Buku Ajar Klimatologi Pertanian*. Tanjung Pati.
- Trewartha, G.T. and Lyke H. Horn. 1995. *Pengantar Iklim*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

BAB 4

PERAN, TIPE, JENIS, KLASIFIKASI, DAN PENYEBARAN IKLIM

Oleh Mila Sari

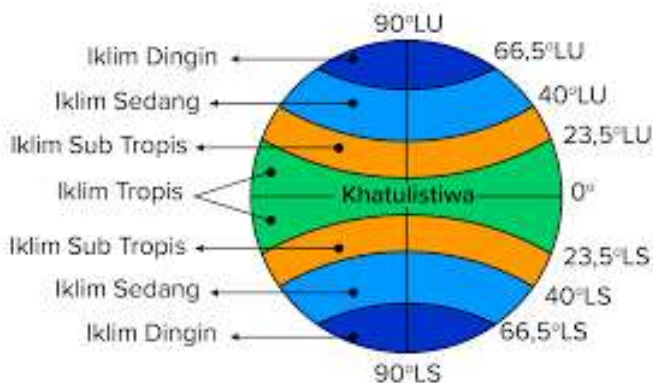
4.1 Peran Iklim

Klasifikasi Tipe Iklim

4.1.1 Iklim Matahari

Iklim Matahari merupakan klasifikasi iklim yang didasarkan oleh panas matahari yang diterima bumi. Menurut Iklim Matahari, iklim di bumi dibagi menjadi 4, yaitu tropis, subtropis, sedang, dan dingin.

Klasifikasi tipe iklim ini merupakan yang paling umum digunakan loh. Ini karena klasifikasi ini merupakan yang paling mudah dikenali apabila dibandingkan dengan klasifikasi lainnya. Coba perhatikan gambar dibawah ini :



<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Froboguru.ruangguru.com%2Fquestion%2Fapa-yang-menjadi-dasar-adanya-klasifikasi-iklim-matahari-QU-ET536ULI&psig=A0vVaw2F80Nu84Imcbu2qSIHwITo&ust=1699066242350000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=2ahUKEwjnt-P6aaCAxVqbmwGHcZvDyEQr4kDegQIARBj>

4.1.2 Iklim Koppen

Iklim Koppen merupakan pengelompokkan iklim berdasarkan pada rata – rata curah hujan dan temperatur. Klasifikasi iklim ini dibagi menjadi 5 tipe, dan masing-masing tipe menggunakan huruf sebagai simbolnya. Berikut adalah klasifikasi iklim Koppen:



Masih bersamaku kan, kawan? Jangan bingung karena ada banyak hurufnya ya, hehe. Klasifikasi iklim Koppen ini merupakan klasifikasi yang paling detail loh, gais! Bahkan sebenarnya dari masing-masing iklim yang 2 huruf, masih ada pembagiannya lagi menjadi 3 huruf. Misalnya, Cs bisa dibagi lagi menjadi 2 loh, yaitu Csa dan Csb. Tapi untuk saat ini kamu pahami sampai ke pembagian 2 hurufnya aja ya, hehe.

4.1.3 Iklim Junghuhn

Iklim Junghuhn merupakan klasifikasi iklim berdasarkan ketinggian dan vegetasi di kawasan tertentu. Pada klasifikasi ini, iklim dibagi menjadi 4 macam, yaitu:



Kalo kamu perhatiin, semua tanaman yang disebutkan di atas merupakan tanaman budi daya. Itu karena iklim Junghuhn ini lebih ditujukan untuk kegunaan agrikultur nih, gais! Makanya kamu jarang banget dengar istilah iklim ini kalo kamu gak beraktivitas di sekitar kegiatan pertanian dan perkebunan.

4.1.4 Iklim Schmidt-Ferguson

Iklim Schmidt-Ferguson merupakan klasifikasi iklim berdasarkan curah hujan. Pada klasifikasi ini, iklim dibagi menjadi 8 tipe, yaitu:



Untuk mencari Q rumus yang digunakan adalah **rata-rata bulan kering/rata-rata bulan basah x 100**. Cara untuk mengetahui sebuah bulan disebut bulan basah atau kering adalah melalui curah hujan di bulan tersebut ya, gais. Kalo menurut Schmidt-Ferguson kriterianya adalah sebagai berikut:

1. Bulan Basah = Curah hujan $>100\text{mm}$
2. Bulan Lembap = Curah hujan antara $60 - 100\text{mm}$
3. Bulan Kering = Curah hujan $<60\text{mm}$

4.1.5 Iklim Oldeman

Terakhir ada iklim Oldeman, yaitu klasifikasi iklim yang menggunakan curah hujan juga sebagai acuannya. Perbedaannya dengan iklim Schmidt-Ferguson adalah pada kriteria bulan basah dan cara menghitungnya. Berikut adalah klasifikasi iklim Oldeman:



Pada iklim Oldeman, untuk menentukan tipe iklimnya kamu gak perlu menggunakan rumus seperti iklim Schmidt-Ferguson, ya. Kamu hanya perlu menentukan bulan basah dalam satu tahun berdasarkan curah hujannya. Berikut adalah kriteria bulan basah pada iklim Oldeman:

1. Bulan basah = curah hujan >200mm
2. Bulan lembap = curah hujan 100 - 200mm
3. Bulan kering = curah hujan <100mm

Daya adaptasi terhadap perubahan iklim adalah kemampuan suatu sistem untuk menyesuaikan diri dari perubahan iklim (termasuk di dalamnya variabilitas iklim dan variabilitas ekstrem) dengan cara mengurangi kerusakan yang ditimbulkan, mengambil manfaat atau mengatasi perubahan dengan segala

akibatnya. Menurut Murdiyarso (2001), adaptasi terhadap perubahan iklim adalah salah satu cara penyesuaian yang dilakukan secara spontan maupun terencana untuk memberikan reaksi terhadap perubahan iklim. Dengan demikian adaptasi terhadap perubahan iklim merupakan strategi yang diperlukan pada semua skala untuk meringankan usaha mitigasi dampak.

Adaptasi terhadap perubahan iklim sangat potensial untuk mengurangi dampak perubahan iklim dan meningkatkan dampak manfaat, sehingga tidak ada korban. Pengalaman menunjukkan bahwa banyak strategi adaptasi dapat memberikan manfaat baik dalam penyelesaian jangka pendek dan maupun jangka panjang, namun masih ada keterbatasan dalam implementasi dan keefektifannya. Hal ini disebabkan daya adaptasi yang berbeda-beda berdasarkan daerah, negara, maupun kelompok sosial-ekonomi.

Negara dengan sumberdaya ekonomi terbatas, tingkat teknologi rendah, informasi dan keahlian rendah, infrastruktur buruk, institusi lemah, ketidakadilan kekuasaan, kapasitas sumber daya terbatas; adalah memiliki kemampuan adaptasi yang lemah dan rentan terhadap perubahan iklim. Berlaku hal yang sebaliknya bagi Negara dengan sumberdaya ekonomi tinggi, tingkat teknologi tinggi, informasi dan keahlian tinggi, infrastruktur baik, institusi kuat, berkeadilan dalam kekuasaan, kapasitas sumber daya melimpah.

4.2 Pengertian Mitigasi

Mitigasi; adalah usaha menekan penyebab perubahan iklim, seperti gas rumah kaca dan lainnya agar resiko terjadinya perubahan iklim dapat diminimalisir atau dicegah. Upaya mitigasi dalam bidang energi di Indonesia, misalnya dapat dilakukan dengan cara melakukan efisiensi dan konservasi energi, mengoptimalkan penggunaan energi terbarukan, seperti biofuels, energi matahari, energi angin dan energi panas bumi, efisiensi penggunaan energi minyak bumi melalui pengurangan subsidi dan mengoptimalkan energi pengganti minyak bumi, dan penggunaan energi Nuklir.

Contoh upaya mitigasi yang lain dalam upaya mengurangi dampak perubahan iklim terhadap sumber daya air antara lain; Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) dengan penaburan material

semai (seeding agent) berupa powder atau flare, usaha rehabilitasi waduk dan embung, alokasi air melalui operasi waduk pola kering, pembangunan jaringan irigasi, penghijauan lahan kritis dan sosialisasi gerakan hemat air, peningkatan kehandalan sumber air baku, peningkatan pembangunan Instalasi Pengolahan Air (IPA), pengembangan teknologi pengolahan air tepat guna, pembangunan dan rehabilitasi waduk dan embung serta pembangunan jaringan irigasi.

4.3 Konsep adaptasi dan Mitigasi

Adaptasi merupakan segala upaya untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan yang mengarah ada peningkatan daya tahan terhadap perubahan lingkungan. Tujuannya adalah untuk memperkecil risiko perubahan lingkungan yang terjadi. Beberapa tipe adaptasi bencana yang dilakukan, antara lain :

1. Adaptasi pertanian, hal ini dilakukan dengan mempersiapkan varietas tanaman yang cocok ditanam saat musim hujan, kemarau, dan iklim ekstrim.
2. Adaptasi ketersediaan air, hal ini dilakukan dengan cara mengelola sumber air dan perbaikan infrastruktur.
3. Adaptasi kesehatan, hal ini dilakukan dengan menambah unit dan fasilitas kesehatan.
4. Adaptasi wilayah perkotaan, hal ini dilakukan dengan penambahan area penghijauan atau biopori untuk membantu penyerapan air hujan.

Mitigasi merupakan segala upata untuk mengurangi risiko bencana. Pasalnya, kita semua tahu dampak lingkungan merupakan sesuatu yang tidak dapat dihindari dan merupakan bagian dari gejala alam. Jika tidak dilakukan mitigasi perubahan lingkungan, maka bisa saja bencana alam terjadi. Adapun beberapa kegiatan mitigasi bencana alam yang bisa dilakukan antara lain :

1. Membuat peta wilayah rawan bencana
2. Memasang rambu-rambu peringatan bencana
3. Membangun bangunan tahan gempa
4. Melakukan reboisasi

5. Memberikan penyuluhan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terutama di wilayah rawan bencana.

Lingkungan hidup (*environment*) dapat diartikan sebagai kondisi atau komponen fisik-kimia (abiotik) dan biotik yang melingkupi organisme (Allaby, 1994; Odum, 1993; Tivy and O'Here, 1985). Batasan lingkungan hidup ini memberikan gambaran adanya proses berupa interaksi antar komponen lingkungan hidup yang dijalankan oleh dan atau melalui pemanfaatan energi (daya) dan dipengaruhi oleh ruang, waktu, situasi dan keanekaan (diversitas) dari komponen yang berinteraksi (Begon, Harper dan Towsend 1986; Boughey, 1975; Odum, 1993; Siahaan, 2004).

Keseimbangan dan harmonisasi dalam lingkungan hidup terganggu akibat tingkah laku manusia dalam berinteraksi dengan lingkungan yang cenderung mengabaikan batas-batas keseimbangan yang dimiliki oleh lingkungan hidup (Boughey, 1975). Pengabaian terhadap kapasitas daya dukung alamiah lingkungan dalam mentolerir akibat-akibat yang ditimbulkan oleh kegiatan ekonomi manusia terhadap lingkungan dikarenakan adanya motivasi berupa peningkatan kesejahteraan umat manusia yang dilandasi pada pertumbuhan ekonomi yang didukung oleh pandangan atau paradigma kornopian teknosetrisme (Turner et al., 1994;30). Melalui paradigma pembangunan ini, manusia dianggap mampu “menaklukan” alam dengan pengembangan teknologi yang terkait dengan pemanfaatan sumberdaya alam dan lingkungan bagi peningkatan pertumbuhan ekonomi dalam kesejahteraan manusia (Turner et al., 1994;17).

