



BUKU AJAR

MIKROBIOLOGI KLINIS DAN INFEKSI

Penulis:

Kurniawan | Sri Tati Rukiyani | Fitriana | Valentine Hursepuny
Siti Kurniawati | Achmad Rizki Azhari | Erlinawati | Andi Indrawati
Winda Irawati Zebua | Zuriani Rizki | Maya Sari | Baiq Isti Hijriani

BUKU AJAR MIKROBIOLOGI KLINIS DAN INFEKSI

Penulis:

**Kurniawan; Sri Tati Rukiyani; Fitriana; dr. Valentine
Hursepuny; Siti Kurniawati; Achmad Rizki Azhari;
Erlinawati; Andi Indrawati; Winda Irawati Zebua;
Zuriani Rizki; Maya Sari; Baiq Isti Hijriani**

Editor:

Ni Putu Sinta Puspa Dewi



PT. Mustika Sri

BUKU AJAR MIKROBIOLOGI KLINIS DAN INFEKSI

Penulis:

Kurniawan; Sri Tati Rukiyani; Fitriana; dr. Valentine Hursepuny; Siti Kurniawati; Achmad Rizki Azhari; Erlinawati; Andi Indrawati; Winda Irawati Zebua; Zuriani Rizki; Maya Sari; Baiq Isti Hijriani

Editor: Ni Putu Sinta Puspa Dewi

Layout: Tim PT. Mustika Sri Rosadi

Desain Sampul: Febriansyah

ISBN: 978-634-7535-16-0 (PDF)

Cetakan Pertama: 3 November 2025

Hak Cipta 2025

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

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

Diterbitkan oleh PT Penerbit Mustika Sri Rosadi

Alamat Penerbit: Citra Indah City, Bukit Heliconia AG 23/32, Kecamatan Jonggol, Kab. Bogor.

Email: mars.mustikasrirosadi@gmail.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku "Biomedik" ini dapat disusun dan diselesaikan. Buku ini dirancang sebagai sumber pembelajaran yang komprehensif bagi mahasiswa dan tenaga kesehatan dalam memahami dasar-dasar mikrobiologi klinis dan infeksi, antara lain identifikasi bakteri, virus, jamur dan parasite serta uji sensitivitas antibiotik untuk memastikan terapi yang tepat.

Dengan penyajian yang sistematis, buku ini diharapkan dapat menjadi referensi yang praktis dan aplikatif di dunia akademik dan klinis. Penulis menyadari masih terdapat kekurangan, untuk itu masukan dan saran dari pembaca sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung tersusunnya buku ini. Semoga bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan praktik di bidang kesehatan.

Bogor, 3 November 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1. PENGENALAN MIKROBIOLOGI KLINIS –	
Kurniawan	1
A. Pendahuluan	1
B. Kelompok Mikroba Penting di Bidang Mikrobiologi Klinik.....	4
C. Pentingnya Diagnosis Cepat dan Akurat	10
BAB 2. TEKNIK KULTUR DAN ISOLASI	
MIKROORGANISME - Sri Tati Rukiyani	14
A. Prinsip Kultur dan Isolasi	14
B. Pengambilan dan Penanganan Spesimen	16
C. Media Kultur.....	20
D. Teknik Kultur Bakteri.....	23
E. Teknik Kultur Jamur.....	26
F. Teknik Isolasi Mikroorganisme	29
G. Kualitas, Keselamatan, Biosafety	31
H. Latihan Soal	33
BAB 3. MIKROSKOPI DAN TEKNIK PEWARNAAN UNTUK	
DIAGNOSA INFEKSI - Fitriana. S	37
A. Pendahuluan	37
B. Prosedur Pemakaian Mikroskop.....	38
C. Teknik Pewarnaan Gram.....	42
D. Teknik Pewarnaan Ziehl-Neelsen	46
Gambar 3.4 Teknik Pewarnaan Ziehl-Neelsen.....	48
3. Interpretasi Hasil	49

