

MIKROBIOLOGI

LAHAN BASAH

berbasis
STEM-PjBL

Penulis:

Meliyana Aini, M.Pd

Wida Salupi, M. Si.

Syubhan Annur, M.Pd

Yudha Irhasyuarna, M.Pd

Maya Istyadi, M.Pd

Ikhwan Khairu Sadiqin, M.Pd

Ratna Yulinda, M.Pd



GET PRESS INDONESIA

MIKROBIOLOGI LAHAN BASAH berbasis STEM-PjBL

Penulis :

Meliyana Aini, M.Pd
Wida Salupi, M. Si.
Syubhan Annur, M.Pd
Yudha Irhasyuarna, M.Pd
Maya Istyadi, M.Pd
Ikhwan Khairu Sadiqin, M.Pd
Ratna Yulinda, M.Pd

ISBN :

Editor :

Penyunting:

Desain Sampul dan Tata Letak :

Penerbit : GET PRESS INDONESIA
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Maret 2024

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan judul Mikrobiologi Lahan Basah Berbasis STEM-PjBL dapat diselesaikan. Buku ini berisikan bahasan tentang mikrobiologi yang ada di lahan basah dan mengenalannya dalam pembelajaran menggunakan pendekatan STEM dan model pembelajaran PjBL.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur yang mudah dipahami.

Banjarmasin, 05 Agustus 2024
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 KONSEP MIKROBIOLOGI LAHAN BASAH	1
1.1 Konsep Mikrobiologi	1
1.2 Konsep Lahan Basah.....	2
1.3 Konsep Mikrobiologi Lahan Basah	3
1.4 Mikrobiologi Lahan Basah berbasis STEM-PJBL	5
1.5 Rangkuman	6
1.6 Latihan Soal.....	6
BAB 2 STERILISASI.....	7
2.1 Pengertian Sterilisasi	7
2.2 Jenis Sterilisasi dan Fungsinya	8
2.3 Desinfeksi dan fungsinya	13
2.4 Sterilisasi Lahan Basah berbasis STEM-PjBL.....	15
2.5 Rangkuman	17
2.6 Latihan Soal.....	18
BAB 3 NUTRISI DAN KULTIVASI.....	19
3.1 Nutrisi mikroba	19
3.2 Kultivasi Mikroorganisme	22
3.3 Nutrisi dan Kultivasi pada Lahan Basah berbasis STEM-PJBL.....	27
3.4 Rangkuman	33

3.5 Latihan.....	33
BAB 4 ISOLASI MIKROBA.....	35
4.1 Pengertian Isolasi Mikroba.....	35
4.2 Teknik Isolasi Mikroba.....	37
4.3 Isolasi Mikroba pada Lahan Basah berbasis STEM-PJBL.....	40
4.4 Rangkuman.....	42
4.5 Latihan Soal.....	43
BAB 5 PERTUMBUHAN DAN PERHITUNGAN SEL MIKROBA	45
5.1 Pertumbuhan Mikroba.....	45
5.2 Perhitungan Sel Mikroba.....	48
5.3 Kondisi fisik yang dibutuhkan untuk pertumbuhan	56
5.4 Pertumbuhan dan Perhitungan Sel Mikroba Lahan Basah berbasis STEM-PJBL.....	61
5.5 Rangkuman.....	62
5.6 Latihan soal	63
BAB 6 IDENTIFIKASI MIKROBA	65
6.1 Teknik Pewarnaan.....	65
6.2 Identifikasi Mikroba Lahan Basah berbasis STEM-PJBL.....	93
6.3 Rangkuman.....	93
6.4 Latihan soal	94
BAB 7 GENETIKA MIKROBA	95
7.1 Pengertian Genetika Mikroba.....	95
7.2 Genetika Mikroba Lahan Basah berbasis STEM-PJBL.....	112

7.3 Rangkuman	115
---------------------	-----

7.4 Latihan soal	115
------------------------	-----

**BAB 8 APLIKASI MIKROBIOLOGI PADA BERBAGAI
BIDANG 117**

8.1 Konsep Aplikasi Mikrobiologi.....	117
---------------------------------------	-----

8.2 Mikrobiologi Bidang Pangan	118
--------------------------------------	-----

8.3 Mikrobiologi Bidang Pertanian	123
---	-----

8.4 Mikrobiologi Bidang Pakan.....	126
------------------------------------	-----

8.5 Mikrobiologi Lahan Basah Berbasis Stem-Pjbl	130
---	-----

8.6 Rangkuman	139
---------------------	-----

8.7 Latihan Soal.....	139
-----------------------	-----

DAFTAR PUSTAKA 140

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Memijarkan jarum ose ke nyala bunsen.....	8
Gambar 2. 2. Sterilisasi kering menggunakan <i>Hot air oven</i>	9
Gambar 2. 3. Autoklaf manual.....	11
Gambar 2. 4. Autoklaf digital.....	12
Gambar 2. 5. Persiapan meja kerja, alat dan bahan serta sterilisasi alat (A) semprot alkohol ke meja kerja, (B) lap meja kerja dengan <i>tissue</i> , (C) peletakan alat dan bahan diatas meja kerja, (D)memanaskan air hingga mendidih, (E) mensterilkan alat dalam air mendidih dan didiamkan selama 15 menit, (F) alat diangkat dan ditiriskan.	16
Gambar 2. 6. Proses pembuatan dan penuangan medium	16
Gambar 2. 7. Proses perlakuan inokulasi pada medium 1 dan 2	17
Gambar 3. 1. PDA alami	28
Gambar 3. 2. Inokulasi biji.....	30
Gambar 3. 3. Contoh hasil percobaan penumbuhan <i>E. coli</i> dengan substrat MSG.....	32
Gambar 4. 1. Contoh streak 4 kuadran pada cawan petri	38
Gambar 4. 2. Teknik inokulasi secara <i>spread plate</i> , <i>pour plate</i> dan perbedaan hasil inokulasinya	39
Gambar 4. 3. Teknik Pengenceran.....	40
Gambar 5. 1. Grafik fase pertumbuhan mikroorganisme.....	46

Gambar 5. 2. Contoh pengenceran.....	49
Gambar 5. 3. Cara menghitung koloni bakteri	50
Gambar 5. 4. <i>Colony counter</i> untuk mengukur jumlah bakteri dari cawan petri.....	50
Gambar 5. 5. Pengaturan eksperimental prosedur MPN untuk menguji air minum	52
Gambar 5. 6. Plate Petroff-Hausser	53
Gambar 5. 7. cara menghitung menggunakan metode Petroff- Hausser	54
Gambar 5. 8. Pengamatan jumlah sel secara turbidimetri	55
Gambar 5. 9. Pengukuran aktivitas metabolisme dan berat kering.....	56
Gambar 5. 10. Kisaran pH untuk pertumbuhan beberapa mikroorganisme (Kustyawati, 2020)	58
Gambar 5. 11. Grafik pengaruh suhu terhadap pertumbuhan mikroba.....	62
Gambar 5. 12. Grafik pengaruh tekanan osmotik terhadap pertumbuhan mikroba.....	62
Gambar 6. 1. Interpretasi Pewarnaan Sederhana.....	69
Gambar 6. 2. Contoh hasil pewarnaan asam.....	70
Gambar 6. 3. Hasil pewarnaan gram (a) Gram negatif dan (b) Gram positif.....	72
Gambar 6. 4. Perbedaan dinding sel bakteri gram negative dan gram positif.....	73
Gambar 6. 5. Hasil pewarnaan tahan asam	75

Gambar 6. 6. Tahap-tahap pewarnaan endospore.....	77
Gambar 6. 7. Hasil pewarnaan endospore (endospore berwarna hijau, sel vegetative berwarna merah)...	77
Gambar 6. 8. Hasil hidrolisis lipid.....	81
Gambar 6. 9. Koloni bakteri proteolitik pada medium SMA (A) <i>Vibrio parahaemo-liticus</i> (B) <i>Pseudomonas pseudomallei</i> , dan (C) <i>Listeria monocytogenes</i> . Zona bening menunjukkan aktivitas hidrolisis protein oleh bakteri (tanda panah biru).	82
Gambar 6. 10. Hasil uji gelatin	83
Gambar 6. 11. Hasil uji koagulase.....	84
Gambar 6. 12. Hasil uji fermentasi karbohidrat.....	85
Gambar 6. 13. Hasil uji reduksi nitrat	87
Gambar 6. 14. Hasil uji katalase	88
Gambar 6. 15. Hasil uji urease	88
Gambar 6. 16. Hasil Uji oksidase.....	91
Gambar 6. 17. Hasil uji indol.....	92
Gambar 7. 1. Struktur kromosom	97
Gambar 7. 2. Plasmid pada bakteri	98
Gambar 7. 3. Plasmid R.....	99
Gambar 7. 4. Perbedaan struktur DNA dan RNA	102
Gambar 7. 5. Perbedaan 3 model replika DNA	103
Gambar 7. 6. Proses transkripsi	105
Gambar 7. 7. Perbedaan Transkripsi dan Translasi	107

Gambar 7. 8. Titik mutasi gen	110
Gambar 7. 9. contoh rekayasa genetika berupa kloning gen insulin menggunakan bakteri <i>E.coli</i>	111
Gambar 8. 1. Infeksi hifa jamur CMA pada akar tanaman	125
Gambar 8. 2. Morfologi <i>E.coli</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Lactobacillus</i>	127
Gambar 8. 3. Morfologi <i>Aspergillus sp.</i> , <i>Rizoctonia sp.</i> , <i>Fusarium sp.</i>	129
Gambar 8. 4. Biofungisida berbahan aktif <i>Trichoderma sp.</i>	132
Gambar 8. 5. Proses inokulasi <i>Trichoderma</i>	133
Gambar 8. 6. Biofungisida berbahan aktif <i>Trichoderma sp.</i> pada media padat.....	133
Gambar 8. 7. Pupuk organik-plus fungi mikoriza <i>Arbukula</i>	134
Gambar 8. 8. <i>C. vulgaris</i> secara mikroskopis dan sediaan kultur.....	137
Gambar 8. 9. Diagram Alir Pembuatan Pakan Ikan Bentuk Pellet.....	138

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Tipe nutrisi utama bakteri.....	20
Tabel 5. 1. Contoh Perhitungan MPN	52
Tabel 6. 1. Perbedaan Bakteri Gram positif dan negatif	72
Tabel 6. 2. Perbedaan pemberian warna atau larutan pada bakteri.....	75
Tabel 6. 3. Uji biokimia berdasarkan jenis enzim.....	78
Tabel 7. 1. Kodon untuk RNA pembawa pesan	106

BAB 1

KONSEP MIKROBIOLOGI LAHAN BASAH

- CPL** : Mampu menganalisis fenomena sains secara terintegrasi untuk memecahkan masalah dengan berpikir kritis dan memanfaatkan IT sebagai sumber data untuk penelitian, dan kewirausahaan.
- CPMK 1** : Mahasiswa mampu memahami konsep-konsep Dasar Mikrobiologi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat melalui inovasi dibidang mikroorganisme lahan basah.
- CMPK 4** : Mahasiswa terampil dalam menggunakan alat dan melakukan praktikum.

1.1 Konsep Mikrobiologi

Mikrobiologi merupakan ilmu yang cakupannya luas, ilmu yang mempelajari semua organisme yang hanya dapat dilihat menggunakan alat bantu yaitu mikroskop dikarenakan objek dari organisme tersebut sangat kecil. Dalam perkembangannya mikrobiologi berspesialisasi dalam berbagai bidang, diantaranya bakteriologi adalah cabang ilmu mengenai bakteri, mikologi cabang ilmu mengenai jamur, parasitologi yaitu cabang ilmu yang mempelajari cacing dan parasit lainnya, virologi cabang ilmu mengenai virus, protozoologi yaitu cabang ilmu mengenai protozoa, selain itu juga mikrobiologi dapat berspesialisasi dalam sub ilmu tertentu misalnya mikrobiologi klinis, mikrobiologi pangan dan mikrobiologi terapan, mikrobiologi air dan tanah.

Objek organisme dalam ilmu mikrobiologi sangat luas. Semua objek yang kecil dan membutuhkan alat bantu mikroskop pada semua habitat dipelajari dalam ilmu mikrobiologi, misalnya

habitat di darat, udara maupun di laut/perairan ataupun menjadi host dalam inang organisme tak hidup maupun hidup.

Mikrobiologi pada habitat perairan menarik untuk dipelajari karena sebagian besar dunia terdiri dari perairan. Lingkungan perairan sangat berbeda dengan daratan. Kondisi sumber cahaya, pH dan temperatur yang berbeda mengakibatkan sumber nutrisi bagi mikroorganisme berbeda pula, hasilnya keragaman organisme pada perairan dan daratan sangat tinggi.

1.2 Konsep Lahan Basah

Perairan lahan basah dapat diartikan sebagai suatu wilayah genangan yang menyimpan air. Menurut Hardjosoemantri (1991) contoh dari lahan basah yaitu rawa, ai payau, tanah dan tanah gambut. Lahan rawa adalah lahan yang menempati posisi peralihan antara daratan dan peraliran sehingga sepanjang tahun atau dalam waktu yang lama yang tergenang secara periodik atau terus menerus secara alami dalam kurun waktu yang panjang dalam setahun tergenang dangkal, selalu jenuh air atau mempunyai air tanah yang dangkal (Subagyo, 2006). Lahan basah ini sangat menarik untuk dikaji lebih jauh karena dibandingkan dengan ekosistem lain, lahan basah menyimpan lebih banyak jenis flora dan fauna (Harianto dan Bainah, 2017).

Istilah "lahan basah", diterjemahkan dari "lahan basah", baru dikenal di Indonesia sekitar tahun 1990. Dahulu, orang Indonesia menyebut lahan basah sesuai dengan bentuk/nama fisik masing-masing jenis seperti rawa, danau, sawah, tambak, dan lain-lain. Lahan basah didefinisikan dalam Pasal 1. Konvensi. Definisi lengkapnya adalah: "Lahan basah" Termasuk air payau, lahan basah, gambut atau badan air, termasuk air alami atau buatan, permanen atau sementara, air mengalir atau normal, air tawar, air payau atau air asin. Ini termasuk daerah dengan air laut, dan kedalamannya adalah pasang surut (surut) dan tidak melebihi 6 meter. Definisi lahan basah tampaknya sederhana. Kejelasan tergantung pada apa arti lahan basah, di mana memulainya, dan di mana batas lahan basah. Tetapi jika Anda perhatikan lebih dekat,

lahan basah adalah masalah yang kompleks (Harahap 2016; Dharmono, 2015)

Konvensi Ramsar mendefinisikan lahan basah berdasarkan Pasal sebagai lahan basah, lahan basah, gambut atau badan air, baik alami maupun buatan, permanen atau sementara. Pada saat surut (surut), tidak melebihi 6 meter. Pasal 2(1) juga menyatakan bahwa lahan basah dapat meliputi tepi sungai (riverside) dan wilayah pesisir yang berbatasan dengan lahan basah, pulau, atau bagian laut. Kedalamannya dari 6 meter dan ditutupi dengan lahan basah (4).

1.3 Konsep Mikrobiologi Lahan Basah

Mikrobiologi lahan basah berkaitan erat dengan ragam mikroba yang terdapat dalam kawasan lahan basah. Terdapat perbedaan mikroba yang ada di lahan basah dengan lahan pada umumnya. Salah satunya perbedaan jumlah oksigen terlarut pada lahan basah menunjukkan keragaman mikroorganisme yang hidup didalamnya. Mikroorganisme yang membutuhkan oksigen untuk metabolisme tubuhnya disebut aerob dan mikroorganisme yang tidak membutuhkan oksigen dalam siklus hidupnya disebut anaerob. Nilai pH pada perairan juga bervariasi, hal ini ditentukan dengan kelarutan CO₂. Pada samudra atau laut, nilai pH tergantung pada CO₂, karbonat dan bikarbonat, sedangkan perairan tawar nilai pH tergantung pada beberapa mineral yang bersifat asam dan basa.

Sinar matahari sebagai sumber energi bagi organisme sangat berpengaruh pada kelangsungan hidupnya. Kondisi di permukaan perairan dengan jumlah sinar matahari yang lebih tinggi mempengaruhi keragaman mikroorganisme jika dibandingkan pada kedalaman tertentu.

Keragaman mikroba pada lahan rawa dapat dikategorikan sebagai :

- a. Mikroba perombak bahan organik (terdiri dari mikroba yang dapat menghidrolisis senyawa polisakarida menghasilkan

selulosa seperti dari kelompok (Wizna *et al* 2007), Aktinomiset (Salupi, 2015; (Lamid *et al.*, 2010), , *B.coagulan* dan *T. harzianum* (Wizna 2007 *et al*), senyawa lignin yaitu *Burkholderia* sp (Roslan *et al.* (2016), dan polisakarida lain seperti kitin dan pektin yaitu *Bacillus Pseudomonas*, dan *Vibrio*, *Clostridium pectinovorus* (Des *et al* 2006).

b. Mikroba penambat nitrogen

Mikroba yang dapat memfiksasi nitrogen contohnya yaitu bakteri penambat nitrogen bebas (non simbiotik) seperti *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Burkholderia*, *Clostridium* dan beberapa metanogen yang mungkin berasosisasi dengan rhizosfer tanaman. Bakteri penambat nitrogen secara simbiotik seperti *Rhizobium*, *Shinorhizobium*, *Mesorhizobium* dan *Frankia*. (Aislabie and Deslippe, 2003).

c. Mikroba pelarut fosfat

Tanah pada lahan rawa umumnya memiliki kandungan pH rendah. Mikroba yang memiliki kemampuan melarutkan fosfat yaitu *Burkholderia thailandensis*, *Sphingomonas pitulosa* dan *Burkholderia Spinalis* (Panhwar *et al* (2014), *Penicillium aculeatum* Istina *et al.* (2015). Selain itu dari kelompok jamur yang mempunyai aktivitas pelarut fosfat yaitu dari kelompok g *Glomus*, *Acaulospora*, *Entrophospora* (Higo *et al*, 2011).

d. Mikroba pereduksi sulfat, pengoksidasi besi dan pirit.

Mikroba yang memiliki kemampuan mereduksi sulfat diantaranya *Desulfovibrio*, *Desulfomicrobium*, *Desulfobacter*, *Desulfosarcina*, *Desulfotomacillum*, *Thermodesulfobacterium* dan *Archaeoglobus* (Luptakova, 2007)

e. Mikroba metanogen dan metanotrof

Dubey (2005) membedakan metanotrof menjadi 3 yaitu Type I (γ -Proteobacteria) Type I (α Proteobacteria) dan Type X. Type I meliputi *Methylomonas*, *Methylocaldum*, *Methylosphaera*, *Methylochromium* dan *Methylobacter*. Type II terdiri dari *Methylosystis* dan *Methylosinus*. Sebagian dari *Methylococcus* adalah tergolong Type X. Akhir-akhir ini sebuah bakteri metanotrof acidophilic yang ekstrim dilaporkan tergolong filum *Verrucomicrobia*, di luar subphylla metanotrof yang sudah ada (Dunfielg *et al.*, 2007). Metanotrof yang diisolasi dari

pertanaman padi termasuk genus *Methylocystis* (Takeda *et al.*, 1988 dalam Mer dan Roger, 2001) dan *Methylosynu*

1.4 Mikrobiologi Lahan Basah berbasis STEM-PJBL

Konsep mikrobiologi lahan basah berbasis STEM-PJBL yang dimunculkan yaitu **proyek pembuatan replika tanah sulfat masam** dengan keanekaragaman mikroba yang ditemukan berdasarkan study literatur.

Tanah sulfat masam (*Salfaquept soils*) adalah salah satu jenis tanah atau tipologi lahan yang dijumpai di lahan rawa pasang surut. Tanah sulfat masam di Kalimantan memiliki karakteristik dan tipe lahan yaitu Potensial tipe B dengan karakter lahan terluapi air pasang hanya pada musim hujan dan tipe lahan Aktual tipe C yakni dipengaruhi muka air tanah dengan kedalaman kurang dari 50 cm. Kedua tipe lahan tersebut banyak dijumpai di Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah. Salah satu cara skrining sumber daya tanah sulfat masam yaitu mengidentifikasi keanekaragaman mikroba di dalamnya khususnya mikroba yang bersifat dapat mereduksi sulfat untuk mempelajari hubungan komunitas mikroba tersebut dalam berkontribusi pada peningkatan produktivitas tanah sulfat masam serta vegetasi di lingkungannya.

Penelitian oleh Kurniawati, Hamzah Muttaqin, dan Giyanto (2017) mengenai keanekaragaman bakteri pada pertanaman padi di lahan rawa sulfat masam Desa Karang Indah, Kab. Barito Kuala, Kalimantan Selatan, memperoleh hasil isolat bakteri sebanyak 31,75%, di antaranya merupakan kelompok bakteri *Actinomycetes*, *Bacillus*, *Cromobacterium* dan *Pseudomonas*.

Proyek pembuatan replika tanah sulfat masam:

Alat: sterofoam, kuas, tusuk gigi, kapas, spidol hitam dan warna, gunting, cutter, penggaris, lem sterofoam, jarum, kawat, lem tembak, pemotong kawat, berbagai jenis isolasi

Bahan: cat warna, malam plastisin warna warni, sabun warna warni, kerta origami, benang warna warni, spons warna warni, kain flannel, busa.

Langkah pembuatan:

- *Study literature* jenis bakteri yang ada pada tanah sulfat masam
- Mewarnai sterofom dengan warna tanah sulfat masam
- Membuat gradasi tanah dengan kapas dan cat warna
- Membuuat jenis bakteri atau mikroba dengan malam dengan berbeda warna.

1.5 Rangkuman

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa mikroba lahan rawa memiliki keragaman yang tinggi sesuai dengan jumlah oksigen, keadaan pH dan jumlah sinar matahari sebagai sumber nutrisi. Keragaman mikroba pada lahan rawa dapat diaktegorikan sebagai mikroba perombak bahan organik, mikroba penambat nitrogen, mikroba pelarut fosfat, mikroba pereduksi sulfat, pengoksidasi besi dan pirit dan mikroba metanogen dan metanotrof.

1.6 Latihan Soal

Jawablah pertanyaan berikut dengan baik dan benar!

- 1) Jelaskan konsep mikrobiologi lahan basah
- 2) Jelaskan keragaman mikroba pada lahan rawa

BAB 2

STERILISASI

- CPL** : Mampu menganalisis fenomena sains secara terintegrasi untuk memecahkan masalah dengan berpikir kritis dan memanfaatkan IT sebagai sumber data untuk penelitian, dan kewirausahaan.
- CPMK 1** : Mahasiswa mampu memahami konsep-konsep Dasar Mikrobiologi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat melalui inovasi dibidang mikroorganisme lahan basah.
- CMPK 4** : Mahasiswa terampil dalam menggunakan alat dan melakukan praktikum

2.1 Pengertian Sterilisasi

Sterilisasi didefinisikan sebagai upaya untuk membunuh mikroorganisme termasuk dalam bentuk spora. Desinfeksi merupakan proses untuk merusak organisme yang bersifat patogen, namun tidak dapat mengeliminasi dalam bentuk spora. Proses sterilisasi diperlukan pada bidang mikrobiologi untuk mencegah pencemaran organisme luar. Proses sterilisasi dilakukan terhadap alat dan bahan sebelum pelaksanaan kegiatan praktikum mikrobiologi untuk membantu hasil atau identifikasi yang akurat dalam pemeriksaan mikrobiologi. Demikian pula proses desinfeksi dan teknik aseptik oleh praktikan juga tidak dapat dilupakan karena akan mempengaruhi hasil.

2.2 Jenis Sterilisasi dan Fungsinya

Sterilisasi dapat dilakukan baik dengan metode fisika maupun kimia.

a. Sterilisasi dengan metode fisika dapat dilakukan dengan cara:

1) Pemanasan

Sterilisasi dengan metode fisika atau secara langsung dengan pemanasan digolongkan menjadi 2 yaitu pemanasan kering dan pemanasan basah. **Pemanasan kering** dilakukan dengan 4 cara yaitu:

- Pemijaran

Metode ini dengan memanaskan alat biasanya berupa ose di atas api bunsen sampai ujung ose memijar.



Gambar 2. 1. Memijarkan jarum ose ke nyala bunsen

- **Pembakaran**
Pembakaran dilakukan untuk alat-alat dari bahan logam atau kaca dengan cara dilewatkan di atas api bunsen namun tidak sampai memijar. Misalkan: a) melewati mulut tabung yang berisi kultur bakteri di atas api Bunsen; b) memanaskan kaca objek di atas api busnen sebelum digunakan; c) memanaskan pinset sebelum digunakan untuk meletakkan disk antibiotik pada cawan petri yang telah ditanam bakteri untuk pemeriksaan uji kepekaan antibiotik.
- *Hot air oven*
Sterilisasi dengan metode ini digunakan untuk benda-benda dari kaca/gelas, petri, tabung Erlenmeyer, tidak boleh bahan yang terbuat dari karet atau plastic. Oven Suhu 160-1800C selama 1.5-3 jam. Alat-alat tersebut terlebih dahulu dibungkus menggunakan kertas sebelum dilakukan sterilisasi.



Gambar 2. 2. Sterilisasi kering menggunakan *Hot air oven*

- Insinerator

Bahan-bahan infeksius seperti jarum bekas suntikan yang ditampung dalam *safety box biohazard*, darah, dilakukan sterilisasi dengan menggunakan insinerator. Hasil pemanasan dengan suhu 8700-9800 C akan menghasilkan polutan berupa asap atau debu. Hal ini yang menjadi kelemahan dari sterilisasi dengan metode insenerasi. Namun, metode ini dapat meyakinkan bahwa bahan infeksius dapat dieliminasi dengan baik yang tidak dapat dilakukan dengan metode lainnya.

Pemanasan Basah merupakan pemanasan dengan tekanan tinggi, contohnya adalah dengan menggunakan autoklav. Sterilisasi dengan metode ini dapat digunakan untuk sterilisasi biohazard (bakteri limbah hasil praktikum) dan alat-alat yang tahan terhadap panas (bluetip, mikropipet), pembuatan media, dan sterilisasi cairan. Pemanasan yang digunakan pada suhu 121°C selama 15 menit. Pemanasan basah dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu:

- Autoklaf manual

Metode ini menggunakan ketinggian air harus tetap tersedia di dalam autoklaf. Sterilisasi menggunakan autoklaf manual tidak dapat ditinggal dalam waktu lama. Autoklaf manual setelah suhu mencapai 121°C setelah 15 menit, jika tidak dimatikan maka suhu akan terus naik, air dapat habis, dan dapat meledak.



Gambar 2. 3. Autoklaf manual

- Autoklaf digital/otomatis
Alat ini dapat diatur dengan suhu mencapai 121°C selama 15 menit. Setelah suhu tercapai, maka suhu akan otomatis turun sampai mencapai 50°C dan tetap stabil pada suhu tersebut. Jika digunakan untuk sterilisasi media, suhu ini sesuai karena untuk membuat media diperlukan suhu $50\text{-}70^{\circ}\text{C}$.



Gambar 2. 4. Autoklaf digital

2) Radiasi

Radiasi ionisasi digunakan untuk mensterilkan alat-alat berupa bahan plastic seperti kateter, plastic spuit injeksi, atau sarung tangan sebelum digunakan. Contoh radiasi ionisasi adalah metode pada penggunaan microwave yaitu dengan menggunakan panjang gelombang pendek dan sinar gamma *high energy*.

3) Filtrasi

Metode ini digunakan untuk sterilisasi bahan-bahan yang sensitive terhadap panas seperti radioisotope, kimia toksik. Ada 2 cara filtrasi yaitu (a) Filtrasi berupa cairan dengan menggunakan prinsip melewati larutan pada membran selulosa asetat atau selulosa nitrat. (b) Filtrasi berupa udara

dengan menggunakan *high-efficiency particulate air* (HEPA) untuk menyaring organisme dengan ukuran lebih besar dari 0.3 μm dari ruang *biology safety cabinet* (BSCs)

- b. Sterilisasi dengan metode kimiawi dilakukan dengan 2 cara yaitu
 - 1) Uap formaldehide atau hydrogen peroksida digunakan untuk sterilisasi filter HEPA pada BSCs.
 - 2) Glutaraldehyde bersifat sporisidal, yaitu membunuh spora bakteri dalam waktu 3-10 jam pada peralatan medis karena tidak merusak lensa, karet, dan logam, contohnya adalah alat untuk bronkoskopi.

2.3 Desinfeksi dan fungsinya

Desinfeksi dapat dilakukan dengan 2 metode yaitu fisika dan kimia.

- 1) Desinfeksi dengan metode fisika dilakukan dengan 3 cara yaitu:
 - Merebus pada suhu 100°C selama 15 menit dapat membunuh bakteri vegetative.
 - Pasteurisasi pada suhu 63°C selama 30 menit atau 72°C selama 15 detik yang berfungsi membunuh patogen pada makanan namun tidak mengurangi nutrisi dan rasa dari makanan tersebut.
 - Menggunakan radiasi non-ionisasi seperti ultraviolet (UV). Sinar ultraviolet memiliki panjang gelombang yang panjang dengan *low energy*. Contohnya adalah untuk membunuh bakteri yang ada di permukaan BSCs. Sehingga, sebelum menggunakan BSCs, sinar UV harus dinyalakan terlebih dahulu yaitu kurang lebih 30 menit sebelum penggunaan.

2) Desinfeksi dengan metode kimiawi
Desinfeksi dengan metode kimiawi dapat dilakukan dengan menggunakan desinfektan. Bahan yang termasuk dalam desinfektan yaitu:

- Etil alcohol 70% lebih efektif dibandingkan dengan etil alcohol 95%, hal ini dikarenakan kemampuan air (H_2O) dalam menghidrolisis ikatan protein dari mikroorganisme. Sehingga, proses membunuh mikroorganisme menjadi lebih efektif.
- Aldehid yang berupa glutraldehid dan formaldehid memiliki kemampuan iritasi yang besar sehingga tidak digunakan sebagai antiseptic.
- Halogen, seperti chlorin dan iodine merupakan desinfektan yang seringali digunakan. Persiapan sebelum dilakukan operasi seringkali menggunakan kombinasi etil alcohol 70% diikuti dengan povidon-iodine.
- Logam berat, contohnya adalah air raksa. Karena logam ini sangat berbahaya bagi lingkungan, maka penggunaannya sebagai desinfektan tidak direkomendasikan. Namun dalam keadaan konsentrasi sangat rendah misalkan silver nitrat 1%, masih efektif digunakan dalam pengobatan konjungtivitis neonatorum karena *Neisseria gonorrhoeae*.

Desinfektan yang digunakan pada kulit disebut sebagai antiseptik. Antiseptik didefinisikan sebagai bahan yang digunakan untuk membunuh mikroorganisme yang menempel pada jaringan hidup, contohnya adalah kulit. Mekanisme kerja dari antiseptic sebagian besar adalah menghambat pertumbuhan dari mikroorganisme (bakteriostatik) namun dapat juga membunuh bakteri (bakterisidal).

2.4 Sterilisasi Lahan Basah berbasis STEM-PjBL

Praktikum sederhana dirumah tentang **pengaruh penggunaan *hand sanitizer* terhadap keberadaan koloni bakteri di tangan.**

Efektivitas *hand sanitizer* dapat diuji melalui praktikum sederhana penumbuhan bakteri dengan tetap menggunakan prinsip kerja aseptis. Alat dan bahan yang diperlukan adalah enam piring kaca bening tahan panas, sendok makan, panci ukuran sedang, gelas air mineral bekas kapasitas 220 ml, tissue kering, kompor, penjepit tahan panas, lilin dan korek api. Bahan yang dipakai adalah dua bungkus bubuk agar-agar putih, setengah sendok makan MSG atau penyedap rasa, dua sendok makan gula putih, air, alkohol 70% dan *hand sanitizer*.

Langkah praktikum sederhana dimulai dengan memastikan bahwa meja kerja sudah bersih. Meja dibersihkan dengan disemprotkan alkohol 70% kemudian di lap menggunakan tissue kering. Alat dan bahan yang telah dipersiapkan diletakkan di atas meja kerja sedangkan panci, piring, kompor dan air dipersiapkan untuk proses sterilisasi. Sterilisasi merupakan proses yang bertujuan menghilangkan mikroorganisme pada benda agar terjaga kebersihannya (Istini, 2020). Setiap alat yang akan digunakan dimasukkan ke dalam air mendidih selama 15 menit kemudian ditiriskan dan diletakkan ke atas meja kerja (Gambar 1). Tiga piring digunakan sebagai wadah medium sebagai pengganti cawan petri yang biasa digunakan di laboratorium sedangkan tiga piring lainnya digunakan sebagai penutup medium.



Gambar 2. 5. Persiapan meja kerja, alat dan bahan serta sterilisasi alat (A) semprot alkohol ke meja kerja, (B) lap meja kerja dengan *tissue*, (C) peletakan alat dan bahan diatas meja kerja, (D) memanaskan air hingga mendidih, (E) mensterilkan alat dalam air mendidih dan didiamkan selama 15 menit, (F) alat diangkat dan ditiriskan.

Selanjutnya pembuatan medium, Dua gelas air, gula, penyedap rasa, dan bubuk agar-agar putih dimasukkan ke dalam panci yang sudah diletakkan di atas kompor. Semua bahan yang dalam panci diaduk hingga rata dan mendidih kemudian medium tersebut dituang ke dalam tiga piring yang telah disterilisasi sebelumnya. Gelembung udara pada medium diambil menggunakan sendok yang telah disterilisasi. Medium ditutup lalu ditunggu hingga mengeras dan dingin.



Gambar 2. 6. Proses pembuatan dan penuangan medium

Persiapan dan perlakuan isolasi. Tahap ini merupakan tahap pemindahkan bakteri dari tangan ke medium yang sudah dibuat atau disebut dengan isolasi bakteri dari tangan. Wadah 1 sebagai kontrol yaitu tidak diberikan perlakuan apapun untuk menguji keberhasilan cara kerja aseptis. Wadah 2 merupakan perlakuan 1, yaitu telapak tangan yang tidak menggunakan hand sanitizer ditempelkan ke atas medium selama 1 menit. Wadah 3 merupakan perlakuan 2, yaitu telapak tangan yang telah menggunakan hand sanitizer dan ditempelkan ke atas medium selama 1 menit. Medium ditutup kembali setelah perlakuan 1 dan 2.



Gambar 2. 7. Proses perlakuan inokulasi pada medium 1 dan 2

Pengamatan dilakukan setelah 24 jam dengan parameter yaitu perbedaan banyaknya koloni bakteri yang tumbuh pada setiap medium perlakuan serta kontrol.

2.5 Rangkuman

Sterilisasi merupakan metode menghilangkan semua bentuk kehidupan mikroba, sedangkan desinfeksi adalah proses menghancurkan sebagian besar mikroorganisme berbahaya. Sterilisasi terbagi menjadi 2 metode yaitu secara fisika dan kimiawi. Secara fisika sterilisasi digolongkan menjadi 3 yaitu pemanasan, radiasi dan filtrasi. Secara kimiawi sterilisasi digolongkan menjadi 2 metode yaitu Uap formaldehide dan Glutaraldehyde. Desinfeksi terbagi juga menjadi 2 metode yaitu

fisika dan kimiawi. Desinfektan yang sering digunakan oleh masyarakat untuk kulit disebut dengan antiseptik.

2.6 Latihan Soal

Silakan jawab pertanyaan berikut dengan baik dan benar!

- 1) Apakah perbedaan sterilisasi dan desinfeksi?
- 2) Sebutkan minimal 2 syarat alat dan bahan dapat dilakukan sterilisasi secara pemanasan basah!
- 3) Apa yang mencirikan sterilisasi dengan metode filtrasi? Jelaskan!
- 4) Apa perbedaan sifat antiseptik bakteriostatik dengan antiseptik bakterisidal? Jelaskan!

BAB 3

NUTRISI DAN KULTIVASI

- CPL** : Mampu menganalisis fenomena sains secara terintegrasi untuk memecahkan masalah dengan berpikir kritis dan memanfaatkan IT sebagai sumber data untuk penelitian, dan kewirausahaan.
- CPMK 1** : Mahasiswa mampu memahami konsep-konsep Dasar Mikrobiologi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat melalui inovasi dibidang mikroorganisme lahan basah.
- CMPK 4** : Mahasiswa terampil dalam menggunakan alat dan melakukan praktikum

3.1 Nutrisi mikroba

Mikroorganisme memerlukan nutrisi untuk pertumbuhannya. Nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah besar disebut makronutrien dan nutrisi yang dibutuhkan dalam jumlah kecil disebut mikronutrien. Makronutrien terdiri dari oksigen, karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, fosfat, potasium, kalsium, magnesium dan zat besi. Sedangkan mikronutrien atau trace element seperti mangan, seng, kobalt, molibdenum, nikel dan tembaga. Semua nutrisi ini harus dipenuhi sesuai kebutuhannya masing-masing dalam menunjang kehidupan mikroorganisme. Sumber energi bisa didapatkan dari cahaya dan dari oksidasi senyawa anorganik maupun organik. Organisme yang mendapatkan sumber energi dari cahaya disebut organisme fototrof, sedangkan yang mendapatkan energi dari oksidasi senyawa anorganik dan organik disebut organisme kemotrof. Semua organisme memerlukan karbon, hidrogen, oksigen dan

sumber elektron untuk hidupnya. Mikroorganisme autotrof adalah mikroorganisme yang mendapatkan sumber karbon dari CO₂ sedangkan mikroorganisme heterotrof adalah mikroorganisme yang mendapatkan karbon untuk metabolismenya dari senyawa organik.

Penggolongan mikroorganisme berdasarkan sumber nutrisi yang diperlukan dalam proses metabolismenya dibedakan seperti pada Table 3.1 di bawah ini.

Tabel 3. 1. Tipe nutrisi utama bakteri

Tipe	Sumber energi untuk pertumbuhan	Sumber karbon untuk pertumbuhan	Contoh genus
Fototrof			
a. Autotroph	Cahaya	CO ₂	<i>Chromatium</i>
b. Heterotroph	Cahaya	Senyawa organik	<i>Rhodopseudomonas</i>
Kemotrof			
a. Autotroph	Oksidasi senyawa anorganik	CO ₂	<i>Thiobacillus</i>
b. Heterotroph	Oksidasi senyawa organik	Senyawa organik	<i>Escherichia</i>

Kategori ini mewakili tipe utama, dalam setiap kategori ada banyak nutrisi yang berbeda-beda (Pelczar, 1986)

Persyaratan nutrisi dalam metabolisme mikroorganisme sangat beragam, berikut merupakan pernyataan yang menggambarkan keragaman tipe nutrisi Pelczar (1986).