Pandangan tersebut mulai tersanggah semenjak disadari bahwa pertumbuhan ekonomi tanpa disertai dengan pengendalian pertumbuhan populasi manusia telah menimbulkan fenomena global yang merugikan dan saling terkait (Ismawan, 1999; Pearce and Warford, 1993). Fenomena global tersebut adalah “perubahan iklim (*climate change*). Meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi menyebabkan terjadinya perubahan pada unsur-unsur iklim lainnya, seperti naiknya suhu air laut, meningkatnya penguapan di darat, serta berubahnya pola curah hujan dan tekanan udara yang pada akhirnya merubah pola iklim dunia. Peristiwa ini kemudian

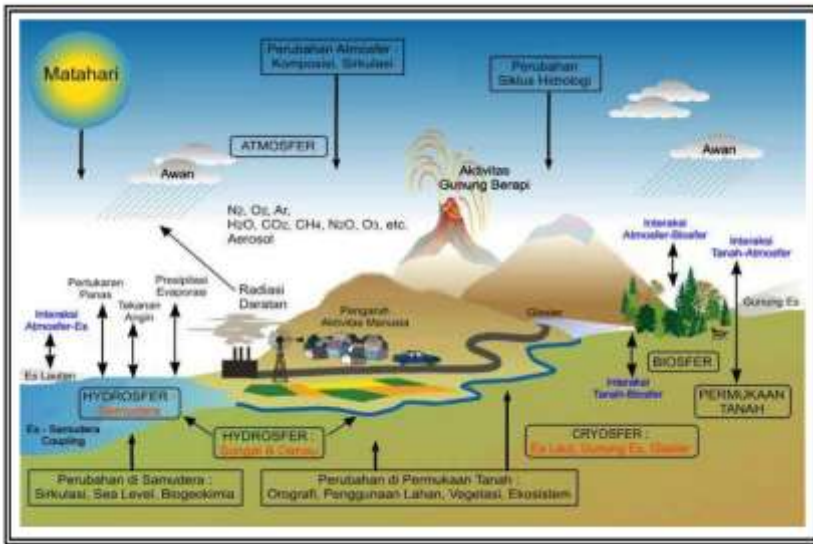
dikenal dengan Perubahan Iklim. Perubahan iklim sendiri merupakan sebuah fenomena global karena penyebabnya bersifat global, disebabkan oleh aktivitas manusia di seluruh dunia. Selain itu, dampaknya juga bersifat global, dirasakan oleh seluruh makhluk hidup di berbagai belahan dunia.

Oleh karenanya perubahan iklim yang ditandai dengan berubahnya temperatur, presipitasi dan kenaikan air laut yang selanjutnya berpengaruh terhadap kesehatan manusia, pertanian, hutan, area pesisir, sumber daya air, spesies dan area alami, permintaan energi, transportasi dan lain-lain menghendaki solusi yang bersifat global, namun dalam bentuk aksi lokal di seluruh dunia. Dengan demikian masih sangat dibutuhkan ilmu pengetahuan yang berkenaan dengan upaya-upaya adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim.

4.4 Perubahan Iklim

Iklim adalah rata-rata kondisi cuaca yang merupakan interaksi yang kompleks antara proses-proses fisik, kimia, biologi yang mencerminkan interaksi antara geosfer, biosfer yang terjadi pada atmosfer bumi. Karena itu iklim suatu tempat atau wilayah merupakan deskripsi statistik tentang kondisi atmosfer dalam jangka waktu yang panjang sehingga menggambarkan rata-rata variabel cuaca (Murdiyarso, 1999).

Menurut laporan IPCC (2001), sistem iklim merupakan sistem yang saling berinteraksi dari kelima komponen sistem yang terdapat di planet bumi. Sistem iklim yang terjadi di planet bumi merupakan sistem yang kompleks yang melibatkan interaksi dari atmosphere dengan berbagai komponen sistem iklim yang lain. Komponen sistem iklim yang lain terdiri dari lima komponen utama yaitu atmosphere, hidrosfer, Kriosfer, permukaan tanah dan biosfer (Gambar 4.1).



Gambar 4.1. Komponen dan Interaksi Sistem Iklim Bumi

Cuaca berubah sepanjang waktu, iklim biasanya akan sama berabad-abad jika tidak diganggu. Tetapi, bumi tidak dibiarkan sendirian. Manusia melakukan aktivitas yang signifikan sehingga merubah bumi dan iklimnya. Perubahan iklim disebabkan oleh efek gas rumah kaca (GRK), yaitu gas-gas hasil emisi yang terakumulasi di stratosfer.

Konsepsi perubahan iklim yang digunakan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) merujuk pada “setiap perubahan dalam iklim pada suatu selang waktu tertentu, apakah diakibatkan oleh variasi alamiah atau karena aktivitas manusia” (*anthropogenic*) (IPCC, 2001). Perubahan iklim global saat ini jelas akibat meningkatnya suhu rata-rata udara dan laut, mencairnya salju dan es, serta meningkatnya permukaan air laut (IPCC, 2007).

Bukti-bukti baru yang kuat menyatakan bahwa mayoritas pemanasan bumi yang diobservasi selama 50 tahun terakhir disebabkan oleh aktifitas manusia (IPCC, 2007). Dalam *The Fourth Assessment to IPCC* yang dijadwalkan terbit Februari 2007, dasar ilmiah yang menyatakan aktivitas manusia sebagai penyebab semakin kuat (Pachauri, dalam Hanley, 2006).

Dalam buku Climate Change 2001: *The Scientific Basic* (IPCC, 2001), IPCC menyatakan hasil-hasil observasi yang semakin jelas memberikan suatu kumpulan gambaran akan adanya pemanasan dunia dan perubahan dalam sistem iklim. Pertama, temperatur permukaan rata-rata (rata-rata temperatur udara dan permukaan air) telah meningkat sejak tahun 1861. Sepanjang abad XX, peningkatan suhu adalah $0,6 \pm 0,2$ oC, dimana peningkatan terutama terjadi antara 1910-1945 dan 1976-2000, dimana dekade yang paling panas adalah 1990-2000 dan tahun terpanas adalah 1998.

4.5 Dampak Perubahan Iklim

Perubahan temperature regional yang telah memberikan dampak nyata secara fisik dan biologis, kenaikan temperature rata – rata 2001 – 2005 adalah $0,760^{\circ}\text{C}$ dan muka air laut global telah meningkat dengan laju rata – rata 1,8 mm/tahun dalam rentang waktu 40 tahun terakhir. Kenaikan total muka air laut yang berhasil dicatat pada awal abad 20 diperkirakan sebesar 17 cm. Laporan tersebut juga menyatakan bahwa kehiatan social-ekonomi manusia (antropogenik) memberikan kontribusi yang besar dalam peningkatan temperature tersebut, sehingga tanpa upaya yang terstruktur dan berkesinambungan, dampak yang akan terjadi pada masa mendatang akan menjadi sangat serius.

Perubahan iklim dapat dikelompokkan menjadi 4 (empat) fenomena) berikut :

1. Meningkatkan temperature udara
2. Meningkatkan curah hujan
3. Kenaikan muka air laut
4. Meningkatnya intensitas curah kejadian ekstrim yang diantaranya adalah
 - a. Meningkatnya intensitas curah hujan pada musim basah
 - b. Meningkatkan frekuensi dan intensitas banjir
 - c. Berkurangnya curah hujan dan debit sungai pada musim kemarau serta bertambah panjangnya periode musim kering
 - d. Meningkatnya temperature yang diikuti dengan gelombang panas
 - e. Menurunnya kualitas air pada musim kemarau

- f. Meningkatnya intensitas dan frekuensi badai
- g. Meningkatkan tinggi gelombang dan abrasi pantai
- h. Meningkatnya intrusi air laut

Secara garis besar, fenomena diatas telah dan akan memberikan dampak pada masyarakat (termasuk kesehatan) dan permukiman (termasuk infrastruktur), kegiatan social ekonomi (pertanian, perkebunan, kehutanan, pariwisata) dan ekosistem (lingkungan : tanah dan air).

Berkaitan dengan perubahan iklim maka upaya – upaya pembangunan yang dilakukan dapat dibedakan menjadi 2 (dua) kelompok besar, yakni upaya mitigasi dan upaya adaptasi :

1. Upaya mitigasi bertujuan untuk meningkatkan kapasitas penyerapan karbon dan pengurangan emisi gas – gas rumah kaca ke atmosfir yang berpotensi menipiskan lapisan ozon Untuk itu, upaya mitigasi difokuskan untuk 2 sektor utama yakni : 1. sektor kehutanan sebagai sumber mekanisme carbon sink (pemeliharaan hutan berkelanjutan pencegahan deforestasi dan degradasi hutan, pencegahan illegal logging, pencegahan kebakaran hutan serta rehabilitasi hutan dan lahan), 2. Sector energi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca yang berasal dari pembangkitan energi, transportasi, industry, perkotaan dan lahan gambut.
2. Upaya adaptasi merupakan tindakan penyesuaian system alam dan social untuk menghadapi dampak negative dari perubahan iklim. Namun upaya tersebut akan sulit memberikan manfaat secara efektif apabila laju perubahan iklim melebihi kemampuan beradaptasi.

Upaya ini bertujuan untuk : 1. Mengurangi kerentanan social – ekonomi dan lingkungan yang bersumber dari perubahan iklim, 2. Meningkatkan daya tahan masyarakat dan ekosistem, sekaligus 3. Meningkatkan kesejahteraan masyarakat local.

DAFTAR PUSTAKA

- Amato, A.D., M. Ruth, P. Kirshen and J. Horwitz. 2005: Regional energy demand responses to climate change: Methodology and application to the Commonwealth of Massachusetts. *Climatic Change*, 71. 175–201.
- Anonim, 2007. Laporan Diskusi Interaktif tentang Perubahan Iklim untuk Jurnalis. CIFOR & WWF Indonesia. Jakarta.
- Cheng, G., 2005: Permafrost Studies in the Qinghai-Tibet Plateau for Road Construction. *Journal of Cold Regions Engineering*. Volume 19, Number 1, pages 19-29.
- Departemen Kelautan dan Perikanan. 2007. Survey Toponimi Pulau-Pulau Kecil Indonesia. Direktorat Pulau-Pulau Kecil, Direktorat Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. DKP, Jakarta.
- Efek Rumah Kaca, Available on line at : <http://ms.wikipedia.org/wiki/efekrumahkaca>, di akses tanggal 25 Nopember 2007 jam 9.00 WIB.
- Hanley, C.J. New Warming Report May Shift Debate. *Greenhouse Gas Study Expands Argument for Human Causes Being Behind the Phenomenon*. Associated Press. Contra Costa Times.com. Diakses 22 November 2006.
- Hyman R., 2007: Impact of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure. Chapter I: Why Study Climate Change Impacts on Transportation., Draft 10/5/2007, page I-1.
- Huang, Y. J., 2006: The Impact of Climate Change on the Energy Use of the U.S. Residential and Commercial Building Sectors, LBNL-60754, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley CA.
- IPCC 2007: Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B.Metz, O. R. Davison, P. R. Bosch, R. Dave, and L. A. Meyer (eds)], Cambridge: Cambridge University Press. I
- PCC. 2007. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II IPCC, Cambridge University Press.

- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by Alley, R. et al. IPCC Secretariat. Switzerland.
- IUCN. 2006. The Future of Sustainability: Re-thinking Environment and Development in the Twenty-first Century. Report of the IUCN Renowned Thinkers Meeting, 29- 31 January 2006. Downloadable at www.iucn.org 1 Oktober 2007.
- June, T. Perubahan Iklim dan Lingkungan. Bahan Kuliah Perubahan Lingkungan Global (PSL 706). Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor. 2007.
- Mansur, E.T., R. Mendelsohn, and W. Morrison, 2005: A discrete-continuous choice model of climate change impacts on energy, SSRN Yale SOM Working Paper No. ES-43 (abstract number 738544), Submitted to Journal of Environmental Economics and Management.
- Murdiyarso, D. Tanpa Tahun. Strategi Nasional Antisipasi Dampak Perubahan Iklim dalam www.perpustakaanmenlh.or.id. Dikunjungi tanggal 22 November 2007.
- Orbanus N., Global Warming dan World Ocean Conference, Available on line at : <http://www.lestari-m3.org>, di akses tanggal 25 Nopember 2007 jam 9.00 WIB.
- Scott, M. J., J.A. Dirks, and K.A. Cort. 2005: The adaptive value of energy efficiency programs in a warmer world: Building energy efficiency offsets effects of climate change, PNNL-SA-45118. In: Reducing Uncertainty Through Evaluation, Proceedings of the 2005 International Energy Program Evaluation Conference, August 17-19, 2005, Brooklyn, New York.
- Sari, A.P., Sari, R.E, Butar Butar. R., 2007, Indonesia dan Perubahan Iklim: Status Terkini dan Kebijakannya. Peace, DFID Indonesia
- Sari, A.P., M.Maulidya, R.N. Butarbutar, R.E. Sari dan W.Rusmantoro. 2007. Executive Summary Indonesia and Climate Change working Paper on Current Status and Policies. DFID-World Bank. www.peace.co.id.