E. Pewarnaan Spora Bakteri – Metode Klien	49
F. Teknik Pewarnaan Granula Bakteri – Metode Neisser	51
G. Kesimpulan tentang Metode Pewarnaan Mikrobiologi.....	53
H. Latihan Soal	55
BAB 4. PEMERIKSAAN BAKTERIOLOGI DALAM	
DIAGNOSIS INFEKSI - Valentine Hursepuny	60
A. Pendahuluan	60
B. Metode Diagnostik Konvensional.....	63
C. Metode Diagnostik Modern.....	67
D. Kesimpulan	82
E. Latihan Soal	83
BAB 5. PEMERIKSAAN VIRULENSI DAN GENETIK	
PATOGEN - Siti Kurniawati	88
A. Pendahuluan: Konsep Virulensi dan Pemeriksaan Genetik Patogen	88
B. Virulensi dan Determinan Genetik.....	89
C. Prinsip Pemilihan Target Gen Virulensi.....	91
D. Potensial Target Gen Berdasarkan Jenis Patogen	91
E. Prinsip dan Prosedur PCR	94
F. Latihan Soal	96
BAB 6. INFEKSI SALURAN PERNAFASAN ATAS DAN	
BAWAH - Achmad Rizki Azhari	100
A. Pendahuluan	100
B. Infeksi Saluran Pernapasan Atas (ISPA)	104
C. Infeksi Saluran Pernapasan Bawah (ISPB)	120

D. Pencegahan dan Pengendalian Infeksi Saluran Pernapasan	148
E. Latihan Soal	154
BAB 7. INFEKSI SISTEM PENCERNAAN – Erlinawati	158
A. Pendahuluan	158
B. Bakteri Penyebab Infeksi Sistem Pencernaan.....	159
C. Isolasi Dan Identifikasi Bakteri Penyebab Infeksi Sistem Pencernaan	164
D. Latihan Soal	169
BAB 8. INFEKSI SALURAN KEMIH DAN SISTEM REPRODUKSI - Andi Indrawati	173
A. Pendahuluan	173
B. Anatomi dan Fisiologi Saluran Kemih dan Sistem Reproduksi	173
C. Patogenesis Infeksi Saluran Kemih (ISK)	177
D. Patogenesis Infeksi Sistem Reproduksi	180
E. Latihan Soal	187
BAB 9. INFEKSI KULIT DAN JARINGAN LUNAK - Winda Irawati Zebua	191
A. Pendahuluan	191
B. Diagnosis Mikrobiologi Infeksi Kulit, Jaringan Lunak, dan Gangren	198
C. Latihan Soal	201
BAB 10. DIAGNOSIS INFEKSI PARASIT - Zuriani Rizki	205
A. Pendahuluan	205
B. Klasifikasi Parasit dan gejala Klinis	205
C. Pendekatan Diagnosis	207
D. Gejala Klinis Umum.....	208

E. Pemeriksaan Penunjang Dasar.....	208
F. Metode Diagnosis Laboratorium	209
G. Diagnosis Berdasarkan Lokasi Infeksi.....	214
H. Interpretasi Hasil Pemeriksaan.....	216
I. Algoritma Diagnosis.....	217
J. Tantangan dalam Diagnosis Parasit.....	218
K. Perkembangan Teknologi Diagnosis.....	220
L. Kontrol Kualitas dan Standarisasi.....	221
M. Kesimpulan	222
N. Latihan Soal	223
BAB 11. PEMERIKSAAN JAMUR DAN MIKOLOGI KLINIS -	
Maya Sari	225
A. Pendahuluan	225
B. Prinsip Umum Pengambilan Sampel dan Transport	
.....	225
C. Pemeriksaan Mikroskopis Langsung	226
D. Kultur dan Identifikasi Klasik.....	233
E. Teknik Molekuler	234
F. Serologi dan Deteksi Antigen.....	236
G. Latihan Soal	238
BAB 12. TEKNOLOGI BARU DALAM MIKROBIOLOGI	
KLINIS - Baiq Isti Hijriani	243
A. Pendahuluan	243
A. Teknologi Molekuler dalam Mikrobiologi Klinis	244
B. Real Time PCR (qPCR).....	244
C. Multiplex PCR.....	247
D. Microarray	249