- 1) Semua organisme hidup membutuhkan sumber energi untuk proses metabolismenya.

- 2) Semua mikroorganisme membutuhkan karbon. Semua organisme hidup membutuhkan karbon, Sebagian membutuhkan dalam jumlah sedikit seperti mikroorganisme tetapi sebagian besar membutuhkan karbon dalam jumlah besar seperti dalam bentuk gula dan karbohidrat lain. Kelompok bakteri ada juga yang tidak dapat menggunakan karbondioksida sebagai sumber karbon satu-satunya dan tergantung kepada autotroph untuk memproduksi karbohidrat dan senyawa-senyawa organik lainnya sebagai makanan. Mikroorganisme yang mensyaratkan senyawa organik sebagai sumber karbonnya disebut heterotroph.
- 3) Semua mikroorganisme memerlukan nitrogen. Jika tumbuhan memerlukan nitrogen anorganik dalam bentuk KNO_3 dan hewan sumber nitrogennya dari protein atau asam amino, mikroorganisme membutuhkan nitrogen menggunakan nitrogen atmosferik dan dari senyawa nitrogen organik lainnya. Contoh mikroorganisme yang dapat menambat nitrogen dari atmosfer yaitu dari kelompok *Nitromonas* dan *Nitrobacter*.
- 4) Semua organisme hidup membutuhkan belerang (sulfur) dan fosfor. Pada hewan sulfur didapat dari senyawa-senyawa sulfur organik, sedangkan pada tumbuhan didapat dari senyawa sulfur anorganik maupun sulfur unsure. Pada bakteri biasanya sulfur didapat dari garam fosfat.
- 5) Semua organisme hidup membutuhkan beberapa unsur logam, natrium, kalium, kalsium, magnesium, mangan, besi, seng, tembaga dan kobalt untuk pertumbuhannya yang normal. Bakteri juga membutuhkan unsur logam yang sama meskipun jumlah yang sangat kecil diukur dalam ppm (part per million atau persepjuta).
- 6) Semua organisme hidup juga membutuhkan vitamin yaitu senyawa organik khusus yang penting untuk pertumbuhan. Vitamin berfungsi memebantuk substansi yang mengaktivasi enzim (substansi yang menyebabkan perubahan kimiawi).

Meskipun semua bakteri membutuhkan vitamin di dalam proses metabolismenya, beberapa mikroorganisme mensintesis seluruh kebutuhan vitaminnya dari senyawa lain pada medium pertumbuhannya.

- 7) Semua organisme hidup membutuhkan air untuk fungsi metabolisme dan pertumbuhannya. Untuk bakteri semua nutrient ada dalam bentuk larutan.

3.2 Kultivasi Mikroorganisme

Kultivasi bakteri merupakan usaha dalam menumbuhkan microorganism pada media kultur. Isolasi itu sendiri merupakan suatu usaha pemisahan mikroorganisme dari medium satu ke medium lainnya untuk mendapatkan biakan murni. Pada proses isolasi harus dilakukan dengan aseptik, aseptik merupakan usaha pencegahan adanya kontaminasi bakteri patogen (Purnomo, 2008).

Kultivasi mikroorganisme dilakukan dengan cara menumbuhkan mikroba pada media pertumbuhan yang sesuai di laboratorium. Medium atau media pertumbuhan mikroba haruslah mengandung nutrisi yang diperlukan oleh mikroba untuk pertumbuhannya. Namun, setiap mikroba bisa memiliki keperluan kadar nutrisi yang berbeda-beda. Hal ini tergantung dari masing-masing spesies. Media pertumbuhan mikroba ada bermacam-macam, bisa dibedakan dari bentuk fisiknya, komposisi nutrisi di dalamnya, bahkan fungsi dari media pertumbuhan itu sendiri.

Fungsi Media

Media merupakan substrat yang diperlukan untuk menumbuhkan dan mengembang-biakkan mikroorganisme. Sebelum dipakai dalam percobaan, media ini perlu disterilkan terlebih dahulu, supaya tidak ditumbuhi oleh mikroorganisme yang tidak dikehendaki (kontaminan). Agar mikroba yang kita kultur dapat tumbuh dengan baik, maka persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu media adalah:

- a. Didalamnya harus terkandung bahan-bahan yang diperlukan oleh mikroba yang akan ditumbuhkan. Bahan-bahan ini meliputi unsur-unsur makro, unsur mikro, dan trace elemen serta zat pengatur tumbuh.
- b. Media tersebut harus mempunyai tekanan osmosis, tegangan permukaan, dan pH yang sesuai dengan kebutuhan mikroba yang akan dikultur.
- c. Media harus dalam keadaan steril sebelum dipakai untuk menumbuhkan mikroba yang diperlukan.

Macam-macam Media

Menurut bahan yang dipakai dalam pembuatannya, media dapat digolongkan menjadi 3 yaitu:

- a. Media alami: Media yang komponen pembentuknya terdiri dari bahan-bahan alam, seperti kentang, taugé, daging, nasi, sari buah, wortel, jagung, darah susu, dan bahan alami lainnya.
- b. Media semi sintetis: Media yang bahan pembentuknya terdiri dari campuran bahan-bahan alami dan bahan sintetis. Contoh: *Potato Dextrose Agar* (PDA), *Taoge Extract Agar* (TEA), *Malt Extract Agar* (MEA), dll.
- c. Media sintetis: Media yang bahan pembentuknya secara keseluruhan terbuat dari bahan-bahan sintetis dan jumlahnya sudah ditentukan. Contoh: *Sabouraud Dextrose Agar* (SDA), *Endo Agar*, *Czapex Dox Agar* (CDA), dll.

Menurut kegunaannya media digolongkan menjadi 6 yaitu:

a. Media umum

Media yang digunakan untuk pertumbuhan mikroba secara umum, yaitu banyak jenis mikroorganisme yang dapat tumbuh pada media ini, misalnya *Nutrient Agar* (NA), *Potato Dextrose Agar* (PDA), NB (*Nutrient Broth*) dan lain sebagainya.

- NA

Nutrient agar adalah media tujuan umum yang digunakan untuk menumbuhkan spesies bakteri. Ini mendukung pertumbuhan mikroorganisme secara general. Ini mengandung beberapa bahan seperti sumber nitrogen, sumber vitamin, karbohidrat, dan zat pematat.

- PDA

Potato Dextrose Agar (PDA) adalah medium yang mengandung ekstrak kentang sebagai sumber nitrogen untuk mengisolasi dan menumbuhkan jamur dan yeast.

- NB

Media *Nutrient Broth* (NB) adalah media yang termasuk dalam media umum yang digunakan untuk menumbuhkan biakan secara general. NB diformulasikan dengan sumber karbon dan nitrogen supaya dapat memenuhi kebutuhan nutrisi bakteri. Komposisi NB terdiri dari beef extract sebagai sumber karbon dan pepton sebagai sumber nitrogen (Wahyuningsih & Zulaika, 2018).

b. Media selektif

Media yang komposisinya sedemikian rupa, sehingga hanya jenis-jenis mikroba tertentu saja yang bisa tumbuh, misalnya *Salmonella Shigella Agar* (SSA), *Briliant Green Lactose Broth* (BGLB), *Mac Conkey Agar* (MCA), *Eosin Methylen Blue Agar* (EMBA), dll.

- SSA

Salmomella Shigella Agar yang digunakan untuk mengisolasi bakteri *Salmonella sp* dan *Shigella sp* dari sampel feses, urin, dan makanan. Untuk khusus isolasi bakteri *Shigella*, media ini tidak disarankan karena beberapa strain *Shigella* akan terhambat. Media ini tersusun atas beberapa bahan, seperti campuran ekstrak, vitamin, mineral, dan asam amino, campuran bile salt, sodium sitrat, dan brilliant green, neutral red, dan ferric citrate. Media ini mirip dengan MCA, hanya penggunaannya lebih khusus lagi untuk basil gram negatif patogen enterik, sehingga dipakai untuk isolasi dari spesimen tinja terutama, *Salmonella* dan *Shigella* yang keduanya memperlihatkan pertumbuhan koloni yang tak berwarna.

- BGLB

Media BGLB merupakan media yang digunakan untuk uji bakteri coliform yang biasanya terdapat pada air minum, air limbah, makanan dan produk susu serta produk lain yang menjadi perhatian sanitasi. Komposisi media ini adalah petone untuk menyediakan nitrogen, vitamin, mineral dan asam amino esensial untuk pertumbuhan bakteri, laktosa merupakan karbohidrat yang difermentasi sehingga dapat menyediakan karbon dan energi. Oxbile dan brilliant green dapat menghambat bakteri gram positif dan bakteri gram negatif kecuali coliform.

- MCA

MCA merupakan media selektif dan diferensial karena pada media ini dapat digunakan hanya untuk bakteri gram negative batang dan mampu membedakan bakteri gram negative fermentasi laktosa dan non fermentasi laktosa. Media ini menjadi selektif dan diferensial karena kandungan dalam media ini berupa garam empedu (untuk menghambat bakteri gram positif), neural red (sebagai pH indicator untuk mengetahui adanya fermentasi laktosa), laktosa dan pepton.

- EMBA

Media selektif khusus gram negative yaitu EMBA. Media EMBA mengandung laktosa, pepton, eosin dan methylene blue. Dan akan diperoleh pertumbuhan koloni mikroba berwarna merah tua disebabkan kemampuan mikroba memfermentasi laktosa. Eosin dan methylene blue berfungsi untuk mempertajam perbedaan warna koloni.

- MSA

Media selektif khusus gram positif yaitu MSA (*Mannitol Salt Agar*). Media MSA mengandung NaCl, manitol dan indikator pH phenol red. Koloni bakteri yang tumbuh mampu memfermentasi manitol menjadi asam sehingga merubah warna indikator phenol red dari merah menjadi warna kuning. (Nasution *et al.*, 2020)

c. Media differential

Media yang digunakan untuk membedakan jenis mikroorganisme satu dengan yang lainnya. Disebabkan adanya suatu reaksi atau ciri khas. Reaksi ini terjadi karena mikroorganisme mampu menguraikan salah satu bahan dalam media. Misalnya *Eosin Methylene Blue Agar* (EMBA), *Blood Agar* (BA), *MacConkey Agar* (MCA), dan sebagainya.

d. Media perkayaan

Media yang digunakan untuk menumbuhkan mikroorganisme tertentu, sebelumnya dipakai dalam suatu proses fermentasi. Tujuannya adalah untuk mengaktifkan mikroorganisme tersebut, misalnya media MEA untuk khamir.

e. Media penguji (*Assay Medium*)

Media yang susunannya tertentu, digunakan untuk pengujian vitamin, asam amino, antibiotik, misalnya PPA (*Phenyl Alanin Agar*), dan sebagainya.

f. Media khusus

Media yang digunakan untuk menentukan tipe pertumbuhan mikroorganisme dan kemampuannya untuk mengadakan perubahan-perubahan kimia tertentu.

Menurut fisiknya, media digolongkan menjadi 2 yaitu:

- a. Media padat
Media yang diberi agar, sehingga pada suhu kamar media mengeras.
Contoh: *Nutrient Agar*, dll
- b. Media cair
Media yang tidak diberi agar, sehingga bentuknya cair.
Contoh: *Nutrient Broth*, dll

3.3 Nutrisi dan Kultivasi pada Lahan Basah berbasis STEM-PJBL

Pada bab ini proses pembelajaran yang berbasis STEM-PjBL yaitu **proyek pembuatan media kultivasi mikroroganisme sederhana**

3.3.1 Media Pertumbuhan Jamur *Potatoes Dextrose Agar* (PDA)

Potatoes Dextrose Agar (PDA) merupakan salah satu media pertumbuhan untuk mikroorganisme dari kelompok jamur. Media PDA komersial sudah banyak diproduksi untuk memudahkan dalam penelitian mikrobiologi tapi kita juga dapat membuat sendiri dengan bahan dan alat sederhana. Menurut Cappuccino & Sherman (2014), Medium PDA dapat dijadikan sebagai medium alternatif karena bahannya mudah diperoleh, murah, dan menghemat biaya penelitian. Medium PDA adalah bahan semi sintetik yang mengandung bahan alami yaitu kentang serta bahan sintesis yaitu agar-agar dan *dextrose* (Wantini & Octavia, 2018).

Jamur yang digunakan untuk kultivasi dapat diambil dari berbagai habitat. Dalam percobaan kali ini menggunakan jamur endofit dari biji-bijian. Percobaan ini bertujuan untuk melakukan pembuatan PDA secara sederhana dan juga menguji potensi medium PDA alami untuk menumbuhkan jamur pada biji kacang tanah dan merica. Pengamatan fisiologis untuk memprediksi

adanya jamur yang berbahaya pada biji dilakukan dengan mengamati adanya miselium berwarna hijau tua dan hitam. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis data deskriptif dan kualitatif hasil praktikum.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu cawan petri, pisau, tissue dan kapas, lilin dan korek, panci, kompor, alkohol 70% atau hand sanitizer, gelas, sikat gigi, saringan teh, sendok, pinset, penjepit, dan sarung tangan.

Bahan yang dipakai yaitu 1 buah kentang, 1 bungkus agar swallow putih, 1 botol bayclin sebagai pengganti Natrium Hipoklorit (NaClO 1%) karena bayclin mengandung NaClO 5.25%, 1 sendok makan gula pasir, air, serta 10 butir biji kacang tanah dan biji merica.

Metode

Percobaan sederhana ini sudah dilakukan dan diaplikasikan oleh Irawati *et al* (2021).

- a. Pencucuan kentang
- b. Pemotongan kentang.
- c. Perebusan kentang
- d. Penyaringan ekstrak kentang
- e. Gula ditambahkan
- f. Air hasil perebusan kentang diberi agar-agar sebagai pematat
- g. Pengadukan
- h. Pencetakan



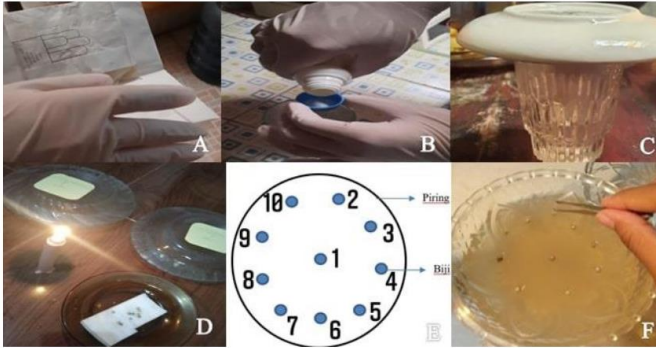
Gambar 3. 1. PDA alami

PDA alami yang dibuat secara sederhana diberikan beberapa perlakuan yaitu kontrol, menggunakan biji kacang tanah, dan menggunakan merica. Ketiga perlakuan ini kemudian akan diobservasi untuk melihat ada atau tidaknya pertumbuhan jamur. Sampel yang digunakan dan dibahas dalam penulisan ini adalah sampel médium PDA alami, kacang tanah, dan merica. Data observasi yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan menggunakan metode deskriptif dan kualitatif untuk mengetahui jamur yang terdapat pada biji-bijian di medium PDA serta menghitung persentase biji yang terserang jamur.

Inokulasi Biji

Proses isolasi jamur pada biji-bijian di medium PDA alami Keterangan:

- a. Sarung tangan digunakan untuk melindungi tangan dari iritasi
- b. Pengenceran bayclin dilakukan sebanyak 5 kali (Perbandingan 1:4) dengan air
- c. Disinfeksi biji dari setiap komoditas di bayclin dengan cara memasukkan biji ke dalam larutan bayclin dan ditutup selama 2 menit
- d. Biji yang sudah desinfeksi, ditiriskan di atas 2 lembar kapas steril
- e. Penentuan skema penanaman biji-bijian di atas medium PDA
- f. Peletakan biji-bijian di atas medium dengan menggunakan pinset steril.



Gambar 3. 2. Inokulasi biji

Analisis Data

Melalui praktikum ini, data kualitatif yang akan dibahas adalah:

1. Mengetahui potensi PDA alami untuk medium pertumbuhan jamur.
2. Menentukan persentase biji yang terserang oleh jamur pasca panen.
3. Mengamati warna miselium yang tumbuh pada biji kacang tanah dan merica.

$$\frac{\text{Jumlah biji terserang jamur}}{\text{Jumlah biji dalam mangkok}} \times 100\% = \text{Persentase biji terserang}$$

3.3.2 Media Pertumbuhan Bakteri

Media komersial untuk pertumbuhan bakteri harganya cukup mahal sehingga diperlukan media alternatif lain yang lebih sederhana dan ekonomis. Berbagai sumber protein lain juga berhasil digunakan sebagai media alternatif pertumbuhan mikroorganisme. Media sederhana untuk pertumbuhan bakteri salahsatunya dapat menggunakan beberapa biji dari suku Leguminosae yaitu kacang tunggak, kacang hijau, kacang kedelai

hitam, dan kedelai untuk pertumbuhan berbagai macam bakteri seperti *Escherichia coli*, *Bacillus sp.*, *Staphylococcus sp.*, *Klebsiella sp.* dan *Pseudomonas sp.*

Selain kacang-kacangan sumber protein untuk media dapat didapatkan dari monosodium glutamat (MSG). Gugus NH₂ pada struktur kimia MSG berperan sebagai sumber nitrogen dalam proses pembentukan asam amino yang digunakan selama proses pertumbuhan bakteri. Glutamat berperan penting dalam proses sintesa protein dan sebagai prekursor glutamin. Glutamat dari MSG komersial merupakan sumber nitrogen yang paling efisien bagi isolat bakteri *Bacillus sp.* dan *Pseudomonas sp.* dalam menghasilkan berbagai senyawa biosurfaktan dan meningkatkan biomassa (Cooper dan Jeitner, 2016).

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu petridisk, Erlenmeyer, kompor, pengaduk, saringan, plastic wrepp.

Bahan yang digunakan yaitu agar Swallow bening, gula pasir, MSG, Aquades dan kacang.

Metode

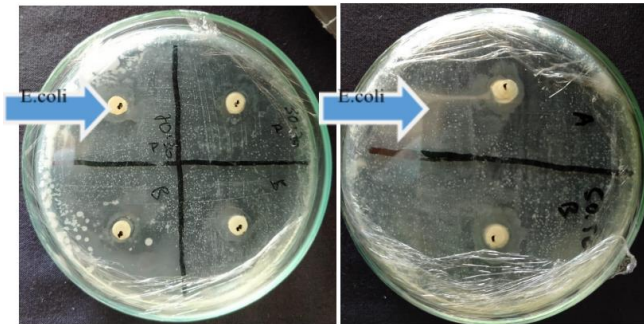
Metode percobaan yang dilakukan diadopsi dari percobaan yang telah dilakukan oleh Putra *et al* (2021).

1. Siapkan semua alat dan bahan yang di perlukan
2. Masukkan aquades dalam gelas kimia lalu
3. Panaskan sampai mendidih
4. Masukkan agar pasar
5. Masukkan gula pasir dan MSG
6. Aduk sampai homogeny dan air mengental
7. Masukkan ke dalam erlenmeyer
8. Tutup dengan rapat menggunakan kapas dan kain kasa
9. Sterilisasikan dalam autoklaf

10. Masukkan media yang telah steril ke dalam petridist
11. Tutup petridist dengan rapat menggunakan plastic wrepping
12. Tunggu hingga media mengeras
13. Setelah mengeras, olesi bakteri *E.coli*
14. Amati, apakah bakteri *E.coli* dapat tumb

Analisis Data

Pada fase test didapatkan hasil yang sangat bagus dimana bakteri *E-coli* dapat tumbuh dan berkembang dalam media agar dari material lokal. Dari hasil, tumbuh dan berkembang biaknya bakteri dalam media material lokal dengan media NA sangat berbeda. Perbedaan tersebut diakibatkan karena nutrisi yang ada pada NA lebih banyak dari pada media material lokal. Tetapi, dengan adanya media material lokal ini dapat menghemat dana yang dikeluarkan serta bisa diterapkan di sekolah karena cara pembuatannya sangat mudah dan alat dengan bahan dapat di jumpai di semua daerah.



Gambar 3. 3. Contoh hasil percobaan penumbuhan *E. coli* dengan substrat MSG

3.4 Rangkuman

Unsur-unsur yang dibutuhkan mikroorganisme dalam kehidupannya yaitu makronutrien terdiri dari oksigen, karbon, hidrogen, nitrogen, sulfur, fosfat, potasium, kalsium, magnesium dan zat besi. Sedangkan mikronutrien atau trace element seperti mangan, seng, kobalt, molibdenum, nikel dan tembaga. Sedangkan faktor fisik yang dibutuhkan dalam pertumbuhan mikroorganisme antara lain suhu, pH, gas dari atmosfer serta cahaya. Pengelompokkan mikroorganisme berdasarkan sumber energi yang dibutuhkan terbagi menjadi dua yaitu mikroorganisme autotrof dan kemoautotrof.

Kultivasi dilakukan untuk menumbuhkan mikroba pada media kultur. Media kultur memiliki banyak macamnya berdasarkan bahan penyusun, kegunaan dan fisiknya. Penggunaan media tergantung dari tujuan apa yang diinginkan.

3.5 Latihan

- 1) Sebutkan unsur-unsur pokok yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam kehidupannya.
- 2) Sebutkan dan jelaskan pengelompokkan mikroorganisme berdasarkan sumber energi dan electron yang dibutuhkan
- 3) Apa saja yang dimaksud dengan pertumbuhan mikroba
- 4) Bagaimana cara menghitung pertumbuhan mikroba

BAB 4

ISOLASI MIKROBA

- CPL** : Mampu menganalisis fenomena sains secara terintegrasi untuk memecahkan masalah dengan berpikir kritis dan memanfaatkan IT sebagai sumber data untuk penelitian, dan kewirausahaan.
- CPMK 1** : Mahasiswa mampu memahami konsep-konsep Dasar Mikrobiologi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat melalui inovasi dibidang mikroorganisme lahan basah.
- CMPK 4** : Mahasiswa terampil dalam menggunakan alat dan melakukan praktikum

4.1 Pengertian Isolasi Mikroba

Isolasi mikroba erat kaitannya dengan alam dan dikehidupan sehari-hari kita, baik mikroba dalam bentuk bakteri, kapang (jamur benang), maupun khamir. Untuk memudahkan dalam mempelajari jenis dan sifat mikroba, maka mikroba tersebut harus diisolasi dari lingkungannya dan diinokulasikan pada medium yang sesuai untuk pertumbuhannya.

Cara isolasi dapat dilakukan dengan cara mengambil sampel mikroba dari lingkungan yang ingin diteliti. Sampel tersebut kemudian dibiakkan dengan menggunakan media universal atau media selektif, tergantung tujuan yang ingin dicapai. Jika menggunakan media universal/umum (misal, NA dan PDA) maka akan diperoleh biakan mikroba campuran, sedangkan dengan media selektif mikroba yang tumbuh hanya mikroba yang mampu hidup pada media tersebut (media yang sesuai), sedangkan bakteri lain tidak akan tumbuh misal media SSA maka, bakteri yang dapat

tumbuh hanya bakteri jenis *Salmonella* dan *Shigella*, media MCA maka hanya beakteri coliform saja yang bisa tumbuh.

Isolasi bakteri adalah suatu cara untuk memisahkan mikroba tertentu dari lingkungannya sehingga diperoleh biakan yang tidak tercampur jenis mikroba lain. Biakan yang sudah tidak tercampur dengan jenis lainnya ini disebut biakan murni.

Keberhasilan dalam melakukan isolasi mikroba dari suatu bahan tidak hanya didukung oleh teknik isolasi yang diterapkan. Berikut faktor lain yang mendukung keberhasilan isolasi antara lain:

a) Jenis media

Jenis media sangat penting untuk tercapainya suatu kegiatan isolasi mikroba. Mikroba yang hendak diisolasi harus diperhatikan kebutuhan akan nutrisi yang terkandung didalam media. Pada saat ini berbagai jenis media selektif telah berkembang pesat diantaranya bertujuan untuk isolasi jenis mikroba tertentu dan sekaligus dapat untuk menghitungnya. Media SSA adalah contoh media selektif untuk isolasi, deteksi dan sekaligus untuk menghitung.

b) Kondisi inkubasi

Suhu, udara (oksigen) dan pH merupakan faktor yang penting untuk isolasi. Bila isolasi ditujukan untuk mendapatkan bakteri termofil (hidup baik pada suhu tinggi) maka inkubasi dapat dilakukan pada suhu minimal 45°C. Bila ingin mengoksidasi bakteri anaerob maka dapat dilakukan dengan menyimpan petridish dalam anaerob jar. Penambahan senyawa asam atau basa juga dapat dilakukan untuk memperoleh suasana pH medium yang cocok bagi bakteri yang akan diisolasi.

c) Penambahan senyawa antibiotik

Penambahan senyawa anti-bakteri (antibiotika) atau bakterisida dalam kadar tertentu dapat mempercepat terjadinya tujuan mendapatkan isolat. Antibiotika *oxytetracyclin*, *penicilin*, *streptomycin* atau *rose-bengal* seringkali dipakai untuk mengisolasi kapang dan yeast. Sedangkan *cycloheximide*, *piramisin* dan *endomycin* sering dipakai untuk menekan pertumbuhan kapang dan yeast sehingga isolat bakteri dapat dengan mudah di dapatkan.

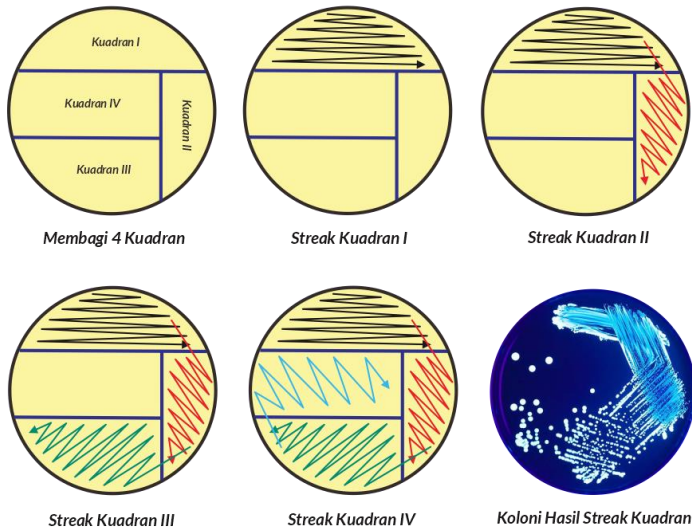
d) Harus diperhatikan juga tempat hidup asal bakteri, cara menanam dan memelihara serta menguji bakteri murni/isolat merupakan hal-hal yang dapat dipertimbangkan dalam isolat bakteri.

4.2 Teknik Isolasi Mikroba

Mikroba yang ada di alam merupakan campuran bermacam-macam spesies. Ada beberapa metode untuk memperoleh biakan murni dari isolat campuran. Dua diantaranya yang sering digunakan adalah teknik cawan gores (*streak plate method*) dan teknik cawan tuang (*pour plate method*). Prinsip dari kedua teknik tersebut sama yaitu mengencerkan terlebih dahulu bahan yang akan diisolasi, sehingga diharapkan nanti dapat diperoleh koloni tunggal.

✓ **Cara goresan (*streak plate method*)**

Cara ini pada prinsipnya menggoreskan suspensi bahan yang mengandung bakteri pada permukaan media. Setelah inkubasi maka bekas goresan akan tumbuh koloni-koloni yang terpisah-pisah dipermukaan media yang diharapkan berasal dari satu sel bakteri sehingga dapat diisolasi lebih lanjut, dan diharapkan dari hasil *streaking* tersebut diperoleh *single colony*.



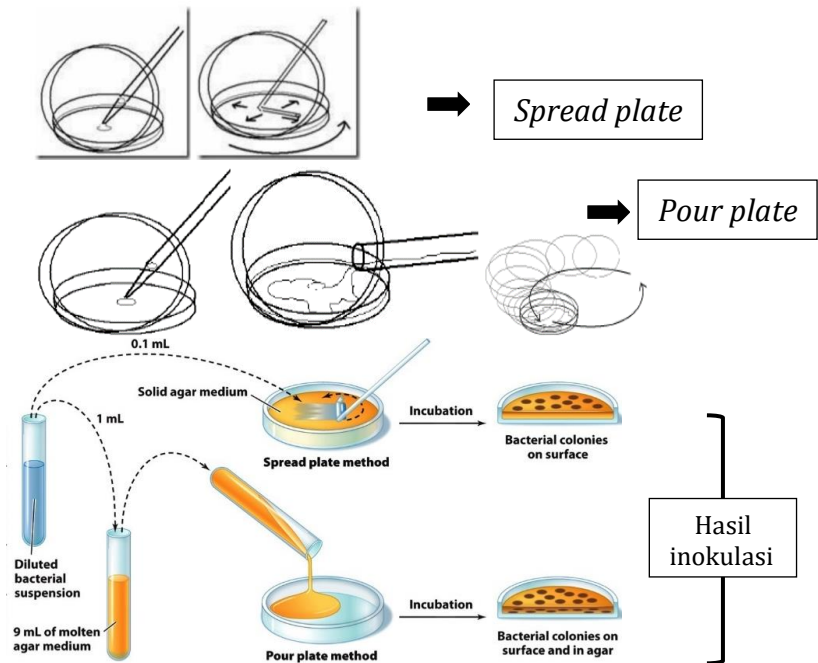
Gambar 4. 1. Contoh streak 4 kuadran pada cawan petri
(Sumber: www.microbeholic.com)

Kesalahan yang umum dilakukan dalam metode ini antara lain: (1) tidak memanfaatkan permukaan media untuk digores sehingga pengenceran kurang optimal, (2) penggunaan inokulum yang terlalu banyak sehingga menyulitkan pemisahan sel waktu digores.

✓ Cara tuang

Cara ini dasarnya adalah menginokulasi media pada agar yang sedang mencair (suhu 40°C)/ media dalam keadaan hangat kuku dengan suspensi bahan yang mengandung bakteri dan menuangkan dalam petridish steril. Setelah inkubasi akan terlihat koloni-koloni tersebar pada media agar yang diharapkan berasal dari satu sel bakteri, sehingga dapat diisolasi dan dijadikan sebagai kultur murni.

Teknik tuang ada 2 cara yaitu *spread plate* dan *pour plate*

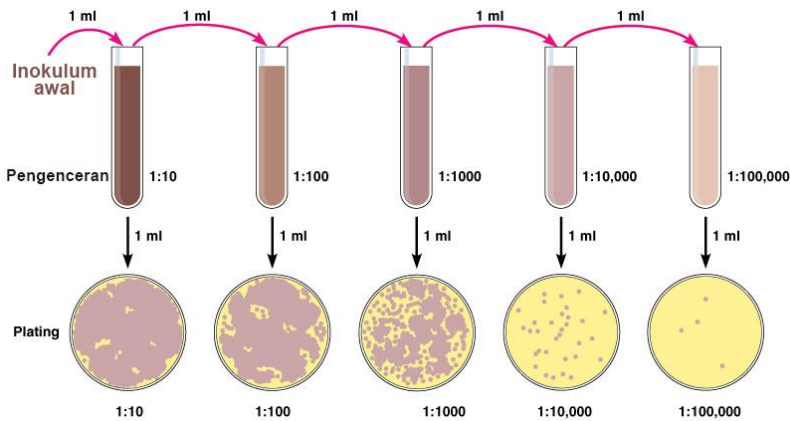


Gambar 4. 2. Teknik inokulasi secara *spread plate*, *pour plate* dan perbedaan hasil inokulasinya

Teknik Pengenceran Suspensi Bakteri

Pengenceran suspensi bakteri dari sampel/sumber isolat dari lingkungan dilakukan sebagai upaya untuk mendapatkan kuantitas bakteri dalam jumlah yang dapat terhitung. Seperti yang telah diketahui bahwa dalam sampel lingkungan komunitas bakteri berada dalam kuantitas yang sangat melimpah. Selain mendapat kuantitas yang dapat terhitung, pengenceran suspensi bakteri dari sampel/sumber isolat dari alam juga diperlukan dalam rangka memudahkan dalam pengamatan koloni, terutama dalam kegiatan pemurnian isolat (sub-kultur).

Koloni yang tumbuh terpisah dapat dihitung dan memudahkan peneliti untuk memilih koloni yang akan dipisahkan untuk diremajakan (sub-kultur). Pengenceran suspensi bakteri dari sampel/sumber isolat yang berasal dari lingkungan pada umumnya dilakukan dengan teknik pengenceran barseri (*series of dilution*).



Gambar 4. 3. Teknik Pengenceran

4.3 Isolasi Mikroba pada Lahan Basah berbasis STEM-PJBL

Isolasi mikroba pada lahan basah berbasis STEM-PjBL yaitu **isolasi bakteri *Bacillus* dari lahan rawa pasang surut di Kalimantan**. Isolasi bakteri genus *Bacillus* dilakukan untuk mengetahui keberadaan bakteri ini dilahan sektor pertanian masyarakat. Genus *Bacillus* mampu memproduksi hormon AIA. Jenis bakteri yang mampu menyintesis hormon AIA dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan memacu pertumbuhan, pembelahan sel serta inisiasi akar pada tanaman tersebut. Lestari *et al.* (2015), juga melaporkan 3 isolat bakteri jenis *Bacillus aryabhatai*, *Bacillus cibi*, *Bacillus*

marisflavi mampu menyintesis hormon AIA untuk meningkatkan perkecambahan benih padi.

Bakteri genus *Bacillus* memiliki ciri berbentuk batang dan termasuk dalam kelompok bakteri gram positif. Cara melakukan isolasi bakteri yaitu dengan cara berikut:

Alat

Vortex	Timbangan
Mikropipet	Inkubator
L glass	Tabung reaksi
Cawan petri	Jarum ose

Bahan

Media NA	Alkohol 70%
Tanah rawa pertanian	Aquadest
Air rawa pertanian	Medium MSA

Cara 1 (isolasi bakteri dari bahan padat: tanah rawa)

- Timbang 1 gr tanah, kemudian larutkan dalam 10 ml aquades
- Lakukan pengenceran dari 10^{-1} sampai 10^{-8} dengan cara:
 - Masukkan 1 ml bahan (campuran air dan tanah) pada aquades steril 9 ml (pengenceran 10^{-1}), kemudian vortex hingga homogen.
 - Ambil 1 ml suspensi dari pengenceran 10^{-1} kemudian masukkan pada 9 ml aquades steril (pengenceran 10^{-2}), kemudian vortex hingga homogen.
 - Lakukan tahapan seperti diatas hingga diperoleh pengenceran 10^{-8}
- Inokulasikan 100 μ l isolat dalam pengenceran yang diinginkan pada medium NA cawan dan MSA cawan, lalu ratakan dengan L glass (metode *spread plate*)

- Inokulasikan 1000 μl isolat dalam pengenceran yang diinginkan pada medium NA dan MSA yang masih hangat, vortex sampai homogen, lalu tuang pada cawan petri steril dan di tunggu hingga memadat (metode *pour plate*)
- Ambil 1 ose isolat dalam pengenceran yang diinginkan kemudian goreskan pada medium NA dan MSA cawan secara goresan T streak atau kuadran, dengan ketentuan *ose hanya digunakan sekali untuk mengambil isolat yang berasal dari pengenceran*. Untuk streaking pada kuadran berikutnya ose harus dipijarkan terlebih dahulu, setelah itu baru dilakukan penggoresan berikutnya dengan menggoreskan 1-2 garis pada goresan sebelumnya.
- Inkubasi pada inkubator pada suhu 37°C dengan posisi cawan terbalik.

Cara 2

- Timbang 1 ml air rawa, kemudian larutkan pada 10 ml aquades
- Lakukan penngenceran dari 10^{-1} sampai 10^{-8} dengan cara seperti di **cara 1**

4.4 Rangkuman

Isolasi bakteri adalah suatu cara untuk memisahkan mikroba tertentu dari lingkungannya sehingga diperoleh biakan yang tidak tercampur jenis mikroba lain. Biakan yang sudah tidak tercampur dengan jenis lainnya ini disebut biakan murni. Faktor yang mempengaruhi proses isolasi bakteri yaitu jenis media, kondisi inkubasi, penambahan senyawa antibiotik, dan tempat asal bakteri yang akan diisolasi. Teknik isolasi bakteri dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu cara goresan (*Streak plate method*) dan cara tuang (*spread plate method* dan *pour plate method*)

4.5 Latihan Soal

Jawablah pertanyaan berikut dengan baik dan benar!

- 1) Mengapa perlu mengisolasi bakteri dari lingkungan?
- 2) Apa perbedaan hasil inokulasi teknik *spread plate method* dan *pour plate method*?
- 3) Mengapa harus dilakukan pengenceran berseri? Apa tujuannya? Coba jelaskan!
- 4) Apakah tujuan isolasi mikroba dengan metode *streak plate metode* ?

BAB 5

PERTUMBUHAN DAN PERHITUNGAN SEL MIKROBA

- CPL** : Mampu menganalisis fenomena sains secara terintegrasi untuk memecahkan masalah dengan berpikir kritis dan memanfaatkan IT sebagai sumber data untuk penelitian, dan kewirausahaan.
- CPMK 1** : Mahasiswa mampu memahami konsep-konsep Dasar Mikrobiologi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat melalui inovasi dibidang mikroorganisme lahan basah.
- CMPK 4** : Mahasiswa terampil dalam menggunakan alat dan melakukan praktikum

5.1 Pertumbuhan Mikroba

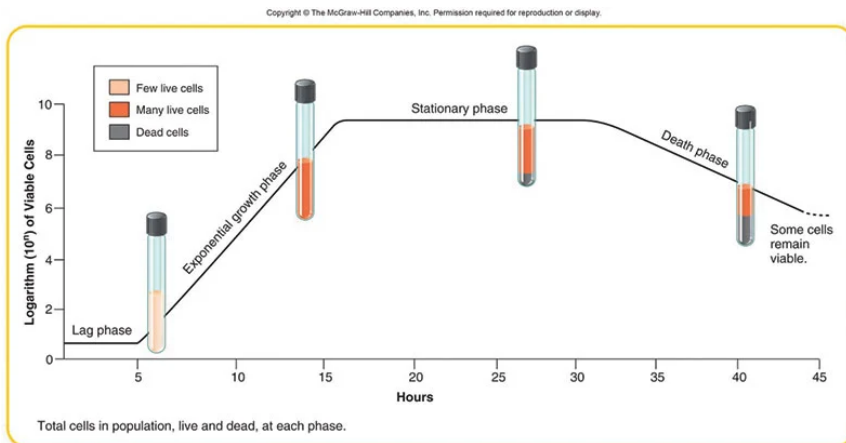
Pertumbuhan mikroba merupakan pertambahan jumlah sel dalam populasi mikroba. Mikroba yang ada di alam, salah satunya bakteri, melakukan pertumbuhan dengan bereproduksi secara membelah diri atau disebut dengan pembelahan biner, sehingga menghasilkan pertumbuhan eksponensial. Menurut Asrianto (2021) waktu generasi adalah jumlah waktu yang dibutuhkan sel untuk membelah. Ini bervariasi antara organisme dan tergantung pada lingkungan mereka berada dan suhu lingkungan mereka.