- Sjaifuddin. 2005. Konvensi Perubahan Iklim (UNFCCC). Dalam Perubahan Lingkungan Global. Sutamihardja, R.T.M. dan Murniwati, T. (Editor). Ersas, Jakarta.
- UNDP. 2007. Human Development Report 2007/2088: Climate Change and Development. UNDP. New York.
- Hartono, T.T., 2007, Membangun Komitmen Global untuk Sektor Kelautan dan Perikanan Indonesia, artikel opini.
- Mulyanto.H.R. 2007. Ilmu Lingkungan. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Sugandhy.A dan Hakim.R. 2007. Prinsip Dasar Kebijakan Pembangunan Berkelanjutan Berwawasan Lingkungan. Bumi Aksara.Jakarta.
- Susanta.G. dan Sutjahjo.H. 2007. Akankah Indonesia Tenggelam Oleh Pemanasan Global. Penebar Swadaya. Jakarta.

BAB 5

PERUBAHAN IKLIM TERHADAP PERTUMBUHAN MAKHLUK HIDUP

Oleh Umi Novita Fitriah

5.1 Perubahan Iklim

Perubahan iklim atau yang lebih dikenal dengan istilah “*climate change*” merupakan permasalahan global yang pada dasarnya akan mempengaruhi keanekaragaman hayati. Studi yang dilakukan oleh *The Royal Society* dan *US National Academy of Science* menunjukkan bahwa masalah perubahan iklim telah ada sejak awal abad ke-20. Peningkatan suhu hingga 0,8 derajat Celcius atau 14 derajat Fahrenheit, bersama dengan peningkatan suhu lautan yang lebih hangat, pencairan es di kutub, dan cuaca ekstrim adalah beberapa indikator penting dari masalah perubahan iklim (Wolff, et.al, 2014).

Iklim menurut Webster (1971) merupakan kondisi cuaca disuatu tempat selama beberapa tahun. Cuaca mengacu pada perubahan variabel lokal dan jangka pendek seperti suhu, curah hujan, kecepatan angin, dan kelembapan. Perubahan pola iklim yang terjadi dari pertengahan abad ke-20 hingga akhir abad ke-20 dikenal sebagai perubahan iklim. Hal ini terkait dengan meningkatnya kadar karbondioksida (CO_2) di atmosfer. Selain itu ada gas-gas lain yang berkontribusi pada pemanasan global yang dikenal sebagai efek rumah kaca ke atmosfer. Gas-gas ini seperti uap air (H_2O), Chloro Fluoro Carbon (CFC), Nitrous Oxide (N_2O), Metana (CH_4), Ozon (O_3). Gas tersebut menyebabkan panas matahari tertahan dari bumi dan kembali ke bumi dan mengakibatkan efek rumah kaca. Jadi, suhu di atmosfer meningkat secara signifikan (Ainurohmah & Sudarti, 2022). Selama 15 tahun (1990-2005), suhu global telah meningkat sekitar 0,15°C–0,3°C. *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) memperkirakan kenaikan suhu 1,8–4°C menjelang tahun 2100. Konsentrasi karbondioksida (CO_2)

menyebabkan kenaikan suhu, aspek fungsi pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat terpengaruh sesuai jenis tanaman dan geografis (Chakrabarti *et al.*, 2013).

Indonesia adalah salah satu negara yang terkena dampak perubahan iklim, baik karena aktivitas manusia maupun alam. Gaya hidup dan aktivitas manusia yang serba instan dalam menggunakan teknologi adalah hal yang paling mendominasi dalam hal mempengaruhi perubahan lingkungan pada akhir abad ke-20. Aktivitas manusia berdampak merusak lingkungan dan meningkatkan suhu bumi (Webster, 1971; Ainurohmah & Sudarti, 2022). Selain itu, penggunaan teknologi juga tidak terlepas dari pemanfaatan energi hasil bumi. Beberapa contoh hasil bumi yang digunakan sebagai bahan baku dan bahan bakar adalah seperti minyak bumi, tembaga, gas, batu bara, nikel, aluminium dan lain sebagainya. Penggunaan teknologi yang berlebihan dapat menyebabkan hasil bumi tersebut semakin langka dan merusak lingkungan. Ditambah lagi penggunaan kendaraan bermotor, mobil, asap pabrik juga meningkatkan emisi gas karbon. Emisi gas ini menimbulkan pencemaran sekaligus pemanasan global.

Pemanasan global dan perubahan iklim berhubungan satu sama lain. Dua kata ini mengacu pada peningkatan suhu atau temperatur. Suhu bumi meningkat karena gas rumah kaca yang terjebak dan tidak dapat dikeluarkan. Hal ini merupakan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim. Mengendarai kendaraan bermotor adalah salah satu aktivitas manusia yang menghasilkan gas rumah kaca. Emisi gas seperti dari kendaraan yang mengeluarkan gas karbondioksida (CO_2), asap industri yang mengeluarkan gas metana (CH_4), dan penggunaan pendingin ruangan, kulkas, dan parfum yang mengeluarkan gas chlorofluorocarbon (CFC). Jika aktivitas ini terus meningkat, pemanasan global juga akan meningkat. Hal ini menyebabkan suhu bumi meningkat.

Perubahan iklim memberikan dampak dalam segala aspek baik lingkungan, ekonomi, kesehatan, manusia dan makhluk hidup lainnya. Julismin (2013) dalam studinya menemukan bahwa perubahan iklim memberikan dampak kenaikan suhu udara di wilayah Indonesia. Meskipun lebih lambat di daerah subtropis,

perubahan iklim berdampak pada peningkatan suhu udara di beberapa wilayah Indonesia. Perubahan pola hujan ini mengubah awal dan panjang musim penghujan. Curah hujan turun di wilayah utara Indonesia, sedangkan curah hujan meningkat di wilayah selatan.

Selain itu, perubahan iklim juga mempengaruhi kehidupan, terutama manusia seperti cuaca ekstrim, iklim tak tentu, permukaan air laut bertambah karena es kutub mencair (Septaria et al., 2019). Tingginya permukaan air laut dapat mempengaruhi wilayah pantai seperti erosi pantai dan meningkatnya bukit pasir. Volume laut akan meningkat seiring dengan perubahan tinggi muka laut. Saat air laut pasang dalam waktu kurang lebih 25 tahun terakhir, kenaikan muka laut dan penurunan tanah menyebabkan banjir yang sering terjadi di pesisir Semarang. Banjir yang disebut banjir rob menggenangi wilayah yang lebih rendah dari muka air laut pada saat pasang tertinggi (Wirasatriya et al., 2006). Area pesisir di Kabupaten Subang memiliki perubahan garis pantai yang cukup tinggi. Akresi dan erosi mengikuti perubahan tersebut. Pergeseran fungsi lahan mangrove dan perubahan iklim global merupakan salah satu penyebab kenaikan muka air laut. Peningkatan fenomena ekstrim ini diperkirakan akan memperburuk kondisi berbagai wilayah pesisir di seluruh dunia (Handiani et al., 2019).

Hidayanti & Suryanto (2015) dalam studinya menyatakan bahwa perubahan iklim memberikan dampak kepada para petani diantaranya pergeseran musim, peningkatan suhu udara, angin kencang dan kemarau panjang. Keadaan ini membuat para petani kesulitan dalam menentukan musim penghujan dan kemarau, yang dimana awalnya petani secara turun temurun mendapatkan informasi bahwa rentang musim hujan diantara oktober sampai mei. Namun akibat pergeseran musim tersebut banyak dari petani yang mengeluhkan bahwa mereka gagal memproduksi tanaman pangan. Hal ini tentu membawa dampak buruk baik itu bagi manusia dan makhluk hidup lainnya.

5.2 Dampak Perubahan Iklim Terhadap Keanekaragaman Hayati

Salah satu masalah besar yang mengancam keanekaragaman hayati di bumi adalah perubahan iklim. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), perubahan iklim menyebabkan peningkatan suhu bumi, perubahan curah hujan, kekeringan, peningkatan suhu, dan kurangnya air. Hal ini dapat mengancam kepunahan beberapa spesies laut dan berdampak pada keanekaragaman hayati (Nur dan Kurniawan, 2021).

Semua variasi alami yang terjadi selama seribu tahun terakhir telah berkurang karena perubahan iklim saat ini. Para ilmuwan setuju bahwa emisi gas rumah kaca adalah penyebab perubahan iklim, yang berdampak pada seluruh aspek kehidupan. Keanekaragaman hayati, dan ekosistem adalah salah satu aspek kehidupan yang sangat penting dan terancam oleh perubahan iklim. Perubahan iklim dan biodiversitas sangat terkait satu sama lain.

Perubahan iklim berdampak langsung dan tidak langsung pada ekosistem dan keanekaragaman hayati. Menurut Lubis (2011), perubahan iklim berdampak besar pada kelangsungan hidup keanekaragaman hayati, meskipun dampak ini muncul secara bertahap dan berlangsung lama. Keanekaragaman hayati didefinisikan dalam UU No. 5 Tahun 1994 tentang pengesahan UNCBD (*United Nations Convention On Biological Diversity*) sebagai keanekaragaman spesies tumbuhan, hewan, dan jasad renik (mikroorganisme), serta proses ekosistem dan ekologis di mana mereka termasuk didalamnya.

Beberapa fenomena yang terjadi akibat adanya perubahan iklim yang tercantum dalam Buku *Earth in The Balance* Al Gore (2016) diantaranya :

1. Perubahan iklim yang terjadi di hutan Amazon. Setiap tahunnya, suhu di Amazon cenderung naik secara konsisten. Peningkatan suhu ini mengakibatkan perubahan iklim yang mempengaruhi hewan dan tanaman di hutan ini, dan memicu kebakaran hutan yang menghancurkan sejumlah area di Amazon. Hal ini menyebabkan populasi burung di hutan Amazon menurun.

2. Perubahan iklim menyebabkan naiknya suhu laut dan hal ini berdampak pada kematian terumbu karang.

Lubis (2011) menyebutkan dampak langsung perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati diantaranya :

1. Spesies ranges (cakupan jenis).
Beberapa spesies tidak mampu beradaptasi dengan adanya perubahan lingkungan yang dipengaruhi perubahan iklim. Spesies dengan kisaran toleransi yang rendah terhadap perubahan suhu memiliki peluang hidup yang lebih rendah dibanding spesies dengan toleransi tinggi terhadap perubahan suhu.
2. Perubahan fenologi.
Perubahan iklim dapat mengubah siklus hidup dan pertumbuhan beberapa jenis organisme, seperti migrasi burung yang lebih awal, yang menyebabkan telur tidak dapat dibuahi. Perubahan iklim juga dapat mengubah siklus hidup beberapa mikroorganisme yang dapat menyebabkan wabah penyakit.
3. Perubahan interaksi antar spesies.
Interaksi antar spesies akan menjadi semakin kompleks karena adanya perubahan iklim. Hal ini akan mengganggu fungsi ekosistem.
4. Laju kepunahan.
Adanya perubahan iklim dapat menyebabkan laju kepunahan spesies tertentu semakin meningkat. Hal ini tentu berhubungan dengan kondisi habitat yang terpengaruh dengan adanya perubahan iklim saat ini. Kepunahan merupakan salah satu proses alamiah dan sekaligus fenomena seleksi alam. Dimana spesies yang kuat dia yang bertahan. Dari kurang lebih setengah miliar spesies yang diduga pernah ada, hanya beberapa juta spesies yang berhasil bertahan hingga saat ini. Adanya fenomena perubahan iklim ini membuat kondisi lingkungan berubah sehingga menyebabkan habitat tidak lagi sesuai untuk keanekaragaman hayati, yang lambat laun mengalami penurunan jumlah populasi hingga yang paling parah terjadi kepunahan.

Lubis (2011) menyebutkan beberapa kelompok spesies yang rentan terhadap kepunahan diantaranya :

1. Spesies yang berada di ujung rantai makanan.
Perpindahan energi makanan dari produsen ke beberapa organisme atau jaring-jaring makanan dikenal sebagai rantai makanan. Spesies yang termasuk dalam ujung rantai makanan yakni karnivora besar seperti harimau (*Panthera tigris*). Harimau umumnya memerlukan wilayah jelajah yang luas untuk mendapatkan mangsa.
2. Spesies lokal endemik.
Spesies endemik adalah spesies yang hanya ditemukan di wilayah geografis tertentu dengan jumlah populasi dan distribusi yang sangat terbatas serta tidak ditemukan secara alami di wilayah lain. Badak Jawa (*Rhinoceros javanicus*) adalah salah satu contoh spesies yang tersebar luas hanya di suatu wilayah. Gangguan habitat dan aktivitas manusia sangat membahayakan spesies ini.
3. Spesies dengan populasi kecil.
Populasi dengan jumlah yang terlalu kecil dapat menimbulkan masalah besar. Spesies ini akan kesulitan menemukan pasangan atau *breeding*. Salah satu contoh spesies ini adalah Panda.
4. Spesies migratori.
Spesies migratori adalah spesies hewan yang melakukan perpindahan atau perjalanan jauh dari daerah asal mereka ke daerah lain untuk mencari makanan, habitat baru, atau untuk berkembang biak. Biasanya perpindahan ini terjadi secara musiman atau tahunan dan dilakukan oleh kelompok besar hewan yang sama, seperti burung, ikan, mamalia laut dan serangga.
5. Spesies dengan siklus hidup yang sangat kompleks.
Jika salah satu elemen dalam siklus hidupnya terganggu, spesies ini rentan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa siklus hidupnya memerlukan banyak komponen yang berbeda pada waktu yang sangat terbatas. Spesies dengan kebutuhan yang sangat terbatas.