E. Next Generation Sequencing (NGS) dalam Identifikasi Mikrobiologi.....	251
F. Latihan Soal	254
DAFTAR PUSTAKA.....	259
BIOGRAFI PENULIS.....	296
BIODATA EDITOR	320
LAMPIRAN.....	322
SINOPSIS.....	325

BAB 1. PENGENALAN MIKROBIOLOGI KLINIS

A. Pendahuluan

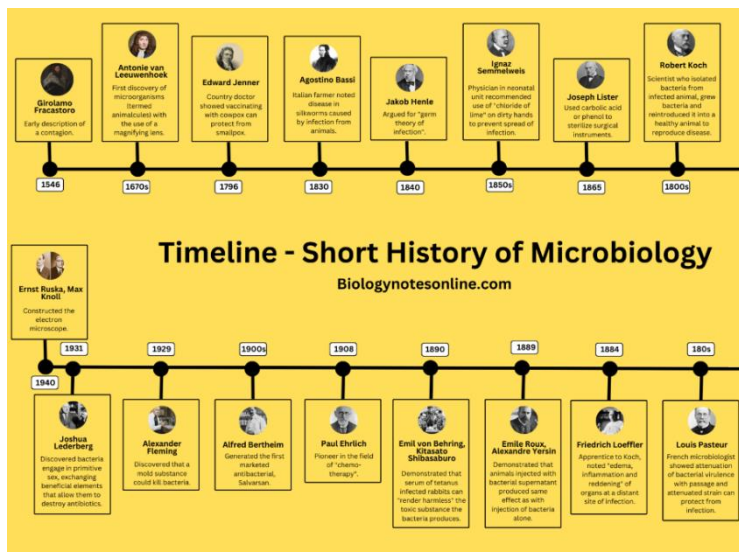
Mikrobiologi klinis merupakan cabang ilmu yang mempelajari tentang mikroba penyebab penyakit pada manusia beserta peranannya dalam diagnosis, pengobatan, dan pencegahan infeksi. Cabang ilmu ini menjadi jembatan yang menghubungkan antara ilmu mikrobiologi dasar dengan praktik medis di berbagai pusat layanan kesehatan seperti klinik, puskesmas ataupun rumah sakit dengan cara menyediakan data dan informasi hasil pemeriksaan laboratorium yang dijadikan sebagai dasar dalam penentuan terapi antimikroba yang tepat serta strategi pengendalian infeksi di fasilitas pelayanan kesehatan oleh para dokter atau tenaga kesehatan lainnya. Secara historis, lahirnya mikrobiologi klinis tidak terlepas dari penemuan mikroba oleh Antonie van Leeuwenhoek pada abad ke-17 dan teori kuman penyakit (germ theory) oleh Louis Pasteur serta Robert Koch pada akhir abad ke-19. Dari sinilah berkembang konsep bahwa setiap penyakit infeksi memiliki agen penyebab spesifik yang dapat diidentifikasi dan dikendalikan.

Di masa modern ini, ilmu mikrobiologi klinis semakin berkembang pesat karena didukung oleh kemajuan teknologi diagnostik dan ilmu biologi molekuler. Saat ini, identifikasi mikroba patogen tidak

hanya mengandalkan metode klasik konvensional seperti pewarnaan Gram, kultur pada media pertumbuhan, dan uji biokimia saja, tetapi saat ini telah menggunakan metode modern seperti polymerase chain reaction (PCR), real-time PCR, MALDI-TOF mass spectrometry, dan whole genome sequencing (WGS). Dengan kemajuan ilmu mikrobiologi klinik saat ini, memungkinkan pemeriksaan laboratorium dapat dilakukan melalui deteksi cepat (rapid test) mikroba patogen dengan hasil pemeriksaan yang tepat dan berpresisi tinggi. Selain itu, mikrobiologi klinik telah mampu untuk mendeteksi beberapa mikroba patogen yang sulit dikultur atau mikroba patogen baru seperti SARS-CoV-2. Dengan demikian, mikrobiologi klinis merupakan cabang ilmu yang memiliki masa lalu luar biasa, masa sekarang yang penting, dan masa depan yang cerah, mengingat kemampuannya untuk terus berkembang dan beradaptasi terhadap dinamika penyakit menular global.