Beberapa bakteri memiliki waktu generasi 24 jam, meskipun waktu generasi sebagian besar bakteri adalah antara 1 hingga 3 jam. Sel bakteri tumbuh pada tingkat yang sangat besar. Misalnya, dengan pembelahan biner, bakteri dapat menggandakan diri setiap 20 menit. Dalam 30 generasi bakteri (10 jam), jumlahnya bisa

mencapai satu miliar. Sulit untuk membuat grafik perubahan populasi sebesar ini menggunakan angka aritmatika, sehingga skala logaritmik digunakan untuk grafik pertumbuhan bakteri.

Yang disebut dengan pertumbuhan mikroba adalah penambahan jumlah mikroba, dari satu menjadi dua, dari dua menjadi empat, dari empat menjadi delapan, dan seterusnya. Hal ini terjadi karena proses pembelahan sel (*binary fusion*). Pengukuran konsentrasi mikroba bisa dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan pengukuran konsentrasi sel dan densitas biomasa.

Konsentrasi sel adalah jumlah sel hidup per satu unit volume media pertumbuhan, sedangkan densitas biomasa adalah berat kering sel per satu unit volume media pertumbuhan. Pergerakan pertumbuhan mikroba umumnya digambarkan dengan grafik pertumbuhan bakteri per waktu. Pada grafik pertumbuhan ini dapat dilihat pada gambar terdapat beberapa fase, yaitu fase lag, fase log (atau fase pertumbuhan eksponensial), fase stasioner dan fase kematian.



Gambar 5. 1. Grafik fase pertumbuhan mikroorganisme

Terdapat empat fase dasar pertumbuhan: fase lag, fase log, fase stationer, dan fase kematian.

- 1) Pada **fase lag** ada sedikit atau tidak ada pembelahan sel. Fase ini dapat berlangsung dari satu jam sampai beberapa hari. Di sini populasi mikroba terlibat dalam metabolisme yang melibatkan sintesis DNA dan enzim.
- 2) Pada **fase log**, sel mulai membelah dan memasuki masa pertumbuhan atau peningkatan logaritmik. Ini adalah waktu ketika sel-sel paling aktif secara metabolik. Inilah saatnya produk pabrik harus diproduksi secara efisien. Namun, pada fase ini, mikroorganisme sangat sensitif terhadap kondisi lingkungan yang merugikan seperti radiasi dan antibiotik.
- 3) **Fase stasioner**, fase ini merupakan salah satu fase keseimbangan. Tingkat pertumbuhan melambat, jumlah mikroorganisme mati sama dengan jumlah mikroorganisme baru, dan populasinya stabil. Aktivitas metabolisme sel individu yang bertahan hidup akan melambat turun. Alasan mengapa pertumbuhan organisme berhenti mungkin karenanutrisi telah digunakan, produk limbah telah terakumulasi, dan perubahan berbahaya yang drastis pada pH lingkungan.
- 4) **Fase kematian** di sini jumlah sel mati melebihi jumlah sel baru. Fase ini berlanjut sampai populasinya berkurang atau mati sama sekali

Kita bisa mengontrol pertumbuhan mikroba supaya tidak berkembang terlalu banyak atau bahkan mematikannya, terutama untuk mikroba-mikroba yang bersifat patogen. Terdapat beberapa cara digunakan untuk pengontrolan ini yaitu secara kimia, fisika dan mekanis. Secara kimia bisa dilakukan dengan bahan-bahan kimia yang bersifat dapat menginaktivasi mikroorganisme yang disebut biosida, dapat menghambat pembelahan sel mikroba yang disebut bakteristatik dan dapat membunuh mikrobayang disebut bakterisidal. Pengontrolan pertumbuhan mikroba secara fisika dilakukan dengan pemanasan, pendinginan dan radiasi. Sedangkan

jika pengontrolan mikroba secara mekanis bisa menggunakan filtrasi udara dan cairan. Terdapat beberapa definisi yang digunakan dalam pengontrolan mikroba ini.

Desinfeksi adalah proses mematikan mikroba penyebab patogen dengan beberapa cara, salah satunya dengan bahan-bahan kimia yang disebut desinfektan. Proses desinfeksi ini dilakukan pada permukaan benda. Proses desinfeksi tidak dapat membunuh endospora bakteri. Ada pula proses sterilisasi yang membunuh semua mikroba hidup termasuk spora bakteri. Hal ini tentu berbeda dengan desinfeksi. Proses sterilisasi juga dilakukan pada permukaan suatu benda. Untuk menghilangkan atau mematikan mikroba hidup pada organisme maka digunakan antiseptik yang merupakan bahan kimia.

5.2 Perhitungan Sel Mikroba

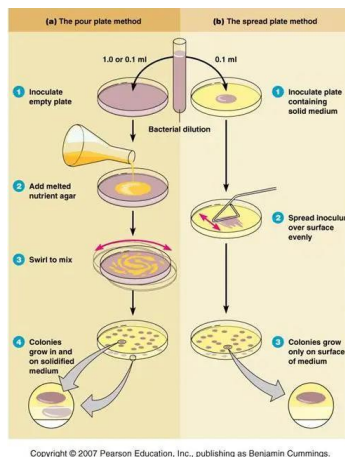
Perhitungan jumlah bakteri dalam suatu populasi, dapat menggunakan berbagai metode. Pengukuran mikroba dapat dilakukan dengan dua cara yaitu secara langsung (menghitung sel mikrobial) dan secara tidak langsung (mengukur efek/pengaruh pertumbuhan mikrobial).

1) Metode Langsung

Metode lempeng hitung (*plate count method*) atau metode cawan. Mula-mula sampel bakteri diencerkan dalam larutan garam, air suling, atau cairan penahan lainnya. Contoh dari pengenceran kemudian ditempatkan dalam media tumbuh yang terdapat dalam cawan petri, selanjutnya diinkubasi. Setelah inkubasi, jumlah koloni dihitung dan dikalikan dengan faktor pengenceran yang diwakili oleh cawan itu.

Jika sel mikrobial masih hidup ditumbuhkan dalam medium maka mikrobial tersebut akan berkembang biak dan membentuk koloni yang dapat dilihat langsung. Dengan metode ini beberapa

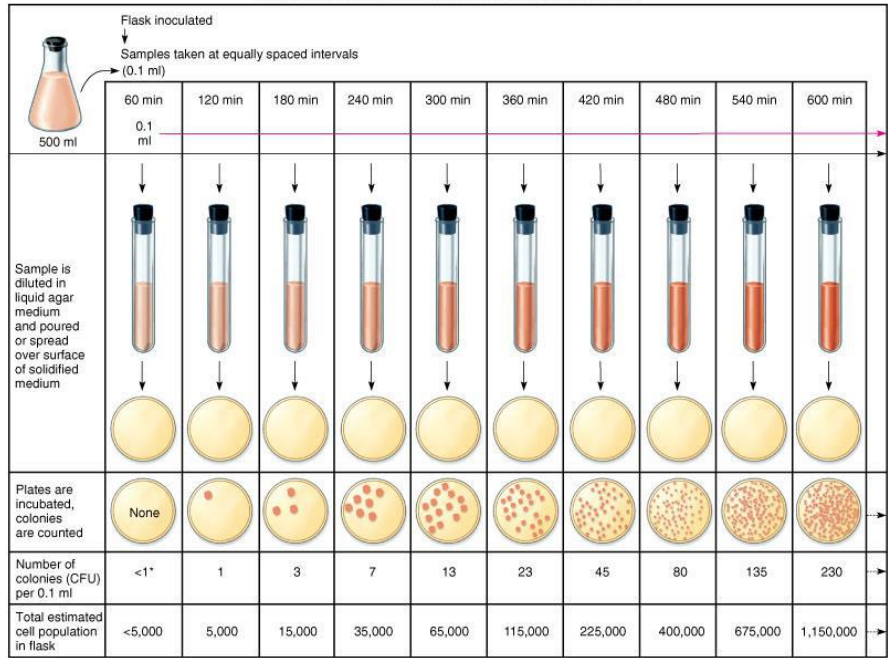
jasad renik dapat dihitung sekaligus, hanya sel hidup saja yang dapat dihitung dapat digunakan untuk isolasi dan identifikasi mikrobial. Kelemahannya adalah hasil perhitungan tidak mencerminkan jumlah sel sebenarnya, medium dan kondisi inkubasi yang berbeda mungkin menghasilkan hasil yang berbeda, mikrobial yang ditumbuhkan harus dapat tumbuh pada media padat dan tidak menyebar, perlu persiapan dan waktu yang lebih lama. Metode *plate count* memerlukan serangkaian pengenceran, contoh pengenceran dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. 2. Contoh pengenceran

Metode ini ada dua macam yaitu pour plate dan spread/surface plate. Pada metode pour plate, 1 ml sampel yang telah diencerkan dimasukkan kedalam cawan petri kemudian dituangi agar steril dan digoyang-goyengkan sehingga merata sedangkan pada metode surface plate, 1 ml sampel dituangkan pada cawan petri yang sudah berisi media agar padat kemudian diratakan dengan batang gelas/drigalski. Selanjutnya cawan petri tersebut diinkubasi pada suhu tertentu dan waktu tertentu. Jumlah koloni dalam sampel dihitung sebagai berikut:

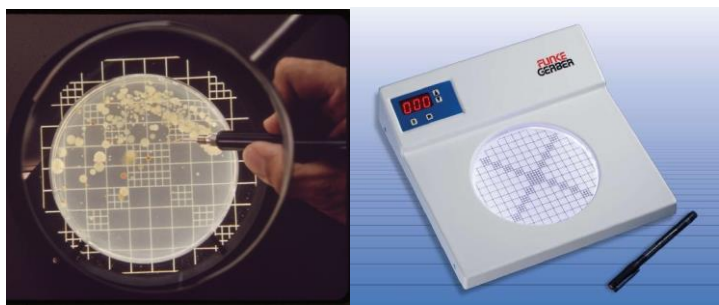
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



* Only means that too few cells are present to be assayed.

Gambar 5. 3. Cara menghitung koloni bakteri

Gambar 5.3 menunjukkan bahwa pengenceran berseri yang semakin tinggi dapat menghasilkan jumlah mikrobi yang semakin sedikit. Secara langsung perhitungan mikrobi atau bakteri salah satunya dapat dilakukan pada *colony counter* yang dapat dilihat pada Gambar 5.4

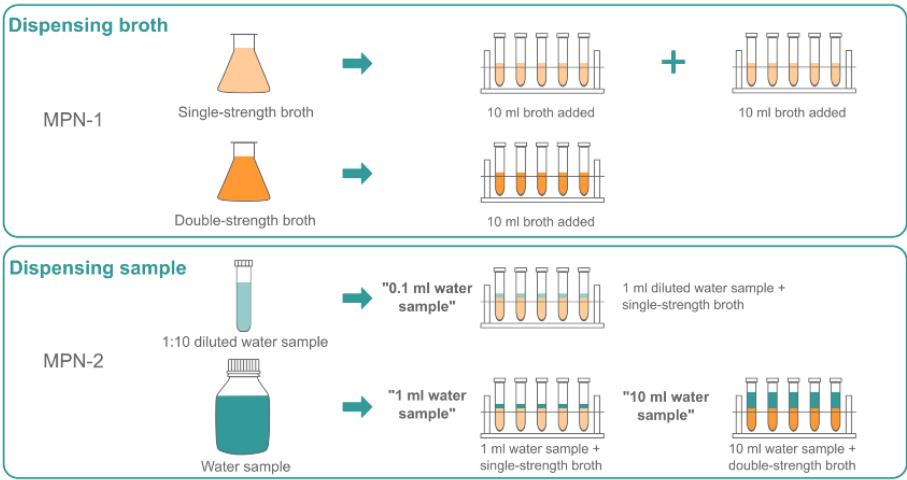


Gambar 5. 4. *Colony counter* untuk mengukur jumlah bakteri dari cawan petri

Metode MPN (*most probable number*)

Pengukuran lain adalah untuk menentukan adalah metode MPN (*most probable number*) atau nilai duga terdekat. Teknik ini sering digunakan untuk menentukan jumlah bakteri dalam sampel air yang terkontaminasi. Sampel air ditambahkan ke banyak tabung kaldu laktosa kekuatan tunggal dan kekuatan ganda. Jika bakteri coliform (seperti *E. coli*) hadir, mereka akan memfermentasi laktosa dan menghasilkan gas. Dilihat dari jumlah tabung yang berisi gas diakhir tes, seseorang dapat memperkirakan angka bakteri dalam sampel air.

Metode MPN menggunakan metode cair dalam tabung reaksi. Perhitungan MPN didasarkan pada jumlah tabung reaksi yang positif yakni yang ditumbuhi mikrobia setelah inkubasi yang ditandai dengan kekeruhan dan atau munculnya gas pada tabung durham. Untuk setiap pengenceran digunakan 3 atau 5 seri tabung. Metode ini biasanya digunakan untuk menghitung mikrobia dalam sampel cair, jika sampel padat harus diencerkan dulu 1:10. Selanjutnya dibuat seri pengenceran. Masing-masing pengenceran dimasukan sampel sebanyak 1 ml, setelah diinkubasi dilihat tabung yang positif pada setiap pengenceran dan jumlahnya dihitung kemudian dikombinasikan hasilnya.



Gambar 5. 5. Pengaturan eksperimental prosedur MPN untuk menguji air minum

Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa pada pengenceran pertama positif 3 tabung, pengenceran kedua 2 tabung, pengenceran ketiga 1 tabung dan pengenceran terakhir (keempat) negative, maka kombinasinya 3,2,1,0 kemudain diambil tiga kombinasi pertama (tiga kombinasi sebelum ditemukan pengenceran yang negative atau 0) yaitu 3,2,1 angka tersebut selanjutnya dicocokkan dengan table MPN, kemudian nila MPN dihitung sebagai berikut:

MPN sampel = nilai MPN dari table x 1/Faktor pengenceran tabung tengah

Tabel 5. 1. Contoh Perhitungan MPN

Study Sites	Positive Tubes in Sample Concentration (10 mL, 1 mL and 0.1 mL) *	MPN Index 100 mL ⁻¹	95% Confidence Limit		DOE Standard (Count 100 mL ⁻¹) [20]	WHO Standard (Count 100 mL ⁻¹) [20]
			Low	High		
S1	5-5-4	1600	400	4600	100	3
S2	5-5-5	>1600	700	-	100	3
S3	5-5-4	1600	400	4600	100	3
S4	5-2-1	70	22	170	100	3
S5	5-1-1	46	14	120	100	3
S6	5-5-5	>1600	700	-	100	3
S7	5-5-4	1600	400	4600	100	3
S8	5-5-5	>1600	700	-	100	3
S9	5-0-0	23	6.8	70	100	3
S10	5-5-4	1600	400	4600	100	3

Legends: S1–S10—River sampling sites; WHO—World Health Organization; DOE—Department of Environment, Malaysia; * the data represents number of positive growth.

Metode evaluatif Petroff-Hausser

Metode lainnya yaitu dengan menghitung langsung menggunakan mikroskop. Plate khusus digunakan sebagai tempat sampel mikroba kemudian dihitung secara manual. Sampel terukur dari suspensi bakteri ditempatkan pada penghitung, dan jumlah organisme yang sebenarnya dihitung dalam satu bagian ruangan. Kekurangan pada metode Petroff-Hausser ini mikroorganisme hidup maupun mati dihitung semuanya.



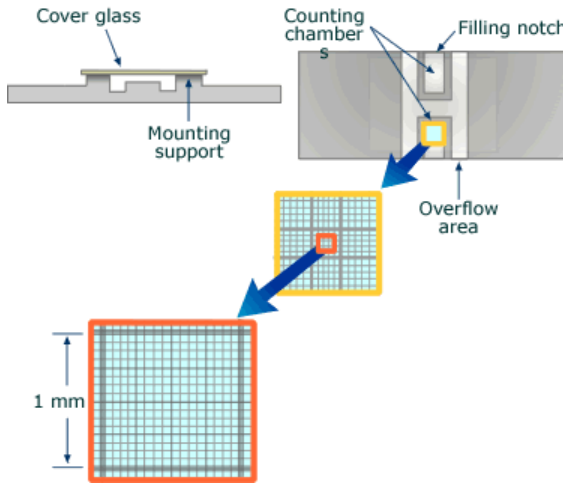
Gambar 5. 6. Plate Petroff-Hausser

Cara menghitung mikroorganisme pada plate yang telah dimasukkan sampel yaitu dengan menghitung kotak-kotak skala dimana didalam setiap ukuran skala seluas 1 mm² terdapat 25 buah kotak besar dengan luasan 0,04 mm² dan setiap kotak besar terdiri dari 16 kotak-kotak kecil. Tinggi sampel yang terletak diantara kaca benda dan kaca penutup adalah 0,02 mm. Jumlah sel dalam beberapa kotak besar dapat dihitung kemudian dihitung jumlah sel rata-rata dalam kotak besar. Jumlah sel per ml sampel sebagai berikut:

Jumlah sel per ml sampel

$$= \text{jml sel per kotak besar} \times 25 \text{ kotak} \times 1/0,02 \times 10^3$$

$$= \text{jml sel per kotak besar} \times 1,25 \times 10^6$$



Gambar 5. 7. cara menghitung menggunakan metode Petroff-Hausser

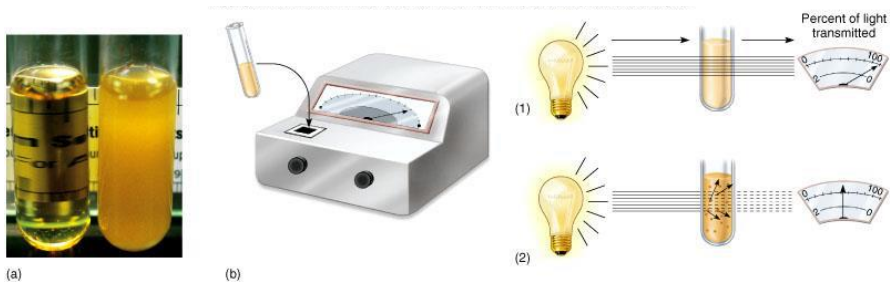
Metode kekeruhan

Metode kekeruhan juga dapat digunakan untuk menilai pertumbuhan bakteri. Saat bakteri berkembang biak dalam media cair, mereka membuat media menjadi keruh. Menempatkan tabung kultur dalam seberkas cahaya dan mencatat jumlah cahaya yang ditransmisikan memberikan gambaran tentang kekeruhan dan jumlah relatif bakteri yang dikandungnya.

Berat kering kultur juga dapat digunakan untuk menentukan jumlah mikroba. Kultur cair dikeringkan, dan jumlah massa mikroba ditimbang pada timbangan. Hal ini juga memungkinkan untuk mengukur penyerapan oksigen dari kultur bakteri. Jika lebih banyak oksigen digunakan oleh kultur A daripada oleh kultur B dan semua hal lain adalah sama, maka mungkin disimpulkan bahwa lebih banyak mikroorganisme hadir dalam kultur A. Variasi dari metode ini disebut kebutuhan oksigen biokimia (BOD) digunakan untuk mengukur tingkat kontaminasi dalam air.

Menghitung massa sel secara langsung

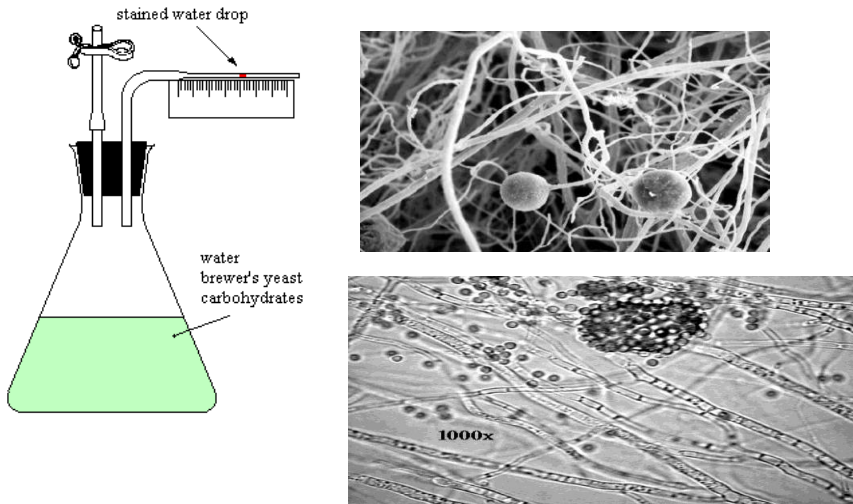
Metode ini dapat dilakukan dengan cara volumetric, cara gravimetric atau turbidimetri. Pada metode volumetric dan turbidimetri pengukuran jumlah sel diawali dengan penyaringan mikroorganisme. Contoh pengamatan sel secara turbidimetri dapat dilihat pada Gambar berikut.



Gambar 5. 8. Pengamatan jumlah sel secara turbidimetri

2) Metode tidak langsung

Metode menghitung massa sel secara tidak langsung. Perhitungan massa sel secara tidak langsung dapat dilakukan dengan dua cara yaitu berdasarkan aktivitas metabolic dan berat kering. Pengukuran aktivitas metabolit misalnya analisis komponen sel (protein, AND, ATP dan sebagainya), analisis produk katabolisme (metabolit primer, metabolit sekunder, panas), analisis konsumsi nutrisi (misalnya karbon, nitrogen, oksigen, asam amino, mineral dan sebagainya). Contoh pengukuran aktivitas metabolisme dan berat kering dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. 9. Pengukuran aktivitas metabolisme dan berat kering

5.3 Kondisi fisik yang dibutuhkan untuk pertumbuhan

Selain menyediakan nutrient yang sesuai, mikroorganisme juga membutuhkan factor fisika untuk metabolismenya. Bakteri yang beragam nutrisinya, menunjukkan respon yang berbeda pula terhadap kondisi fisik di dalam lingkungannya. Untuk menghasilkan kultivasi berbagai tipe bakteri, dibutuhkan kombinasi nutrient serta lingkungan fisik yang sesuai. Berikut faktor-faktor fisik yang penting dalam metabolisme mikroorganisme.

1) Suhu

Suhu mempengaruhi laju pertumbuhan mikroorganisme. Keragaman suhu dapat juga mengubah proses-proses metabolik tertentu serta morfologi di dalam sel.

Berdasarkan kisaran suhu aktivitasnya, bakteri dibagi menjadi 4 golongan yaitu

- Bakteri psikrofil, yaitu bakteri yang hidup pada daerah suhu antara $0^{\circ}\text{--}30^{\circ}\text{C}$, dengan suhu optimum 15°C .

- b. Bakteri mesofil, yaitu bakteri yang hidup di daerah suhu antara 15°-55 °C, dengan suhu optimum 25°-40 °C.
- c. Bakteri termofil, yaitu bakteri yang dapat hidup di daerah suhu tinggi antara 40°-75 °C, dengan suhu optimum 50-65 °C.
- d. Bakteri hipertermofil, yaitu bakteri yang hidup pada kisaran suhu 65 - 114 °C, dengan suhu optimum 88 °C

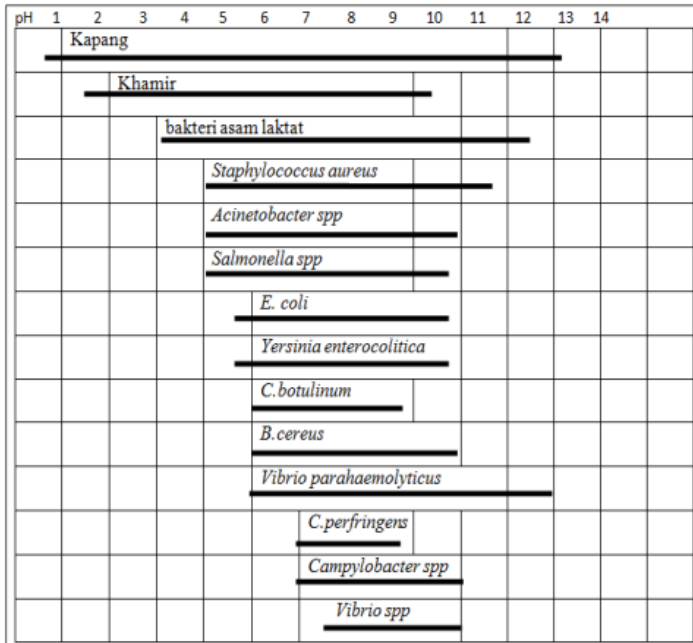
Menurut Sari (2012) pertumbuhan mikrobia terjadi pada suhu dengan kisaran kira-kira 30°C. Kecepatan pertumbuhan mikrobia meningkat lambat dengan naiknya suhu mencapai kecepatan pertumbuhan maksimum. Di atas suhu maksimum kecepatan pertumbuhan mikrobia menurun dengan cepat dengan naiknya suhu.

2) pH

Menurut Respati (2017) pengaruh pH terhadap pertumbuhan bakteri berkaitan dengan aktivitas enzim untuk mengkatalisis reaksi-reaksi yang berhubungan dengan pertumbuhan bakteri. Jika pH pertumbuhan bakteri tidak optimum akan mengakibatkan terganggunya pertumbuhan bakteri. Terdapat mikroba golongan neutrofil yang akan tumbuh dengan baik pada pH optimal antar pH 6-8, golongan mikroba asidofil yang dapat tumbuh pada pH 3 ke bawah dan golongan alkalofil yang dapat tumbuh pada pH di atas 10,5. Sebagian besar mikroba merupakan mikroba neutrofil. Unsur oksigen diperlukan oleh organisme sebagai reseptor hidrogen.

Apabila mikroorganisme dikultivasi dalam suatu medium tertentu, maka dengan penambahan senyawa-senyawa lain dapat mengubah kondisi pH awalnya. Pergeseran pH ini tentunya sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme, bisa meningkatkan produktivitasnya maupun menurunkan tergantung pH optimum dari setiap mikroorganisme. Untuk mencegah pergeseran pH ini, dibutuhkan larutan penyangga yang dapat menahan

perubahan pH yang terjadi. Larutan penyangga digunakan sesuai optimalisasi kebutuhan mikroorganisme. Pada gambar di bawah ini yaitu Gambar kisaran pH untuk pertumbuhan beberapa mikroorganisme.



Gambar 5. 10. Kisaran pH untuk pertumbuhan beberapa mikroorganisme (Kustyawati, 2020)

3) Atmosfer gas

Gas utama yang mempengaruhi pertumbuhan mikrobiologi yaitu oksigen dan karbondioksida. Berdasarkan kebutuhan gas ini pengelompokkan mikroorganisme dibagi menjadi:

1. Aerob: Tumbuh di udara sekitar, yang mengandung 21% oksigen dan sejumlah kecil (0,03%) karbondioksida, contoh: *Bacillus cereus*.

2. Aerob obligat: Bakteri ini memiliki kebutuhan mutlak akan oksigen untuk tumbuh, contoh: *Psuedomonas aeruginosa* dan *Mycobacterium tuberculosis*.
3. Anaerob obligat: Bakteri yang sama sekali tidak dapat tumbuh pada kondisi ada oksigen. contoh: *Clostridium perfringens* dan *Clostridium botulinum*.
4. Anaerob fakultatif: Bakteri ini mampu tumbuh di bawah kondisi aerobik dan anaerobik, contoh: Kelompok *Enterobacteriaceae*, dan *Staphylococcus aureus*.
5. Aerotoleran anaerob: Adalah bakteri anaerob yang tidak terbunuh oleh paparan oksigen.
6. Capnophiles: Bakteri capnophilic membutuhkan peningkatan konsentrasi karbondioksida (5%-10%) dan sekitar 15% oksigen. Kondisi ini dapat dicapai dengan inkubasi di toples lilin (3% karbondioksida) atau inkubator karbondioksida, contoh: *Haemophilus influenzae* dan *Neisseria gonorrhoeae*.
7. Mikroaerofilik: Kelompok bakteri yang dapat tumbuh di oksigen tereduksi (5% hingga 10%) dan peningkatan karbondioksida (8% hingga 10%). Ketegangan oksigen yang lebih tinggi mungkin menghambat mereka. Lingkungan ini dapat diperoleh dalam stoples atau adah yang dirancang khusus, contoh: *Campylobacter jejuni*, dan *Helicobacter pylori* (Ridwan, 2018).

Oksigen bebas dari udara sangatlah penting bagi bakteri untuk respirasi sel, namun keperluan bakteri akan oksigen bebas tersebut sangatlah berbeda, tergantung pada adanya sistem enzim biooksidatif yang ada pada tiap spesies, sehingga dikenal adanya respirasi aerob dan anaerob. Respirasi yang menggunakan oksigen bebas sebagai penerima elektron disebut respirasi aerob, dan yang menggunakan senyawa anorganik sebagai penerima elektron disebut respirasi anaerob (Nasution *et al.*, 2020). Kebutuhan

oksigen bakteri mencerminkan mekanisme yang digunakan oleh bakteri tertentu untuk memenuhi kebutuhan energi mereka. Anaerob obligat tidak melakukan fosforilasi oksidatif. Selanjutnya akan terbunuh dengan keberadaan oksigen.

Bakteri anaerob obligat kekurangan enzim katalase, peroksidase dan superoksida dismutase. Katalase merupakan enzim yang memiliki fungsi untuk memecah hidrogen peroksida (H_2O_2) menjadi air dan oksigen, peroksidase berfungsi untuk memecah H_2O_2 menjadi air dan superoksida dismutase berfungsi untuk mengubah O_2^- menjadi H_2O_2 dan O_2 . Enzim-enzim ini mendetoksifikasi peroksida (H_2O_2) dan radikal bebas oksigen yang dihasilkan selama metabolisme dengan adanya oksigen. Menurut Tjampakasari (2023) keberhasilan dalam melakukan kultivasi dan identifikasi bakteri anaerob ditentukan oleh pemilihan media dan isolasi dan penentuan metode kultivasi yang tepat.

4) Faktor lain

Suhu, pH, ketersediaan gas adalah factor fisik yang utama dalam pertumbuhan mikroorganisme sehingga kita dapat mengetahui kondisi optimum dari pertumbuhannya. Beberapa bakteri seperti organisme fotoautotrofik (fotosintetik) membutuhkan cahaya sebagai sumber energi dan bakteri halofilik membutuhkan kadar garam yang tinggi.

Selain nutrisi dan factor fisik, faktor lain yang penting dalam pertumbuhan mikroorganisme disebut faktor-faktor pertumbuhan (*growth factor*). *Growth factor* adalah senyawa organik yang diperlukan untuk pembentukan komponen sel suatu organisme, namun tidak bisa diproduksi oleh organisme itu sendiri. Ada 3 macam *growth factor* yang diperlukan oleh organisme, yaitu (1) asam- asam amino, (2) purin dan pirimidin dan (3) vitamin. Asam amino diperlukan untuk pembentukan protein, sedangkan purin dan pirimidin diperlukan untuk pembentukan asam nukleat, sedangkan vitamin diperlukan sebagai kofaktor enzim yang diperlukan untuk keberlangsungan hidup sel.

5.4 Pertumbuhan dan Perhitungan Sel Mikroba Lahan Basah berbasis STEM-PJBL

Proyek praktikum pengaruh agen fisika dan kimia terhadap pertumbuhan mikroba. Agen fisika yang digunakan dalam praktikum yaitu suhu. Agen kimia yang digunakan yaitu tekanan osmotik.

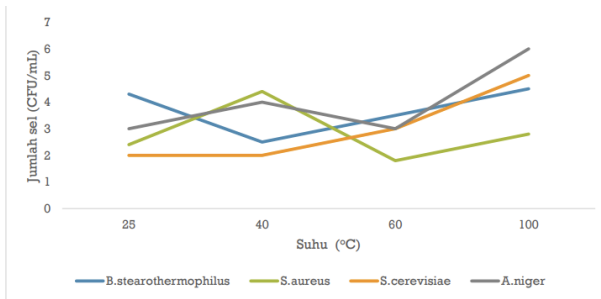
Cara kerja pengaruh suhu:

Kultur cair bakteri dan ragi dan suspensi spora *Aspergillus niger* dimasukan kedalam penangas bersuhu 40°C, 60°C dan 100°C selama 10 menit dan ditunggu hingga suhunya 45-50°C. Selanjutnya dilakukan pengenceran berseri kultur sampai 10^{-6} kali untuk bakteri dan 10^{-5} kali untuk fungi, lalu 3 pengenceran terakhir diinokulasikan pada cawan petri berisi medium NA (untuk bakteri) dan PDA (untuk Fungi) dengan metode *spread* dan diinkubasi pada suhu ruang untuk *Staphylococcus aureus*, *Aspergillus niger* dan *Saccharomyces cerevisiae*, dan untuk *Bacillus stearothermophilus* diinkubasi pada suhu 50°C. kemudian dilakukan enumerasi pada jam ke 24 dan 48 untuk bakteri dan sampai 72 jam untuk fungi.

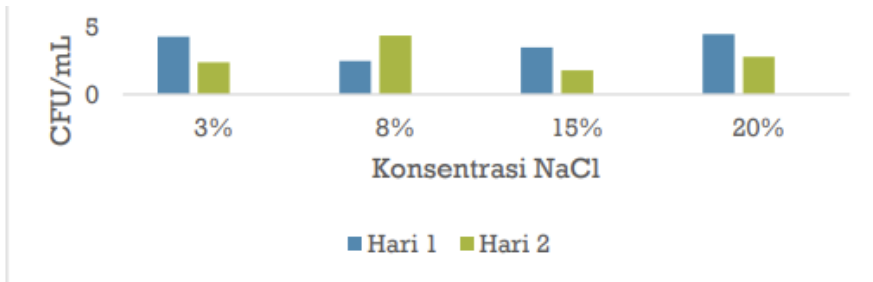
Cara kerja tekanan osmotik:

0,1 mL kultur dalam microtube diinokulasikan dengan metode *spread* pada medium NA + NaCl dengan variasi konsentrasi NaCl sebesar 3 %, 8 %, 15 % dan 20 % kemudian diinkubasi pada suhu 25°C selama 24- 48 jam. Kemudian dilakukan enumerasi koloni pada jam ke 24 dan 48.

Langkah terakhir yaitu hasil data pertumbuhan mikroba disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar berikut:



Gambar 5. 11. Grafik pengaruh suhu terhadap pertumbuhan mikroba



Gambar 5. 12. Grafik pengaruh tekanan osmotik terhadap pertumbuhan mikroba

5.5 Rangkuman

Pertumbuhan mikroba adalah penambahan jumlah mikroba, dari satu menjadi dua, dari dua menjadi empat, dari empat menjadi delapan, dan seterusnya. Metode untuk menghitung pertumbuhan mikroba adalah metode lempeng hitung (*plate count method*), metode MPN (*most probable number*), Metode evaluative Petroff-Hausser, Metode kekeruhan dan Metode Berat kering kultur.

5.6 Latihan soal

Jawablah pertanyaan berikut dengan baik dan benar!

- 1) Sebut dan jelaskan 4 fase pertumbuhan bakteri
- 2) Uji MPN didapatkan hasil adanya gas diakhir tes, maka bakteri yang didapatkan adalah jenis bakteri....
- 3) Sebutkan factor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri
- 4) Apa yang membedakan perhitungan bakteri secara langsung dan secara tidak langsung?

BAB 6

IDENTIFIKASI MIKROBA

- CPL** : Mampu menganalisis fenomena sains secara terintegrasi untuk memecahkan masalah dengan berpikir kritis dan memanfaatkan IT sebagai sumber data untuk penelitian, dan kewirausahaan.
- CPMK 1** : Mahasiswa mampu memahami konsep-konsep Dasar Mikrobiologi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat melalui inovasi dibidang mikroorganisme lahan basah
- CMPK 2** : Mahasiswa mampu membuat sebuah project terkait penggunaan mikroorganisme dalam mikrobiologi terapan (wirausaha) dalam mikrobiologi terapan dibidang pangan, pertanian dan pakan

Identifikasi mikroba dilakukan untuk mengetahui karakteristik, morfologi dan jenis dari mikroba yang sedang diamati. Proses pengamatan morfologi mikroba tidak dapat dilakukan secara langsung dengan mata karena berukuran mikroskopis, masih hidup (bergerak) dan transparan. Sehingga butuh teknik dalam melakukan identifikasi mikroba. Proses identifikasi mikroba terdiri dari beberapa cara, hal ini disesuaikan dengan karakteristik apa yang ingin diketahui.

6.1 Teknik Pewarnaan

Mengamati mikroba dan mikroorganisme lain dalam keadaan masih hidup dengan ukuran yang mikroskopis dan tidak dapat dilihat dengan mata secara langsung (tanpa menggunakan alat bantu). Selain itu, mikroba seperti bakteri yang tidak memiliki

warna yang sulit diamati maka dibutuhkan pewarnaan untuk mengetahui mikroba tersebut dan diamati menggunakan alat bantu yaitu mikroskop. Bakteri merupakan organisme bersel satu yang memiliki struktur yang kompleks. Secara umum dapat dibagi menjadi 3 daerah yaitu apendiks (flagella dan pilli), selubung (kapsul, dinding sel dan membrane plasma) dan sitoplasma (DNA, RNA, dan ribosom). Pada bakteri tertentu terutama yang tergolong genus *Bacillus* dan *Clostridium* membentuk suatu struktur di dalam sel pada tempat-tempat yang khas, disebut endospore yang berguna untuk proteksi sel bukan untuk berkembangbiak.