Misal seperti seperti spesies hewan yang sumber makanannya spesifik pada spesies tumbuhan tertentu. Jika tumbuhan tersebut tidak lagi ditemukan di habitatnya maka spesies hewan tersebut memiliki resiko mengalami kepunahan jika sumber makanannya tidak lagi ditemukan di ekosistem.

5.2.1 Dampak Perubahan Iklim Terhadap Tanaman

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa iklim menjadi penyebab utama makhluk hidup untuk melakukan adaptasi, salah satunya adalah tumbuhan. Studi empiris tentang pola perubahan iklim mempengaruhi populasi tumbuhan telah banyak dilakukan. Penelitian Herlina & Prasetyorini (2020) menunjukkan bahwa pergeseran tanggal awal musim hujan dan awal musim kemarau menjadi penyebab berpengaruhnya tingkat produktifitas tanaman jagung, pergeseran musim hujan dan kemarau adalah salah satu dampak dari perubahan iklim.

Selain itu, studi lain yang dilakukan oleh Santoso (2016) menunjukkan bahwa perubahan iklim berdampak terhadap produktivitas tumbuhan tanaman pangan. Dengan kondisi sulit terjadi hujan, maka ketersediaan sumber daya air untuk tanaman berkurang. Studi mengenai efek anomali iklim terhadap tumbuhan pangan juga dilakukan oleh Mulyaqin (2020) dimana hasil studinya menunjukkan produksi padi, kedelai dan ubi jalar mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini sejalan dengan efek yang ditimbulkan oleh el-nino, dimana tingkat pertumbuhan padi mengalami penurunan pesat pada saat el-nino berlangsung dan sebaliknya ketika tidak dalam fase la-nina.

Dampak perubahan iklim telah menjadi perhatian bagi seluruh negara di dunia. Ancaman pangan melahirkan penelitian untuk mempertahankan tumbuhan terutama tumbuhan pangan. Dengan mempelajari siklus musim hujan dan kemarau dapat memperkirakan waktu tanam yang tepat sehingga populasi tumbuhan pangan tetap terjaga untuk ketahanan pangan. Perubahan iklim berdampak pada kualitas tanaman pertanian dan perkebunan (Managi dan Kaneko, 2015). Beberapa tumbuhan mengalami penurunan kualitas merespon adanya perubahan iklim.

Hal ini disebabkan daya tahan setiap tumbuhan terhadap perubahan iklim beragam.

Sektor pertanian rentan terhadap perubahan iklim, hal ini disebabkan karena sektor pertanian bergantung pada kondisi cuaca dan iklim (Aggarwal, 2008). Diprediksi bahwa penurunan hasil gandum di Australia tenggara disebabkan adanya perubahan iklim. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar CO₂ dapat mengurangi hasil gandum sekitar 25% (Kang *et al.*, 2009). Selama fase kritis perubahan iklim, suhu tinggi dan kekeringan dapat mengganggu perkembangan dan perbungaan tanaman. Kedua kondisi ini dapat menyebabkan bencana bagi lahan pertanian dan dapat menyebabkan ledakan hama dan penyakit tumbuhan (Ruminta *et al.*, 2018). Perubahan iklim mempengaruhi fisiologis tanaman, yang mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman. Perubahan suhu juga mempengaruhi laju fotosintesis dan ukuran dan berat daun tanaman tropis (Garruna *et al.*, 2014; Timotiwu *et al.*, 2021).

Studi lain yang dilakukan oleh Suryati *et al.*, 2007 terkait dampak perubahan iklim, pada tahun 2100 diperkirakan permukaan air laut akan naik 9–88 cm. Hal ini akan berdampak buruk pada lingkungan pesisir seperti keberadaan hutan mangrove. Sebagian dampak dari perubahan iklim ialah penambahan konsentrasi CO₂ di udara. Penambahan kadar CO₂ di udara akan meningkatkan kecepatan pertumbuhan tanaman, karena CO₂ merupakan bahan untuk terjadinya fotosintesis. Jika unsur hara dan kelembahan tanahnya memadai, hal ini akan membantu pertumbuhan tanaman, namun peningkatan CO₂ juga dapat berdampak negatif pada nilai nutrisi daun bagi binatang herbivora.

5.2.2 Dampak Perubahan Iklim Terhadap Hewan

Perubahan ekologi dan riwayat hidup hewan akibat perubahan lingkungan global bukan lagi sebuah konsep teoritis melainkan sebuah kenyataan. Meskipun dampak dari perubahan iklim terjadi secara perlahan, namun dampaknya sudah mulai terlihat seiring berjalannya waktu. Studi terkait dampak pemanasan global terhadap keanekaragaman hayati sudah banyak dilakukan.

Pada sub bab ini akan dibahas beberapa dampak perubahan iklim terhadap pertumbuhan hewan.

Dampak perubahan iklim tidak hanya dirasakan oleh manusia dan lingkungannya, tapi juga pada satwa. Peningkatan suhu yang terjadi mendorong satwa-satwa merespon dengan kondisi lingkungan yang ada. Studi terbaru menunjukkan bahwa beberapa spesies hewan mengalami perubahan bentuk tubuh yang disebabkan tekanan perubahan iklim. Fenomena perubahan ini tidak dianggap baik; sebaliknya, hal ini menunjukkan bahwa perubahan iklim mendorong evolusi hewan dalam waktu singkat (Paino, 2021).

Berdasarkan beberapa penelitian, perubahan iklim berdampak pada spesies berdarah dingin, yakni katak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan iklim membuat suhu menjadi panas dan kering. Sehingga memberikan dampak buruk pada fisiologi, reproduksi, dan perilaku spesies katak. Katak ekor pantai (*Ascaphus truei*), katak kaki sekop (*Spea intermontana*), dan katak pohon pasifik (*Pseudacris regilla*) adalah tiga spesies yang menjadi subjek penelitian Mistar (2003). Perubahan iklim dapat menyebabkan katak mengalami dehidrasi. Hal ini terjadi karena katak kehilangan sekitar 20% air di dalam tubuhnya.

Fenomena-fenomena lain juga banyak menunjukkan bahwa perubahan iklim berdampak pada fauna di dunia. Peningkatan suhu sebagai akibat perubahan iklim akan mempengaruhi termoregulasi hewan (Tian *et al.*, 2020 ; Speakman *et al.*, 2010). Termoregulasi adalah proses yang diatur oleh sistem saraf dan hormon dalam tubuh untuk menjaga suhu tubuh pada tingkat yang stabil. Kegagalan menjaga suhu tubuh dalam batas kritis dapat menyebabkan hilangnya fungsi fisiologis dan kematian (Wooden *et al.*, 2002 ; McKechnie *et al.*, 2010).

Studi lain terkait dampak perubahan iklim menunjukan bahwa perubahan iklim secara tidak langsung berdampak pada morfologi paruh burung selama beberapa decade (Yom-Tov *et al.*, 2005; Campbell-Tennant *et al.*, 2015). Dalam ulasan terbaru, melaporkan bahwa 58% dari 110 spesies burung yang diteliti menunjukkan aturan Allen dalam ukuran paruh. Oleh karena itu, sejumlah penelitian secara langsung memeriksa hubungan antara

ukuran paruh dengan peningkatan suhu seiring berjalannya waktu (Tattersall *et al.*, 2017).

Fenomena lain juga terlihat pada populasi Burung Beo di Australia yang menunjukkan peningkatan ukuran paruh 4%-10%. Studi LaBarbera (2020) menunjukkan bukti bahwa terdapat hubungan antara peningkatan suhu yang relative ekstrem dengan ukuran paruh. Hal ini mengimplikasikan peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrim menyebabkan pergeseran morfologi. Selain itu, kenaikan suhu umum berkaitan erat dengan perubahan iklim. Studi-studi ini mengungkap perubahan jangka panjang, yang menunjukkan evolusi lintas spesies dan respons terhadap perubahan iklim. Namun, diperlukan lebih banyak penelitian untuk mengetahui seberapa luas fenomena ini dan untuk meningkatkan keterwakilan spesies dari beragam spesies habitat, perilaku, dan sejarah kehidupan (Yom-Tov *et al.*, 2005; Gardner *et al.*, 2016; Campbell-Tennant *et al.*, 2015).

5.3 Upaya-upaya yang dapat dilakukan terhadap perubahan iklim

Seluruh negara di dunia berupaya untuk memerangi perubahan iklim. Perang terhadap perubahan iklim dituangkan dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC) 2020-2030. Studi mengenai upaya mengurangi dampak perubahan iklim juga telah banyak dilakukan misalnya dengan penerapan program kampung iklim dimana bentuk program ini adalah metode komunikasi kepada masyarakat dengan memberikan data-data terhadap peningkatan suhu dan dampak terhadap lingkungan sehingga masyarakat dapat menyusun langkah-langkah strategis dalam menentukan mitigasi (Fatkhullah *et al.*, 2022).

Selain itu, pencegahan dampak perubahan iklim juga dilakukan dengan cara mengola sampah rumah tangga sehingga tidak banyak menghasilkan jejak karbon. Metode ini melibatkan ibu rumah tangga dengan cara memberikan pembinaan pengelolaan lingkungan (Mustangin, 2017).

Agroforesti juga menjadi salah satu cara untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Agroforesti merupakan metode pertanian dengan integrasi tanaman pokok dan tanaman lainnya dengan

manfaat yang berbeda. Penerapan agroforesti juga berbeda pada setiap negara di dunia karena menyesuaikan dengan kondisi ekonomi, ekologi serta budaya masyarakat. Studi agroforesti telah dilakukan dan dapat memberikan kompensasi kepada masyarakat yang terkena dampak secara langsung maupun tidak langsung. Hal ini salah satu upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (Butar Butar, 2011).

Upaya untuk mengatasi perubahan iklim dapat dibagi menjadi dua, yaitu pencegahan dan penanggulangan atau pemulihan. Suwedi (2005) menyebutkan beberapa program dan kegiatan yang bisa dilakukan untuk mencegah dan menanggulangi dampak perubahan iklim :

1. Upaya pencegahan terjadinya perubahan iklim

Upaya pencegahan bertujuan untuk memperlambat atau mengurangi proses perubahan iklim, diantaranya :

- a. Mengurangi aktivitas yang menghasilkan gas rumah kaca (GRK). Langkah yang bisa dilakukan diantaranya dengan mengurangi emisi gas karbon. Misal menggunakan kendaraan umum atau kendaraan berbahan bakar tenaga surya, mengurangi proses pembakaran sampah dan serasah, tidak melakukan pembakaran lahan untuk pembukaan lahan.
- b. Membatasi penggunaan alat-alat yang menghasilkan bahan perusak ozon seperti AC, kulkas, sprai parfum dan lain-lain.
- c. Pembuatan alat yang ramah lingkungan.
- d. Menghemat energi pembangkit listrik, industri, transportasi, bangunan komersial, dan rumah tangga.
- e. Edukasi penggunaan bahan bakar ramah lingkungan seperti gas, sebagai alternatif untuk bahan bakar kayu atau fosil.
- f. Penggalakan pembangunan TPA *sanitary landfill*, sebagai langkah mengurangi emisi gas karbon dan metana.
- g. Melakukan uji emisi pada setiap kendaraan dan memasang *catalitic converter* pada kendaraan yang menghasilkan emisi yang melebihi ambang batas.

- h. Memasang alat penyaring emisi di berbagai cerobong yang menghasilkan efek gas rumah kaca.
- i. Menjaga daerah terbuka hijau untuk mempertahankan daerah resapan air dan penyerapan karbon.
- j. Meningkatkan kesadaran publik mengenai data lingkungan laut, darat dan udara.
- k. Perencanaan tata ruang dengan mempertimbangkan lingkungan.
- l. Edukasi terhadap masyarakat terkait upaya pencegahan pemanasan global dan perubahan iklim.