Di Indonesia, peran penting dari ilmu mikrobiologi klinis sangat terasa terutama ketika terjadi pandemi COVID-19, mengingat dengan menguasai ilmu ini, dokter dan tenaga kesehatan sangat terbantu untuk melakukan deteksi dini, pelacakan genetik virus, dan juga pengujian massal. Laboratorium mikrobiologi klinis menjadi garda terdepan dalam pengujian RT-PCR serta identifikasi

varian baru SARS-CoV-2. Selain itu, peningkatan kasus resistensi antibiotik seperti yang terjadi pada bakteri *Klebsiella pneumoniae* dan *Escherichia coli* yang sudah resisten terhadap antibiotik karbapenem menuntut adanya peningkatan kapasitas laboratorium dalam melakukan uji kepekaan antimikroba (AST). Laporan Kementerian Kesehatan RI tahun 2024 menunjukkan bahwa resistensi antibiotik masih menjadi ancaman kesehatan masyarakat yang serius, dengan lebih dari 40% isolat bakteri yang diperoleh dari pasien (bakteri klinis) memiliki pola resistensi terhadap lebih dari satu jenis obat (multi-drug resistant).



Gambar 1.1 Sejarah perkembangan ilmu mikrobiologi klinik dari dulu hingga saat ini.

(<https://biologynotesonline.com/history-of-microbiology/>)

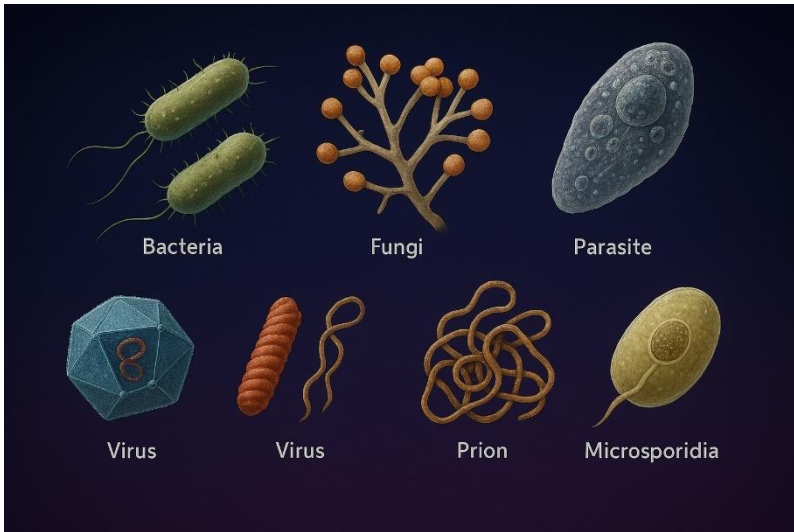
Lebih lanjut, saat ini telah ditemukan metode otomatisasi laboratorium dan pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) dalam analisis data mikrobiologi klinis sehingga hal ini akan semakin mempercepat proses diagnostik dan meningkatkan tingkat akurasi hasil. Berkembangnya ilmu bioinformatika yang diintegrasikan dengan big data analysis akan mewujudkan masa depan ilmu mikrobiologi klinis yang cerah dan modern, serta memungkinkan deteksi pola epidemiologi secara real-time dan mempermudah pengawasan global terhadap mikroba patogen baru.

Dengan demikian, ilmu mikrobiologi klinis bukan hanya sekadar disiplin ilmu di laboratorium, tetapi merupakan elemen yang penting dan strategis dalam sistem kesehatan masyarakat. Ilmu ini berperan langsung dalam pengambilan keputusan dokter terkait terapi, surveilans penyakit menular, serta upaya pengendalian resistensi antimikroba. Dalam konteks nasional dan global, mikrobiologi klinis berdiri di garis depan untuk memastikan bahwa setiap kasus penyakit infeksi dapat ditangani berdasarkan bukti ilmiah yang akurat dan cepat.