Teknik pewarnaan mirkoba dalam laboratorium secara garis besar ada 3 jenis, yaitu:

- 1) Pewarnaan sederhana (*simple stain*), misalnya pewarnaan basa (langsung atau positif), pewarnaan asam (tidak langsung atau negative).
- 2) Pewarnaan diferensial (*differential stain*), menggunakan lebih dari satu jenis zat pewarna, misal pewarnaan gram, pewarnaan tahan asam.
- 3) Pewarnaan struktur tubuh sel bakteri (*structural stain*), misal pewarnaan flagella, pewarnaan spora, pewarnaan nucleus.

Pewarnaan yang dilakukan dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu proses fiksasi, variasi dalam penerapan diuretic, penggunaan peluntur warna, pengguaan zat substrat, intensifikasi pewarna, dna penerapan zat warna penutup. Suatu peparat yang memiliki warna akan dikenai zat peluntur untuk pencucian dengan asam lemah pada tahapan tertentu. Mikroba yang mengalami proses ini disebut mikroorganisme cepat korosif dan menjadi ciri khas spesies mikroba tersebut. Mikroba memiliki morfologi, design dan artibut khas yang membedakannya dari mikroba yang lain. Mikroba memiliki warna yang transparan dan untuk membedakan dengan gelembung air dan mikroba tersebut dibutuhkan teknik pewarnaan terhadap mikroba tersebut. Teknik pewarnaan pada mikroba ini

menjadi penentu kualitas fisiologisnya yaitu dapat mengetahui respon dinding sel bakteri melalui rangkaian pewarnaan.

Sebelum masuk ke tahap pewarnaan bakteri, terlebih dahulu menyediakan sediaan bakteri yang akan diamati. Sediaan bakteri merupakan suspensi bakteri yang telah dilekatkan pada kaca benda. Dalam pembuatannya, suspensi bakteri dapat dibuat dengan 2 cara yaitu:

(1) Bakteri yang diambil dari biakan medium padat

Cara membuat:

- Siapkan kaca benda yang bersih dan telah disterilisasi menggunakan alkohol
- Pijarkan ose dalam posisi tegak dan didinginkan sejenak
- Ambil aquades steril menggunakan ose secara aseptis
- Letakkan aquades steril pada kaca benda secara aseptis
- Secara aseptis, ambil sedikit biakan bakteri menggunakan ose
- Campurkan bakteri yang terambil dengan aquades pada kaca benda menggunakan ose hingga merata
- Lebarakan campuran tersebut hingga diperoleh lapisan yang tidak terlalu tebal maupun tipis menggunakan ose
- Kering anginkan sediaan bakteri tersebut, sementara ose disterilisasi dengan dipijarkan pada api Bunsen
- Lakukan fiksasi pada kaca benda dengan melewati permukaan tanpa biakan pada nyala api beberapa kali hingga pada permukaan kaca benda tidak ada sediaan dengan tujuan agar sediaan dapat menempel optimal pada kaca benda, dan bakteri pada sediaan mati sehingga mudah menyerap zat warna
- Biarkan sediaan hingga dingin
- Sediaan telah siap diwarnai

(2) Bakteri yang diambil dari biakan medium cair

Cara membuat:

- Siapkan kaca benda yang bersih dan telah disterilisasi menggunakan alkohol
- Pijarkan ose dalam posisi tegak dan didinginkan sejenak
- Ambil aquades steril menggunakan ose secara aseptis
- Letakkan biakan bakteri yang telah diambil pada kaca benda
- Lebarkan hingga diperoleh lapisan yang tidak terlalu tebal maupun tipis menggunakan ose
- Kering anginkan sediaan bakteri tersebut, sementara ose disterilisasi dengan dipijarkan pada api Bunsen
- Lakukan fiksasi pada kaca benda dengan melewati permukaan tanpa biakan pada nyala api beberapa kali hingga pada permukaan kaca benda tidak ada sediaan dengan tujuan agar sediaan dapat menempel optimal pada kaca benda, dan bakteri pada sediaan mati sehingga mudah menyerap zat warna
- Biarkan sediaan hingga dingin
- Sediaan telah siap diwarnai

Perbedaan pembuatan sediaan dari biakan bakteri di medium padat dan cair hanya pada penggunaan aquades.

1) Pewarnaan Sederhana

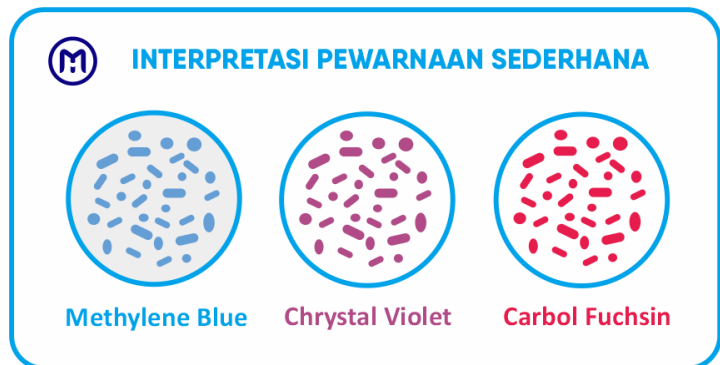
Pewarnaan sederhana merupakan teknik yang digunakan untuk mengetahui struktur dan morfologi mikroba dengan memberikan warna dasar yang relative mudah dilakukan sehingga mikroba dapat dilihat dengan jelas di bawah mikroskop. Pewarnaan sederhana ada 2 yaitu pewarnaan basa dan pewarnaan asam.

a) Pewarnaan basa

Teknik pewarnaan sederhana menggunakan sebuah pewarna tunggal atau utama yang bertujuan untuk melihat morfologi sel bakteri termasuk bentuk, ukuran dan susunan sel. Warna basa terjadi ketika senyawa warna dengan muatan positif digunakan, yang kemudian dibatasi oleh dinding sel bakteri, menyebabkan sel bakteri terlihat berwarna. Beberapa contoh warna basa termasuk methylene blue, safranin, dan sejenisnya. Mayoritas mikroba merespon dengan baik terhadap metode pewarnaan sederhana karena sitoplasmanya memiliki sifat basofilik (afinitas terhadap basa), sementara pewarna yang digunakan dalam metode ini umumnya bersifat antasida (bagian kromatofitnya bermuatan positif).

Mekanisme pewarnaan basa yaitu:

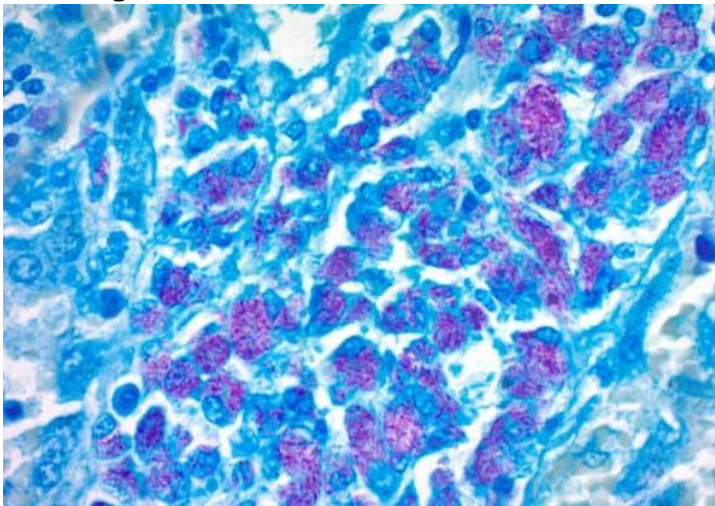
- Buat sediaan bakteri pada kaca benda yang bersih dan disterilkan menggunakan alkohol
- Teteskan methylene blue atau safranin pada sediaan bakteri



Gambar 6. 1. Interpretasi Pewarnaan Sederhana

b) Pewarnaan asam (*Burri Staining*)

Pewarnaan asam dan pewarnaan negative merupakan pewarnaan yang menggunakan warna asam seperti eosin, negrosin sebagai pewarna utama. Pewarnaan negative dilakukan pada mikroorganisme yang sulit diwarnai dengan warna dasar seperti spirochaete. Pewarnaan ini bertujuan untuk mengetahui bentuk, ukuran dan susunan (morfologi) sel bakteri secara tidak langsung, sel bakteri akan tampak sebagai unit transparan (tidak berwarna) sementara latar belakangnya berwarna gelap sebagai efek dari zat warna. Pewarnaan negative memerlukan pewarna asam karena memiliki negative charge kromogen (tidak akan menembus atau berpenetrasi ke dalam sel karena negative charge pada permukaan bakteri. Oleh karena itu, sel tidak berwarna dan mudah dilihat dengan latar belakang berwarna.



Gambar 6. 2. Contoh hasil pewarnaan asam

2) Pewarnaan Diferensial

Pewarnaan diferensial merupakan teknik pewarnaan yang dapat membedakan kelompok bakteri melalui perbedaan warna yang muncul dari sel bakteri. Tujuan pewarnaan diferensial yaitu untuk mengidentifikasi bakteri berdasarkan perbedaan warna yang muncul dari sel bakteri. Pewarnaan diferensial dibagi menjadi 3 yaitu pewarnaan gram, pewarnaan tahan asam dan pewarnaan endospora. Pewarnaan ini menggunakan lebih dari satu jenis warna.

a) Pewarnaan gram

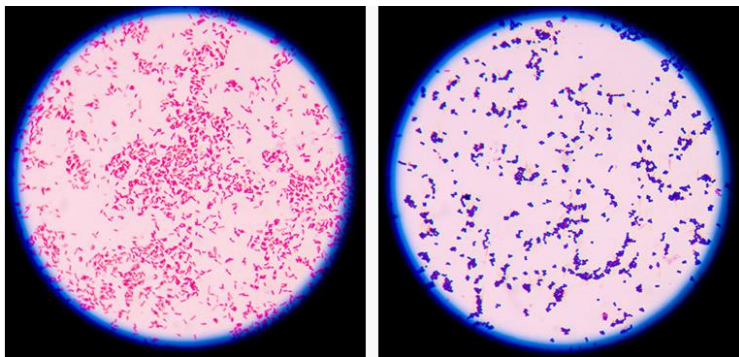
Pewarnaan gram merupakan salah satu pewarnaan diferensial yang membedakan bakteri menjadi 2 kelompok yaitu gram positif dan gram negatif. Tujuan dari pewarnaan gram yaitu mengetahui bakteri tergolong dalam gram positif atau negative berdasarkan dinding sel bakteri tersebut. Pewarnaan gram ditemukan oleh ahli mikrobiologi berkebangsaan Denmark, Hans Christian Gram pada tahun 1882 dan dipublikasikan pada tahun 1884. Pewarnaan gram dipergunakan untuk membedakan antara bakteri *Streptococcus pneumoniae* dan *Klebsiella pneumoniae* pada jaringan paru.

Sifat gram ditentukan oleh derajat keasaman (pH) pada sitoplasma sel, adanya senyawa ribonukleat, magnesium pada bakteri gram positif dan ketebalan serta perbedaan lipid pada dinding sel antara bakteri gram positif-negatif.

Gram positif adalah bakteri yang memiliki dinding sel yang tebal dan mengandung asam teikoik yang bersifat menahan pewarna pertama (kristal violet) yang berwarna ungu dan tidak hilang dengan pencucian

maupun pemberian warna tanding (*counterstain*) yaitu safranin atau basic fuchin yang berwarna merah. Sedangkan gram negarif memiliki struktur dinding sel yang tipis yang mengandung lapisan lipopolisakarida sehingga kristal violet tidak dapat terserap kuat dan setelah pemberian dekolorisasi (alcohol) lapisan lipopolisakarida akan terlarut dan warna kristal violet akan hilang. Sehingga bakteri akan menerima warna tanding dan berwarna merah.

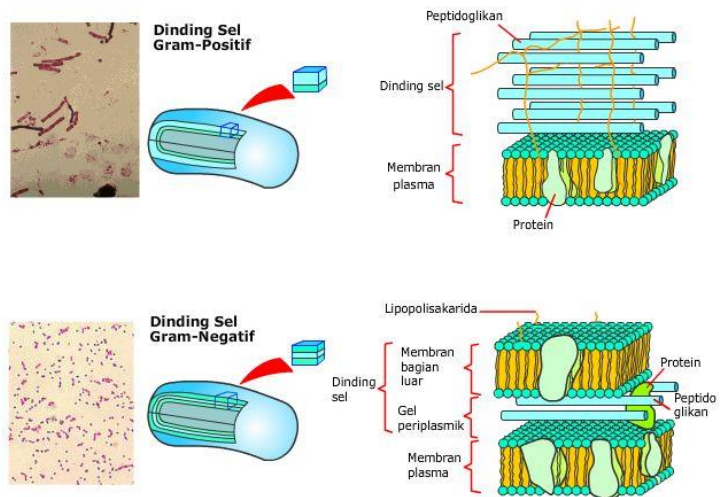
Perbedaan struktur bakteri gram positif dan negatif dapat dilihat pada Gambar 6.3 dan Tabel 6.1



Gambar 6. 3. Hasil pewarnaan gram (a) Gram negatif dan (b) Gram positif

Tabel 6. 1. Perbedaan Bakteri Gram positif dan negatif

	Gram +		Gram -
Struktur dinding sel	Tebal, sederhana		Tipis, kompleks
Komposisi dinding sel	Asam teikoik	tebal	Lipopolisakarida
	Peptidoglikan	tebal	tipis



Gambar 6. 4. Perbedaan dinding sel bakteri gram negative dan gram positif

Pewarnaan gram terdiri atas warna positif yaitu kristal violet yang melalui dinding sel bakteri dan berikatan dengan sel yang bermuatan negative sehingga menyebabkan bakteri berwarna ungu. Lugol (*iodine*) sebagai pemantek (*mordant*) yang bermuatan negative akan menambah kekuatan ikatan kristal violet sehingga terbentuk kompleks kristal violet-iodine dalam sel dan menyebabkan warna kristal violet melekat pada bakteri. Penambahan alcohol sebagai dekolorisator pada dinding sel bakteri.

Pada gram negative alcohol menyebabkan terekstraksinya lipid pada dinding sel bakteri sehingga memperbesar daya permeabilitas dinding sel gram negative dan bakteri tidak dapat mempertahankan kompleks kristal violet-iodine (kristal violet-iodine

terlepas/ luntur). Berbeda dengan gram positif, penambahan alcohol menyebabkan dinding sel bakteri terhidrasi sehingga ukuran pori-pori mengecil dan permeabilitas berkurang dan kompleks kritis violet-iodin terperangkap atau tidak dapat terlepas sehingga tetap berwarna ungu. Pada saat pemberian warna safranin, gram positif yang kehilangan warna kristal violet-iodin akan mengambil warna safranin sehingga berwarna merah.

b) Pewarnaan tahan asam (*Ziehl Neelsen Staining*)

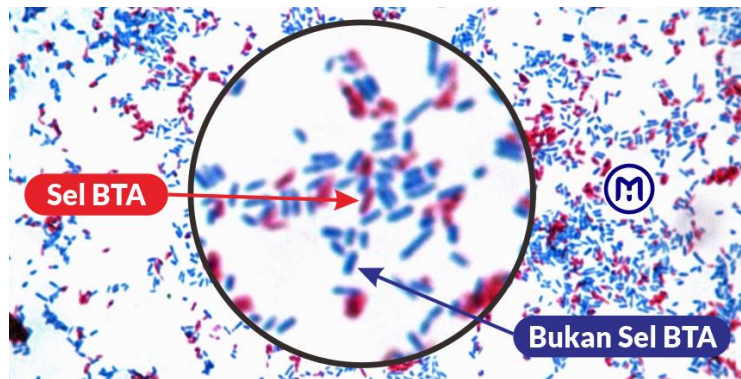
Pewarnaan tahan asam bertujuan untuk mengetahui jenis bakteri yang tahan terhadap pH rendah (lingkungan asam). Bakteri tahan asam memiliki lapisan lipid yang sulit untuk diwarnai dan didekolorisasi dengan pewarnaan sederhana. Prinsip pewarnaan tahan asam adalah dinding bakteri memiliki lapisan lipid seperti *mycolic acid* yang bersifat tahan asam sehingga pemberian *carbolfuchsin* disertai pemanasan akan mempermudah *carbolfuchsin* masuk ke dalam dinding sel bakteri. Apabila zat warna ini telah terikat maka sangat sulit untuk menghapusnya sekalipun dicuci dengan alcohol asam kuat.

Saat bakteri tahan asam dipanaskan maka lapisan lemak akan terbuka dan bakteri akan mengambil warna *carbolfuchsin* (merah). Pada pencucian dengan air, lapisan lemak yang terbuka pada waktu pemanasan akan merapat kembali karena pendinginan. Pada pemberian alcohol asam, warna merah dari *carbolfuchsin* pada bakteri tahan asam akan dipertahankan atau tidak dilepaskan. Sedangkan bakteri yang tidak tahan asam akan melepaskan warna *carbolfuchsin* sehingga akan menerima warna methylene blue dipewarnaan penutup sehingga memiliki warna biru. Perbedaan pemberian

warna pada bakteri tahan asam dan bakteri tidak tahan asam dapat dilihat pada tabel 6.2 berikut

Tabel 6. 2. Perbedaan pemberian warna atau larutan pada bakteri

Pemberian warna/ larutan	Perubahan warna pada bakteri	
	Tahan asam	Tidak tahan asam
<i>Carbol fuchsin</i>	Merah	Merah
Alcohol asam	Merah	Tidak berwarna
Methylene blue	Merah	Biru



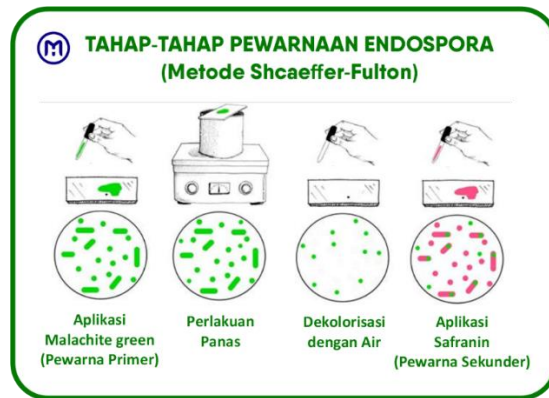
Gambar 6. 5. Hasil pewarnaan tahan asam

c) Pewarnaan endospore

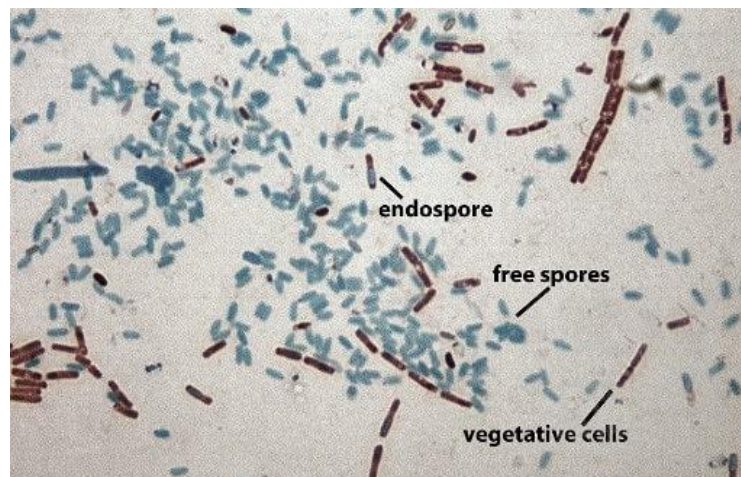
Pewarnaan endospore bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya endospore pada bakteri. Tidak semua bakteri memiliki endospore, hanya golongan bakteri tertentu yang memiliki endospore, salah satunya

bakteri *Bacillus*. Endospore adalah bentuk dorman atau istirahat dari sel bakteri yang sangat tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. Endospore bakteri adalah struktur yang tidak aktif secara metabolic dan sangat tahan dan diproduksi oleh beberapa bakteri sebagai strategi pertahanan dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Banyak yang menganggap dormansi spora sebagai bentuk keternangan yang lebih dalam dengan hampir tidak ada aktivitas intraseluler yang terjadi karena sel-sel yang diam tetap hidup Ketika nutrisi berlimpah (Walker *et al.*, 2023).

Prinsip kerja pewarnaan endospore yaitu memaksa pewarna primer-hijau masuk kedalam endospore dengan cara mengukur emulsi bakteri. Pewarna ini larut dalam air dan memiliki afinitas yang rendah terhadap bahan seluler, sehingga sel vegetative dapat dihilangkan warnanya dengan air. Pewarna safranin kemudian diaplikasikan untuk menetralkan setiap sel yang telah dihilangkan warnanya. Pada akhir proses pewarnaan akan nampak sel vegetative berwarna merah dan endospore akan berwarna hijau tua. Letak spora tergantung jenis bakteri yang diamati ada yang di tengah sel, ujung sel atau diantara ujung dan tengah sel. Bentuk spora ada yang berbentuk bulat atau elips. Pewarnaan endospore penting dalam bakteriologi yaitu untuk mengidentifikasi keberadaan endospore pada bakteri pembentuk spora seperti *Bacillus* dan *Clostridium* dan membedakan antara sel vegetative dan endospore.



Gambar 6. 6. Tahap-tahap pewarnaan endospore



Gambar 6. 7. Hasil pewarnaan endospore (endospore berwarna hijau, sel vegetative berwarna merah)

3) Pewarnaan Struktur Tubuh Sel Bakteri

Selain morfologi bakteri baik secara individual maupun koloni, uji sifat biokimia juga sangat penting dilakukan untuk memperjelas genus maupun spesies yang kita amati apakah benar-benar spesies bakteri yang seharusnya. Uji biokimia

dilakukan untuk mengamati sifat fisiologis bakteri yaitu kemampuannya untuk melakukan reaksi biokimia tertentu. Uji biokimia erat kaitannya dengan metabolisme sel, yaitu proses kimiawi yang dilakukan oleh sel untuk menghasilkan energi dan membangun komponen-komponen sel. Reaksi kimia ini menghasilkan produk-produk tertentu yang dapat dideteksi melalui uji biokimia.

Ciri fisiologis dan biokimia sangat penting untuk identifikasi mikroba, karena secara morfologi bakteri yang berbeda memiliki tampak yang serupa. Reaksi biokimia dapat terjadi pada bagian luar maupun dalam sel bakteri oleh suatu yang diatur oleh katalis biologi yang disebut dengan enzim. Enzim pada mikroba khususnya bakteri terbagi menjadi dua yaitu enzim ekstraseluler (eksoenzim) dan enzim intraseluler (endoenzim).

Eksoenzim berfungsi untuk mendegradasi substrat nutrisi berupa polisakarida, lipid, dan protein yang berada diluar sel menjadi molekul yang berukuran lebih kecil sebelum diangkut ke dalam sel bakteri. Endoenzim yang terdapat didalam sel bakteri bertanggungjawab untuk mensintesis kebutuhan protoplasma baru dan produksi energi seluler dari bahan-bahan yang diasimilasi. Kemampuan sel bakteri bereaksi terhadap substrat nutrisi yang menembus membrane sel menunjukkan banyaknya endoenzim yang mampu mengubah substrat spesifik secara kimiawi menjadi bahan esensial.

Tabel 6. 3. Uji biokimia berdasarkan jenis enzim

Enzim Ekstraseluler	Enzim Intraseluler
Hidrolisis Pati	Fermentasi Karbohidrat
Hidrolisis Lipid	Reduksi Nitrat
Hidrolisis Kasein/Protein	Reaksi Katalase

Enzim Ekstraseluler	Enzim Intraseluler
Hidrolisis Gelatin	Uji Urease
Koagulase	Uji Oksidase
	Uji Indole

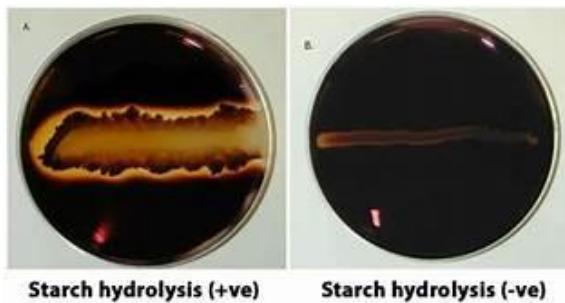
Untuk mengetahui benar tidaknya teknik serta hasil uji biokimia bakteri yang telah dilakukan bisa di bandingkan dengan salah satu buku, *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*, untuk mengetahui determinasi bakteri. Pada buku tersebut terdapat data hasil pengujian yang lengkap tentang keseluruhan spesies bakteri yang telah dituliskan dalam *descriptive chart*.

Berikut uji biokimia bakteri berdasarkan enzim ekstraseluler, diantaranya meliputi:

HIDROLISA PATI (AMILUM)

Pati merupakan makromolekuler berupa polimer bercabang yang memiliki berat molekul tinggi tersusun atas molekul glukosa yang dirangkai oleh ikatan glikodisik. Proses degradasi pati diawali oleh enzim ekstraseluler (amilase) yang menghidrolisis pati menjadi polisakarida yang lebih pendek yaitu dekstrin, dan pada akhirnya menjadi maltose. Hidrolisis akhir disakarida ini dilakukan oleh enzim maltase sehingga menghasilkan molekul glukosa dengan berat molekul rendah dan mudah larut sehingga mudah diangkut ke dalam sel bakteri untuk produksi energi melalui proses glikolisis. Dalam percobaan uji hidrolisis pati menggunakan media agar pati untuk menunjukkan adanya aktivitas hidrolik dari eksoenzim. Umumnya media agar yang digunakan adalah nutrient agar (NA) yang mengandung pati, dimana pati berfungsi sebagai substrat polisakarida.

Pati dengan adanya penambahan iodin akan memberikan warna biru kehitaman pada medium, yang mengindikasikan tidak adanya enzim pemecah pati dan menunjukkan hasil negative. Sedangkan hasil uji positif terdapat daerah atau zona bening disekeliling koloni. Zona bening ini menunjukkan amilum/pati telah terhidrolisis menjadi sakarida yang lebih sederhana.

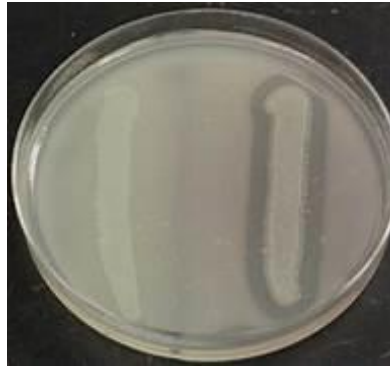


Gambar 6.8 Hasil hidrolisis pati

HIDROLISIS LIPID

Lipid merupakan makromolekul yang sukar larut dalam air dan menyimpan banyak energi. Secara umum lipid dibagi menjadi dua jenis yaitu lipid sederhana dan lipid kompleks. Lipid sederhana dapat didegradasi menjadi molekul sederhana dengan enzim lipase (eksoenzim). Sedangkan lipid majemuk adalah senyawa lipid yang dapat menghasilkan satu molekul senyawa lain yang bukan lipid jika mengalami hidrolisis. Senyawa lipid kompleks antara lain lipoprotein, fosfolipid, aminolipid, glikolipid dan lain sebagainya.

Uji hidrolisis lipid pada bakteri menggunakan Media Tributirin Agar. Setelah dilakukan uji akan diperoleh zona bening disekitar koloni bakteri, ini menunjukkan bahwa koloni bakteri mampu menghidrolisis lipid (hasil positif). Sebaliknya jika tidak terbentuk zona bening maka bakteri tidak mampu menghidrolisis lipid (hasil negative).



Gambar 6. 8. Hasil hidrolisis lipid

HIDROLISIS PROTEIN

Uji hidrolisis protein pada bakteri menggunakan media *Skim Milk Agar* (SMA). Susu skim pada SMA mengandung kasein yang berfungsi sebagai substrat enzim. Hidrolisis kasein digunakan untuk memperlihatkan adanya aktivitas hidrolitik enzim protease dan peptidase. Bakteri proteolitik mampu memproduksi enzim protease ekstraseluler, yaitu enzim pemecah protein yang diproduksi di dalam sel kemudian dilepaskan keluar dari sel.

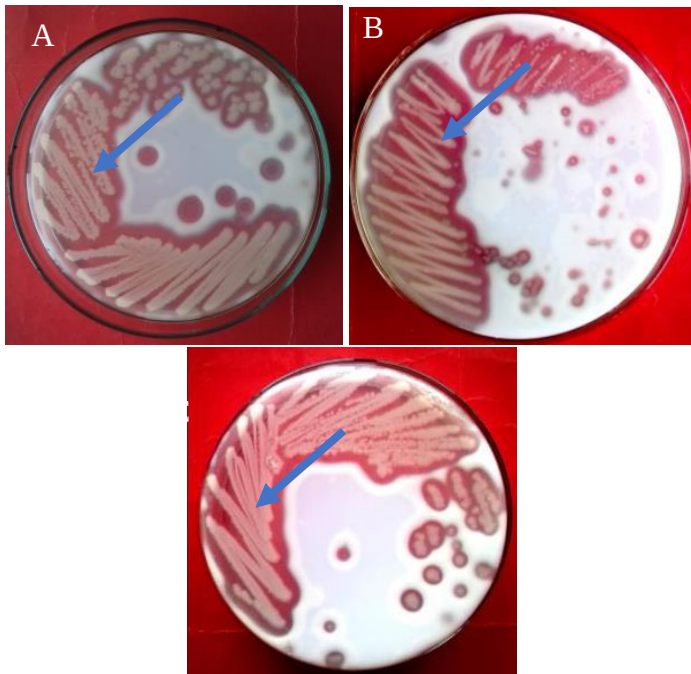
Enzim protease dan peptidase, berperan dalam proses hidrolisis kasein menjadi peptida-peptida dan asam-asam amino yang larut. Kasein di dalam media SMA terhidrolisis ditandai dengan adanya zona bening di sekitar koloni bakteri. Aktivitas proteolitik ditunjukkan dengan semakin lebarnya zona bening tersebut. Hasil perombakan polimer protein hanya ditunjukkan dengan adanya zona bening yang menandakan protein telah dirombak menjadi senyawa peptida dan asam amino yang sifatnya terlarut dalam media. Kemampuan hidrolisis protein dari bakteri proteolitik ditandai dengan nilai indeks hidrolisis protein yang

merupakan perbandingan antara diameter zona bening terhadap diameter koloni isolat bakteri pada media SMA lempeng. Hasil bagi diameter tersebut dinyatakan sebagai aktifitas relatif protease (Sri Hastuti *et al.*, n.d.).

Perhitungan indeks hidrolisis proteolitik (IHP) mengacu pada rumus berikut:

$$\text{IHP} = \frac{\text{diameter zona bening}}{\text{diameter koloni bakteri}}$$

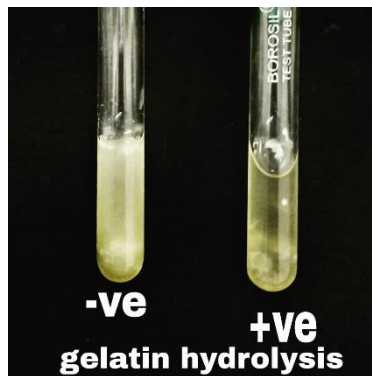
Berikut gambar contoh dari aktifitas hasil uji hidrolisis protein



Gambar 6. 9. Koloni bakteri proteolitik pada medium SMA (A) *Vibrio parahaemolyticus* (B) *Pseudomonas pseudomallei*, dan (C) *Listeria monocytogenes*. Zona bening menunjukkan aktivitas hidrolisis protein oleh bakteri (tanda panah biru).

HIDROLISIS GELATIN

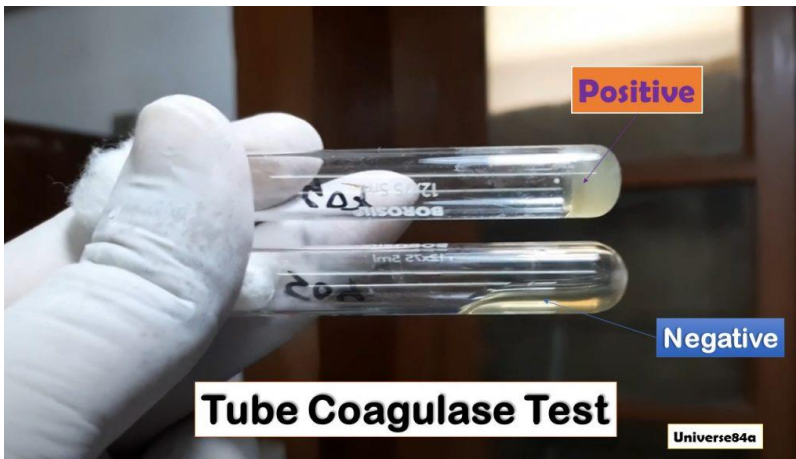
Gelatin adalah suatu zat yng meleleh pada atau di atas 28°C, sehingga harus dibudidayakan di suhu 25°C (suhu kamar) Hidrolisis gelatin terjadi karena bakteri menghasilkan gelatinase untuk menghidrolisis polimerprotein, gelatin, untuk asam amino. Beberapa spesies bakteri yang mengeluarkan gelatinase: *Staphylococcus aureus*, beberapa spesies *Clostridium*, *Propionobacterium acnes*, beberapa anggota *Enterobacteriaceae*, beberapa *Pseudomonadaceae* dan anggota *Bacillus*, *Serratia*, *Proteus*.



Gambar 6. 10. Hasil uji gelatin

KOAGULASE

Uji koagulase bertujuan untuk mendeteksi adanya pembentukan enzim koagulase yang terikat pada dinding sel bakteri. Uji ini dilakukan dengan cara mengambil isolat bakteri menggunakan ose, uji koagulase metode slide dilakukan dengan menggunakan plasma sitrat. Reaksi positif pada uji koagulase ditunjukkan dengan adanya gumpalan seperti gel pada preparat, dan reaksi ini dinyatakan negatif jika tidak terdapat gumpalan.



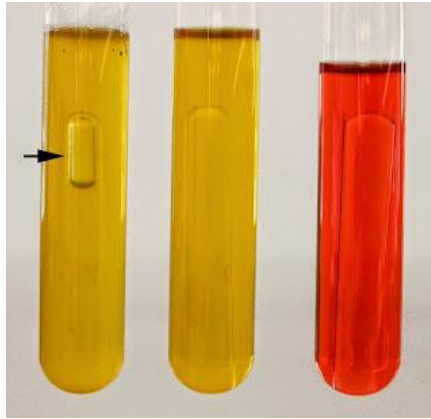
Gambar 6. 11. Hasil uji koagulase

Berikut uji biokimia bakteri berdasarkan enzim intraseluler, diantaranya meliputi:

FERMENTASI KARBOHIDRAT

Uji fermentasi karbohidrat bertujuan untuk mengetahui kemampuan isolat bakteri dalam menghidrolisis karbohidrat dengan menggunakan tiga jenis gula, yaitu glukosa, laktosa dan sukrosa. Uji ini menggunakan media NB yang ditambah dengan *Brom Tyymol Blue* (BTB) sebagai indikator dimasukkan kedalam tabung reaksi, lalu ditambahkan gula yang akan difermentasikan 1-2%. Tabung durham dimasukkan ke dalam tabung reaksi tersebut, kemudian disterilkan setelah steril diinokulasi masing-masing isolat bakteri kemudian diinkubasi selama 24-48 jam pada suhu 37°C. Indikator pembentukan asam laktat apabila terjadi perubahan warna medium dari hijau menjadi kuning tanpa pembentukan gas pada tabung durham. Uji akan bersifat fermentasi asam campuran apabila warna medium berubah dan diikuti pembentukan gas pada tabung durham dan uji

akan bersifat fermentasi alkohol apabila terbentuk gas pada tabung durham tanpa diikuti perubahan warna medium.



Gambar 6. 12. Hasil uji fermentasi karbohidrat

REDUKSI NITRAT

Denitrifikasi merupakan proses reduksi nitrat, melalui senyawa intermediet nitrit dan nitric oksida, menjadi nitrous oksida atau gas dinitrogen. Proses ini melepaskan senyawa nitrogen pada lingkungan, Dimana nitrat direduksi menjadi bentuk gas yang dilepas ke atmosfer. Meskipun dapat melepaskan senyawa nitrogen ke udara, proses denitrifikasi juga dapat berakibat buruk terhadap lingkungan karena dari prosesnya berpotensi menghasilkan gas nitrit oksida (NO) dan nitrous oksida (N_2O) yang merupakan gas potensial rumah kaca. Produk yang dihasilkan selama proses denitrifikasi tersebut tergantung dari jenis bakteri yang didukung dengan kelengkapan enzim selama aktivitasnya.

Bakteri denitrifikasi merupakan bakteri yang memanfaatkan senyawa nitrat sebagai penerima elektron terakhir, senyawa nitrat direduksi menjadi nitrit dan selanjutnya akan membentuk gas nitrogen. Selain itu,

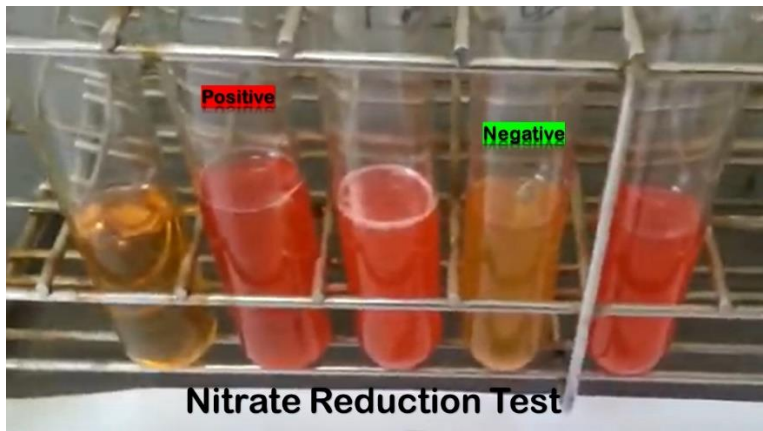
terdapat beberapa jenis bakteri yang memanfaatkan senyawa nitrat dan membentuk amonia yang tergolong pada kelompok bakteri reduksi nitrat menjadi amonium dissimilatif. Tipe metabolisme respirasi dan reduksi nitrat menjadi amonium dissimilatif (DNRA) dilakukan oleh kelompok bakteri dengan tipe metabolisme fermentatif.