2. Upaya penanggulangan dampak perubahan iklim

Upaya penanggulangan bertujuan untuk mengurangi dampak dari perubahan iklim yang sudah terjadi. Berikut upaya-upaya penanggulangan menurut Suwedi (2005) :

- a. Rehabilitasi lahan kritis dengan cara penanaman pohon kembali (reboisasi) guna meningkatkan daerah resapan air dan memperbanyak media penyerap emisi gas karbon.
- b. Peningkatan sarana dan prasarana penanggulangan bencana yang ditimbulkan dari perubahan iklim.
- c. Restorasi ekosistem, peningkatan penanganan habitat dan lingkungan.
- d. Peningkatan pelayanan kesehatan kepada masyarakat.

Sebagai negara kepulauan ±17.000 dan dengan wilayah pesisir yang luas ±81.000 km, maka kewaspadaan terhadap fenomena perubahan iklim menjadi hal yang sangat penting. Hal ini ditunjukkan dari kepedulian baik di tingkat nasional maupun internasional. Namun, perhatian ini harus lebih ditingkatkan ke arah yang lebih nyata untuk mencegah dan menangani dampak negatifnya. Upaya-upaya dalam mitigasi dan penanganan perubahan iklim diharapkan dapat mengurangi resiko kerugian material yang akan ditimbulkan, meningkatkan keberlangsungan hidup penduduk yang tinggal di dalamnya, serta mengurangi resiko terjadinya korban jiwa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal, P. K. 2008. Global climate change and indian agriculture: impacts, adaptation and mitigation. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 78(10):911–919.
- Ainurrohman S., Sudarti, S. Analisis Perubahan Iklim dan Global Warming yang Terjadi sebagai Fase Kritis. *Jurnal Pendidikan Fisika & Terapan*. 3 (3), 1-10. <http://dx.doi.org/10.22373/p-jpft.v3i3.13359>
- Butarbutar, Tigor. 2011. *Agroforestri Untuk Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim dan Kebijakan. Bogor.
- Campbell-Tennant, D.J.E. et al. 2015. Climate-related spatial and temporal variation in bill morphology over the past century in Australian parrots. *J. Biogeogr.* 42, 1163–1175.
- Chakrabarti, B., S. D. Singh, V. Kumar, R. C. Harit, dan S. Misra. 2013. Growth and yield response of wheat and chickpea crops under high temperature. *Ind J Plant Physiol*. 18(1):7–14.
- FatkhullahM., MulyaniI., DewiA. S., HabibM. A. F., & ReihanA. 2022. *Communication Strategy to Address Climate Change through Community Engagement*. *Jurnal Komunikasi Pembangunan*, 21(01), 17-33. <https://doi.org/10.46937/21202341909>.
- Gardner, J.L. et al. 2016. Spatial variation in avian bill size is associated with humidity in summer among Australian passerines. *Climate Change Responses*. 3, 11- 39.
- Garruna, H., R. R. Orellana, A. LarqueSaavedra, dan A. Canto. 2014. *Understanding the physiological responses of a tropical crop (capsicum chinense jacq.) at high temperature*. *PLoS ONE*. 9(11).
- Handiani, D. N., S. Darmawan, A. Heriati, dan Y. D. Aditya. 2019. Kajian kerentanan pesisir terhadap kenaikan muka air laut di kabupaten subang-jawa barat. *Jurnal Kelautan Nasional*. 14(3):145–154.
- HerlinaN., & PrasetyoriniA. 2020. Pengaruh Perubahan Iklim pada Musim Tanam dan Produktivitas Jagung (*Zea mays L.*) di Kabupaten Malang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 118-128. <https://doi.org/10.18343/jipi.25.1.118>

- Hidayati, I.N., Suryanto, 2015. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Produksi Pertanian dan Strategi Adaptasi pada Lahan Rawan Kekeringan. *Jurnal Ekonomi dan Studi Pembangunan*. 16, 42–52.
- Julismin. 2013. Dampak dan Perubahan Iklim di Indonesia. *Jurnal Geografi*. 5 (1), 40-46. <https://doi.org/10.24114/jg.v5i1.8083>
- Kang, Y., S. Khan, dan X. Ma. 2009. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security - a review. *Progress in Natural Science*. 19:1665–1674.
- LaBarbera, K. et al. 2020. Context-dependent effects of relative temperature extremes on bill morphology in a songbird. *Royal Society Open Science*. 7, 192203.
- Managi, S. dan S. Kaneko. 2015. Enviromental kuznets curve: bukti empiris hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan di indonesia. *Chinese Economic Development and the Environment*. 1–17.
- McKechnie, A.E. and Wolf, B.O. 2010. Climate change increases the likelihood of catastrophic avian mortality events during extreme heat waves. *Biol. Lett.* 6, 253–256.
- MulyaqinT. 2020. The Impact of El Niño and La Nina on Fluctuation of Rice Production in Banten Province. *Agromet*, 34(1), 34–41. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.34.1.34-41>
- Odum, E.P. *Dasar-dasar Ekologi*. Dialih bahasakan oleh Tjahjono Samingan dan B. Srigandono. 1993. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Piano, C. 2021. *Akibat Perubahan Iklim, Bentuk Tubuh Hewan Bisa Berubah*. Mongabay. URL: <https://www.mongabay.co.id/2021/09/20/akibat-perubahan-iklim-bentuk-tubuh-hewan-bisa-berubah> (Diakses 21-10-2023, pukul 19:52 WIB).
- Ruminta, R., H. Handoko, dan T. Nurmala. 2018. Indikasi perubahan iklim dan dampaknya terhadap produksi padi di indonesia. *Jurnal Agro*. 5(1):48–60.
- Santoso AB. 2016. Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Produksi Tanaman Pangan di Provinsi Maluku. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*. 35(1): 2938. <https://doi.org/10.21082/jpptp.v35n1.2016.p29-38>

- Septaria, K., B. A. Dewanti, dan M. Habibulloh. 2019. Implementasi metode pembelajaran spot capturing pada materi pemanasan global untuk meningkatkan keterampilan proses sains. *Prisma Sains : Jurnal Pengkajian Ilmu Dan Pembelajaran Matematika Dan IPA IKIP Mataram*. 7(1):27–37.
- Setyowibowo, Y. 2021. *Dampak Pemanasan Global, Katak Tak Bisa Melompat Saat Tubuhnya Dehidrasi*. URL: <https://sains.sindonews.com/read/338974/766/dampak-pemanasan-global-katak-tak-bisa-melompat-saat-tubuhnya-dehidrasi-1613620951> (Diakses 23-10-2023, pukul 22:58 WIB)
- Speakman, J.R. and Król, E. 2010. Maximal heat dissipation capacity and hyperthermia risk: neglected key factors in the ecology of endotherms. *Jurnal of Animal Ecologi*. 79, 726–746.
- Sumartiningtyas, H. K. N. 2021. *Iklim Makin Hangat Bikin Katak Tak Mampu Melompat, Kok Bisa?* URL: <https://www.msn.com/id-id/berita/other/iklim-makin-hangat-bikin-katak-tak-mampu-melompat-kok-bisa/ar-BB1dTeSW> (Diakses 23-10-2023, pukul 21:58 WIB).
- Suryati T., Salim F., & Titiresmi. 2007. Pemanasan Global dan Keanekaragaman Hayati. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 8 (1), 61–68.
- Suwedi, N. 2005. Upaya pencegahan dan penanggulangan dampak pemanasan global. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 6. (2) 397–401.
- Tattersall, G.J. et al. 2017. The evolution of the avian bill as a thermoregulatory organ. *Biology Reviwers*. 92, 1630–1656.
- Tian, L. and Benton, M.J. 2020. Predicting biotic responses to future climate warming with classic ecogeographic rules. *Current Biology*. 30, R744–R749.
- Timotiwu, P. B., T. K. Manik, Agustiansyah, dan E. Pramono. 2021. Fenologi dan pertumbuhan strawberry di dataran rendah sebagai kajian awal dampak perubahan iklim terhadap pertumbuhan tanaman. *Jurnal Agrotropika*. 20(1):1–8.
- Webster, N. 1971. *Webster's seventh new collegiate dictionary*. G. & C. Merriam, Springfield, MA.

- Wirasatriya, A., A. Hartoko, dan Suripin. 2006. Kajian kenaikan muka laut sebagai landasan penanggulangan rob di pesisir kota Semarang. *Pasir*. 1(2):31–42.
- Wolff, E., Fung, I., Hoskins, B., Mitchell, J., Palmer, T., Santer, B., Shepherd, J., Shine, K., Solomon, S., Trenberth, K., Walsh, J., & Wuebbles, D. 2014. *Climate change: Evidence and Causes*. <http://dels.nas.edu/resources/static-assets/exec-office-other/climate-changefull.pdf>.
- Wooden, K.M. and Walsberg, G.E. 2002. Effect of environmental temperature on body temperature and metabolic heat production in a heterothermic rodent, *Spermophilus tereticaudus*. *Journal of Experimental Biology*. 205, 2099–2105.
- Yom-Tov, Y. and Yom-Tov, J. 2005. Global warming, Bergmann's rule and body size in the masked shrew *Sorex cinereus* Kerr in Alaska. *Journal of Animal Ecology*. 74, 803–808.

BAB 6

PERALATAN PENCATATAN IKLIM DAN TEKNOLOGI PENERAPANNYA

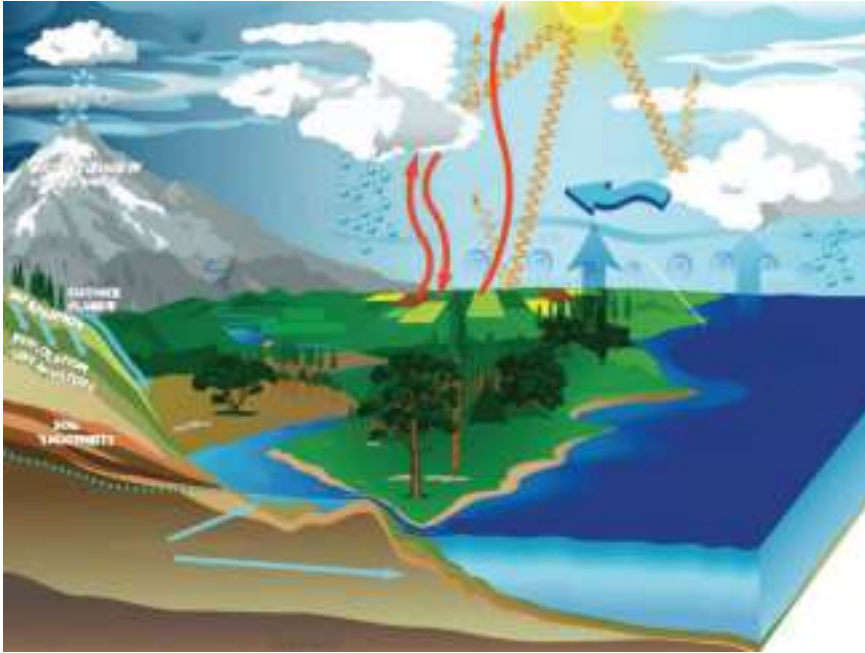
Oleh Ika Purnamasari

6.1 Pendahuluan

Iklim didefinisikan sebagai sintesis atau rata-rata perubahan unsur-unsur cuaca dalam jangka panjang di suatu tempat atau pada suatu wilayah (Koesmaryono dan Askari 2023). Perilaku iklim dapat dikenali dari data iklim. Data iklim diperoleh dari kegiatan pencatatan iklim dengan berbagai peralatan. Teknologi memainkan peranan penting dalam pencatatan iklim, membantu para ilmuwan dalam memahami data iklim, memahami perubahan iklim, memprediksi perubahan iklim dan melakukan upaya pengelolaan terhadap dampak yang ditimbulkan.

Iklim dapat dijelaskan dengan deskripsi statistik berupa kecenderungan sentral dan variabilitas unsur-unsur iklim yang relevan seperti suhu, curah hujan, tekanan udara, kelembaban udara, arah dan kecepatan angin, atau melalui kombinasi unsur iklim, seperti jenis dan fenomena cuaca yang khas pada suatu lokasi atau wilayah, atau pada bumi secara keseluruhan pada jangka waktu tertentu (WMO 2018).