Alat dan bahan yang diperlukan:

- Biakan *B.subtilis*, *E.coli*, *S.dysentriae*
- Medium nitrat cair
- Larutan asam sulfanilat
- Larutan alfa-naphthylamine
- Pipet 1 ml steril

Cara kerja:

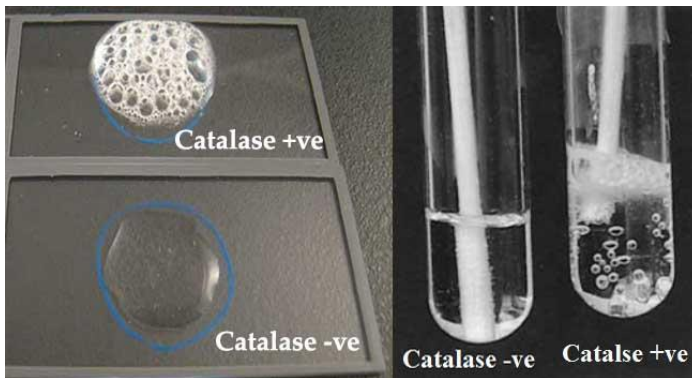
- Inokulasikan isolate bakteri pada medium masing-masing 2 tabung. Sebagai kontrol gunakan medium tanpa inoculum
- Inokulasikan pada temperature 37°C selama 2 hari
- Setelah inkubasi tuangkan 1 ml larutan asam sulfanilat dan 1 larutan alfa-naphthylamine kedalam masing-masing tabung
- Jika setelah digojog terbentuk warna merah (menunjukkan terbentuknya nitrit)



Gambar 6. 13. Hasil uji reduksi nitrat

REDUKSI HIDROGEN PEROKSIDA (KATALASE)

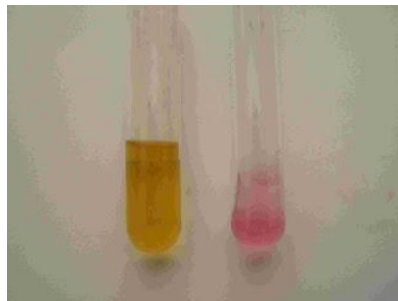
Reduksi hydrogen peroksida atau yang sering disebut uji katalase. Uji Katalase dilakukan dengan meneteskan hydrogen peroksida (H_2O_2) 3% pada benda kaca yang bersih. Biakan dioleskan yang sudah ditetesi hydrogen peroksida dengan usa pada benda kaca tersebut. Suspensi dicampur secara perlahan menggunakan usa, hasil yang positif ditandai dengan terbentuknya gelembung-gelembung udara. Uji katalase dikatakan positif apabila terbentuknya gelembung gas pada kaca benda. *Staphylococcus aureus* termasuk bakteri yang menghasilkan enzim katalase yang mampu menghidrolisis hydrogen peroksida (H_2O_2) menjadi air dan gas O_2 . Uji katalase penting dilakukan untuk mengidentifikasi kelompok bakteri tertentu.



Gambar 6. 14. Hasil uji katalase

UJI UREASE

Uji urease membantu mengidentifikasi bakteri berdasarkan kemampuan untuk menghasilkan enzim urease. Bakteri yang menghasilkan urease akan mengubah urea menjadi amonia dan karbon dioksida. Hasil positif dari uji ini membantu membedakan jenis bakteri tertentu dari yang lainnya, sehingga mempermudah proses identifikasi mikroorganisme. Media urea berisi indikator phenol red. Interpretasi hasil: negatif (-): tidak terjadi perubahan warna media menjadi pink/merah jambu, artinya kuman tidak memecah urea membentuk amoniak. Positif (+): tidak terjadi perubahan warna media menjadi pink/merah jambu, artinya kuman memecah urea membentuk amoniak (Lim, 2006).



Gambar 6. 15. Hasil uji urease

UJI OKSIDASE

Uji oksidase digunakan untuk mengetahui aktifitas enzim sitokrom c oksidase yang dihasilkan bakteri. Enzim sitokrom c oksidase adalah enzim yang berperan dalam fosforilasi oksidatif saat proses respirasi seluler sebagai akseptor elektron. Tidak semua bakteri mampu menghasilkan enzim sitokrom c oksidase, karena enzim ini hanya dimiliki oleh bakteri yang melakukan respirasi secara aerobik.

Enzim sitokrom c oksidase pada bakteri aerobik akan menggunakan Oksigen sebagai akseptor dan pembawa elektron saat proses fosforilasi oksidatif. Enzim ini dapat dideteksi aktifitasnya melalui uji Oksidase menggunakan reagen kimia N, N, N', N'-tetramethyl-p-phenylenediamine dihydrochloride. Reagen ini menyediakan elektron buatan yang akan bereaksi dengan enzim sitokrom c oksidase. Hasil reaksi oksidase positif akan merubah warna reagen menjadi ungu atau biru tua karena di dalam reagen mengandung senyawa Indophenol Blue. Jika tidak terjadi perubahan warna reagen maka disebut oksidase negatif.

Tidak semua jenis bakteri memiliki karakter uji oksidase positif, karena hanya dimiliki oleh kelompok bakteri aerobik. Sifat ini berguna dalam melakukan identifikasi dalam menentukan spesies bakteri. Contoh genus bakteri dengan karakter uji oksidase positif adalah *Neisseria*, *Moraxella*, *Campylobacter* dan *Pasteurella*.

Reagen uji oksidase bakteri dibagi menjadi 3 jenis yaitu Kovac's Oxidase, Gordon dan McLeod's, serta Gaby dan Hadley (indophenol oxidase).

Uji oksidase bakteri memiliki beberapa metode pengujian yaitu:

- Metode kertas filter

Metode ini menggunakan reagen Kovac's Oxidase dengan interpretasi uji apabila terjadi perubahan warna pada ulasan bakteri menjadi ungu atau biru tua saat pengamatan selama 5-10 detik pertama disebut oksidase positif. Jika perubahan warna terjadi selama pengamatan 10-60 detik maka disebut oksidase positif yang terlambat. Namun jika lebih dari 60 detik baru terjadi perubahan warna atau tidak terjadi perubahan warna dapat dinyatakan oksidase negatif.

- Metode langsung (*direct plate*)

Metode ini menggunakan reagen Gordon dan McLeod's. Interpretasi uji oksidase menggunakan reagen Gordon dan McLeod's adalah jika terjadi perubahan warna koloni bakteri menjadi ungu atau biru tua saat pengamatan selama 10-30 menit atau menjadi hitam selama pengamatan 60 menit disebut oksidase positif. Jika tidak terjadi perubahan warna maka disebut oksidase negatif.

- Metodeulas (swab)

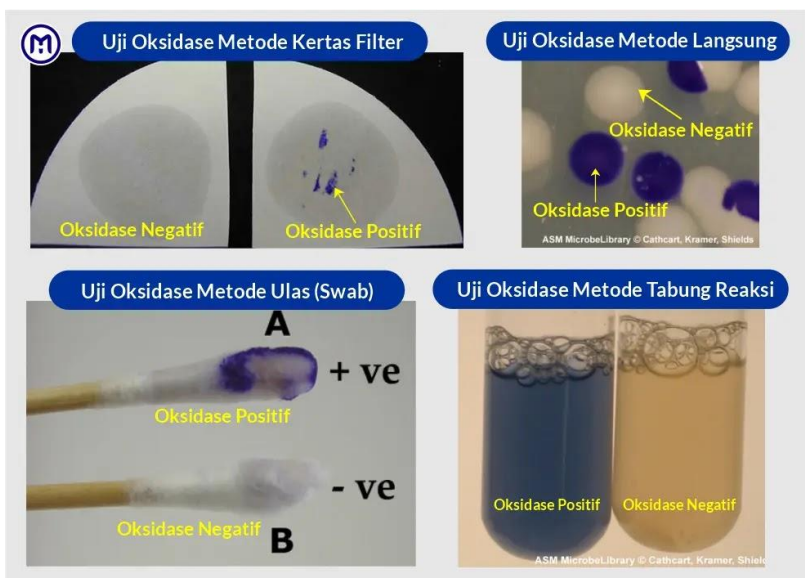
Metode ini menggunakan reagen Kovac's Oxidase. Interpretasi uji oksidase metodeulas adalah apabila terjadi perubahan warna pada *cotton bud* menjadi ungu atau biru tua saat pengamatan selama 5-10 detik pertama disebut oksidase positif. Jika perubahan warna terjadi selama pengamatan 10-60 detik maka disebut oksidase positif yang terlambat. Namun jika lebih dari 60 detik baru terjadi perubahan

warna atau tidak terjadi perubahan warna maka dapat dinyatakan oksidase negatif.

- Metode tabung reaksi

Metode ini menggunakan reagen Gaby dan Hadley. Interpretasi uji oksidase metode tabung reaksi adalah apabila terjadi perubahan warna pada kultur bakteri menjadi biru saat pengamatan selama 15-30 detik pertama disebut oksidase positif. Jika perubahan warna terjadi selama pengamatan 2-3 menit maka disebut oksidase positif yang terlambat. Namun jika tidak terjadi perubahan warna maka dapat dinyatakan oksidase negatif.

Berdasarkan 4 metode pengujian tersebut, berikut contoh gambar hasil uji oksidase,

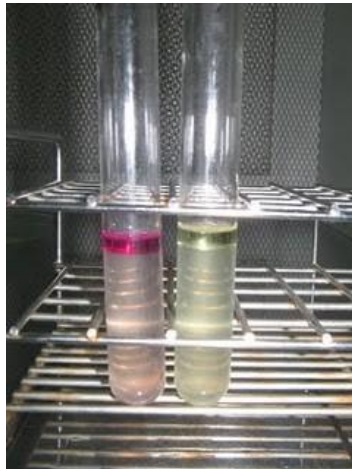


Gambar 6. 16. Hasil Uji oksidase

UJI INDOL

Uji indol dilakukan untuk melihat kemampuan organisme yang mendegradasi asam amino triptofan dan menghasilkan indol. Uji indol dilakukan dengan media *Motility Indol Ornithin* (MIO)

Satu ose biakan bakteri dari NA miring diinokulasikan ke dalam media MIO, lalu diinkubasikan selama 24 jam pada suhu 37°C, ditambahkan 0,2-0,3 ml pereaksi indol ke dalam masing-masing tabung, kocok dan diamkan selama beberapa menit. Warna merah cherry pada permukaan membentuk cincin menandakan reaksi indol positif, warna jingga menunjukkan reaksi indol negative.



Gambar 6. 17. Hasil uji indol

6.2 Identifikasi Mikroba Lahan Basah berbasis STEM-PJBL

Proyek untuk identifikasi mikroba lahan basah berbasis STEM-PjBL yaitu proyek identifikasi mikroba lahan basah memerlukan waktu 4 minggu pertemuan dengan rincian minggu pertama memperkenalkan teori identifikasi mikroba dan membagi kelompok dengan lahan basah yang berbeda (rawa dan gambut) dengan masalah yang berbeda; minggu kedua melakukan studi literatur dan menyusun proposal mini; minggu ketiga mengumpulkan dan memperbaiki proposal mini serta melaksanakan kegiatan praktikum; minggu keempat melakukan presentasi hasil praktikum dalam proyek mini

6.3 Rangkuman

Identifikasi mikroba dilakukan untuk mengetahui karakteristik, morfologi dan jenis dari mikroba yang ingin diamati. Teknik identifikasi mikroba terdiri atas teknik pewarnaan dan uji biokimia. Teknik pewarnaan mikroba dibagi menjadi 3 jenis yaitu *simple stain* (pewarnaan basa dan pewarnaan asam), *differential stain* (pewarnaan gram, pewarnaan tahan asam, pewarnaan endospore), *structural stain*. Uji biokimia terdiri atas 2 jenis enzim yaitu ekstraseluler (hidrolisis pati, lipid, kasein, gelatin dan koagulase) dan intraseluler (fermentasi karbohidrat, reduksi nitrat, reaksi katalase, uji urease, uji oksidase, uji indole).

6.4 Latihan soal

Jawablah pertanyaan berikut dengan baik dan benar!

- 1) Apa perbedaan identifikasi bakteri dengan cara teknik pewarnaan dan uji biokimia? Jelaskan!
- 2) Mengapa bakteri gram positif mampu mempertahankan warna kristal violet dari pada gram negative? Jelaskan!
- 3) Mengapa bakteri tahan asam lebih mempertahankan warna *fuchsin carbon* daripada bakteri yang tahan asam? Jelaskan!
- 4) Bagaimana uji pati menghasilkan zona bening?

BAB 7

GENETIKA MIKROBA

- CPL** : Mampu menganalisis fenomena sains secara terintegrasi untuk memecahkan masalah dengan berpikir kritis dan memanfaatkan IT sebagai sumber data untuk penelitian, dan kewirausahaan.
- CPMK 1** : Mahasiswa mampu memahami konsep-konsep Dasar Mikrobiologi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat melalui inovasi dibidang mikroorganisme lahan basah
- CMPK 3** : Mahasiswa mampu memberikan argumentasi tentang kasus-kasus berkenaan dengan mikrobiologi (rekayasa genetika)

7.1 Pengertian Genetika Mikroba

Genetika adalah ilmu yang mempelajari tentang hereditas (sifat turun temurun) sifat induk dan variasi sifat karakteristik mikrobia. Hereditas adalah pengawetan sifat-sifat struktur dan fungsi pada keturunan-keturunan berikutnya. Perkecualian atau penyimpangan yang terjadi pada keturunan suatu organism berbeda dalam satu atau beberapa sifat induknya. Penyimpangan-penyimpangan dan pengawetan sifat-sifat semacam itu dikenal dengan variasi. Variasi dapat terjadi karena perubahan genetic dan evolusi. Diduga peristiwa perkawinan tidak terjadi pada bakteri. Mikrobia hanya berkembang biak dengan mekanisme aseksual melalui pembelahan diri. Maka para ahli menggolongkan mikrobia bersama-sama dengan algae biru dalam *schizophyta*.

Kemudian timbul pertanyaan jika mikrobia berkembang dengan mekanisme yang monoton seperti di atas maka terbentuk individu seragam tetapi pada kenyataannya tidak, sehingga terjadi variasi mikrobi. Sifat mikrobi sangat bervariasi karena masing-masing mikrobi mempunyai kemampuan untuk beradaptasi terhadap pengaruh lingkungan sekitarnya. Mikrobi contohnya bakteri mempunyai populasi yang berkembang cepat dan beraneka ragam variasinya. Bakteri untuk memperoleh variasi yang beragam dapat melalui mutasi. Peristiwa seksual yang semula diduga tidak terjadi, dapat dibuktikan oleh para ahli. Bahkan perpindahan bahan genetik dapat didemonstrasikan dari satu mikrobi ke mikrobi lain.

Bakteri merupakan mikrobi yang sering digunakan dalam percobaan genetika. Bakteri digunakan sebagai bahan penelitian karena mudah dikembangbiakan dan perkembangbiakannya cepat. Bakteri memiliki materi genetik ekstrakromosomal khas yang disebut dengan plasmid yang berbentuk sirkuler. Bakteri mudah dimutasi sehingga akan muncul varietas baru dengan kecenderungan daya hidup yang tinggi (resisten) terhadap cekaman lingkungan dan kondisi yang tidak menguntungkan.

Berikut penjelasan mengenai bahasan genetika mikrobi:

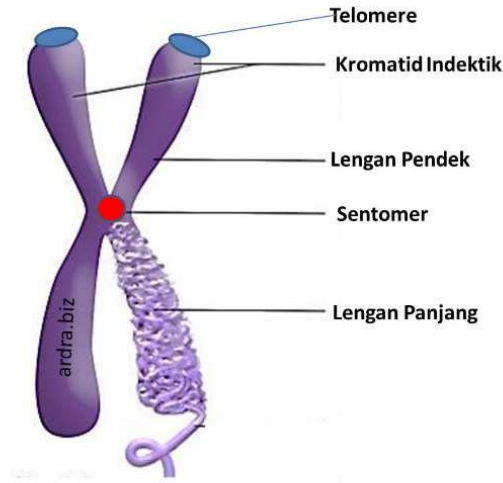
7.1.1 Struktur Genetik Mikrobi

Material genetik bakteri terdiri atas kromosom dan plasmid. Keduanya terdiri atas DNA. Dua fungsi utama materi genetik adalah replikasi dan ekspresi. Material genetik harus bereplikasi secara akurat sehingga dihasilkan 2 replikan (anakan) yang identik dengan induknya. Materi genetik juga terekspresi dalam bentuk karakter terobservasi atau fenotip.

Kromosom

Kromosom bakteri mempunyai beratnya 2-3% dari berat kering satu sel, pada sel haploid (prokariot) bersifat kromosom tunggal dan tidak berpasangan. Berbentuk sirkuler, panjangnya $\pm$

1mm, beratnya 2-3% dari berat kering satu sel, disusun sekitar 4 juta kpb DNA, makromolekul yang sangat banyak ini dikemas agar tidak berubah dalam bentuk superkoil (± 70 -130 superkoil domain) (Syahrurachman, 1994). Kebanyakan gen prokariota terdapat pada kromosom, yang terletak dalam suatu bagian pusat sitoplasma, yang dinamakan daerah nuklear atau nukleoid untuk membedakannya dari membran-pengikat nukleus pada sel eukariotik. Jumlah nukleoid dalam sel bakteri dapat lebih dari satu, tergantung kecepatan pertumbuhan dan ukuran sel. Nukleoid berisi gen yang penting untuk pertumbuhan bakteri.



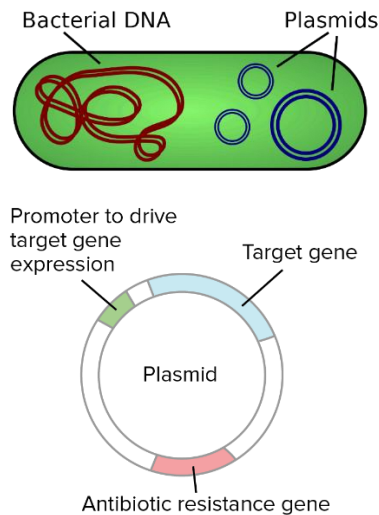
Gambar 7. 1. Struktur kromosom

Plasmid

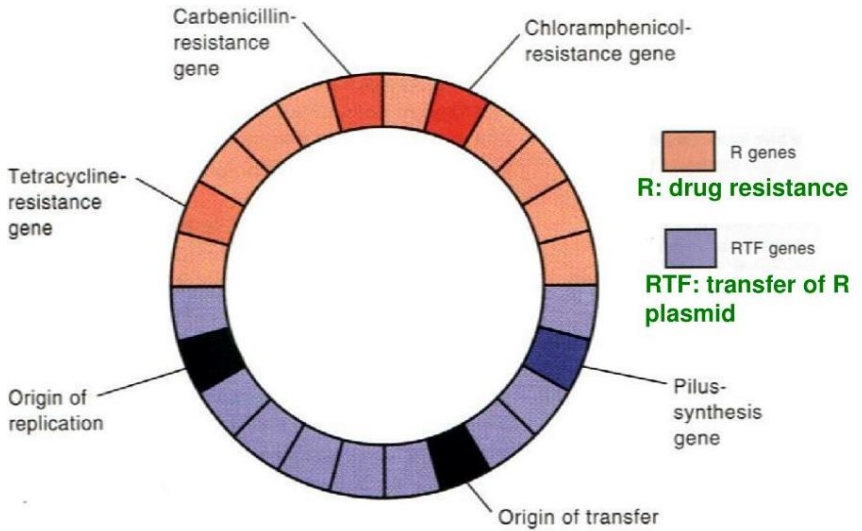
Plasmid adalah material genetik ekstrakromosomal. Ukuran plasmid lebih kecil daripada kromosom. Plasmid biasanya mengkode polipeptida yang tidak penting bagi pertumbuhan secara langsung. Plasmid berbentuk sirkuler, tetapi terdapat plasmid berbentuk linier seperti terlihat pada *Borrelia* dan *Streptomyces*.

Plasmid dibedakan menjadi 2, yaitu plasmid konjugatif dan non-konjugatif. Plasmid konjugatif adalah plasmid yang mampu didonorkan ke resepien, sedangkan plasmid non-konjugatif tidak dapat didonorkan. Plasmid non-konjugatif biasanya berukuran kurang dari 7,5 kbp dan biasanya berjumlah banyak (10-20 perkromosom). Plasmid didistribusikan secara acak ke sel anakan.

Meskipun plasmid tidak berperan langsung dalam pertumbuhan, tetapi plasmid memiliki fungsi penting secara medis. Fungsi penting plasmid secara medis, yaitu kemampuan plasmid mengkode polipeptida resistensi antibiotik, toksin, struktur permukaan sel untuk perlekatan dan kolonisasi. Plasmid yang berperan dalam resistensi antibiotika disebut plasmid R atau faktor R.



Gambar 7. 2. Plasmid pada bakteri



Gambar 7. 3. Plasmid R

7.1.2 Struktur DNA dan RNA

Genetika mikroba mengungkapkan bahwa gen terdiri atas untaian DNA. Untai DNA dapat dipotong menggunakan enzim restriksi pada bagian spesifik, dan menghasilkan fragmen potongan DNA. Plasmid diidentifikasi sebagai elemen genetika kecil yang mampu melakukan replika diri pada bakteri dan ragi. Penggabungan potongan fragmen DNA kedalam suatu plasmid memungkinkan perbanyakan fragmen DNA (teramplifikasi). Amplifikasi regio DNA spesidik dapat dicapai oleh enzim bakteri menggunakan polymerase chain reaction (PCR) atau metode aplifikasi nukleotida berdasar enzim yang lain (misalnya aplifikasi berdasarkan transkripsi).

Mekanisme yang menunjukkan bahwa sekuen nukleotida di dalam gen menentukan sekuens asam amino pada pembentukan protein adalah sebagai berikut:

- a) Suatu enzim amino sel bakteri yang disebut enzim RNA polymerase membentuk satu rantai oliribonukleotida (mRNA) dari rantai DNA yang ada. Proses ini disebut transkripsi. Pada proses ini terbentuk satu rantai RNA yang komplementer dengan salah satu rantai double helix dari DNA.
- b) Secara enzimatik asam amino akan teraktifasi dan ditransfer kepada tranfer RNA (tRNA) yang mempunyai adaptor basa yang komplementer dengan basa mRNA di satu ujungnya dan mempunyai asam amino spesifik diujung lainnya. Tiga buah basa pada mRNA disebut triplet basa yang lazim disebut dengan kodon untuk suatu asam amino.
- c) mRNA dan tRNA bersama-sama menuju ke permukaan ribosom kuman, dan disinilah rantai polipeptida terbentuk sampai seluruh kodon selesai dibaca menjadi suatu sekuen asam amino yang membentuk protein tertentu. Proses ini sebut translasi.

DNA (Asam Deoksiribonukleat)

DNA/ Kromosom bakteri lebih banyak diteliti dari pada kromosom organisme lain. DNA bakteri mampu mengkode 1000-3000 polipeptida yang berbeda-beda. DNA bakteri merupakan molekul berantai ganda yang sirkuler. Struktur Dna bakteri tidak merupakan bentuk sederhana tetapi merupakan belitan yang tidak teratur dalam sitoplasma. James Watson dan Francis Crick (1953) telah menemukan struktur DNA yang berupa dua untai pita DNA terpilin. Penemuan ini merupakan titik awal revolusi biologi karena merupakan penemuan struktur DNA ini sangat penting untuk mempelajari dan memahami bagaimana informasi genetik dapat dipindahkan dari satu generasi ke generasi berikutnya serta bagaimana DNA dapat mengendalikan replikasinya.

Replikasi informasi hereditas di dalam sel melibatkan sintesis molekul DNA baru yang mempunyai urutan nukleotida sama

seperti genom sel inangnya. Molekul DNA adalah makromolekul yang mempunyai informasi hereditas suatu sel. DNA ini tersusun oleh sub unit-sub unit yang disebut dengan nukleotida atau deoksiribonukleotida. Urutan nukleotida menentukan spesies suatu informasi hereditas dan berisi mekanisme untuk mengendalikan ekspresi genetik.

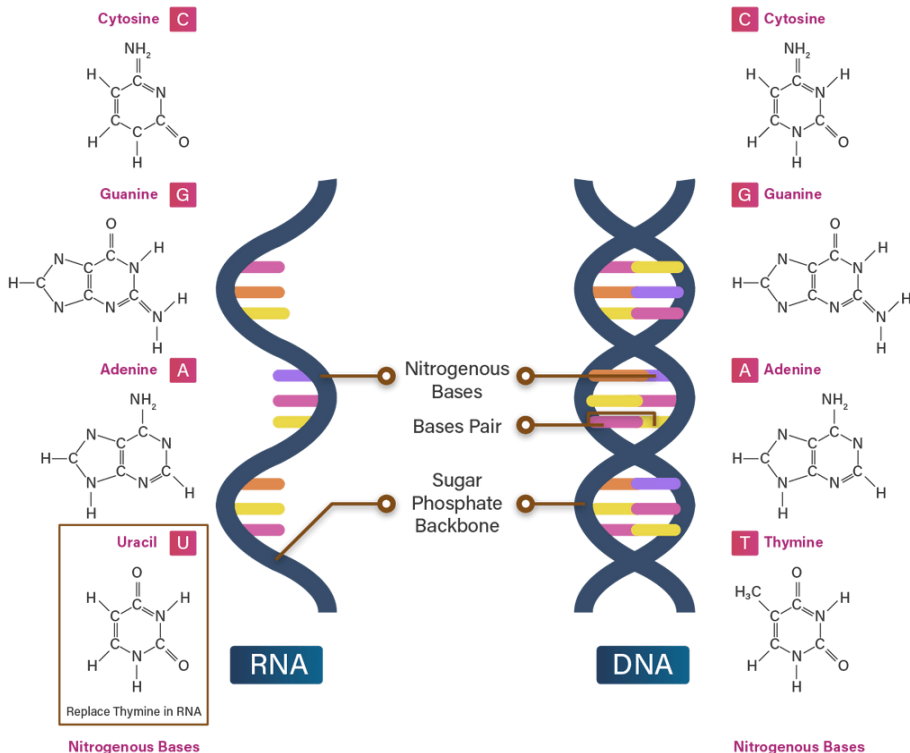
Struktur DNA terdiri dari dua rantai poliribonukleotida yang dihubungkan satu sama lain oleh ikatan hydrogen antara purin di satu rantai dengan pirimidin di rantai lainnya, dalam keadaan antiparalel, dan disebut sebagai struktur double helix. Ikatan hydrogen ini hanya dapat menghubungkan Adenin (6 aminopurin) dengan Timin (2,4 dioksi 5 metil pirimidin) dan antara Guanin (2 amino 6 oksipurin) dengan Sitosin (2 oksi 4 amino pirimidin). Singkatnya pasangan basa pada suatu sekuens DNA adalah A-T dan G-C. Karena adanya sistem berpasangan Purin dan Pirimidin demikian, maka setiap rantai DNA dapat dijadikan cetakan/template untuk membangun rantai DNA yang komplementer. Proses replikasi DNA dalam pembelahan sel bakteri, molekul DNA dari sel anaknya terdiri dari satu rantai yang komplementer tapi dibuat baru atau secara lebih mudahnya dengan memindahkan materi genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya secara semikonservatif.

Masing-masing deoksiribonukleotida terdiri dari basa nitrogen (asam nukleat), gula deoksiribosa, dan gugus fosfat. Basa asam nukleat terdiri dari basa purin terdiri : Adenin (A) dan guanin (G) yang mempunyai dua cincin. Dan pirimidin terdiri atas : timin (T) dan sitosin (C) yang hanya mempunyai satu cincin. Purin dan pirimidin merupakan molekul heterosiklis karena mengandung dua macam atom C dan N. Basa asam nukleat menempel pada deoksiribosa membentuk deoksiribonukleosida. Deoksiribonukleosida ini bergabung dengan gugus fosfat pada atom C5 membentuk subunit deoksiribonukleotida DNA.

RNA (Asam Ribonukleat)

Asam nukleat lainnya yang dijumpai secara alamiah ialah asam ribonukleat (RNA). Bedaanya dari DNA ialah :

- Biasanya berutasan tunggal.
- Komponen gula pada nukleotida yang membentuk RNA adalah ribosa, dan bukan deoksiribose. Ribose adalah sama dengan deoksiribose kecuali adanya gugusan hidroksil pada atom karbon nomor 2.
- Basa bernitrogen pirimidin yang dijumpai pada nukleotida yang membentuk RNA ialah urasil bukan timin.



Gambar 7. 4. Perbedaan struktur DNA dan RNA

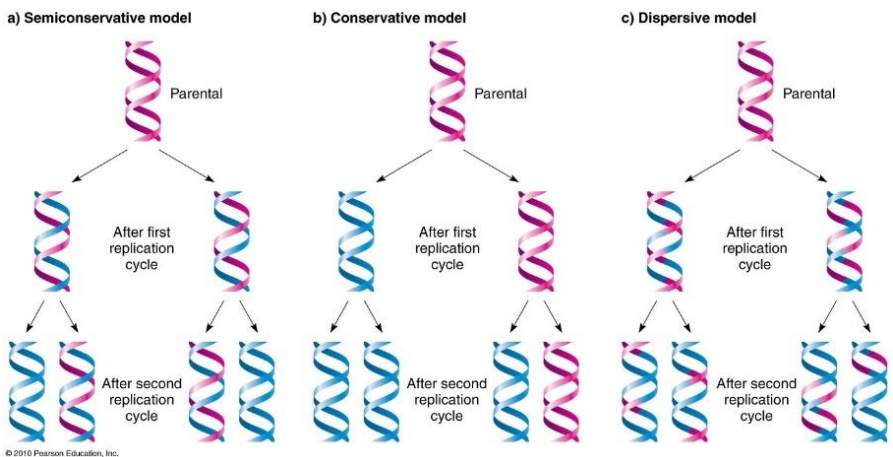
7.1.3 Replikasi dan Transkripsi

Proses replikasi DNA, transkripsi (sintesis RNA dari DNA), dan translasi (sintesis protein dari RNA) pada mikroba mirip dengan pada eukariot, tetapi seringkali dengan perbedaan penting. Misalnya, banyak bakteri tidak memiliki inti sel dan proses-proses ini terjadi secara bersamaan di sitoplasma.

Replikasi DNA

Replikasi DNA berarti penggandaan. Ada 3 model replikasi DNA yaitu:

- a) Model konservatif.
Model ini menyatakan bahwa 2 rantai DNA bereplikasi tanpa memisahkan rantai-rantainya.
- b) Model semi konservatif.
Model ini menyatakan bahwa 2 rantai DNA berpisah kemudian bereplikasi.
- c) Model dispersi.
Model ini menyatakan bahwa DNA terpecah menjadi potongan-potongan yang kemudian bereplikasi.



Gambar 7. 5. Perbedaan 3 model replika DNA

Meselson dan Stahl membuktikan bahwa DNA bereplikasi sesuai model semi-konservatif. Replikasi model semi konservatif dimulai pada suatu situs tertentu yang sudah pasti pada kromosom bakteri yang disebut titik pangkal kedua utas DNA memisah pada situs ini membentuk struktur berbentuk Y. Titik persimpangannya disebut titik tumbuh. Replikasi bergerak berurutan dari titik tumbuh, baik pada satu arah atau dua arah. Titik asal dan titik tumbuh terikat pada membran sel dan situlah kedua utasan tersebut diduplikasikan. Masing-masing utasan mempunyai urutan basa yang komplementer terhadap urutan basa pada utasan-utasannya DNA yang mula-mula (Pelczar, 2009).

Enzim DNA polymerase menambahkan nukleotida pada ujung hidroksil-3' utasan atau utasan-utasannya DNA yang sedang berreplikasi, jadi mensintesis utasan-utasannya DNA dengan arah 5' ke 3'. Sejauh ini belum ditemukan polymerase yang mereplikasi dengan arah 3' ke 5'. Sintesis DNA bersifat sinambung. Selain mekanisme replikasi DNA yang baru saja diuraikan, inisiasi (pengawwalan) replikasi DNA membutuhkan suatu pancing atau pemula yaitu sepotong pendek RNA yang disintesis oleh RNA polymerase dan komplementer terhadap DNA. Dengan adanya pemula ini, DNA polymerase dapat mulai mensintesis duoksiribonukleotida. Sekali pancingan mengenai, DNA polymerase lalu mencerna RNA tersebut dapat menggantikannya dengan DNA. Berpartisipasinya RNA sebagai pancing tampaknya ekstensif karena setiap fragmen okazaki juga mengandung sebagian RNA sebagai pancing (Micheal Pelczar, 2009).

Bila titik-titik tumbuh telah bergerak di seluruh panjang molekul DNA, maka terbentuk dua molekul DNA yang lengkap. Setiap molekul berutasan ganda mengandung salah satu dari utasan asli atau satu utasan baru (Micheal Pelczar, 2009).

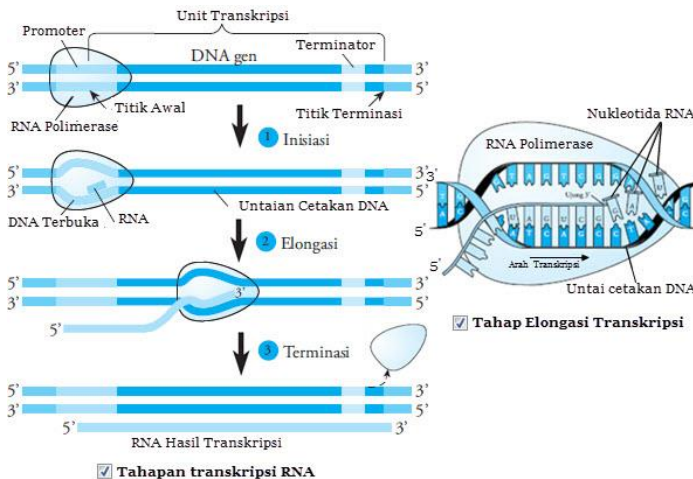
Ekspresi Gen

Terdiri dari Transkripsi dan Translasi.

Transkripsi

Transkripsi adalah langkah pertama dalam ekspresi genetis. DNA ditranskripsi menjadi RNA. Pita DNA yang menjadi cetakan disebut DNA *template*. Karena RNA hasil transkripsi membawa “pesan” untuk ditranslasi, maka RNA tersebut disebut RNA *messenger* (mRNA). Urutan basa mRNA sama dengan urutan basa DNA *non-template*, kecuali timin diganti urasil. Enzim yang berperan dalam sintesis mRNA adalah enzim RNA polimerase. Urutan DNA yang ditranskrip dapat terdiri atas 1 gen atau lebih. Transkripsi yang multigen terjadi pada gen-gen yang terekspresi dalam suatu paket fungsional.

Transkripsi DNA terdiri atas 3 tahap, yaitu inisiasi, pemanjangan, dan penghentian. Inisiasi melibatkan pengikatan RNA polimerase ke DNA *template*. Elongasi adalah proses sintesis mRNA oleh RNA polimerase. Penghentian meliputi penghentian pemanjangan dan pelepasan mRNA dari DNA *template*.



Gambar 7. 6. Proses transkripsi

Translasi

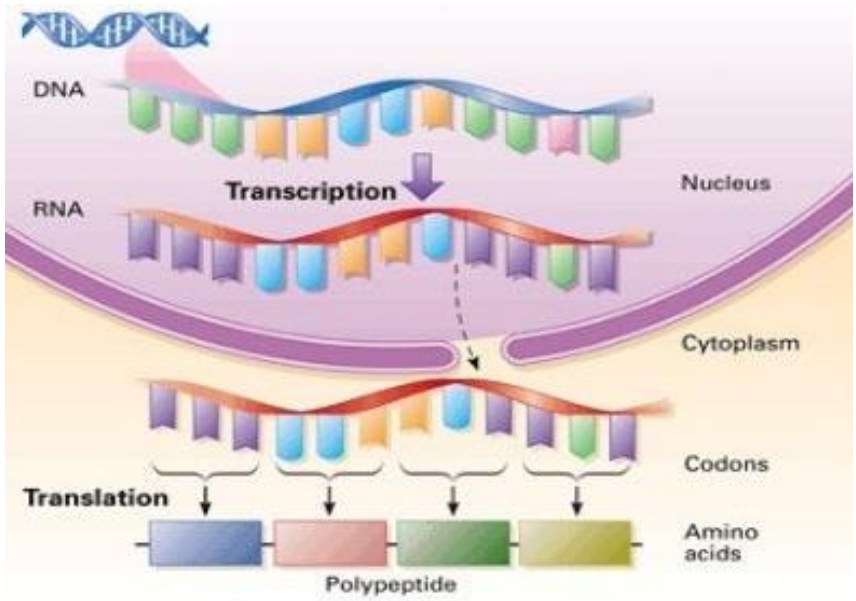
Translasi, yaitu langkah berikutnya didalam ekspresi gen adalah proses pengarahan sintesis protein oleh informasi genetis yang sekarang ada pada molekul mRNA.

Bila keempat basa yang berbeda-beda pada nukleotida-nukleotida mRNA itu ditata dalam suatu deretan, maka setiap deret yang terdiri dari 3 basa disebut kodon, mampu menetapkan suatu amino tertentu. Karena ada empat macam basa yang berbeda-beda, jumlah deret berbasa tiga tersebut yang mungkin terbentuk adalah 4^3 , atau 64 macam. Triplet-triplet basa ini masing-masing menetapkan suatu asam amino tertentu, merupakan sandi genetis. Sandi ini mungkin bersifat universal bagi semua spesies organisme hidup.

Tabel 7. 1. Kodon untuk RNA pembawa pesan

Kode pertama	Kode kedua				Kode ketiga
	U	C	A	G	
U	Fenilalanin	Serin	Tirosin	Sistein	U
	Fenilalanin	Serin	Tirosin	Sistein	C
	Leusin	Serin	Stop	Stop	A
	Leusin	Serin	Stop	Triptofan	G
C	Leusin	Prolin	Histidin	Arginin	U
	Leusin	Prolin	Histidin	Arginin	C
	Leusin	Prolin	Glutamin	Arginin	A
	Leusin	Prolin	Glutamin	Arginin	G
A	Ileusin	Treonin	Asparagin	Serin	U
	Ileusin	Treonin	Asparagin	Serin	C
	Ileusin	Treonin	Lisin	Arginin	A
	Metionin	Treonin	Lisin	Arginin	G
G	Valin	Alanin	Aspartat	Glisin	U
	Valin	Alanin	Aspartat	Glisin	C
	Valin	Alanin	Glutamat	Glisin	A
	Valin	Alanin	Glutamat	Glisin	G

Secara umum, perbedaan transkripsi dan translasi dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 7. 7. Perbedaan Transkripsi dan Translasi

7.1.4 Mutasi dan Variasi Genetik

Mutasi dalam genetika mikroba dapat terjadi dengan cepat, menghasilkan variasi yang tinggi. Ini penting untuk adaptasi cepat terhadap perubahan lingkungan, seperti perlawanan terhadap antibiotik. Mutasi adalah perubahan spontan pada gen suatu makhluk hidup/bakteri. Sebagai contoh yang sederhana adalah adanya koloni bakteri *Serratia marcescens* yang berwarna putih diantara koloni yang berwarna merah. Jika koloni putih tersebut diisolasi dan kemudian diteliti sifat-sifatnya serta dibandingkan dengan bakteri dari koloni merah, maka sifat-sifat selain pigmentasinya sama. Bakteri dari koloni putih tersebut dikatakan

mutan kadang-kadang mutan putih tersebut dapat kembali menjadi merah. Peristiwa ini dinamakan mutasi balik

Perubahan-perubahan karena mutasi dapat dibedakan dengan modifikasi (perubahan tidak menurun) yang disebabkan karena faktor lingkungan. Dalam hal modifikasi semua sel akan mengalami perubahan fenotif, sedangkan pada mutasi hanya sebagian kecil dari populasi. Ada dua macam mutasi yaitu mutasi selektif dan mutasi tidak selektif. Mutasi selektif ialah mutasi yang menguntungkan bagi kelangsungan hidup bakteri tersebut. Mutasi ini terjadi pada keadaan lingkungan tertentu misalnya adanya antibiotika. Mutan tersebut dapat tumbuh dengan adanya antibiotika dalam dosis tertentu yang dapat menghambat dan membunuh sel induknya. Mutasi ini dinamakan juga mutasi buatan. Mutasi tidak selektif ialah mutasi yang tidak mempunyai sifat yang lebih menguntungkan atau merugikan dibandingkan dengan pertumbuhan sel induknya. Mutasi ini disebut juga mutasi alami, tanpa campur tangan manusia.

Mekanisme terjadinya mutasi (mutagenesis). Sel yang mengalami mutasi (mutan) mengalami perubahan urutan nukleotida dari DNA nya. Bagian DNA yang mengalami perubahan tersebut dinamakan muton. Perubahan ini akan mempengaruhi sebagian dari aktivitas sel, misalnya susunan asam amino dari polipeptida/ protein. Ditinjau dari perubahan nukleotida atau basa DNA maka dapat dikenal macam-macam perubahannya, yaitu mutasi titik. Pertukaran, pengurangan, pengisian, pembalikan

Mutasi titik adalah mutasi yang disebabkan perubahan-perubahan atau pengurangan satu basa DNA saja. Misalnya adenin diganti dengan guanin atau timin diganti dengan sitosis. Pengaruh dari perubahan tersebut tergantung dari letak basa DNA pada gen. Perubahan tersebut dapat tidak dipengaruhi produksi protein atau mempengaruhi urutan asam amino dari protein atau tidak menghasilkan protein tertentu. Jika perubahan basa DNA tidak mempengaruhi produksi protein atau gejala fenotif lain maka

mutasi inya dinamakan mutasi bisu. Mutasi ini kemungkinan karena perubahan kodon yang terjadi tetap mengkode asam amino yang sama. Proses pertukaran, pengurangan, penambahan dan pembalikan dapat berlangsung secara sederhana artinya meliputi satu atau beberapa basa DNA saja atau mencakup beratus-ratus DNA. Mutagenesis dapat terjadi karena adanya senyawa mutagen, sinar ultra violet, cat akril dan sebagainya. Ada beberapa macam mekanisme mutasi yaitu:

a. Mutasi Spontan

Mutasi spontan dapat terjadi setiap 10^8 - 10^9 pasangan DNA dan diperoleh satu mutan. Mutasi ini disebabkan karena terjadi kerusakan fisik pada DNA, terjadi perpindahan posisi DNA, kesalahan oleh enzim pada waktu terjadi replikasi. Sehingga urutan DNA, maupun pasangan basa berubah atau berbeda bentuk yaitu dari bentuk amino menjadi imine, yang disebut tautomer.

b. Mutagenesis dengan basa analog

Basa analog adalah senyawa yang mirip dengan basa pada DNA, tetapi susunannya berbeda.

c. Mutagenesis kimia

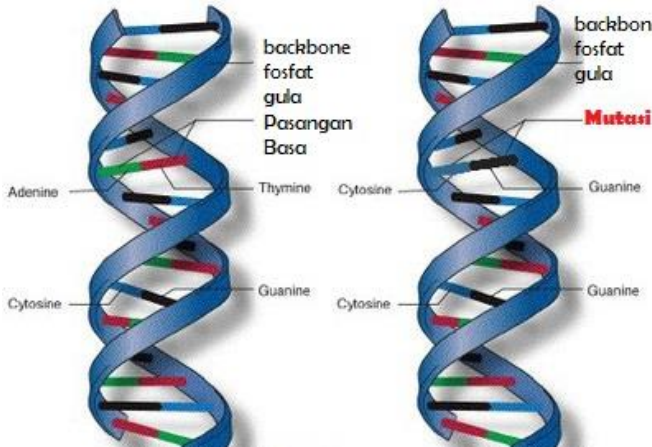
Senyawa mutagen adalah agen yang mampu meningkatkan frekuensi mutasi. Karena senyawa mutagen bereaksi dengan satu basa atau lebih basa DNA. Senyawa mutagen dapat berupa asam nitrit, hidrosilamin, etil, sulfonat, dan lain-lain.

d. Mutagenesis karena perubahan pola pembacaan (reading frame shift)

Akridin merupakan cat yang dapat menyebabkan terjadinya mutasi karena senyawa akridin mempunyai bentuk sama dengan basa DNA, sehingga molekul ini dapat disisipkan diantara dua pasangan basa DNA dan menghilangkan sebagian basa, lalu akan terjadi pola pembacaan.

e. Mutagenesis karena radiasi

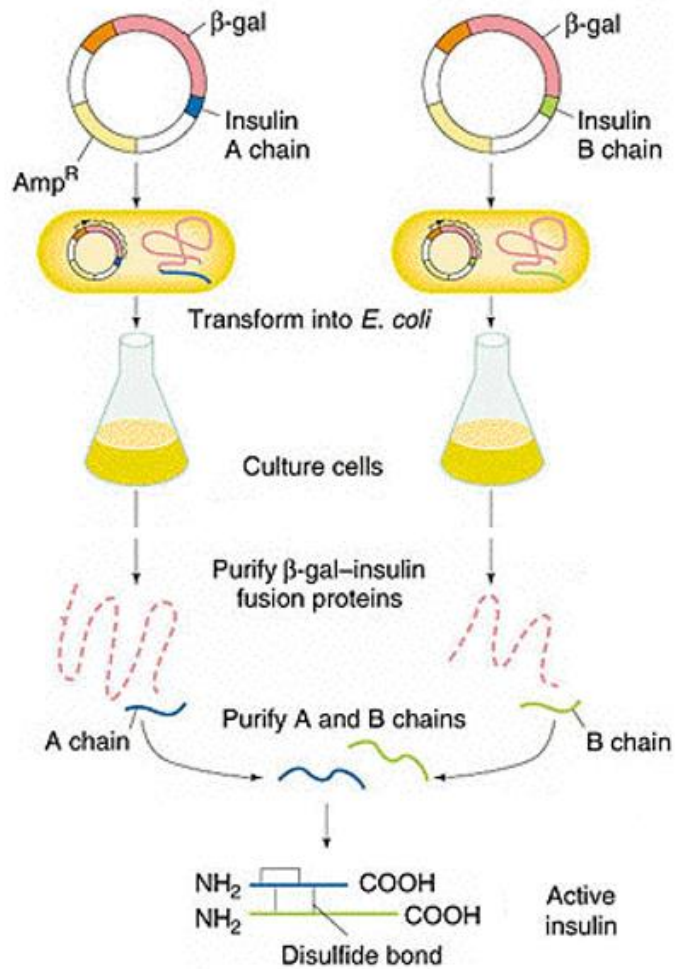
Mikrobia bila ditumbuhkan dalam kondisi alam dan terkena sinar ultra violet dapat menyebabkan perubahan DNA, sehingga menimbulkan mutase.



Gambar 7. 8. Titik mutasi gen

7.1.5 Bioteknologi dan Rekayasa Genetik

Genetika mikroba sangat penting dalam bioteknologi. Mikroba dimodifikasi secara genetik untuk memproduksi obat, enzim, atau bahan kimia industri. Contohnya adalah produksi insulin oleh bakteri yang dimodifikasi secara genetik.

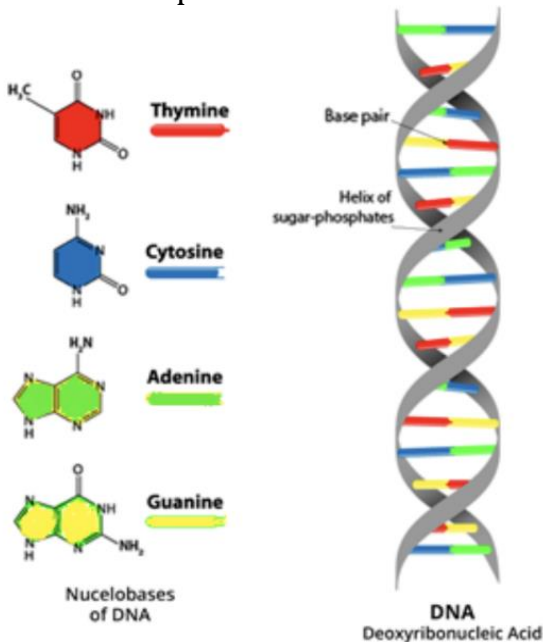


Gambar 7. 9. contoh rekayasa genetika berupa kloning gen insulin menggunakan bakteri *E.coli*

7.2 Genetika Mikroba Lahan Basah berbasis STEM-PJBL

Tantangan pembuatan replika DNA dan proses modifikasi genetic dalam proses pembelajaran.

1) Pembuatan replika DNA



Alat dan Bahan: beberapa material yang mudah di dapatkan dilingkungan sekitar seperti berikut:

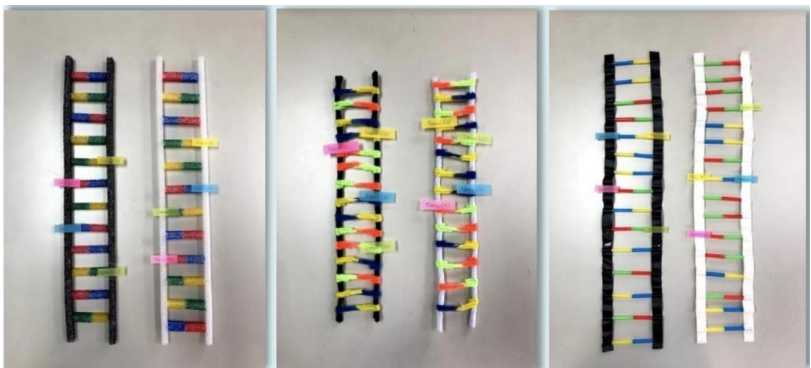
- Sedotan minuman
- Pembersih sedotan
- Thermocol/busa
- Lem thermocol
- Pisau cutter
- Spidol warna
- Isolasi
- Mistar
- Paku jarum
- Gunting



- Penanda warna
- Pemotong kawat

Prosedur:

- Mahasiswa berkelompok (4-6 orang/kelompok) untuk memperhatikan alat dan bahan yang ditampilkan
- Mahasiswa mendesain model DNA pada sebuah kertas kosong selama lima (5) menit serta menuliskan nama alat dan bahan yang akan digunakan serta estimasi waktu pengerjaannya.
- Mahasiswa mengambil dan memilih alat dan bahan yang dibutuhkan pada kumpulan alat dan bahan yang telah disediakan.
- Mahasiswa membuat dua (2) model DNA (model harus mengikuti aturan konsep DNA seperti Adenin (A) harus berpasangan dengan Timin (T) dan seterusnya. Setiap model harus dibuat dari material yang sama akan tetapi berbeda apda susunan tulang belakangnya (warna; untuk membedakan bahwa dua DNA tersebut berbeda asalnya).
- Produk jadinya harus selesai dalam waktu 30 menit. Ingat dalam sebuah kompetisi atau sebuah tantangan, waktu adalah keuntungan.
- Contoh:



(Thermocol)

(pembersih pipa sedotan)

(pipa sedotan)

Tiga jenis model DNA. Setiap jenis terdiri dari dua untai DNA. Setiap warna mewakili basa nitrogen seperti guanin (G), adenin (A), cytosine (C) or Thymine (T)

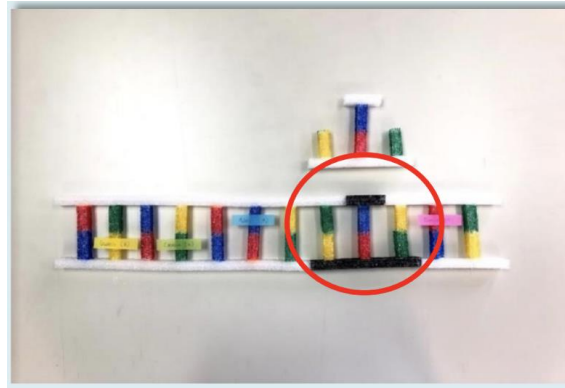
2) Tantangan modifikasi genetic (rekayasa genetika)

Alat dan bahan:

- Dua jenis untai DNA
- Isolasi dan alat pemotong (gunting, dan atau lainnya)

Prosedur

- Anggap sedang berlaku sebagai enzim restriksi dengan memotong titik titik tertentu pada untai DNA
- Silahkan tentukan sendiri sekuen DNA targetnya yang minimal mengandung setidaknya 3 pasang basa yang sama (warna yang sama) pada kedua untai DNA tersebut, sehingga kedua untai DNA dapat bertukar pasangan basa satu sama lainnya.
- Jika kamu tidak dapat menemukan sebuah target untuk dipotong (yang memiliki setidaknya 3 pasang basa yang urutannya sama pada kedua untai DNA), silahkan direkonstruksi terlebih dahulu model DNA mu.
- Setelah sekuen DNA target di potong, silahkan digabungkan pada untai DNA yang satunya.
- Sekarang, kamu memiliki sebuah DNA rekombinan yang sederhana.
- Silahkan letakan DNA rekombinanmu diatas meja.
- Kamu juga dapat melihat-lihat hasil kerja kelompok lainnya.
- Contoh modifikasi DNA/ DNA rekombinan



7.3 Rangkuman

Genetika merupakan ilmu yang mempelajari tentang hereditas atau sifat turun temurun. Struktur genetika mikroba terdiri atas kromosom, plamid, DNA, RNA. Struktur DNA dan RNA dalam prosesnya mengalami replikasi dna transkripsi. Dan sudah umum juga ditemukan terjadinya mutase dan variase genetic pada mikroba. Selain itu, seiring berkembangnya pengetahuan dan teknologi dikembangkanlah untuk melakukan rekayasa genetika. Rekaya genetika dilakukan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

7.4 Latihan soal

Jawablah pertanyaan berikut dengan baik dan benar!

- 1) Apa bedanya DNA dan RNA? Jelaskan
- 2) Mengapa mikroba lebih mudah mengalami mutasi?
- 3) Sebut dan jelaskan model replika DNA!
- 4) Apa beda translasi dan transkripsi?

BAB 8

APLIKASI MIKROBIOLOGI PADA BERBAGAI BIDANG

- CPL** : Mampu menganalisis fenomena sains secara terintegrasi untuk memecahkan masalah dengan berpikir kritis dan memanfaatkan IT sebagai sumber data untuk penelitian, dan kewirausahaan.
- CPMK 1** : Mahasiswa mampu memahami konsep-konsep Dasar Mikrobiologi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat melalui inovasi dibidang mikroorganisme lahan basah
- CMPK 2** : Mahasiswa mampu membuat sebuah project terkait penggunaan mikroorganisme dalam mikrobiologi terapan (wirausaha) dalam mikrobiologi terapan dibidang pangan, pertanian dan pakan.

8.1 Konsep Aplikasi Mikrobiologi

Modernisasi aplikasi mikrobiologi telah banyak diramal mengalami kemajuan pesat. Sejauh ini aplikasi mikrobiologi secara luas berkembang untuk meningkatkan produktivitas manusia dalam memenuhi kebutuhannya di berbagai bidang. Bidang-bidang aplikasi mikrobiologi diantaranya pada sektor pangan, dengan adanya teknologi mikrobiologi kecepatan produksi pangan dapat meningkat meskipun lahan untuk pertanian semakin terbatas. Selain itu dalam bidang kesehatan dengan perkembangan mikrobiologi memberi paradigma baru dalam penanganan masalah kesehatan maupun produksi obat.

Aplikasi lain dari mikrobiologi yaitu bidang pakan, dengan teknik mikrobiologi dapat meningkatkan variasi jenis pakan dan mengurangi masalah-masalah penyakit pada ternak sehingga produktivitas meningkat. Pada sektor pertanian, aplikasi mikrobiologi dapat mengatasi berbagai masalah petani mulai dari agnet hayati kesuburan tanah maupun teknologi tanaman transgenik.

8.2 Mikrobiologi Bidang Pangan

Menurut Sulastri dkk (2022) kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan mengenai industri makanan di Indonesia, sehingga saat ini bermunculan makanan yang bernilai gizi tinggi hasil fermentasi dari mikroorganisme, Selain proses pengolahan bahan mentah tersebut tadi, hal ini juga dapat menunda waktu pembusukan makanan. Proses ini melibatkan enzim baik yang dikelola secara tradisional maupun menggunakan teknologi canggih. Banyaknya manfaat yang diperoleh melalui proses pengolahan makanan dengan cara ini mendorong serta meningkatkan kesadaran masyarakat untuk mengkonsumsi makanan sehat fungsional yaitu jenis makanan yang mengandung komponen aktif yang menyehatkan.

Makanan diolah melalui proses fermentasi dibagi menjadi empat macam dilihat dari prosesnya yaitu fermentasi asam laktat, fermentasi jamur, fermentasi alkohol dan fermentasi dengan menggunakan kadar garam tinggi (Faridah and Sari, 2019).)

- a) Fermentasi oleh jamur
contohnya dalam proses pembuatan tempe dengan bahan baku kedelai menggunakan mikroorganismeseperti *Rhizopus oligosporus*, Oncom dengan bantuan jamur *Neurospora sitophila*, *Neurospora crassa* dan *Monilia sitophila*.
- b) Fermentasi menggunakan kadar garam tinggi
contohnya pembuatan kecap dengan bahan baku kedelai dibantu oleh *Aspergillus oryzae* dan *Aspergillus wentii*.

- c) Fermentasi asam laktat
contohnya yoghurt dengan bahan baku susu dibantu oleh bakteri *Lactobacillus Bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus*. Serta pembuatan keju menggunakan bahan baku susu dibantu oleh jamur *Penicillium camemberti* dan *Penicillium roqueforti*.
- d) Fermentasi alkohol
contohnya pembuatan roti dengan bahan tepung berbantu jamur *Saccharomyces cerevisiae*, pembuatan brem dari bahan nasi ketan dibantu oleh *Aspergillus oryzae* dan *Saccharomyces cerevisiae*.

Ada juga beberapa mikroorganisme yang digunakan untuk bahan makanan sebagai *Protein Sel Tunggal* (PST). Protein sel tunggal (scp) umumnya merujuk ke biomassa bioseluler yang dapat dimakan dari mikroorganisme satu sel. Ini dapat menjadi seluruh biomassa atau protein ekstrak dari budaya tunggal atau campuran dari berbagai kelompok mikrobial, termasuk ganggang, bakteri, ragi / jamur dan lain – lain. Protein sel tunggal dapat digunakan sebagai pakan hewan atau makanan manusia dan dikonsumsi seluruh atau diterapkan sebagai suplemen. Ada semakin banyak minat dalam pemanfaatan scp untuk memenuhi permintaan global untuk makanan bergizi karena mereka memiliki berbagai keuntungan atas tanaman konvensional dan hewan protein. *Singel Cell Protein* adalah protein yang berasal dari mikroba atau algae. Keunggulan dari protein jenis ini yaitu dapat menjadi solusi atas masalah kekurangan pangan. Hingga saat ini, konsumsi protein oleh manusia terus mengalami peningkatan. Komponen utama protein sel Tunggal adalah asam amino dan mineral. Protein sel tunggal dapat digunakan sebagai pengganti protein dari sumber konvensional seperti hasil pertanian, perikanan, dan peternakan. Selain itu, protein sel tunggal dapat menghasilkan makanan yang sangat bergizi yang disebut sebagai mycoprotein (Nigam, 1998; Batubara, 2009).

Pembuatan protein sel Tunggal menggunakan limbah cair tahu salah satunya dimungkinkan bisa menggunakan kultur dari *Rhizopus oryzae* yang termasuk dalam golongan kapang. Contoh lain mikroorganisme penghasil Protein sel tunggal yaitu seperti: *Spirulina* (Alga Biru), *Chlorella* (Alga Hijau), *Candida utilis* (Fungi), *Cellulomonas* (Bakteri), *Trichoderma sp.* (Yuniastri *et al.*, 2018).

Lebih jauh Onyeaka *et al* (2022) menjelaskan jenis mikroorganisme sebagai penghasil protein sel Tunggal bisa dilihat pada table:

a) Jamur

Jamur	Keunggulan, mengandung :
<i>Candida intermedia</i> FLO23	Kandungan protein tinggi (48% dari berat tubuhnya), efisiensi pemanfaatan bahan lignoselulosa dan xilosa
<i>Candida utilis</i>	Kandungan protein tinggi, asam amino lysin, vitamin B complex, siklus hidup pendek,
<i>Cryptococcus aerus</i> G7a	Sintesis inulinase, mengandung protein
<i>Dipodascus spp</i>	kandungan protein tinggi (30-36%), mengandung asam amino
<i>Geotrichum candidum</i>	Kandungan protein tinggi, low cost methode
<i>Kluyveromyces marxianus</i>	Kandungan protein tinggi (59%), dapat tumbuh di berbagai substrat
<i>Pleurotus florida</i>	Tinggi protein (63%)
<i>Sacharomyces cerevisiae</i>	Protein (24-50%)
<i>Wickerhamomyces anomalus</i>	Protein tinggi (59%), sintesis asam amino esensial, sintesis toxin
<i>Yarrowia lipolytica</i>	Tinggi protein(48-54%), substrat hydrophobic, produksi homogenous dan heterologous protein.
<i>Yarrowia lipolytica</i> (GMO)	Tinggi protein (53.7%), sintesis inulinase

b) Alga

Genus	Keunggulan, mengandung :	
<i>Chlorella spp</i>	Microalga pada makanan manusia	
<i>Arthrosspira sp (Spirulina)</i>	Makanan	
<i>Dunaliella sp</i>	Makanan dan suplemen	
<i>Spirogyra, Oedogonium</i>	Makanan tambahan	
<i>Ulva sp</i>	Digunakan untuk diet salad/sup	
<i>Caulerpa rosemosa</i>	Makanan	
<i>Aphamizomenon sp</i>	Supplement diet	
<i>Nostoc sp</i>	Makanan dan suplemen	
<i>Scenedesmus sp</i>	Biofuel dan makanan	
<i>Ascomphyllum, Laminaria</i>	<i>Fucus,</i>	Pakan babi, sapi, unggas
<i>Porphyra sp</i>	Makanan	
<i>Sargassum sp</i>	Makanan	
<i>Alaria sp</i>	makanan	

c) Mikroalga

Produk Komersial	Karakteristik	Perusahaan
Tepung mikroalga	<i>Chlorella</i> menggantikan lemak susu, minyak sayur dan kuning telur dalam produk seperti es krim, kue, usu coklat dan saus pasta.	AlgaVia
Kue dan Cookies	<i>Chlorella</i> ditambahkan ke dalam adonan roti untuk mengurangi kandungan minyak dan menggantikan telur. itu juga digunakan untuk menciptakan produk	Solazyme

Produk Komersial	Karakteristik	Perusahaan
	yang lebih sehat dan menjaga tekstur dan struktur roti	
<i>Spaghetti</i>	<i>Chlorella vulgaris</i> dan <i>Spirulina</i> ditambahkan pada spaghetti untuk mengurangi butter, minyak dan kuning telur untuk menjaga tekstur dan rasa	
<i>Jus bubuk</i>	<i>Arthospiraflosaqua</i> dapat menambah rasa, produk lebih sehat cocok untuk diet	E3Live Original
<i>Minuman</i>	<i>Euglena</i> digunakan untuk fermentasi yogurt, untuk menjaga stabilitas pH, tekstur	Kemin
<i>Ekstrak Astaxanthin</i>	<i>Haematococcus pluvialis</i> dapat mengatur tekstur, emulsification, pengikatan air, rasa. Astaxantin untuk industry pakan salmon	Vitamin Express
<i>Kapsul</i>	<i>Chlorella</i> , <i>Spirulina</i> , <i>Haematococcus pulvialis</i> dan <i>Dunaliella</i> kapsul suplemen diet	Ocean Drop
<i>Docosahexaenoic acid (DHA)</i>	Produksi <i>Schizochytrium</i> , suplemen makanan terutama untuk ibu hamil	Daesang
<i>Beta karoten</i>	<i>Dunaliella</i> adalah beras yang mengandung betakaroten sebagai pangan dan pakan additive	Natural Beta Technology

d) Bakteri

Bakteri	Produksi	Perusahaan	Kegunaan
<i>Methylophilus methylotrophus</i>	Metanol, metan	Imperial Chemical Industry, A/S UniBio	Pakan babi
Methanotrophic bacteria	Metan	UniBio A/S	Pakan
Methanotrophic bacteria	Metan	Calysta Inc, Cargill	Pakan
<i>Methylobacterium extorquens</i>	Methanol, metan	KnipBio	Pakan ikan
<i>Bacteria dan Microalga</i>		CSIRO Australia Canbera,	Pakan

8.3 Mikrobiologi Bidang Pertanian

Menurut Sharma (2002) upaya mengatasi masalah di atas dapat dilakukan dengan meningkatkan peran mikroba tanah yang bermanfaat melalui berbagai aktivitasnya yaitu:

- 3) Meningkatkan kandungan beberapa unsur hara di dalam tanah.
- 4) Meningkatkan ketersediaan unsur hara di dalam tanah.
Meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara.
- 5) Menekan mikroba tular tanah patogen melalui interaksi kompetisi.
- 6) Memproduksi zat pengatur tumbuh yang dapat meningkatkan perkembangan sistem perakaran tanaman.
- 7) Meningkatkan aktivitas mikroba tanah heterotrof yang bermanfaat melalui aplikasi bahan organik

Mikroba penambat Nitrogen

Tabel 8. 1. Jenis bakteri yang dapat menambat N secara non simbiosik

Kelompok Bakteri	Genus
<i>Aerob</i>	<i>Azomonas, Azotobacter, Beijerinckia, Derxia</i>
Fakultatif anaerob	<i>Bacillus, Enterobacter, Klebsiella, Azospirillum</i>
<i>Anaerob</i>	<i>Clostridium, Desulfotomaculum, Desulfotomaculum, Desulfovibrio</i>
<i>Fotosintetik</i>	
- <i>Ungu nonfosfor</i>	<i>Rhodomicrobium, Rhodopseudomonas, Rhodospirillum</i>
- <i>Ungu sulfur</i>	<i>Chromatium, Ectothiorhospirai, Chlorobium</i>
<i>Sianobakteri</i>	<i>Anabaena, Anabaenopsis, Aulosira, Calothrix, Nostoc, Cylandrospermum, Fischerella, Gloeocapsa, Lyngbya, Hapalosiphon, Mastigocladus, Oscillatoria</i>

Pelarut fosfat

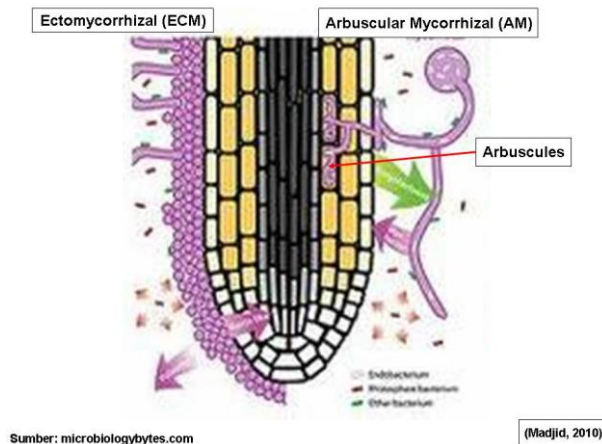
Bakteri pengoksidasi sulfur (*Thiobacillus*) dan pengoksidasi ammonium (*Nitrosomonas*) dapat pula mengeluarkan asam anorganik (asam sulfat dan asam nitrit) yang dapat mengkhelat kation Ca dari $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ menjadi HPO_4^{2-} yang dapat diserap tanaman. Beberapa spesies jamur dari genus *Aspergillus* mempunyai kemampuan yang lebih tinggi dalam melarutkan fosfat terikat dibandingkan dengan bakteri. Hal ini memberi peluang yang baik untuk dikembangkan di daerah tropis yang tanahnya masam, karena jamur menyukai lingkungan pertumbuhan yang bersifat masam.

Jamur Mikoriza Arbuskula (CMA)

Menurut Proborini dkk. (2013) cendawan mikoriza arbuskula (CMA) mampu hidup pada sebagian besar ekosistem alam baik tanaman hutan, perkebunan dan pertanian yang memiliki peranan

penting dalam pertumbuhan, kesehatan dan produktivitas tanaman. Hal ini disebabkan karena CMA sangat membantu dalam absorpsi unsur P, N dan K, terutama pada tanah dikawasan marginal yang miskin akan hara atau 'nutrient' (Smith *et al.*, 2010).

Fungsi CMA dalam meningkatkan pertumbuhan tanaman adalah: sebagai fasilitator dalam penyerapan berbagai unsur hara, pengendali hayati penyakit tular tanah, penekan stress abiotik (kekeringan, salinitas, logam berat) dan sebagai penstabil tanah (stabilator agregat tanah).



Gambar 8. 1. Infeksi hifa jamur CMA pada akar tanaman

Menurut Proborini (2020) pemberian spora *Gigaspora* sp. baik sebagai spora tunggal maupun campuran propagul secara nyata meningkatkan serapan P pada bibit mete. Kolonisasi CMA pada akar tanaman membuktikan adanya simbiosis antara tanaman inang dengan CMA. Hal ini sejalan dengan pernyataan Douds *et al.* (2010) bahwa asosiasi antara CMA dan tanaman inangnya dapat meningkatkan penyerapan P oleh tanaman sedangkan CMA membantu dalam merombak senyawa fosfat di dalam tanah yang akan diubah menjadi P berbentuk ion sehingga

tanaman dengan mudah memanfaatkannya untuk pertumbuhan dan perkembangannya.

8.4 Mikrobiologi Bidang Pakan

Menurut Yulinas (2019) beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikroba berperan atas perubahan kimiawi yang terjadi di tanah dan pada bahan organik. Pada tanah mikroba berperan dalam beberapa siklus unsur hara yang penting, seperti siklus Karbon, Nitrogen dan siklus sulfur. Bakteri autotrof dapat tumbuh pada lingkungan yang seluruhnya anorganik. Energi diperoleh dari hasil oksidasi senyawa anorganik tereduksi, dan menggunakan CO₂ sebagai sumber Karbon. Bakteri autotrof dapat dicirikan dari kemampuannya menggunakan sumber anorganik tertentu.

Dalam prosesnya bakteri Belerang dapat mengoksidasi senyawa belerang anorganik. Adanya bakteri penambat Nitrogen nonsimbiotik dan simbiotik, yang dapat memanfaatkan Nitrogen dalam bentuk gas N₂.

Adanya mikroba didalam tanah memberi manfaat pada pertumbuhan tanaman dan secara tidak langsung memberi dampak luas pada penyediaan hijauan makanan ternak. Hal ini dapat dilakukan melalui proses pemupukan penggunaan pupuk kompos atau pupuk kandang. Disamping itu, dibidang peternakan mikroba memberi manfaat menguntungkan dan merugikan.

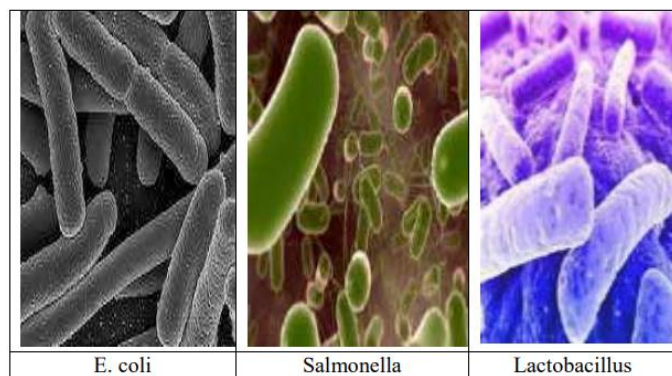
Pemanfaatan mikroba pada proses pengolahan pakan berbasis limbah pertanian atau perkebunan secara biofermentasi dapat membantu penguraian/degradasi bahan-bahan organik atau mendekomposisi senyawa organik menjadi lebih sederhana sehingga dapat dimanfaatkan baik oleh hewan maupun manusia.

Selain dalam pengolahan pakan, mikroba juga bermanfaat dalam pengolahan produk hasil ternak seperti dalam pembuatan minuman fermentasi (yoghurt, yakult, kefir) makanan fermentasi

(daging fermentasi, sosis fermentasi dan lain-lain). Akan tetapi disamping menguntungkan, mikroba juga dapat merugikan karena dapat menyebabkan berbagai macam penyakit pada ternak. Namun pencegahannya dapat dilakukan melalui penggunaan berbagai mikroba menguntungkan (kelompok bakteri penghasil asam laktat) yang dapat menekan pertumbuhan mikroba pathogen

a) Mikroba berasal dari Limbah Peternakan

Mikroba asal limbah peternakan ada yang bersifat menguntungkan (apathogen) dan ada yang merugikan (pathogen). Feses mengandung sejumlah mikroorganisme, ada yang pathogen dan ada yang apathogen berperan sebagai kultur starter atau bioaktivator dalam fermentasi pakan, produk hasil ternak maupun decomposer dalam pembuatan pupuk kandang. Dari beberapa penelusuran mikroba yang bersumber dari feses umumnya lebih banyak ditemukan dari kelompok bakteri dari pada fungi/kapang. Suardana dkk., (2014) berhasil mengisolasi *E.coli* dari feses ayam. Afriyani dkk., (2016) mendapatkan isolat bakteri *Salmonella* sp. dari feses anak ayam broiler. Sedangkan Mushoffa (2012) berhasil mengidentifikasi bakteri selulolitik dari feses kambing yaitu *Bacillus sphaericus*, *Yersinia enterocolitica*, dan *Echerichia coli*.

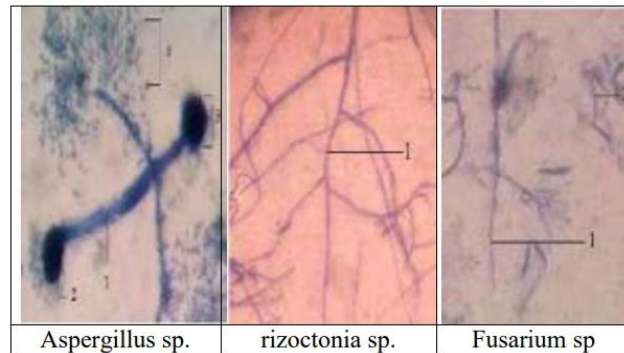


Gambar 8. 2. Morfologi *E.coli*, *Salmonella*, *Lactobacillus*

b) Mikroba berasal dari Limbah Pertanian

Purwantisari dan hastuti (2009) berhasil mengisolasi jamur indigenous rhizosfer tanaman kentang dari lahan pertanian kentang organik genus *Trichoderma*, *Penicillium*, *Phytophthora*, dan *Mucor*. Yosmar *et al* (2013) berhasil mengisolasi jamur pengurai selulosa yang dari sampel tanah tumpukan ampas tebu di Tabek Patah Sumatera Barat, ada dua jenis yaitu *Aspergillus terreus* Thom dan *Rhizopus* sp. Sementara itu Akmalasari *et al* (2013) memperoleh isolasi jamur endofit dari jaringan tanaman manggis yang teridentifikasi meliputi *Phoma* sp., *Acremonium* sp., isolat *Penicillium* sp., *Geotrichum* sp., *Pestalotiopsis* sp., *Botryosphaeria* sp., *Colletotrichum* sp., *Chrysosporium* sp, *Aspergillus* sp. dan *Blastomyces* sp.

Yunilas *et al* (2013) berhasil mengidentifikasi bakteri yang memiliki kemampuan tinggi dalam mendegradasi serat (lignoselulosa) yaitu bakteri *Bacillus* sp YLB1. Berperan sebagai bioaktivator dalam fermentasi bahan pakan asal limbah perkebunan sawit. Sedangkan Delfiyana *et al*, (2018) berhasil mengisolasi fungi selulolitik dari limbah tanaman jagung antara lain fungi selulolitik yaitu *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., dan *Rizoctonia* sp. Disamping dari limbah pertanian, mikroba terdapat juga dari hasil produk olahan pangan seperti pliek-U (hasil fermentasi pengolahan kelapa). Yunilas *et al* (2019) berhasil mengisolasi kelompok bakteri dan fungi selulolitik yang mampu mendegradasi selulosa asal pliek-u. Mikroba yang terdapat pada limbah-limbah pertanian sangatlah beragam dan umumnya termasuk kelompok mikroba selulolitik. Kelompok mikroba selulolitik akan banyak kita temui pada media/substrat yang banyak mengandung bahan-bahan organik mengandung serat tinggi. Pada media tersebut mikroba selulolitik akan tumbuh lebih dominan dibanding kelompok mikroba lainnya.