Iklim dibangun dalam bentuk sistem iklim. Gambar 1 menunjukkan sistem yang kompleks dan interaktif yang terdiri dari atmosfer, permukaan tanah, salju dan es, lautan dan perairan lainnya, serta organisme hidup. Dipengaruhi oleh radiasi matahari dan sifat radiasi permukaan bumi, iklim bumi ditentukan oleh interaksi antar komponen sistem iklim. Interaksi atmosfer dengan komponen lainnya berperan dominan dalam membentuk atmosfer (WMO 2018).



Gambar 6.1. Sistem Iklim

Pencatatan Iklim di Indonesia merupakan salah satu fungsi utama Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). BMKG memiliki fungsi Pelaksanaan, pembinaan dan pengendalian observasi, dan pengolahan data dan informasi di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika serta Pelaksanaan manajemen data di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika (BMKG 2023). Pencatatan iklim secara Internasional dinaungi oleh lembaga *World Meteorological Organization* (WMO) yaitu badan khusus PBB yang menangani kerja sama antarbangsa di bidang meteorologi, hidrologi dan yang berkaitan dengan sains kebumihan. WMO memiliki Sistem Pengamatan Global sebagai sistem terkoordinasi dari berbagai subsistem pengamatan yang menyediakan pengamatan meteorologi dan lingkungan serta geofisika yang berkualitas tinggi dan terstandarisasi. Pengamatan dari jaringan dan stasiun ini diperlukan untuk persiapan analisis cuaca dan iklim, prakiraan, peringatan, layanan iklim, dan penelitian yang tepat waktu (WMO 2018). Pada bab ini merinci elemen-elemen yang diperlukan untuk menggambarkan iklim dan stasiun di

mana elemen-elemen tersebut diukur, peralatan yang diperlukan, serta penempatan stasiun.

WMO menetapkan 10 prinsip dalam pencatatan iklim yaitu: 1) Dampak sistem baru atau perubahan terhadap sistem yang sudah ada harus dinilai sebelum penerapannya; 2) Diperlukan periode tumpang tindih yang sesuai untuk sistem observasi baru dan lama; 3) Detil dan sejarah kondisi lokal, instrumen, prosedur operasi, algoritma pemrosesan data, dan faktor-faktor lain yang berkaitan dengan interpretasi data (metadata) harus didokumentasikan dan diperlakukan dengan kehati-hatian; 4) Kualitas dan homogenitas data harus dinilai secara berkala; 5) Pertimbangan kebutuhan produk dan penilaian pemantauan lingkungan dan iklim harus diintegrasikan ke dalam prioritas pemantauan nasional, regional dan global; 6) Pengoperasian stasiun-stasiun dan sistem pengamatan yang secara historis tidak terputus harus dipertahankan; 7) Prioritas tinggi untuk observasi tambahan harus diberikan pada area dengan data yang buruk, parameter observasi yang buruk, area yang sensitif terhadap perubahan, dan pengukuran penting dengan resolusi temporal yang tidak memadai; 8) Persyaratan jangka panjang harus ditentukan bagi perancang jaringan, operator dan insinyur instrumen pada awal desain dan implementasi sistem; 9) Memungkinkan sistem observasi penelitian untuk melakukan operasi jangka panjang; 10) Sistem pengelolaan data yang memfasilitasi akses, penggunaan dan interpretasi data dan produk harus dimasukkan sebagai elemen penting dalam sistem pemantauan iklim (WMO 1997).

6.2 Unsur Iklim

Unsur iklim merupakan bagian dari sifat sistem iklim yang dijelaskan pada Gambar 1. Kombinasi unsur-unsur iklim dengan sifat-sifatnya akan menggambarkan cuaca atau iklim di suatu tempat selama jangka waktu tertentu. Setiap unsur meteorologi yang diamati dapat juga dianggap sebagai unsur iklim. Unsur-unsur yang paling umum digunakan dalam klimatologi adalah suhu udara (termasuk maksimum dan

minimum), curah hujan (curah hujan, hujan salju dan segala jenis pengendapan basah, seperti hujan es, embun, rime, embun beku dan kabut), kelembaban, pergerakan atmosfer (kecepatan dan arah angin), tekanan atmosfer, penguapan, sinar matahari, dan cuaca saat ini (misalnya kabut, hujan es, dan guntur). Sifat-sifat permukaan tanah dan bawah permukaan (termasuk elemen hidrologi, topografi, geologi dan vegetasi), lautan dan kriosfer juga digunakan untuk menggambarkan iklim dan variabilitasnya (WMO 2018).

6.2.1 Unsur Iklim di Permukaan dan Bawah Permukaan

Stasiun klimatologi biasa menyediakan kebutuhan dasar pengamatan suhu maksimum dan minimum harian serta jumlah curah hujan. Stasiun klimatologi utama biasanya menyediakan pengamatan cuaca, angin, karakteristik awan, kelembaban, suhu, tekanan atmosfer, curah hujan, tutupan salju, sinar matahari, dan radiasi matahari yang lebih luas. Selain elemen permukaan, elemen bawah permukaan seperti suhu dan kelembaban tanah sangat penting untuk diterapkan pada pertanian, kehutanan, perencanaan penggunaan lahan, dan pengelolaan penggunaan lahan. Elemen lain yang harus diukur untuk mengkarakterisasi lingkungan fisik untuk aplikasi pertanian meliputi penguapan dari permukaan tanah dan air, sinar matahari, radiasi gelombang pendek dan panjang, transpirasi tanaman, limpasan dan permukaan air, dan pengamatan cuaca (terutama hujan es, petir, embun dan air).

Idealnya, pengukuran unsur-unsur penting pertanian harus dilakukan pada beberapa tingkat antara 200 cm di bawah permukaan dan 10 m di atas permukaan. Pertimbangan juga harus diberikan pada sifat tanaman dan vegetasi ketika menentukan levelnya (WMO 2018).

6.2.2 Unsur Iklim Udara Atas

Pengamatan udara atas merupakan komponen integral dari Sistem Pengamatan Global. Spektrum aktivitas iklim yang memerlukan pengamatan di udara meliputi pemantauan dan deteksi variabilitas dan perubahan iklim, prediksi iklim pada

semua rentang waktu, pemodelan iklim, studi proses iklim, aktivitas analisis ulang data, dan studi satelit mengenai kalibrasi pengambilan satelit dan transfer radiasi. Pengamatan udara atas diperoleh dari instrumen berbasis balon yang dikombinasikan dengan alat pelacak darat dalam jaringan radiosonde serta satelit.

Pengukuran udara atas lainnya dilakukan dari platform bergerak seperti pesawat terbang. Pengamatan dari beberapa lokasi pegunungan tinggi juga telah dianggap sebagai bagian dari sistem pengukuran udara bagian atas. Elemen-elemen iklim penting dari pengamatan di udara adalah: suhu, uap air, tekanan, kecepatan dan arah angin, sifat-sifat awan, cahaya dan radiasi (bersih, masuk dan keluar). Selain itu diamati pula komposisi kimia atmosfer untuk kepentingan prediksi iklim, pemantauan perubahan iklim, ozon dan prediksi kualitas udara lainnya, dan dalam bidang penerapan seperti studi dan peramalan kesehatan dan keberlanjutan hewan, tumbuhan dan manusia(WMO 2018).

6.2.3 Unsur Iklim Diukur dengan Penginderaan Jauh

Satelit dan sistem penginderaan jauh lainnya seperti radar cuaca memberikan banyak informasi tambahan, terutama dari wilayah dengan data yang tidak lengkap. Kelebihan dan kelemahan Pengukuran Iklim dengan Penginderaan Jauh disajikan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Kelebihan dan Kelemahan Pengukuran Unsur Iklim dengan Penginderaan Jauh

No	Kelebihan	Kelemahan
1	Cakupan spasial dan temporal luas	Tidak dapat digunakan dalam menyimpulkan variabilitas dan perubahan iklim jangka Panjang
2	Melengkapi Data Observasi yang hilang	Tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan pengukuran di lapangan
3	Mampu mengisi data pada wilayah tanpa pengukuran in-situ	Unsur Iklim yang dapat diukur terbatas

Unsur-unsur yang dapat diukur atau diperkirakan dari jarak jauh adalah curah hujan; jumlah awan; fluks radiasi; radiasi dan albedo; biomassa samudera bagian atas, topografi permukaan laut dan tinggi gelombang; lapisan es laut; suhu permukaan laut; vektor angin permukaan laut dan kecepatan angin; suhu atmosfer, kelembaban dan profil angin; unsur kimia di atmosfer; Tutupan Salju; lapisan es dan luas gletser; vegetasi dan tutupan lahan; dan topografi permukaan tanah (WMO 2018).

6.3 Peralatan Pencatatan Iklim

Stasiun klimatologi perlu dilengkapi dengan instrumen standar yang ditetapkan oleh WMO. Terdapat lima hal yang harus diperhatikan dalam pencatatan iklim diantaranya yaitu (WMO 2018).:

1. **Kehandalan**
Keandalan mengharuskan instrumen berfungsi sesuai spesifikasi desainnya setiap saat. Instrumen yang andal harus cukup kuat untuk menghadapi berbagai macam cuaca dan kondisi fisik ekstrem di lokasi.
2. **Kesesuaian dengan lingkungan operasional di stasiun penggunaan.**

Instrumen harus disesuaikan dengan iklim di mana instrumen tersebut harus berfungsi, dan dengan peralatan lain yang digunakan untuk mengoperasikannya. Misalnya, kepala anemometer di lokasi yang dingin harus tahan terhadap lapisan es, sedangkan kepala anemometer di daerah gurun perlu dilindungi dari masuknya debu. Sensor yang digunakan dalam stasiun cuaca otomatis perlu memberikan keluaran yang sesuai untuk pemrosesan otomatis.

3. Akurasi
Semua instrumen harus dipilih untuk memberikan tingkat akurasi dan presisi tinggi yang diperlukan untuk tujuan klimatologi.
4. Kesederhanaan desain.
Semakin sederhana instrumentasinya, semakin mudah pengoperasian dan pemeliharaannya, serta semakin mudah pula pemantauan kinerjanya.
5. Tujuan observasi.
Tujuan observasi umumnya menentukan persyaratan pengukuran. Jenis instrumen, pemasangan sensor, dan karakteristik instrumen harus dipertimbangkan untuk memastikan bahwa persyaratan pengukuran dapat dipenuhi.

6.3.1 Peralatan permukaan dasar

Terdapat berbagai pilihan dalam melakukan observasi iklim pada stasiun permukaan diantaranya instrumen dasar, keluaran autografik atau otomatis yang tersedia untuk periode tak berawak, atau sensor yang sepenuhnya otomatis. Gambar 6.2 menunjukkan peralatan pengukuran curah hujan secara otomatis (a) dan manual (b). Peralatan autografik dan pencatat data tersedia untuk mencatat banyak elemen iklim, seperti suhu, kelembapan, angin, dan laju curah hujan. Data perlu ditransfer dari catatan autografis ke tabel atau bentuk digital. Gambar 6.3 menunjukkan peralatan pengukuran suhu tanah.



a



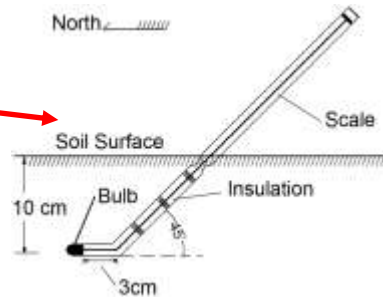
B

Gambar 6.2. Penakar Hujan Otomatis Hellman (a) dan Observatorium (b).