Gambar 8. 3. Morfologi *Aspergillus sp.*, *Rizoctonia sp.*, *Fusarium sp.*

c) Mikroba berasal dari Saluran Pencernaan

Mikroba yang terdapat pada saluran pencernaan atau feses ternak umumnya tergantung pada makanan yang dimakanannya serta respon ternak dengan lingkungan sekitar. Ternak yang banyak mengkonsumsi pakan yang bersumber dari hijauan maka akan ditemukan kelompok mikroba selulolitik. Demikian juga ternak yang banya mengkonsumsi konsentrat maka akan ditemukan kelompok mikroba amilolitik. Akan ditemukan beberap mikroba penghasil enzim pendegradasi pati (amilase), protein (kelompok enzim protease), lemak (lipase) dll. Seperti beberapa hasil penelitian dibawah ini.

Hassan (2006) memperoleh kelompok bakteri penghasil asam laktat dari saluran pencernaan ayam yaitu dari caecum. *lactobacillus murinus*, dari crop *lactobacillus acidophilus* dan *lactobacillus murinus*. Sedangkan Suryani dkk (2010) berhasil mengidentifikasi bakteri asam laktat dari limbah kotoran ayam sebagai agensi probiotik dan enzim kolesterol reduktase. Feses mengandung sejumlah mikroba diantaranya protozoa, fungi, dan bakteri. Bakteri yang terdapat dalam saluran pencernaan ternak ruminansia salah satunya *Salmonella spp.* (Hidayati,

2010). Hidayati dkk., 2013 menyatakan Bakteri yang terdapat dalam saluran pencernaan ternak ruminansia beragam diantaranya *Lactobacillus sp.*, *Escherichia*, *Eubacterium*, *Propionibacterium*, *Streptococcus*, *bacteriodes*, *Butyvirio*, *Selenomonas*, *Clostridium*, dan *Metanobacterium*, termasuk didalamnya kelompok bakteri pathogen.

8.5 Mikrobiologi Lahan Basah Berbasis Stem-Pjbl

8.5.1 Mikrobiologi Bidang Pangan

Percobaan Aplikasi Mikrobiologi Bidang Pangan Pembuatan Keju Dari Susu Kacang Hijau Dengan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*.

Kacang hijau merupakan tanaman tropis yang berumur pendek dan dapat tumbuh di daerah yang curah hujannya rendah. Kacang hijau merupakan sumber protein nabati. Protein biji kacang hijau mengandung 8 asam amino esensial, yaitu Valine, Leucine, Isoleucine, Methionine, Venyl Alanine, Lycine dan Tryptophane. Selain itu juga terdapat lemak, karbohidrat serta mineral yang dibutuhkan tubuh. (Soeprapto, 1992)

Susu kacang hijau merupakan hasil ekstraksi biji kacang hijau dengan penambahan air. Protein susu terbagi menjadi dua, yaitu Casein yang dapat diendapkan oleh asam dan Rennin, serta protein whey yang dapat mengalami denaturasi oleh panas pada suhu 65oC. Casein dalam susu mencapai 80 % dari total protein.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu ikubator, labu Erlenmeyer dan sumbat kapas

Bahan yang digunakan yaitu Kacang Hijau, Enzim papain, Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*, Medium MRS, Garam

Pembuatan keju ini berdasarkan metode dari Retno *et al* (2005). Tahapan yang dilakukan yaitu:

1. Pembuatan medium MRS Broth kedalam aquadest, memasukkan bahan tersebut kedalam tabung reaksi, mensterilkan medium dalam tabung reaksi. menginokulasi bakteri tersebut pada medium MRS Broth
2. Pembuatan susu kacang hijau, merendam biji kacang hijau dengan perbandingan tertentu. Merebus kacang hijau sampai lunak, menghaluskannya ampas dan menambah air hangat sampai diperoleh volume susu kacang hijau yang diinginkan. Memasak dan menyaring dengan kain saring.
3. Pembuatan starter, dengan menginokulasikan biakan murni *Lactobacillus Bulgaricus* dalam medium cair ke dalam susu sapi yang sudah dipasteurisasi. Memasukkan biakan murni tersebut ke dalam inkubator. Memperbanyak starter dan memasukkannya dalam inkubator bersuhu 43°C selama 24 jam sampai terbentuk gumpalan.
4. Pembuatan keju, menginokulasikan susu kacang hijau dalam starter. Dalam inkubator bersuhu 43°C, menambahkan enzim papain kemudian mengaduk dan memasukkannya ke dalam inkubator pada suhu 50°C.
5. Menyaring gumpalan yang terbentuk dan meniriskannya selama 1 jam. Menimbang berat gumpalan tersebut dan menambahkan garam dapur sebanyak 1-5% berat gumpalan dan mengaduknya. Mencetak dan menekannya hingga tidak ada air yang terbawa. Membiarkannya selama 30 menit.

8.5.2 Mikrobiologi Bidang Pertanian

Pembuatan Biofungisida berbahan aktif *Trichoderma* sp.



Gambar 8. 4. Biofungisida berbahan aktif *Trichoderma* sp.

Trichoderma sp. adalah jenis jamur yang tersebar luas di tanah, dan mempunyai sifat mikoparasitik (Umrah *et al.*, 2009). Mikoparasitik adalah kemampuan untuk menjadi parasit jamur lain. Sifat inilah yang dimanfaatkan sebagai biokontrol terhadap jenis-jenis jamur fitopatogen (Purwantisari *et al.*, 2008). Beberapa jamur fitopatogen penting yang dapat dikendalikan oleh *Trichoderma* spp. antara lain : *Rhizoctonia solani*, *Fusarium* spp, *Lentinus lepidus*, *Phytium* spp, *Botrytis cinerea*, *Gloeosporium gloeosporoides*, *Rigidoporus lignosus* dan *Sclerotium roflsii* yang menyerang tanaman jagung, kedelai, kentang, tomat, dan kacang buncis, kubis, cucumber, kapas, kacang tanah, pohon buah- buahan, semak dan tanaman hias (Tandion, 2008).

Tahapan Pembuatan Biofungisida berbahan aktif *Trichoderma* sp yaitu:

a. Pembuatan starter/bibit



Gambar 8. 5. Proses inokulasi *Trichoderma*

Pembuatan bibit jamur *Trichoderma* sp. dilakukan dengan menumbuhkan isolat murni pada media jagung giling. Beras jagung yang telah dimasak setengah matang (20 menit) dimasukkan dalam kantong plastik masing-masing 100 g. Media tersebut kemudian disterilkan dengan dipanaskan selama 45 menit. Media yang sudah dingin diinokulasikan dengan jamur *Trichoderma* sp. dari biakan murni (1 tabung untuk 15 bungkus media jagung). Media yang sudah diinokulasi diinkubasi selama 7-15 hari. Jamur yang tumbuh (F1) dapat dikembangkan pada media padat maupun cair.

b. Pembuatan biofungisida berbahan aktif *Trichoderma* sp. pada media padat



Gambar 8. 6. Biofungisida berbahan aktif *Trichoderma* sp. pada media padat

Media padat yang digunakan berasal dari campuran bekatul dan sekam dengan perbandingan volume (5:1). Bahan tersebut dicampur dengan air sehingga membentuk adonan. Adonan yang telah siap, dikukus dalam drum selama 90 menit. Setelah dikukus adonan dikeluarkan dan dihamparkan di atas lembaran plastik. Setelah dingin adonan tersebut disemprto dengan suspensi *Trichoderma* sp. secara merata dan ditutup dengan plastik. Untuk mempercepat pertumbuhan jamur, diupayakan adonan tersebut diaduk secara merata setiap dua hari sekali. Bahan tersebut dapat langsung dimanfaatkan sebagai biofungisida setelah diinkubasi selama 7 hari. Untuk memastikan keefektifan biofungisida tersebut sebaiknya dilakukan pengujian terhadap kerapatan dan viabilitas spora.

Pembuatan Pupuk Organik-Plus Fungi Mikoriza *Arbuskula*



Gambar 8. 7. Pupuk organik-plus fungi mikoriza *Arbukula*

Usaha untuk meningkatkan kinerja pupuk organik, maka perlu penambahan mikroorganisme yang berasosiasi dengan perakaran tanaman. Salah satu mikroorganisme tersebut adalah fungi mikoriza. Fungi mikoriza yang dapat dikembangkan adalah fungi mikoriza yang disiolasi dari perakaran tumbuhan secara langsung yang dikenal dengan fungi mikoriza indigenous. Fungi mikoriza indigenous merupakan jenis fungi mikoriza yang ditemukan berasosiasi

dengan perakaran tumbuhan secara alami tanpa campur tangan manusia dalam proses infeksi awal antara fungi mikoriza dengan tumbuhan inangnya (Halim, 2009).

Infeksi fungi mikoriza yang terjadi di dalam sel dicirikan oleh adanya pembentukan vesikula dan arbuskula. Vesikula berbentuk seperti kantung, biasanya terdapat pada ujung hifa internal yang banyak mengandung lemak, berfungsi sebagai organ penyimpan cadangan makanan. Arbuskula adalah hifa yang masuk ke dalam sel korteks tumbuhan inang, kemudian hifa bercabang-cabang (Brundrett, 1999).

Metode pembuatan pupuk Organik-Plus Fungi Mikoriza Arbuskula ini sudah dilakukan oleh Nurlaila *et al* (2022). Prosedur praktek perbanyakan pupuk hayati mikoriza adalah sebagai berikut :

1. Bahan dan alat yang digunakan adalah : pupuk mikoriza “Mycofer” sebagai starter, benih jagung, zeolit yang sudah disterilkan, tanah yang sudah disterilkan, timbangan digital, sekop kecil, pot, hand sprayer, kertas label, dan pisau
2. Pot diisi 3 lapis media tanam dengan urutan dari bawah ke atas : 1/3 bagian zeolit, 1/3 bagian tanah, dan 1/3 bagian zeolit
3. Buat lubang tanam 2-3 cm dari media tanam paling atas
4. Letakkan 0,5-1 gr starter mikoriza “Mycofer” pada setiap lubang tanam
5. Letakkan benih jagung sebanyak 2-5 biji per lubang tanam
6. Letakkan pot pada tempat yang mendapatkan cukup sinar matahari
7. Setelah biji berkecambah dan muncul daun sempurna, tanaman dikurangi sehingga tersisa satu tanaman di dalam pot

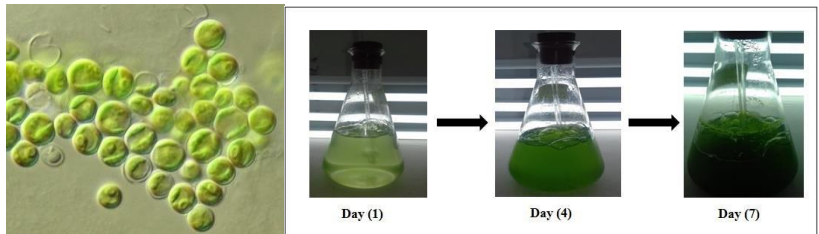
8. Pemeliharaan (inkubasi) dilakukan dengan cara penyiraman sampai media cukup lembab. Pemberian pupuk dilakukan dua minggu sekali dengan pupuk yang kandungan Fosfornya rendah. Pemeliharaan dilakukan selama 2 bulan
9. Setelah proses inkubasi, dilakukan stressing tanaman dengan cara mengeringkan tanaman (tanaman tidak disiram). Hal ini untuk merangsang pertumbuhan spora. Proses stressing dilakukan selama kurang lebih 1 bulan. Proses stressing dapat dilakukan dengan kombinasi perlakuan pemaparan tanaman di bawah sinar matahari atau dengan memotong tajuk tanaman sehingga tersisa $\frac{3}{4}$ bagian tanaman
10. Pemanenan dilakukan setelah 3 bulan dengan cara tanaman dibongkar. Batang tanaman dipotong dan dipisahkan. Akar tanaman dicacah kecil-kecil dan dicampurkan lagi dengan media tanamnya
11. Campuran akar dan media tanam siap digunakan sebagai pupuk hayati mikoriza. Jika pupuk tidak digunakan langsung, pupuk dikemas dalam kemasan kedap udara dan disimpan dalam suhu ruang

8.5.3 Mikrobiologi Bidang Pakan

Pembuatan Pakan Substitusi Ikan Nila dari mikro-alga (*Chlorella vulgaris*)

Pakan alami ikan yang berasal dari mikroalga *C. vulgaris* dapat mempercepat pertumbuhan ikan dan benih ikan karena *C. vulgaris* mempunyai nutrisi yang dibutuhkan seperti protein, lemak, beta karoten dan vitamin, hal ini disebabkan karena sebagian besar komponen penyusun dinding sel dan bagian-bagian sel *C. vulgaris* terdiri atas protein, lemak, beta karoten, Nitrogen, Fosfor, Belerang, Kalium, Kalsium, Besi dan Cu serta vitamin yang terbentuk melalui proses metabolisme yang terjadi di dalam sel.

Hal ini diperkuat oleh Muchlisin *et al.* (2003). Pembuatan pakan substitusi dari *C. vulgaris* ini sudah banyak dikembangkan salahsatunya oleh Yulita (2015).



Gambar 8. 8. *C. vulgaris* secara mikroskopis dan sediaan kultur

Alat dan Bahan:

Alat-alat yang digunakan yaitu

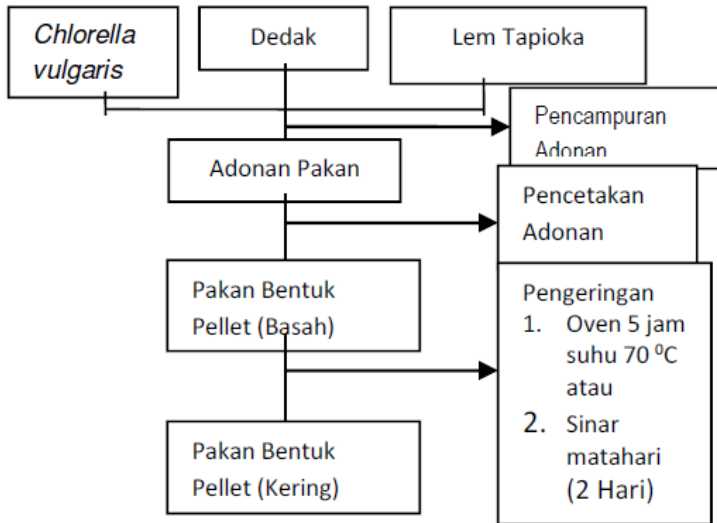
1. kolam terpal ukuran 2 m x 2 mx 1,5 m
2. gallon 20 L
3. erlenmeyer 250 ml; 500 ml; 1 L; 5 L,
4. lampu neon
5. selang
6. seperangkat *aerator*

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu

1. media pertumbuhan *C. vulgaris* (*dapat menggunakan media perairan secara umum maupun pemanfaatan limbah dari industry karet*)
2. Modifikasi *Bold Basal Medium* (BBM) cair
3. BBM agar
4. pupuk NPK
5. *agar bacteriological*
6. isolat murni *C. vulgaris* hasil isolasi
7. bibit ikan nila

Metode

Diagram alir pembuatan pakan ikan bentuk pellet dengan substitusi *C. vulgaris* hasil isolasi dari limbah karet sebagai pakan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8.8



Gambar 8. 9. Diagram Alir Pembuatan Pakan Ikan Bentuk Pellet

Pembuatan pakan ikan bentuk pellet diawali dengan penyaringan biomassa dengan menggunakan plankton net, kemudian hasil panen *C.vulgaris* dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 2 L. Sebanyak 1 L *C. vulgaris*, dimasukan ke dalam baskom kemudian dicampur dengan dedak padi sebanyak 1 kg, kemudian diaduk sampai dengan tercampur rata. Kemudian dimasukkan lem yang dibuat dari 100 g tepung tapioka yang dicampur dengan akuades dan dipanaskan sampai kental. Lem ini berfungsi sebagai perekat pada waktu pencetakan. Setelah adonan pakan tercampur rata, adonan didiamkan 10 menit, kemudian adonan dicetak dengan menggunakan gilingan ikan sampai terbentuk pellet. Adonan yang sudah berbentuk pellet dikeringkan di bawah sinar matahari selama 2 hari atau dapat menggunakan oven suhu 800C selama 12 jam. Pakan ikan yang sudah kering bersifat mudah patah

menjadi bagian-bagain kecil. Pakan ikan bentuk pellet ini dikemas dengan menggunakan kemasan yang kedap udara dan siap untuk digunakan.

8.6 Rangkuman

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa mikrobiologi pada bidang pangan tujuannya dapat meningkatkan produksi pangan dengan nilai gizi yang lebih tinggi melalui proses fermentasi. Fermentasi ini dibagi menjadi empat yaitu fermentasi asam laktat, fermentasi jamur, fermentasi alkohol dan fermentasi dengan kadar garam tinggi. Selaian teknologi fermentasi, teknologi mikroorganisme dapat melalui protein sel tunggal.

Pada bidang pakan, mikrobiologi berperan dalam meningkatkan nilai gizi dari suatu pakan sehingga produktivitas ternak meningkat. Pada bidang pertanian mikrobiologi dapat meningkatkan unsur hara tanah dan dapat mengidentifikasi hama dan penyakit dan cara pengendaliannya.

8.7 Latihan Soal

1. Jelaskan aplikasi mikrobiologi pada bidang pangan !
2. Jelaskan contoh mikroorganisme yang menguntungkan pada bidang pangan !
3. Jelaskan aplikasi mikrobiologi pada bidang pakan !
4. Jelaskan contoh mikroorganisme yang menguntungkan pada bidang pakan!
5. Jelaskan aplikasi mikrobiologi pada bidang pertanian !
6. Jelaskan contoh mikroorganisme yang menguntungkan pada bidang pertanian!

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyani, Darmawi, Fakhurrazi, Zakiah Heryawati Manaf, Mahdi Abrar, dan Winaruddin. 2016. Isolasi Bakteri Salmonella Sp. Pada Feses Anak Ayam Broiler Di Pasar Ulee Kareng Banda Aceh. *Jurnal Medika Veterinaria* 10 (1): 1-3.
- Agus, F. Dan I. G. M. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Center (ICRAF). Bogor.
- Aini, Meliyana & Aini, Mellyatul. 2023. Implementasi Pembelajaran STEM Terhadap Keterampilan Komunikasi Oral pada Materi Genetika. *SCIENINGL Science Learning Journal*. Vol.4 No.2 p.208-213 DOI. <https://doi.org/10.53682/slj.v4i2.8189>
- Aini, N., & Rahayu, T. (2015). Alternatif media for fungal growth using a different source of carbohidrats. Seminar Nasional XII Pendidikan Biologi FKIO, 861–866
- Aislabie, J. and J. R. Delliye. 2013. Soil microbes and their contribution to soil services. In. Dymond, J. R. (ed). *Ecosystem services in New Zeland-condition and trends*. Manasaki Whemna Press, Lincoln, New Zeland.
- Akmalasari Iva, Endang Sri Purwati, dan Ratna Stia Dewi L. 2013. Isolasi dan Identifikasi Jamur Endofit Tanaman Manggis (*Garcinia mangostana* L.) Biosfera 30 (2) Mei 2013. : 82-89
- Annisa, W. dan. Y. Lestari. 2016. Identifikasi bakteri anaerobik asal tanah sulfat asam Kalimantan Selatan dengan analisis sekuensing 16S rRNA. Pengembangan potensi sumberdaya lokal berwawasan lingkungan untuk penguatan produk pertanian nasional berdaya saing global. Proseding Seminar Nasional. Fakultas Pertanian Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Hlm. 69-76.
- Asrianto. 2021. Bahan Ajar Mikrobiologi. CV. Amerta Media. Banyumas
- Behera, B. C., R. R. Mishra, S. K. Dutta and H. N. Thatoi. 2014. Sulphur oxidizing bacteria in mangrove ecosystem: A review. *African Journal of Biotechnology*. 13(29):2897-2907.
- Wahono, Bevo. 2022. Genetically Modified Organisms.

- Blodau, C and S. Peiffer. 2003. Thermodynamics and organic matter: concentration on neutralization processes in sedimen of highly acidic water. *Appl. Geochem.* 18:25-36.
- Cappuccino, J. G., & Sherman, N. (2014). *Manual laboratorium biologi*. Jakarta: EGC.
- Chadirin, Y., S. K. Saptono, Rusdiyanto dan K. Osawa. 2016. Lingkungan Biofisik dan emisi gas CO₂ lahan gambut untuk produksi biomasa berkelanjutan. *Jurnal ilmu Pertanian Indonesia*. 21(2):146-151.
- Conrad, R. 1999. Soil microorganisms oxidizing atmospheric trace gasses (CH₄, CO₂, H₂, NO). *Indian Journal of Mirobiology*. 39:193-203. Conrad, R and F. Rothfus. 1991. Methane oxidation in the soil surface layer of flooded rice field and the effect of ammonium. *Biol Fertil Soil*. 12:28-32.
- Das, S., P. S. Lyla and S. A. Khan. 2006. Marine microbial diversity and ecology: importance and future perspectives. *Current Science*. 90(10):1325-1335. Dubey, S. K. 2005. Microbial ecology of methane emission in rice agroecosystem: a review. *Applied Ecology and Environmental Research*. 3(2):1-27.
- Deaville *et al.*, 2010). Driehuis, F. and M.C. Giffel. 2005. Butyric acid bacteria spores in whole crop maize silages. In: *Silage Production and Utilization*. Park, R.S. and M.D. Stronge (Eds.), Wageningen Academic Publ. The Netherlands pp 271.
- Dharmono MAS. Potensi, Peluang, dan Tantangan Pengelolaan Lingkungan Lahan Basah Secara Berkelanjutan. *Prosiding Seminar Universitas Lambung Mangkurat 2015*. 2016; 1-3.
- Dunfield, P. F., A. Yuyev, P. Senin, A. V. Smirnova, M. B. Stott, S. Ly. B. Hou, J. H. Saw, Z. Zhou, Y. Ren, J. Wang, B. W. Mountain, M. A. Crowe, T. M. Weatherby, P. L. Bodelier, W. Liesack, L. Feng, L. Wang, and M. Alam. 2007. Methane oxidation by extremely acidophilic bacterium of the phylum Verrucomicrobia. *Nature*. 450(7171):879-882.
- Cooper, Arthur J dan Jeitner, Thomas M. 2016. Central Role of Glutamate Metabolism in the Maintenance of Nitrogen Homeostasis in Normal and Hyperammonemic Brain. *Biomolecules*. 6(2): 1-33

- Faridah, H.D. and Sari, S.K., 2019, Utilization of Microorganism on the Development of Halal Food Based on Biotechnology, J. Halal Prod. Res., 2 (1), 33
- Ferrando, L. and S. Tarlera. 2009. Activity and diversity of metanotrophs in the soil-water interface and rhizospheric soil from a flooded temperate rice field. The Society for Applied Microbiology, Journal of Microbiology. 106:306-316.
- Halim, "Peran Mikoriza Indigenous Gulma *Imperata cylindrica* (L.) Beauv dan *Eupatorium odorata* (L.) terhadap Kompetisi Gulma dan Tanaman Jagung". Disertasi Program Doktor Universitas Padjadjaran Bandung, pp. 40-45. (Tidak dipublikasikan), 2009.
- Harahap FR. Pengelolaan Lahan Basah Terkait Semakin Maraknya Kebakaran dengan Pendekatan Adaptasi Yang Didasarkan Pada Konvensi Ramsar. Society 2016; 4(2): 38-47.
- Harianto SP, Bainah SD. 2017. Biodiversitas fauna di kawasan lahan basah. Lampung: Buku Ajar Biologi Konservasi
- Hassan, D. H. 2006. Isolasi *Lactobacillus*, bakteri asam laktat dari feses dan organ saluran pencernaan ayam. Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. 6-11 Februari 2012. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Selatan. Hal. 735-742.
- Hidayati YA, Benito AK, Harlia E. Analisis Jumlah Bakteri dan Identifikasi Bakteri pada Pupuk Cair dari Feses Domba dengan Penambahan *Saccharomyces cerevisiae*. Jurnal Ilmu Ternak 2013; 13(2): 1-3.
- Irawati Wahyu, Chelviana Aprilia Christanti, Helen Melenia Sianipar, Josephine Elsa Diani Putranto. 2021. Praktikum Pembuatan Medium Potatoes Dextrose Agar Secara Sederhana dan Isolasi Jamur Pada Bijibijian yang Dilakukan Secara Online. JBE 6 (3) (2021) 289-299
- J.M. Barea, "Vesicular-Arbuscular Mycorrhizas as Modifiers of Soil Fertility". Adv. Soil Science, 1991.
- Joegijantoro Rudy. 2019. Penyakit Infeksi. Intimedia: Malang
- Kustyawati Maria Erna. 2020. Mikrobiologi Hasil Pertanian. Pusaka Media: Bandar Lampung.

- M. Brundrett, "Introduction to Mycorrhizas". CSIRO Forestry and Forest Product. <<http://www.ffp.csiro.au/research/mycorrhiza/intro.html>>, 1999.
- Maryana Leny, Syariful Anam, Arsa Wahyu Nugrahani. 2016. Produksi Protein Sel Tunggal dari Kultur *Rhizopus oryzae* Dengan Medium Limbah Cair Tahu. GALENIKA Journal of Pharmacy Vol 2(2)"132-137.
- Muchlisin, Z., A, Ahmad D., Rina F., Muhammadar dan Musri M. (2003). Pengaruh beberapa jenis pakan alami terhadap pertumbuhan dan kelulushidupan larva ikan lele dumbo (*Clarias gariepinus*). Biologi 2(3).
- Mushoffa. 2012. Isolasi dan Identifikasi Bakteri Selulolitik dari Feses Kambing. Skripsi, Jurusan Biologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Nasution, L., & Si, S. M. (2022). Monograf: Pemanfaatan Bakteri Indigen Secara Invitro dalam Memperoleh Model Remediasi Lahan Pertanian Yang Terpapar Dichloro Diphenyl Trichloroethane (Ddt). Umsu Press.
- Nasution, M. Y., Pulungan, A. S. S., Chairani, F., & Wulandari, W. (2020). Isolasi dan Identifikasi Biokimia Bakteri Asal Sungai Batang Gadis Sumatera Utara. *JURNAL BIOSAINS*, 6(3), 109. <https://doi.org/10.24114/jbio.v6i3.21826>
- Nigam, J.N. (1998). Single Cell Protein from Pineapple Cannery Effluent. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 14, 693-696.
- Nurlaila Ai. Dede Kosasih², Nina Herlina³, Meindhika Giwantara⁴, Wiwit Walinda⁵ 2022. Pelatihan Perbanyak Pupuk Hayati Mikoriza Kepada Kelompok Tani Desa Karangsari Kecamatan Darma Kabupaten Kuningan. *Journal of Innovation and Sustainable Empowerment*. Vol. 1, No. 2 Page 37-42

- Onyeaka Helen, Christian K. Anumudu, Calistus Okpe, Arthur Okafor³, Francis Ihenetu, Taghi Miri, Olumide A. Odeyemi and Amarachukwu Anyogu, 2022. Single Cell Protein for Foods and Feeds: A Review of Trends. The Open Microbiology Journal, 2022, Volume 16 page 1-17.
- Pelczar, Michael J., dan Chan, E. C. S., 1986, 190-191, Dasar-Dasar. Mikrobiologi, Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta
- Proborini Meitini Wahyuni, Ida Bagus Gede Darmayasa, Deny Suhernawan Yusup, Job Nico Subagio. 2020. Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) *Gigaspora* sp. Sebagai Pupuk Hayati pada Pembibitan Mete (*Anacardium occidentale* L.). Jurnal Mikologi Indonesia Vol 4 No 2 (2020): 193-200
- Proborini Meitini Wahyuni, Ida Bagus Gede Darmayasa, Deny Suhernawan Yusup, Job Nico Subagio. 2020. Cendawan Mikoriza Arbuskula (CMA) *Gigaspora* sp. Sebagai Pupuk Hayati pada Pembibitan Mete (*Anacardium occidentale* L.). Jurnal Mikologi Indonesia Vol 4 No 2 (2020): 193-200
- Proborini, M.W., Sudana, M., Suarna, W. & Ristiati, N.P. (2013). Indigenous vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi in cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) plantation of North East-Bali Island-Indonesia. Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, 3(3), 114–121.
- Purnomo, A.S., Kamei, I., dan Kondo, R. (2008), –Degradation of 1,1,1-trichloro2,2-bis(4-chlorophenyl) ethane (DDT) by Brown-Rot Fungi||, Journal of Bioscience and Bioengineering, Vol. 105, hal. 614-621.
- Purwantisari Susiana dan Rini Budi Hastuti. 2009. Isolasi dan Identifikasi Jamur Indigenous Rhizosfer Tanaman Kentang dari Lahan Pertanian Kentang Organik di Desa Pakis, Magelang. *Berkala Ilmiah Biologi*, [Online] Volume 11(2), pp. 45-53.
- Putra Sorensen Febrian, Rahmadhani Fitri, Muhyiatul Fadilah. 2021. Pembuatan Media Tumbuh Bakteri Berbasis Lokal Material. Prosiding

- Respati Ningtyas Yuniar. 2017. Optimasi suhu dan pH media pertumbuhan bakteri Pelarut fosfat dari isolat bakteri termofilik. Jurnal Prodi Biologi Vol 6 No 7 Tahun 2017. Hal : 423-430.
- Retno Endah, Uki Yuanti, Ning Sandra D. 2005. Pembuatan keju dari susu kacang hijau dengan bakteri *Lactobacillus bulgaricus*. E K U I L I B R I U M Vol. 4. No. 2. Desember 2005: 58 – 63
- Ridhwan, M., Kurniawan, F. B., Ak, M. D., Hansur, L., Asrinawaty, A. N., Nikmatullah, N. A., ... & Hartati, R. (2023). Mikrobiologi Dan Parasitologi. Global Eksekutif Teknologi.
- Salupi Wida. 2015. Xylanase activity of *Streptomyces violascences* BF 3.10 on xylan corncobs and its xylooligosaccharide production. Media Peternakan, April 2015, 38(1):27-33
- Setyanto, E. (2006). Memperkenalkan kembali metode eksperimen dalam kajian komunikasi. Jurnal ilmu komunikasi, Vol. 3, No. 1, Hal. 37-48.
- Smith, S.E., Facelli, E., Pope, S. & Smith, F.A. (2010). Plant performance in stressfull environment: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrizhas. Plant Soil, 326, 3–20.
- Suardana, I.W. *et al.*, 2014. Identifikasi Escherichia Coli O157:H7 Dari Feses Ayam dan Uji Profil Hemolisisnya Pada Media Agar Darah. Jurnal Kedokteran Hewan. Vol. 8 No. 1
- Suharni, Tri Theresia, dkk. 2008. Mikrobiologi Umum. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya.
- Sulastri Eni, Cecilia Indriani, Muhammad Zainudin, Sri Wardhani, Meli Astriani, Eko Ariyanto. 2022. Review: Peran Mikrobiologi Pada Industri Makanan. Jurnal Indobiosains. Vol. 4No. 1. Hal: 1-8.
- Suryani, Yoni, Astuti, Barnadeta, Oktavia, dan Siti Ummiyati. 2010. “Isolasi dan Karakteristik Bakteri Asam Laktat dari Limbah Kotoran Ayam sebagai Agensi Probiotik dan Enzim Kolesterol Reduktase”. Prosiding Seminar Nasional Biologi Yogyakarta. Hal: 138-147.

- Sri Hastuti, U., Sarwendah Asri Nugraheni, F., & Al Asna, P. M. (n.d.). Identifikasi dan Penentuan Indeks Hidrolisis Protein pada Bakteri Proteolitik dari Tanah Mangrove di Margomulyo, Balikpapan Identification and Determination of Protein Hydrolysis Index of Proteolytic Bacteria from Margomulyo Mangrove Soil, Balikpapan. In *Proceeding Biology Education Conference* (Vol. 14).
- Syahrurachman, Agus. 1994. Mikrobiologi kedokteran ed. revisi. Jakarta: Bina Rupa Aksara
- Tandion, H., 2008. Pengaruh Jamur Antagonis *Trichoderma harzianum* dan Pupuk Organik Untuk Mengendalikan Patogen Tular Tanah *Sclerotium roflsii* Sacc. Pada Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) di Rumah Kasa. <http://repository.usu.ac.id.pdf>. Diakses pada 29 Januari 2017.
- Tjampakasari Conny Riana. 2023. Kultivasi Dan Identifikasi Bakteri Anaerob *Bacteroides Fragilis*. Mahesa: Malahayati Health Student Journal. Volume 3 Nomor 11 Tahun 2023] Hal 3717-3729
- Umrah, Anggraeni, T., Esyanti, R.R., & Aryantha, I.N.P. 2009. Antogonisitas dan Efektivitas *Trichoderma* sp. Dalam Menekan Perkembangan *Phytophthora palmivora* pada Buah Kakao. J. Agroland 16(1): 9-16
- Umrati, & Wijaya, H. (2020). Analisis data kualitatif teori konsep dalam penelitian pendidikan. Makassar: Sekolah Tinggi Theologia Jaffray. Yosmar, Rahmi Netty Suharti, Dan Roslinda Rasyid., 2013. Isolasi Dan Uji Kualitatif Hidrolisat Jamur Penghasil Enzim Selulase Dari Tanah Tumpukan Ampas Tebu. Jurnal Farmasi Andalas Vol 1 (1)
- Yunilas, Lili Warly, Yetti Marlida, and Irsan Riyanto. 2013. Potency of indigenous bacteria from palm oil waste in degrades lignocellulose as a source of inoculum fermented to hight fibre freed. Pakistan Journal of Nutrition. Vol. 12, No. 9: 851 - 853.
- Yunilas. 2019. Aplikasi Mikroba pada Pakan ternak. CV. Anugrah Pangeran Jaya Press. Medan
- Pelczar, Michael dan Chan. 2010. Dasar-dasar Mikrobiologi. Jakarta: UI Press.

- Suharni, Tri Theresia, dkk. 2008. *Mikrobiologi Umum*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya
- Syahrurachman, Agus. 1994. *Mikrobiologi kedokteran* ed. revisi. Jakarta: Bina Rupa Aksara
- Sri Hastuti, U., Sarwendah Asri Nugraheni, F., & Al Asna, P. M. (n.d.). Identifikasi dan Penentuan Indeks Hidrolisis Protein pada Bakteri Proteolitik dari Tanah Mangrove di Margomulyo, Balikpapan Identification and Determination of Protein Hydrolysis Index of Proteolytic Bacteria from Margomulyo Mangrove Soil, Balikpapan. In *Proceeding Biology Education Conference* (Vol. 14).
- Wahyuningsih, N., & Zulaika, E. (2018). Perbandingan Pertumbuhan Bakteri Selulolitik Pada Media Nutrient Broth dan Carboxy Methyl Cellulose. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 7(2), E36–E38.
- Walker, R. M., Sanabria, V. C., & Youk, H. (2023). Microbial life in slow and stopped lanes. In *Trends in Microbiology*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2023.11.014>
- Wantini, S., & Octavia, A. (2018). Perbandingan pertumbuhan jamur *Aspergillus flavus* pada media PDA (potato dextrose agar) dan media alternatif dari singkong (*Manihot esculenta* Crantz). *Jurnal Analis Kesehatan*, 6(2), 625. <https://doi.org/10.26630/j>
- Wantini, S., & Octavia, A. (2018). Perbandingan pertumbuhan jamur *Aspergillus flavus* pada media PDA (potato dextrose agar) dan media alternatif dari singkong (*Manihot esculenta* Crantz). *Jurnal Analis Kesehatan*, 6(2), 625. <https://doi.org/10.26630/j>
- Wijaya, H. (2018). Analisis data kualitatif ilmu pendidikan teologi. Makassar: Sekolah Tinggi Theologia Jaffray.
- Wijaya, H. (2018). Analisis data kualitatif ilmu pendidikan teologi. Makassar: Sekolah Tinggi Theologia Jaffray.
- Yosmar, Rahmi Netty Suharti, Dan Roslinda Rasyid., 2013. Isolasi Dan Uji Kualitatif Hidrolisat Jamur Penghasil Enzim Selulase Dari Tanah Tumpukan Ampas Tebu. *Jurnal Farmasi Andalas* Vol 1 (1)

- Yulita Eli. 2015. substitusi *Chlorella vulgaris* hasil isolasi dari limbah [cair](#) industri karet sebagai pakan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Jurnal Dinamika Penelitian Industri Vol. 26 NO. 2 Hal 131-138
- Yunilas, Lili Warly, Yetti Marlida, and Irsan Riyanto. 2013. Potency of indigenous bacteria from palm oil waste in degrades lignocellulose as a source of inoculum fermented to hight fibre freed. Pakistan Journal of Nutrition. Vol. 12, No. 9: 851 - 853.
- Yunilas. 2019. Aplikasi Mikroba pada Pakan ternak. CV. Anugrah Pangeran Jaya Press. Medan

Indeks

A

Aerob, 55, 114, 147

Proses atau organisme yang memerlukan oksigen untuk bertahan hidup atau berkembang biak., 147

Aldehid, 14, 148

Senyawa organik dengan grup karbonil, digunakan sebagai disinfektan dan fiksatif., 148

Amplifikasi, 91, 148

Proses meningkatkan jumlah salinan DNA, biasanya menggunakan teknik seperti PCR., 148

Anaerob, 55, 56, 114, 137, 148

Proses atau organisme yang tidak memerlukan oksigen dan seringkali dapat berkembang di lingkungan tanpa oksigen., 148

Antibiotik, 148

Zat yang digunakan untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri., 148

Antiseptik, 14, 148

Zat yang digunakan untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan hidup, seperti kulit., 148

Asam amino, 57, 148

Molekul organik yang merupakan blok pembangun protein., 148

Aseptik, 148

Kondisi atau metode yang bebas dari kontaminasi mikroorganisme., 148

ATP, 52, 148, 152

Molekul energi utama dalam sel yang digunakan untuk berbagai proses biologis., 148

Autoklav, 148

Alat untuk sterilisasi yang menggunakan uap panas bertekanan tinggi., 148

B

Bahan organik, 148

Material yang berasal dari organisme hidup dan mengandung karbon, seperti protein, lemak, dan karbohidrat., 148

Bakteri coliform, 148

Kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator kontaminasi fecal dalam air., 148

Bakteri gram negatif, 149

Bakteri dengan dinding sel tipis yang tidak mengikat pewarna gram dan biasanya memiliki lapisan luar lipopolisakarida., 149

Bakteri gram positif, 149

Bakteri yang memiliki dinding sel tebal yang mengikat pewarna gram dalam proses pewarnaan., 149

Bakteriologi, 149

Ilmu yang mempelajari bakteri, termasuk struktur, fungsi, dan interaksi mereka., 149

Belerang, 116, 127, 149

Unsur kimia yang terlibat dalam sintesis protein dan asam amino., 149

Bioaktivator, 149

Zat atau mikroorganisme yang meningkatkan aktivitas biologis

dalam lingkungan atau sistem biologis., 149

Biofeedback, 149

Teknik yang melibatkan penggunaan perangkat untuk memberikan umpan balik kepada individu tentang proses fisiologis mereka, dengan tujuan mengajarkan mereka cara mengontrol fungsi tubuh tertentu., 149

Biohazard, 149

Bahaya biologis, seperti mikroorganisme atau bahan yang dapat menyebabkan penyakit atau kontaminasi., 149

Biokimia, 149

Ilmu yang mempelajari reaksi kimia dan proses biologis dalam organisme hidup., 149

Biomassa, 149

Massa total organisme hidup dalam area atau volume tertentu., 149

Biosurfaktan, 149

Senyawa permukaan yang dihasilkan oleh mikroorganisme, digunakan untuk menurunkan tegangan permukaan dan meningkatkan proses pembersihan., 149

Bunsen, 8, 61, 149

Alat laboratorium yang digunakan untuk menghasilkan nyala api yang stabil, biasanya untuk pemanasan., 149

C

Casein, 120, 150

Protein utama dalam susu yang digunakan dalam pembuatan keju dan produk **susu lainnya**., 150

Cotton bud, 150

Alat laboratorium yang digunakan untuk mengambil atau menerapkan bahan kecil, sering digunakan dalam prosedur kebersihan., 150

D

Decomposer, 150

Organisme yang memecah bahan organik mati menjadi senyawa yang lebih sederhana, membantu daur ulang nutrisi di ekosistem., 150

Denitrifikasi, 78, 150

Proses biologis di mana nitrat dikonversi menjadi nitrogen gas oleh mikroorganisme, mengurangi kadar nitrat dalam tanah atau air., 150

Desinfeksi, ii, 7, 13, 17, 44, 150

Proses mengurangi jumlah mikroorganisme patogen di permukaan atau benda hingga tidak berbahaya., 150

Deskriptif, 150

Metode atau pendekatan yang berfokus pada penggambaran atau pemaparan fenomena tanpa melakukan analisis statistik atau eksperimental., 150

Diferensial, 150

Teknik atau media yang membedakan antara jenis mikroorganisme berdasarkan karakteristik pertumbuhan atau reaksi., 150

Differential, 150

Metode atau media yang memungkinkan perbedaan antara jenis mikroorganisme berdasarkan sifat atau reaksi tertentu., 150

DNA, 43, 59, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 100, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 148, 150, 152, 155, 156, 157
Molekul yang membawa informasi genetik dalam sel., 150

E

Ekosistem, 150

Sistem yang terdiri dari komunitas makhluk hidup dan lingkungan fisiknya yang saling berinteraksi., 150

Elektron, 150

Partikel subatomik dengan muatan negatif yang terlibat dalam reaksi kimia dan pembentukan ikatan., 150

Endofit, 131, 151

Mikroorganisme atau organisme lain yang hidup di dalam jaringan tanaman tanpa menyebabkan penyakit., 151

Endospora, 151

Struktur tahan lama yang dibentuk oleh beberapa bakteri untuk bertahan dalam kondisi ekstrem., 151

Enzim katalase, 151

Enzim yang memecah hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen., 151

Eosin

Pewarnaan yang digunakan dalam mikroskopi untuk membedakan struktur seluler., 151

Eosin:, 151

Erlenmeyer, 8, 30, 121, 128, 151

Gelas ukur laboratorium berbentuk kerucut dengan leher sempit, sering digunakan untuk pencampuran dan pemanasan cairan., 151

Etil alkohol, 151

Alkohol yang digunakan sebagai antiseptik dan pelarut, sering dalam produk pembersih dan desinfektan., 151

F

Fermentasi, 71, 109, 129, 151

Proses biokimia di mana mikroorganisme mengubah

bahan organik menjadi produk seperti alkohol atau asam laktat., 151

Feses, 117, 120, 131, 133, 134, 136, 151

Limbah biologis dari sistem pencernaan yang dikeluarkan melalui rektum., 151

Fiksasi, 151

Proses mempertahankan struktur sel atau jaringan dengan bahan kimia untuk analisis lebih lanjut., 151

Fitopatogen, 151

Mikroorganisme yang menyebabkan penyakit pada tanaman., 151

Flagella, 151

Struktur panjang seperti ekor pada beberapa sel mikroorganisme yang digunakan untuk bergerak., 151

Formaldehide, 151

Senyawa kimia yang digunakan sebagai disinfektan dan fiksatif dalam laboratorium., 151

Fosfat, 152

Garam atau ester dari asam fosfat, penting untuk proses biologis seperti sintesis DNA dan ATP., 152

Unsur kimia yang merupakan bagian penting dari ATP dan asam nukleat., 152

G

Gelatin, 71, 76, 152

Protein yang diperoleh dari kolagen, digunakan sebagai agen pengental dalam makanan., 152

GLOSARIUM, 147

H

Habitat, 152

Tempat atau lingkungan alami di mana organisme hidup dan berkembang biak., 152

Halogen, 14, 152

Kelas unsur kimia termasuk fluor, klor, brom, dan iodine, sering digunakan sebagai desinfektan., 152

Hydrogen peroksida, 152

Senyawa kimia dengan sifat antiseptik dan disinfektan, digunakan untuk membersihkan luka dan bahan., 152

I

Ikatan glikosidik, 152

Ikatan kimia yang menghubungkan unit monosakarida dalam polisakarida., 152

Indigenous Rhizosfer, 135, 152

Mikroorganisme alami di dalam zona rhizosfer tanaman lokal., 152

Infeksius, 152

Berkaitan dengan infeksi, kondisi di mana mikroorganisme patogen masuk dan berkembang biak dalam tubuh., 152

Insenerasi, 152

Proses pembakaran untuk mengeliminasi limbah, termasuk mikroorganisme., 152

Insulin, 152

Hormon yang mengatur kadar glukosa darah dan diproduksi oleh pankreas., 152

Intraseluler, 71, 152

Terletak di dalam sel., 152

Iodin, 152

Unsur halogen yang digunakan sebagai antiseptik dan desinfektan., 152

Isolasi, 22, 34, 35, 38, 40, 104, 106, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 153

Proses memisahkan atau menanam mikroorganisme dari sampel untuk murni dalam kultur., 153

K

Kalsium, 127, 153

Unsur kimia yang penting untuk kesehatan tulang dan fungsi sel., 153

Karbon, hidrogen, nitrogen, 153

Unsur kimia penting yang membentuk molekul organik dan terlibat dalam berbagai proses biokimia., 153

Kasein, 71, 74, 153

Protein utama dalam susu, digunakan dalam pembuatan keju dan produk susu lainnya., 153

Kitin, 153

Polimer yang membentuk exoskeleton pada serangga dan dinding sel fungi., 153

Klorin, 153

Unsur halogen yang digunakan sebagai desinfektan dan pemutih., 153

Kobalt, 153

Unsur kimia yang merupakan bagian dari vitamin B12 dan penting untuk sintesis sel darah merah., 153

Kodon, 98, 153

Sekelompok tiga nukleotida dalam mRNA yang menentukan asam amino dalam sintesis protein., 153

Koloni, 25, 38, 75, 153

Kelompok mikroorganisme yang berkembang dari satu sel tunggal di media kultur., 153

Kontaminan, 153

Substansi yang tidak diinginkan atau berbahaya yang mencemari bahan atau lingkungan., 153

Konvensi Ramsar, 2, 133, 153

Konvensi internasional yang
berfokus pada perlindungan
lahan basah di seluruh dunia., 153

Kromosom, 88, 92, 153

Struktur di dalam sel yang
mengandung informasi genetik.,
153

Kultivasi, 22, 26, 32, 137, 153

Proses membiakkan
mikroorganisme dalam kondisi
yang dikontrol untuk penelitian
atau produksi., 153

L

Lahan basah, 2, 154

Area yang tergenang air secara
periodik atau terus-menerus,
termasuk rawa, air payau, tanah
gambut, dan tanah lembap., 154

Lahan rawa, 1, 154

Tipe lahan basah yang tergenang air
secara periodik atau terus-
menerus dan memiliki air tanah
yang dangkal., 154

Laktosa, 154

Gula yang ditemukan dalam susu,
terdiri dari glukosa dan
galaktosa., 154

Leguminosae, 30, 154

Keluarga tumbuhan yang mencakup
kacang-kacangan dan polong-
polongan., 154

Lipid, 71, 73, 154

Senyawa organik yang termasuk
lemak, minyak, dan sterol,
berfungsi sebagai cadangan
energi dan bagian dari membran
sel., 154

Lipopolisakarida, 66, 154

Molekul kompleks yang terdiri dari
lipid dan polisakarida, ditemukan
di dinding sel bakteri gram
negatif., 154

Logam berat, 14, 154

Unsur kimia dengan densitas tinggi
dan potensi toksik, seperti timbal,
merkuri, dan kadmium., 154

M

Magnesium, 154

Unsur kimia yang berperan dalam
banyak reaksi enzimatik dan
fungsi otot., 154

Mangan, 154

Unsur kimia yang terlibat dalam
berbagai proses biokimia dan
sebagai kofaktor enzim., 154

**Membran selulosa asetat atau
selulosa nitrat**, 154

Bahan yang digunakan dalam filtrasi
dan pemisahan, sering untuk
memisahkan partikel atau
mikroorganisme., 154

Methylene blue, 68, 154

Pewarnaan yang digunakan dalam
mikroskopi untuk melihat
struktur sel dan mikroorganisme.,
154

Mikoriza, 115, 124, 125, 133, 134, 135,
154

Hubungan simbiotik antara jamur
dan akar tanaman yang
meningkatkan penyerapan nutrisi
oleh tanaman., 154

Molybdenum, 155

Unsur kimia yang terlibat dalam
beberapa reaksi enzimatik., 155

Monosodium glutamat (MSG), 155

Senyawa kimia yang digunakan
sebagai penyedap rasa dalam
makanan., 155

Morfologi, 118, 119, 155

Studi tentang bentuk dan struktur
organisme atau bagian-
bagiannya., 155

Mutagenesis, 101, 155

Proses menyebabkan perubahan
atau mutasi dalam DNA., 155

N

Nikel, 155

Unsur kimia yang terlibat dalam beberapa proses biokimia dan sebagai komponen enzim., 155

Nitrogen, 114, 116, 127, 132, 155

Unsur kimia penting dalam proses biologis, seperti sintesis protein dan DNA., 155

Non simbiotik, 155

Organisme atau proses yang tidak melibatkan simbiosis, yaitu interaksi erat antara organisme yang berbeda., 155

O

Oksigen, 55, 81, 155

Unsur kimia penting untuk respirasi seluler dan berbagai reaksi kimia., 155

Ose, 155

Singkatan dari inokulum, bahan atau proses untuk menanam mikroorganisme dalam kultur., 155

Oven, 9, 155

Alat laboratorium untuk memanaskan atau mengeringkan bahan pada suhu tinggi., 155

P

Pasteurisasi, 13, 155

Proses pemanasan makanan atau minuman untuk membunuh mikroorganisme patogen tanpa merusak kualitas produk., 155

Pati, 71, 72, 155

Polisakarida yang disimpan sebagai cadangan energi dalam tumbuhan., 155

Pektin, 156

Polisakarida yang ditemukan dalam dinding sel tanaman, sering

digunakan sebagai bahan pengental dalam makanan., 156

Pellet, 128, 156

Butiran kecil atau gumpalan yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai media kultur atau bahan bakar., 156

Pembelahan biner, 156

Metode pembelahan sel di mana satu sel membelah menjadi dua sel anak yang identik., 156

Pepton, 156

Campuran protein yang terhidrolisis sebagian, digunakan sebagai sumber nutrisi dalam kultur mikroba., 156

pH, 1, 3, 5, 22, 25, 32, 35, 44, 53, 54, 56, 65, 67, 112, 135, 156

Ukuran konsentrasi ion hidrogen dalam larutan yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaaan., 156

Pilli, 156

Struktur rambut kecil pada permukaan bakteri yang digunakan untuk adhesi atau transfer gen., 156

Plasmid, 89, 90, 91, 156

Molekul DNA tambahan di dalam sel bakteri yang dapat membawa gen tambahan., 156

Polisakarida, 155, 156

Karbohidrat kompleks yang terdiri dari banyak unit monosakarida, seperti amilum dan glikogen., 156

Polymerase Chain Reaction (PCR), 156

Teknik laboratorium untuk memperbanyak atau mengamplifikasi salinan DNA tertentu., 156

Potassium, 156

Unsur kimia penting dalam fungsi seluler, seperti keseimbangan elektrolit., 156

Protozoa, 156

Organisme mikroskopis yang bergerak dengan bantuan flagela, silia, atau pseudopodia dan hidup di lingkungan air atau tanah lembap., 156

Protozoologi, 156

Ilmu yang mempelajari protozoa, yaitu organisme mikroskopis yang termasuk dalam kerajaan Protista, 156

R

Radiasi ionisasi, 12, 157

Radiasi dengan energi tinggi yang dapat mengionisasi atom, sering digunakan dalam sterilisasi., 157

Radioisotope, 157

Isotop radioaktif yang memancarkan radiasi, digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk medis dan penelitian., 157

Rbuskula, 157

Struktur di dalam sel tanaman atau mikroorganisme yang berfungsi dalam berbagai proses biologis., 157

Resisten, 157

Kemampuan mikroorganisme untuk bertahan terhadap efek bahan atau kondisi yang biasanya membunuh atau menghambat mereka., 157

Respirasi anaerob, 157

Proses pembentukan energi tanpa oksigen, seringkali dengan produk sampingan seperti alkohol atau asam laktat., 157

Rhizosfer, 135, 152, 157

Zona di sekitar akar tanaman yang dipengaruhi oleh aktivitas akar dan mikroorganisme di sekitarnya., 157

S

Sekuen, 157

Urutan nukleotida dalam DNA atau RNA., 157

Selulosa, 157

Polimer karbohidrat yang membentuk dinding sel tanaman., 157

Seng, 157

Unsur kimia yang penting untuk sintesis protein dan fungsi sistem kekebalan tubuh., 157

Sinar gamma, 157

Radiasi elektromagnetik dengan energi tinggi, digunakan dalam sterilisasi dan pemrosesan makanan., 157

Sintetik, 157

Terbuat dari bahan buatan atau hasil rekayasa, bukan alami., 157

Sitoplasma, 157

Cairan di dalam sel yang berisi organel dan terlibat dalam berbagai proses seluler., 157

Spora, 158

Bentuk reproduksi tahan lama dari beberapa mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, yang dapat bertahan dalam kondisi ekstrem., 158

Sterilisasi, ii, 7, 8, 9, 10, 13, 14, 15, 17, 158

Proses untuk membunuh semua mikroorganisme, termasuk spora, pada alat atau bahan tertentu., 158

Sulfur, 158

Unsur kimia yang penting dalam sintesis protein dan beberapa vitamin., 158

T

Tembaga, 158

Unsur kimia yang penting untuk fungsi beberapa enzim dan pembentukan hemoglobin., 158

U

Ultraviolet, 158

Sinar elektromagnetik dengan panjang gelombang lebih pendek dari cahaya tampak, sering digunakan untuk disinfeksi., 158

Urin, 158

Cairan biologis yang dihasilkan oleh ginjal dan dikeluarkan melalui sistem kemih., 158

V

Vesikula, 125, 158

Struktur bulat yang berisi cairan atau zat lainnya, biasanya ditemukan di dalam sel., 158

Vitamin, 21, 112, 158

Senyawa organik yang diperlukan dalam jumlah kecil untuk

berbagai fungsi biokimia dalam tubuh., 158

Volumetric, 158

Pengukuran atau metode yang melibatkan volume., 158

Y

Yoghurt, 158

Produk susu fermentasi yang dihasilkan oleh bakteri *Lactobacillus*., 158

Z

Zat besi, 158

Unsur kimia penting dalam transportasi oksigen dalam darah (hemoglobin)., 158

Zeolit, 158

Mineral yang memiliki struktur berpori dan digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemurnian air dan pertanian., 158

GLOSARIUM

Aerob: Proses atau organisme yang memerlukan oksigen untuk bertahan hidup atau berkembang biak.

Aldehid: Senyawa organik dengan grup karbonil, digunakan sebagai disinfektan dan fiksatif.

Amplifikasi: Proses meningkatkan jumlah salinan DNA, biasanya menggunakan teknik seperti PCR.

Anaerob: Proses atau organisme yang tidak memerlukan oksigen dan seringkali dapat berkembang di lingkungan tanpa oksigen.

Antibiotik: Zat yang digunakan untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri.

Antibiotik: Zat yang digunakan untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri.

Antiseptik: Zat yang digunakan untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan hidup, seperti kulit.

Asam amino: Molekul organik yang merupakan blok pembangun protein.

Aseptik: Kondisi atau metode yang bebas dari kontaminasi mikroorganisme.

ATP: Molekul energi utama dalam sel yang digunakan untuk berbagai proses biologis.

Autoklav: Alat untuk sterilisasi yang menggunakan uap panas bertekanan tinggi.

Bahan organik: Material yang berasal dari organisme hidup dan mengandung karbon, seperti protein, lemak, dan karbohidrat.

Bakteri coliform: Kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator kontaminasi fecal dalam air.

Bakteri gram negatif: Bakteri dengan dinding sel tipis yang tidak mengikat pewarna gram dan biasanya memiliki lapisan luar lipopolisakarida.

Bakteri gram positif: Bakteri yang memiliki dinding sel tebal yang mengikat pewarna gram dalam proses pewarnaan.

Bakteriologi: Ilmu yang mempelajari bakteri, termasuk struktur, fungsi, dan interaksi mereka.

Belarang: Unsur kimia yang terlibat dalam sintesis protein dan asam amino.

Bioaktivator: Zat atau mikroorganisme yang meningkatkan aktivitas biologis dalam lingkungan atau sistem biologis.

Biofeedback: Teknik yang melibatkan penggunaan perangkat untuk memberikan umpan balik kepada individu tentang proses fisiologis mereka, dengan tujuan mengajarkan mereka cara mengontrol fungsi tubuh tertentu.

Biohazard: Bahaya biologis, seperti mikroorganisme atau bahan yang dapat menyebabkan penyakit atau kontaminasi.

Biokimia: Ilmu yang mempelajari reaksi kimia dan proses biologis dalam organisme hidup.

Biomassa: Massa total organisme hidup dalam area atau volume tertentu.

Biosurfaktan: Senyawa permukaan yang dihasilkan oleh mikroorganisme, digunakan untuk menurunkan tegangan permukaan dan meningkatkan proses pembersihan.

Bunsen: Alat laboratorium yang digunakan untuk menghasilkan nyala api yang stabil, biasanya untuk pemanasan.

Casein: Protein utama dalam susu yang digunakan dalam pembuatan keju dan produk **susu lainnya**.

Cotton bud: Alat laboratorium yang digunakan untuk mengambil atau menerapkan bahan kecil, sering digunakan dalam prosedur kebersihan.

Decomposer: Organisme yang memecah bahan organik mati menjadi senyawa yang lebih sederhana, membantu daur ulang nutrisi di ekosistem.

Denitrifikasi: Proses biologis di mana nitrat dikonversi menjadi nitrogen gas oleh mikroorganisme, mengurangi kadar nitrat dalam tanah atau air.

Desinfeksi: Proses mengurangi jumlah mikroorganisme patogen di permukaan atau benda hingga tidak berbahaya.

Deskriptif: Metode atau pendekatan yang berfokus pada penggambaran atau pemaparan fenomena tanpa melakukan analisis statistik atau eksperimental.

Diferensial: Teknik atau media yang membedakan antara jenis mikroorganisme berdasarkan karakteristik pertumbuhan atau reaksi.

Differential: Metode atau media yang memungkinkan perbedaan antara jenis mikroorganisme berdasarkan sifat atau reaksi tertentu.

DNA: Molekul yang membawa informasi genetik dalam sel.

Ekosistem: Sistem yang terdiri dari komunitas makhluk hidup dan lingkungan fisiknya yang saling berinteraksi.

Elektron: Partikel subatomik dengan muatan negatif yang terlibat dalam reaksi kimia dan pembentukan ikatan.

Endofit: Mikroorganisme atau organisme lain yang hidup di dalam jaringan tanaman tanpa menyebabkan penyakit.

Endospora: Struktur tahan lama yang dibentuk oleh beberapa bakteri untuk bertahan dalam kondisi ekstrem.

Enzim katalase: Enzim yang memecah hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.

Eosin: Pewarnaan yang digunakan dalam mikroskopi untuk membedakan struktur seluler.

Erlenmeyer: Gelas ukur laboratorium berbentuk kerucut dengan leher sempit, sering digunakan untuk pencampuran dan pemanasan cairan.

Etil alkohol: Alkohol yang digunakan sebagai antiseptik dan pelarut, sering dalam produk pembersih dan desinfektan.

Fermentasi: Proses biokimia di mana mikroorganisme mengubah bahan organik menjadi produk seperti alkohol atau asam laktat.

Feses: Limbah biologis dari sistem pencernaan yang dikeluarkan melalui rektum.

Fiksasi: Proses mempertahankan struktur sel atau jaringan dengan bahan kimia untuk analisis lebih lanjut.

Fitopatogen: Mikroorganisme yang menyebabkan penyakit pada tanaman.

Flagella: Struktur panjang seperti ekor pada beberapa sel mikroorganisme yang digunakan untuk bergerak.

Formaldehide: Senyawa kimia yang digunakan sebagai disinfektan dan fiksatif dalam laboratorium.

Fosfat: Garam atau ester dari asam fosfat, penting untuk proses biologis seperti sintesis DNA dan ATP.

Fosfat: Unsur kimia yang merupakan bagian penting dari ATP dan asam nukleat.

Gelatin: Protein yang diperoleh dari kolagen, digunakan sebagai agen pengental dalam makanan.

Habitat: Tempat atau lingkungan alami di mana organisme hidup dan berkembang biak.

Halogen: Kelas unsur kimia termasuk fluor, klor, brom, dan iodin, sering digunakan sebagai desinfektan.

Hydrogen peroksida: Senyawa kimia dengan sifat antiseptik dan desinfektan, digunakan untuk membersihkan luka dan bahan.

Ikatan glikosidik: Ikatan kimia yang menghubungkan unit monosakarida dalam polisakarida.

Indigenous Rhizosfer: Mikroorganisme alami di dalam zona rhizosfer tanaman lokal.

Infeksius: Berkaitan dengan infeksi, kondisi di mana mikroorganisme patogen masuk dan berkembang biak dalam tubuh.

Insenerasi: Proses pembakaran untuk mengeliminasi limbah, termasuk mikroorganisme.

Insulin: Hormon yang mengatur kadar glukosa darah dan diproduksi oleh pankreas.

Intraseluler: Terletak di dalam sel.

Iodin: Unsur halogen yang digunakan sebagai antiseptik dan desinfektan.

Isolasi: Proses memisahkan atau menanam mikroorganisme dari sampel untuk murni dalam kultur.

Kalsium: Unsur kimia yang penting untuk kesehatan tulang dan fungsi sel.

Karbon, hidrogen, nitrogen: Unsur kimia penting yang membentuk molekul organik dan terlibat dalam berbagai proses biokimia.

Kasein: Protein utama dalam susu, digunakan dalam pembuatan keju dan produk susu lainnya.

Kitin: Polimer yang membentuk exoskeleton pada serangga dan dinding sel fungi.

Klorin: Unsur halogen yang digunakan sebagai desinfektan dan pemutih.

Kobalt: Unsur kimia yang merupakan bagian dari vitamin B12 dan penting untuk sintesis sel darah merah.

Kodon: Sekelompok tiga nukleotida dalam mRNA yang menentukan asam amino dalam sintesis protein.

Koloni: Kelompok mikroorganisme yang berkembang dari satu sel tunggal di media kultur.

Kontaminan: Substansi yang tidak diinginkan atau berbahaya yang mencemari bahan atau lingkungan.

Konvensi Ramsar: Konvensi internasional yang berfokus pada perlindungan lahan basah di seluruh dunia.

Kromosom: Struktur di dalam sel yang mengandung informasi genetik.

Kultivasi: Proses membiakkan mikroorganisme dalam kondisi yang dikontrol untuk penelitian atau produksi.

Lahan basah: Area yang tergenang air secara periodik atau terus-menerus, termasuk rawa, air payau, tanah gambut, dan tanah lembap.

Lahan rawa: Tipe lahan basah yang tergenang air secara periodik atau terus-menerus dan memiliki air tanah yang dangkal.

Laktosa: Gula yang ditemukan dalam susu, terdiri dari glukosa dan galaktosa.

Leguminoseae: Keluarga tumbuhan yang mencakup kacang-kacangan dan polong-polongan.

Lipid: Senyawa organik yang termasuk lemak, minyak, dan sterol, berfungsi sebagai cadangan energi dan bagian dari membran sel.

Lipopolisakarida: Molekul kompleks yang terdiri dari lipid dan polisakarida, ditemukan di dinding sel bakteri gram negatif.

Logam berat: Unsur kimia dengan densitas tinggi dan potensi toksik, seperti timbal, merkuri, dan kadmium.

Magnesium: Unsur kimia yang berperan dalam banyak reaksi enzimatik dan fungsi otot.

Mangan: Unsur kimia yang terlibat dalam berbagai proses biokimia dan sebagai kofaktor enzim.

Membran selulosa asetat atau selulosa nitrat: Bahan yang digunakan dalam filtrasi dan pemisahan, sering untuk memisahkan partikel atau mikroorganisme.

Methylene blue: Pewarnaan yang digunakan dalam mikroskopi untuk melihat struktur sel dan mikroorganisme.

Mikoriza: Hubungan simbiotik antara jamur dan akar tanaman yang meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman.

Molybdenum: Unsur kimia yang terlibat dalam beberapa reaksi enzimatik.

Monosodium glutamat (MSG): Senyawa kimia yang digunakan sebagai penyedap rasa dalam makanan.

Morfologi: Studi tentang bentuk dan struktur organisme atau bagian-bagiannya.

Mutagenesis: Proses menyebabkan perubahan atau mutasi dalam DNA.

Nikel: Unsur kimia yang terlibat dalam beberapa proses biokimia dan sebagai komponen enzim.

Nitrogen: Unsur kimia penting dalam proses biologis, seperti sintesis protein dan DNA.

Non simbiotik: Organisme atau proses yang tidak melibatkan simbiosis, yaitu interaksi erat antara organisme yang berbeda.

Oksigen: Unsur kimia penting untuk respirasi seluler dan berbagai reaksi kimia.

Ose: Singkatan dari inokulum, bahan atau proses untuk menanam mikroorganisme dalam kultur.

Oven: Alat laboratorium untuk memanaskan atau mengeringkan bahan pada suhu tinggi.

Pasteurisasi: Proses pemanasan makanan atau minuman untuk membunuh mikroorganisme patogen tanpa merusak kualitas produk.

Pati: Polisakarida yang disimpan sebagai cadangan energi dalam tumbuhan.

Pektin: Polisakarida yang ditemukan dalam dinding sel tanaman, sering digunakan sebagai bahan pengental dalam makanan.

Pellet: Butiran kecil atau gumpalan yang digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk sebagai media kultur atau bahan bakar.

Pembelahan biner: Metode pembelahan sel di mana satu sel membelah menjadi dua sel anak yang identik.

- Pepton:** Campuran protein yang terhidrolisis sebagian, digunakan sebagai sumber nutrisi dalam kultur mikroba.
- pH:** Ukuran konsentrasi ion hidrogen dalam larutan yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan.
- Pilli:** Struktur rambut kecil pada permukaan bakteri yang digunakan untuk adhesi atau transfer gen.
- Plasmid:** Molekul DNA tambahan di dalam sel bakteri yang dapat membawa gen tambahan.
- Polisakarida:** Karbohidrat kompleks yang terdiri dari banyak unit monosakarida, seperti amilum dan glikogen.
- Polymerase Chain Reaction (PCR):** Teknik laboratorium untuk memperbanyak atau mengamplifikasi salinan DNA tertentu.
- Potassium:** Unsur kimia penting dalam fungsi seluler, seperti keseimbangan elektrolit.
- Protozoa:** Organisme mikroskopis yang bergerak dengan bantuan flagela, silia, atau pseudopodia dan hidup di lingkungan air atau tanah lembap.
- Protozoologi:** Ilmu yang mempelajari protozoa, yaitu organisme mikroskopis yang termasuk dalam kerajaan Protista
- Radiasi ionisasi:** Radiasi dengan energi tinggi yang dapat mengionisasi atom, sering digunakan dalam sterilisasi.
- Radioisotope:** Isotop radioaktif yang memancarkan radiasi, digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk medis dan penelitian.
- Rbuskula:** Struktur di dalam sel tanaman atau mikroorganisme yang berfungsi dalam berbagai proses biologis.

Resisten: Kemampuan mikroorganisme untuk bertahan terhadap efek bahan atau kondisi yang biasanya membunuh atau menghambat mereka.

Respirasi anaerob: Proses pembentukan energi tanpa oksigen, seringkali dengan produk sampingan seperti alkohol atau asam laktat.

Rhizosfer: Zona di sekitar akar tanaman yang dipengaruhi oleh aktivitas akar dan mikroorganisme di sekitarnya.

Sekuen: Urutan nukleotida dalam DNA atau RNA.

Selulosa: Polimer karbohidrat yang membentuk dinding sel tanaman.

Seng: Unsur kimia yang penting untuk sintesis protein dan fungsi sistem kekebalan tubuh.

Sinar gamma: Radiasi elektromagnetik dengan energi tinggi, digunakan dalam sterilisasi dan pemrosesan makanan.

Sintetik: Terbuat dari bahan buatan atau hasil rekayasa, bukan alami.

Sitoplasma: Cairan di dalam sel yang berisi organel dan terlibat dalam berbagai proses seluler.

Spora: Bentuk reproduksi tahan lama dari beberapa mikroorganisme, seperti bakteri dan jamur, yang dapat bertahan dalam kondisi ekstrem.

Sterilisasi: Proses untuk membunuh semua mikroorganisme, termasuk spora, pada alat atau bahan tertentu.

Sulfur: Unsur kimia yang penting dalam sintesis protein dan beberapa vitamin.

Tembaga: Unsur kimia yang penting untuk fungsi beberapa enzim dan pembentukan hemoglobin.

Ultraviolet: Sinar elektromagnetik dengan panjang gelombang lebih pendek dari cahaya tampak, sering digunakan untuk disinfeksi.

Urin: Cairan biologis yang dihasilkan oleh ginjal dan dikeluarkan melalui sistem kemih.

Vesikula: Struktur bulat yang berisi cairan atau zat lainnya, biasanya ditemukan di dalam sel.

Vitamin: Senyawa organik yang diperlukan dalam jumlah kecil untuk berbagai fungsi biokimia dalam tubuh.

Volumetric: Pengukuran atau metode yang melibatkan volume.

Yoghurt: Produk susu fermentasi yang dihasilkan oleh bakteri lactobacillus.

Zat besi: Unsur kimia penting dalam transportasi oksigen dalam darah (hemoglobin).

Zeolit: Mineral yang memiliki struktur berpori dan digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk pemurnian air dan pertanian.

BIODATA PENULIS



Meliyana Aini, M.Pd

Dosen Program Studi Pendidikan IPA
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Lambung Mangkurat

Penulis lahir di Jember tanggal 05 November 1994. Penulis adalah dosen ASN pada Program Studi Pendidikan IPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lambung Mangkurat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program studi Pendidikan Biologi Jurusan PMIPA Universitas Jember dengan judul skripsi perbedaan daya hambat ekstrak daun kendal (*Cordia obliqua*) terhadap pertumbuhan bakteri *Shigella dysenteriae* dan *Salmonella typhi* serta pemanfaatannya sebagai buku ilmiah populer. Penulis melanjutkan S2 pada Program Studi Pendidikan IPA di Universitas Jember dengan judul tesis pengembangan model pembelajaran PEACE untuk pembelajaran IPA di SMP. Penulis telah banyak mengampu mata kuliah seperti mikrobiologi, sains lahan basah, biologi dasar, mikologi, teknik laboratorium, struktur perkembangan hewan, dll. Penulis juga telah memiliki publikasi karya tentang STEM, Model PjBL dan beberapa materi tentang Gen. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: meliyana.aini@ulm.ac.id



Wida Salupi, M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan IPA
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Lambung Mangkurat

Penulis lahir di Brebes, 29 Juli 1989. Penulis adalah dosen ASN pada Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Lambung Mangkurat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sebelas Maret dengan minat penulis sejak dibangku sarjana di bidang mikrobiologi molekuler dengan judul skripsi skrining aktivitas xilanolitik isolat dari *Attacus atlas* dan identifikasi dengan sekuens 16S rRNA. Penulis melanjutkan studi S2 pada jurusan Bioteknologi di Institut Pertanian Bogor dan melakukan penelitian di Lembaga Pengetahuan Indonesia (LIPI) sekarang menjadi BRIN dengan judul tesis Produksi Xilooligosakarida dari tongkol jagung menggunakan bakteri *Aktinomisetes*.

Setelah beberapa tahun bekerja sebagai dosen, penulis telah banyak mengampu mata kuliah seperti mikrobiologi, mikrobiologi pertanian, mikrobiologi pangan, bioteknologi pangan, teknologi kultur jaringan, pengembangan bioproduk, fisiologi tumbuhan, biologi tumbuhan, biofuel, biokimia tumbuhan maupun literasi digital dan kemanusiaan,

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: wida.salupi@ulm.ac.id



Syubhan An-nur, M.Pd

Dosen Program Studi Pendidikan IPA
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lambung
Mangkurat

Penulis lahir di Banjarmasin 07 November 1979. Sejak tahun 2015 menjadi pengajar di Program Studi Pendidikan IPA dan menjadi Ketua Program studi masa jabatan 2023-2027.

Penulis aktif sebagai konsultan di bidang pendidikan, ekonomi/keuangan, sosial, pariwisata dan budaya dan kesehatan lingkungan, menjadi narasumber pada berbagai acara maupun siaran di radio. Penulis saat ini sedang menempuh pendidikan doktornya di Universitas Negeri Semarang.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:
subhan_sains@rocketmail.com



Drs. Maya Istyadi, M.Pd

Dosen Program Studi Pendidikan IPA
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Lambung Mangkurat

Penulis lahir di Grobogan, 25 Agustus 1967. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Lambung Mangkurat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan MIPA dan melanjutkan S2 Jurusan Pendidikan Kimia.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: maya_kimia@ulm.ac.id



Ikhwan Khairu Sadiqin, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan IPA
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Lambung Mangkurat

Penulis lahir di Kandangan, 06 Agustus 1991. Penulis adalah dosen ASN pada Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Lambung Mangkurat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Lambung Mangkurat. Penulis melanjutkan studi S2 pada Program Magister Pendidikan IPA di Universitas Lambung Mangkurat. Penulis telah menekuni pengajaran sebagai praktisi di berbagai instansi. Tahun 2017 memulai pengalaman mengajar sebagai Asisten Dosen di Prodi S1 Pendidikan IPA ULM. Tahun 2019 menjadi Dosen Luar Biasa di FTK UIN Antasari. Mendedikasikan diri dalam Tri Dharma sebagai dosen tetap Pendidikan IPA dari tahun 2023. Penulis aktif meneliti dan mempublikasikan tulisan pada berbagai media. Karya unggulan yang telah diterbitkan seperti Bahan Ajar Berbasis Problem Solving: Perubahan Benda-Benda di Sekitar Kita (2018), buku Ilmu Alamiah Dasar: Pendekatan Berpikir Kritis dalam Konteks Lingkungan Lahan Basah (2020) untuk mata kuliah perguruan tinggi, Pendidikan Lingkungan Hidup Berbasis Lahan Basah. (2021). Termasuk artikel pada jurnal ilmiah internasional bereputasi seperti *Students' Caring Attitudes to Wetland Environment: A Case of Environmental Education in Banjar District Indonesia* (2021).

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail : ikhwan.sadiqin@ulm.ac.id



Yudha Irhasyuarna, M.Pd

Dosen Program Studi Pendidikan IPA
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Lambung Mangkurat

Penulis lahir di Tarakan, 16 Juni 1969. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Pendidikan IPA dan S2 Pendidikan IPA, Universitas Lambung Mangkurat. Menyelesaikan pendidikan S1 Pendidikan Kimia ULM dan S2 Pendidikan Kimia Universitas Negeri Malang. Penulis telah banyak melaksanakan penelitian, pengabdian dan banyak publikasi diberbagai jurnal terindexs sinta maupun scopus. Publikasi terbaru tahun 2023 yaitu dengan judul *Implementation of merdeka belajar differentiated instruction in science learning to improve student's science literacy* dan *Mapping critical thinking skills of junior high school students in the city of a thousand rivers based on local wisdom*.

Penulis dapat dihubungi melalui e-mail:
yudhairhasyuarna@ulm.ac.id



Ratna Yulinda, M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan IPA
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Lambung
Mangkurat

Penulis lahir di Pematang Panjang tanggal 7 September 1985. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan IPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lambung Mangkurat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan PMIPA Program Studi Pendidikan Biologi dan melanjutkan jenjang Magister pada Pendidikan Biologi Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat. Buku yang telah dipublikasikan antara lain Media Pembelajaran Biologi, Fisiologi Perkembangan Tumbuhan, Mikrobiologi Berbasis Bioentrepreneuership untuk Calon Pendidik IPA dan Ensiklopedia Flora di Pulau Curiak. Penulis tertarik meneliti dan mempublikasikan artikel di bidang pendidikan Biologi dan IPA, pengembangan bahan ajar media pembelajaran, serta Desain Pembelajaran, Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: ratna.yulinda@ulm.ac.id

SINOPSIS BUKU

Buku Ajar "Mikrobiologi Lahan Basah berbasis STEM-PjBL " mengupas secara mendalam konsep tentang mikrobiologi dan bagaimana mengajarkan konsep mikrobiologi kepada mahasiswa dengan memanfaatkan lahan disekitar yaitu lahan basah dengan pendekatan STEM dan model pembelajaran *Project Based Learning* (PjBL). Selain itu, dalam buku ini diberikan proyek atau contoh pembelajaran menarik yang dapat dilakukan oleh pengajar sehingga mahasiswa akan lebih aktif dalam proses pembelajaran dan mahasiswa mampu memahami tentang konsep mikrobiologi.