Sumber: Gambar 2a Sopiah Kholida (2022) dan Gambar 2b Siska Masrury (2021)



a

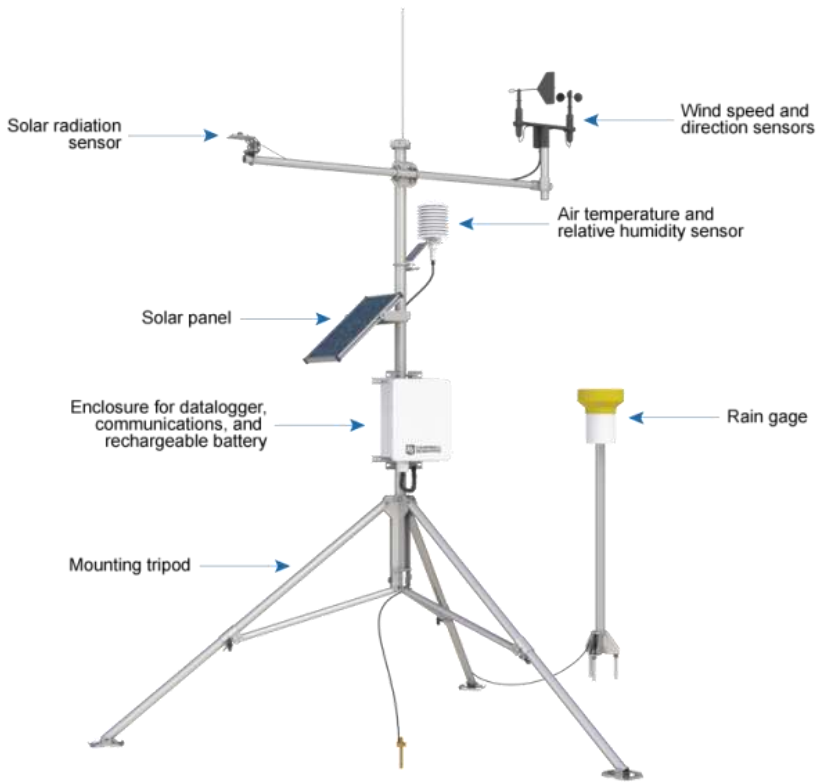


B

Gambar 6.3. Termometer Tanah Sebagai Alat Ukur Suhu Tanah

Sumber: Gambar 3a Widyasari (2022), Gambar 3b Shen et al. (2018)

Data dari stasiun cuaca otomatis (AWS), di mana instrumen mencatat dan mengirimkan pengamatan secara otomatis, biasanya terbatas pada data yang mudah diperoleh dalam bentuk digital, meskipun jangkauan sensornya luas dan terus berkembang (WMO 2018). Gambar 6.4 menunjukkan stasiun cuaca otomatis beserta komponen penyusunnya.

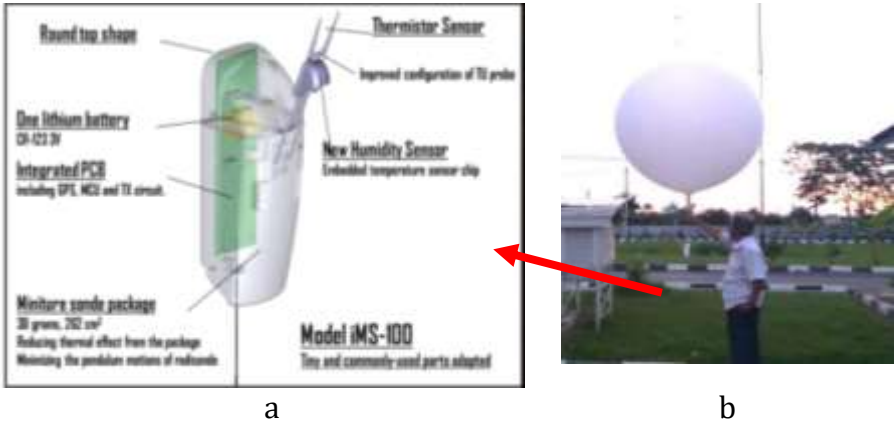


Gambar 6.4. Komponen Automatic Weather Station

Sumber: <https://www.campbellsci.com/automated-weather-stations>

6.3.2 Instrumen udara atas

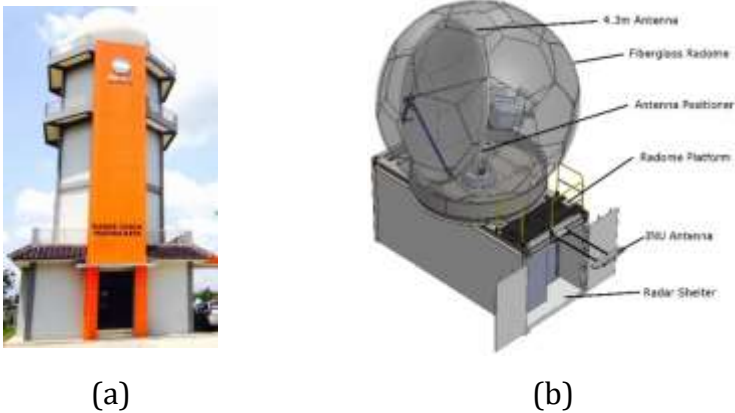
Sebagian besar data klimatologi pada udara atas diperoleh dari pengukuran yang dilakukan untuk prakiraan sinoptik dengan radiosonde yang dibawa balon. Berbagai teknik dan instrumen digunakan untuk pengukuran tekanan, suhu, kelembaban dan angin, dan untuk memproses keluaran instrumen menjadi besaran meteorologi. Terdapat beberapa permasalahan mengenai kualitas pengukuran radiosonde untuk tujuan pemantauan iklim dan deteksi perubahan iklim. Radiosonde standar tidak mampu mengukur uap air pada suhu rendah dengan akurasi yang memadai (WMO 2018).



Gambar 6.5. Radiosonde (a) yang dibawa oleh Balon Udara (b)
 Sumber : BMKG Kualanamu (2018)

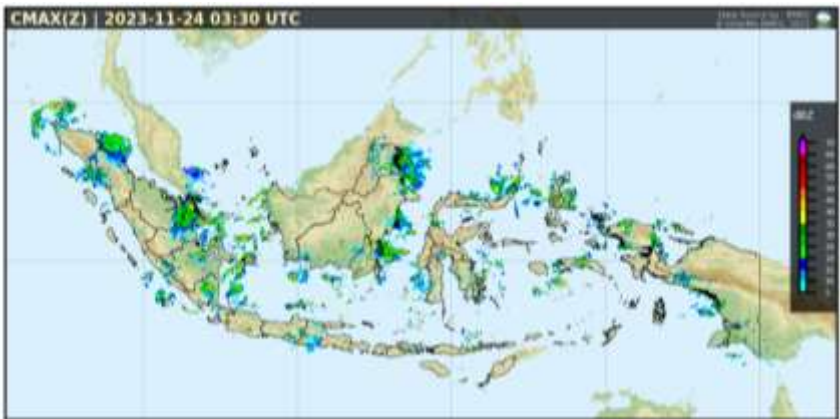
6.3.3 Penginderaan jauh berbasis permukaan

Penginderaan jauh permukaan dapat berbasis sensor aktif maupun sensor pasif. Sensor aktif bekerja dengan memancarkan radiasi yang disebarkan ke berbagai objek sasaran. Sensor mendeteksi hamburan radiasi dari objek. Sedangkan sensor pasif mengukur radiasi yang dipancarkan (atau dimodifikasi) oleh lingkungan. Teknik penginderaan jauh aktif berbasis permukaan yang paling umum adalah radar cuaca(WMO 2018).



Gambar 6.6. Radar Cuaca (a) dan Komponen Penyusunnya (b)
 Sumber: Gambar 6a BMKG Yogyakarta (2023) Gambar 6b Rutledge (2019)

Radar dapat digunakan untuk mengukur intensitas curah hujan (Gambar 6.7) maupun profil vertikal arah dan kecepatan angin. Pada pendeteksian intensitas hujan, pulsa pendek energi gelombang mikro berkekuatan tinggi difokuskan oleh sistem antenna menjadi berkas sempit. Sinar ini dihamburkan kembali oleh curah hujan target, dan radiasi hamburan balik diterima oleh sistem antenna yang sama. Lokasi curah hujan dapat ditentukan dari azimuth dan elevasi antenna serta waktu antara transmisi dan penerimaan energi yang dipantulkan. Kekuatan radiasi yang diterima bergantung pada sifat curah hujan, dan sinyal dapat diproses untuk memperkirakan intensitasnya(WMO 2018).



Gambar 6.7. Curah Hujan Wilayah Indonesia Dari Citra Radar Cuaca
Sumber: BMKG (2023)

Kategori Intensitas Hujan	Nilai dBZ	mm/jam
Hujan ringan (<i>light rain</i>)	25 – 35	1 - 5
Hujan sedang (<i>moderate rain</i>)	35 – 45	5 - 10
Hujan lebat (<i>heavy rain</i>)	45 – 55	10 - 20
Hujan sangat lebat (<i>very heavy rain</i>)	>55	>20

Sumber: BMKG (2023)

6.3.4 Penginderaan jauh berbasis pesawat terbang dan penginderaan jauh berbasis ruang angkasa

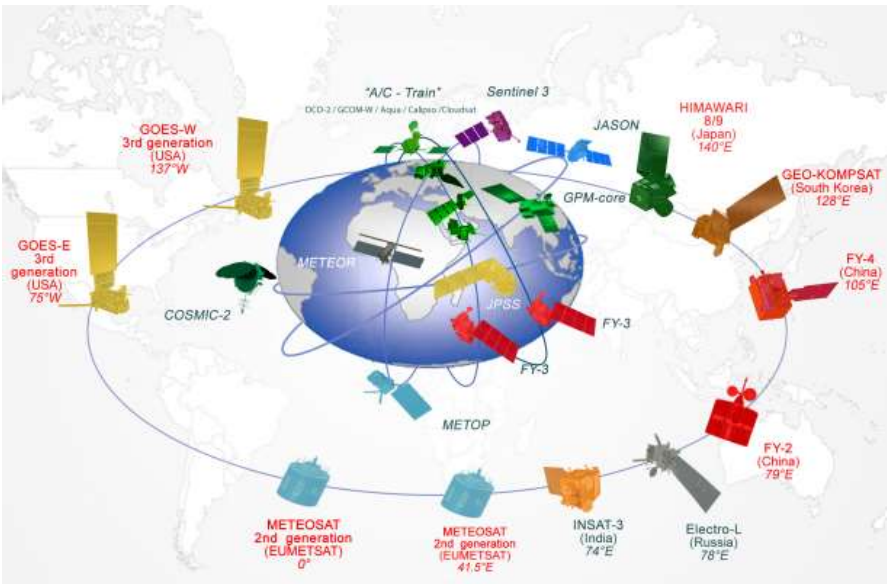
Banyak pesawat jarak jauh dilengkapi dengan sistem pencatatan otomatis berbasis sensor yang melaporkan suhu dan angin, dan dalam beberapa kasus kelembapan, secara berkala selama perjalanan. Data satelit menambahkan informasi berharga ke database iklim karena cakupan geografisnya yang luas, terutama di wilayah yang data in situ hanya sedikit atau sama sekali tidak ada. Gambar 6.8 menunjukkan distribusi potensi curah hujan Indonesia berdasarkan data satelit HIMAWARI 9.



Gambar 6.8. Potensi Curah Hujan Indoensia Berdasarkan Satelit Himawari 9
Sumber: BMKG (2023)

Satelit sangat berguna untuk memantau fenomena seperti luasnya es di kutub, tutupan salju, aktivitas glasial, perubahan permukaan laut, tutupan vegetasi dan kadar air, serta aktivitas siklon tropis. Mereka juga membantu meningkatkan analisis sinoptik, sebuah komponen penting dari klimatologi sinoptik. Teknik penginderaan memanfaatkan sifat emisi, penyerapan dan hamburan atmosfer dan permukaan bumi. Persamaan fisika untuk

transfer radiasi menyediakan informasi tentang sifat radiasi atmosfer dan permukaan bumi dan, melalui inversi persamaan transfer radiasi, sifat geofisika seperti profil suhu dan kelembaban, suhu kulit permukaan, dan sifat awan (Gambar 2022). Beberapa Satelit yang digunakan untuk observasi cuaca dan iklim ditampilkan pada Gambar 6.10.



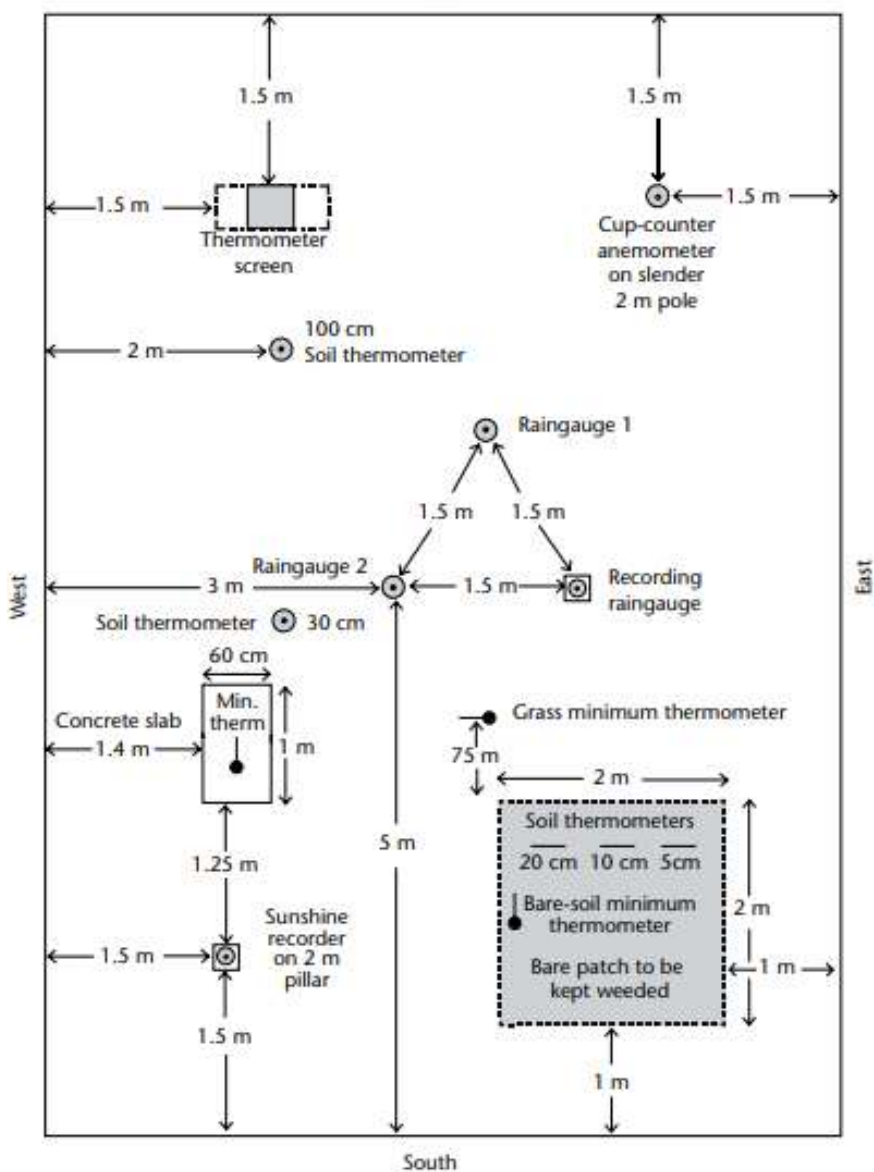
Gambar 6.10. Program Penginderaan Jauh Berbasis Satelit Untuk Observasi Cuaca dan Iklim
Sumber: Mane (2022)

6.3.5 Kalibrasi instrumen

Hal yang sangat penting, untuk menentukan variasi iklim spasial dan temporal, adalah akurasi relatif dari masing-masing sensor yang digunakan dalam jaringan pada satu waktu diukur dan diperiksa secara berkala dan, dengan cara yang sama, kinerja sensor dan sistem pengganti dapat diukur. terkait dengan instrumen yang diganti. Semua stasiun harus dilengkapi dengan instrumen yang dikalibrasi dengan benar (WMO 2011). Perbandingan pengukuran instrumen atau sistem harus dilakukan dengan instrumen standar portabel ketika instrumen pengganti dikeluarkan untuk suatu stasiun dan pada setiap inspeksi rutin stasiun tersebut

6.4 Penempatan Stasiun Klimatologi

Keterwakilan dan homogenitas catatan klimatologi erat kaitannya dengan lokasi pengamatan. Sebuah stasiun yang berlokasi di atau dekat lereng curam, punggung bukit, tebing, lembah, bangunan, dinding, atau penghalang lainnya kemungkinan besar akan menghasilkan data yang lebih mewakili lokasi tersebut, bukan untuk wilayah yang lebih luas. Stasiun pengamatan klimatologi harus ditempatkan di lokasi yang memungkinkan pemaparan instrumentasi secara tepat dan memungkinkan pandangan seluas mungkin ke langit dan wilayah sekitarnya, jika diperlukan data visual. Stasiun-stasiun klimatologi biasa dan stasiun-stasiun klimatologi utama harus ditempatkan di atas tanah datar yang ditutupi rumput pendek; lokasi harus jauh dari pepohonan, bangunan, tembok dan lereng yang curam serta tidak boleh berada dalam lubang. Gambaran penempatan alat pada stasiun iklim ditunjukkan pada Gambar 6.11. Ukuran plot 9 x 6 meter telah cukup untuk menempatkan alat pengukur suhu dan kelembapan di luar ruangan. Lahan kosong dengan luas 4 m² di dalam plot sangat ideal untuk pengamatan keadaan tanah dan pengukuran suhu tanah. Jika terdapat alat pengukur curah hujan, sebaiknya plot berukuran 10 x 7m (WMO 2018).



Gambar 6.11. Denah Stasiun Iklim pada Belahan Bumi Utara Minimum yang menunjukkan Jarak Instalasi Alat pada Sumber: (WMO, 2000b)

DAFTAR PUSTAKA

- BMKG. 2022. Alat Pengamat BMKG Radar Cuaca. <https://staklimyogyakarta.com/alat-pengamatan-mkg/#alat4>
- BMKG. 2023. Penginderaan Jauh Citra Radar. <https://www.bmkg.go.id/cuaca/citra-radar.bmkg>
- BMKG Kualanamu. 2018. Pengamatan Meteorologi Menggunakan Radiosonde. *Meteonetmagz*. E-buletin Stasiun Meteorologi Kualanamu. <https://kualanamu.sumut.bmkg.go.id/wp-content/uploads/2018/09/e-buletin-edisi-september-2018-fix.pdf>
- Gommes, R., Challinor, A., Das, H., Dawod, M. A., Mariani, L., Tychon, B., & Trampf, W. (2010). Guide to Agricultural Meteorological Practices. *World Meteorological Organization*, 134.
- Koesmaryono, Yonny dan Muhamad Askari. 2023. *Klimatologi Pertanian*. Bogor: IPB Press.
- Mane, S. (2022). Space as a tool to address climate challenges: Examples from local communities. *Space*, 10(5).
- Shen, Y., McLaughlin, N., Zhang, X., Xu, M., & Liang, A. (2018). Effect of tillage and crop residue on soil temperature following planting for a Black soil in Northeast China. *Scientific reports*, 8(1), 4500.
- Siska Masrury. 2021. Penakar Hujan Observatorium. <https://iklim.sumsel.bmkg.go.id/penakar-hujan-observatorium/>
- Widyasari. 2022. Termometer Tanah Rumput Pendek. <https://iklim.sumsel.bmkg.go.id/termometer-tanah-rumput-pendek/>.
- WMO, 1997: Report of the GCOS/GOOS/GTOS Joint Data and Information Management Panel, third session (Tokyo, Japan, 15–18 July 1997) (WMO/TD-No. 847, GCOS-No. 39). Geneva.
- WMO, 2017: Guide to the global observing system WMO, no. 488. Geneva, Switzerland.
- WMO, 2011: Manual on the Global Observing System (WMO-No. 544), Volume II: Regional Aspects. Geneva.

- WMO. 2018. Guide To Climatological Practices, WMO No 100. Geneva, Switzerland.
- Rutledge, S. A., Chandrasekar, V., Fuchs, B., George, J., Junyent, F., Kennedy, P., & Dolan, B. (2019). Deployment of the SEA-POL C-band Polarimetric Radar to SPURS-2. *Oceanography*, 32(2), 50-57.

BIODATA PENULIS



Abdul Jalil, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Jember

Dilahirkan di Bondowoso pada tanggal 29 Maret 1995. Lahir dari seorang ibu yang bernama Hofiyatun dan ayah Faudin seorang petani. Sekolah Dasar hingga Sekolah Menengah atas ditempuh di kabupaten Bondowoso. Menamatkan Sarjana Pertanian dari Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Muhammadiyah Jember tahun 2018 dan dinobatkan sebagai wisudawan teladan Universitas Muhammadiyah Jember tahun 2018. Menamatkan studi Magister di Fakultas Pertanian Universitas Jember Program Studi Magister Agronomi pada Tahun 2022 dan saat ini dipercaya sebagai Komisaris PT. Penerbit Jurnal Indonesia dan Tim Ahli Lembaga Pelatihan Kerja Jurnal Ilmiah, serta dipercaya sebagai Ketua Pusat Studi Publikasi Ilmiah Universitas Muhammadiyah Jember.

Penelitian yang ditekuni pada lingkup pemuliaan tanaman. Penelitian mencakup tanaman kedelai, jagung dan tebu.

BIODATA PENULIS



Sujadi Priyansah, S.Hut., M.Sc.

Dosen Program Studi Konservasi Sumberdaya Alam
Fakultas Teknik dan Sains Universitas Muhammadiyah Bangka
Belitung

Penulis lahir di Pangkapinang tanggal 26 november 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Konservasi Sumberdaya Alam Fakultas Teknik dan sains, Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung. Menyelesaikan pendidikan S1 kehutana pada Jurusan Kehutanan dan melanjutkan S2 Ilmu Kehutanan pada Jurusan Konservasi Sumberdaya Hutan. Penulis menekuni bidang pendidikan dengan mengajar mata kuliah fisika, klimatologi, hidrologi, ekologi hutan, agroforestry dan banyak lagi. Penulis juga sudah pernah publikasi jurnal bidang konservasi lingkungan.

BIODATA PENULIS



Ria Megasari, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian dan Ilmu Perikanan Universitas Pohuwato

Penulis lahir pada tanggal 4 Juni 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian dan Ilmu Perikanan, Universitas Pohuwato. Penulis selain mengajar juga aktif melakukan penelitian sejak tahun 2019. Penelitian yang telah dilakukan memiliki judul sebagai berikut: Inventarisasi Hama dan Penyakit Tanaman Jagung (*Zea mays* L.) dan Pengendaliannya di Kec. Taluditi Kab. Pohuwato (2019); Uji Beberapa Jenis Sistem Tanam Terhadap Produktivitas Padi Ponelo Lokal Gorontalo (2020). Pemanfaatan lahan Sempit Melalui Sistem Tanam Hidroponik dalam Menunjang Kebutuhan Sayuran Di Era Covid-19 (2021); Peran Mikoriza Terhadap Pertumbuhan dan Produksi tanaman Jagung Pulut Manis (*Zea mays* L. Saccharta) (2022); Perbaikan Karakter Umur Padi Lokal "Siam Kuning" melalui Pemuliaan Mutasi Sinar Gamma (2023). Buku yang telah diterbitkan Sistem Pertanian Terpadu: Pertanian Masa Depan (2022); Budidaya tanaman Semusim dan Tahunan (2022); Teknologi dan Produksi Benih (2023); Hortikultura (2023).

BIODATA PENULIS



Mila Sari, S.ST, M.Si

Dosen STIKES Dharma Landbouw Padang

Penulis dilahirkan di Pilubang, 13 Mei 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Administrasi Rumah Sakit Stikes Dharma Landbouw Padang. Menyelesaikan pendidikan D3 dan D4 pada Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kemenkes Padang dan melanjutkan S2 pada Jurusan ilmu Lingkungan Universitas Negeri Padang. Penulis menekuni bidang ilmu lingkungan dan kesehatan lingkungan. Penulis dapat dihubungi melalui email : milasari111326@gmail.com atau nomor telepon 081374464054

BIODATA PENULIS



Umi Novita Fitriah, S.Pd., M.Sc.

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Palangka Raya

Penulis lahir di Sampit tanggal 31 Maret 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya. Penulis menyelesaikan studi S1 pada Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Palangka Raya dan melanjutkan studi S2 pada Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang Taksonomi Tumbuhan dan Ekologi Tumbuhan. Beberapa mata kuliah yang pernah diampu antara lain. Biosistemika Tumbuhan, Ekologi Tumbuhan, Morfologi Tumbuhan, Teknik Herbarium, Struktur Perkembangan Tumbuhan, dan Biologi Konservasi. Selain aktif melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi, penulis juga aktif di organisasi TAMBORA Muda Indonesia. Mari jalin kerja sama dengan penulis via *e-mail* : umynovita@mipa.upr.ac.id

BIODATA PENULIS



Ika Purnamasari, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Jember

Penulis lahir di Paniai tanggal 3 Agustus 1991. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Departemen Geofisika dan Meteorologi Program Studi Meteorologi Terapan dan melanjutkan S2 pada Klimatologi Terapan Institut Pertanian Bogor dengan Beasiswa Unggulan. Pada tahun 2019 sampai dengan sekarang, penulis menjadi staf dosen di Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Jember. Keahlian yang ditekuni penulis meliputi Agrometeorologi, teknologi Spasial Bidang Pertanian dan Pertanian Presisi. Aktivitas penelitian dan pengabdian masyarakat penulis yang telah dipublikasikan terekam dalam google scholar dengan alamat: <https://scholar.google.com/citations?user=WNYI5DoAAAAJ&hl=id>. Penulis sebelumnya telah menulis buku dengan judul Pengantar Informasi Geospasial (978-623-147-148-8).