B. Kelompok Mikroba Penting di Bidang Mikrobiologi Klinik

Pemahaman tentang jenis-jenis mikroba yang relevan secara klinis sangat penting karena setiap kelompok memiliki karakteristik biologis dan klinis yang berbeda, serta membutuhkan pendekatan

diagnosis dan terapi yang spesifik. Mikroba utama yang sering menyebabkan penyakit pada manusia mencakup bakteri, virus, jamur (fungi), parasit, serta agen infeksi non-konvensional seperti prion dan mikrosporidia.



Gambar 1.2. Jenis-jenis mikroba penting dalam mikrobiologi klinis

1. Bakteri

Bakteri merupakan mikroba bersel tunggal dengan struktur prokariotik yang mampu hidup di berbagai lingkungan. Dalam konteks klinis, beberapa bakteri merupakan flora normal tubuh, namun dapat berubah menjadi patogen oportunistik ketika sistem imun melemah. Bakteri patogen primer seperti *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*,

Mycobacterium tuberculosis, dan *Pseudomonas aeruginosa* sering menjadi penyebab utama infeksi pada manusia.

Di Indonesia, kasus infeksi bakteri resisten antibiotik (AMR) terus meningkat. Data terbaru menunjukkan bahwa isolat *Klebsiella pneumoniae* dan *Acinetobacter baumannii* yang resisten terhadap karbapenem meningkat tajam di rumah sakit besar. Contoh kasus adalah wabah infeksi nosokomial yang disebabkan oleh bakteri *K. pneumoniae* ESBL di unit perawatan intensif neonatus, yang mengakibatkan peningkatan mortalitas hingga 30% sebelum dilakukan pengendalian infeksi ketat dan surveilans laboratorium mikrobiologi. Dari kasus ini, kita dapat menilai pentingnya pengawasan ketat penggunaan antibiotik dan peran laboratorium mikrobiologi klinis dalam deteksi dini resistensi obat.

2. Jamur (Fungi)

Jamur merupakan organisme eukariotik yang bersifat saprofit, komensal, maupun patogen. Infeksi jamur pada manusia (mikosis) dapat bersifat superfisial (kulit, kuku, rambut), subkutan, maupun sistemik. Contoh jamur patogen yang penting diantaranya adalah *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus*, *Cryptococcus neoformans*, dan *Histoplasma capsulatum*.

Di Indonesia, infeksi jamur invasif meningkat terutama pada pasien dengan kondisi imunokompromi. Studi di salah satu rumah sakit melaporkan adanya kasus aspergilosis invasif pada pasien leukemia yang menjalani kemoterapi, dengan hasil kultur menunjukkan *Aspergillus flavus*. Kasus lain adalah kandidemia pada pasien ICU dengan ventilator dan penggunaan antibiotik spektrum luas yang disebabkan oleh *Candida parapsilosis*. Selain itu, hasil penelitian lainnya menemukan bahwa 18% pasien COVID-19 berat mengalami ko-infeksi jamur oportunistik, terutama *Candida* spp., yang memperparah kondisi klinis dan meningkatkan angka mortalitas. Relevansi klinis dari kasus-kasus tersebut menunjukkan bahwa pemeriksaan kultur jamur, uji sensitivitas antijamur, serta metode molekuler seperti PCR jamur menjadi bagian penting dari diagnosis laboratorium mikrobiologi modern.

3. Parasit

Parasit merupakan organisme eukariotik yang hidup dengan bergantung pada inangnya untuk bertahan hidup. Parasit yang relevan secara klinis dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu protozoa (bersel tunggal) dan *helminth* (cacing). Di Indonesia, infeksi parasit masih menjadi masalah endemis di banyak wilayah, terutama di daerah atau pedesaan.

Kasus protozoa *Plasmodium falciparum* penyebab malaria berat masih banyak ditemukan di wilayah Indonesia timur. Laporan dari Dinas Kesehatan mencatat lebih dari 250.000 kasus malaria dengan resistensi sebagian terhadap obat artemisinin. Kasus *helminth* akibat infeksi *Soil-Transmitted Helminths* (STH) seperti *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, dan *Ancylostoma duodenale* masih banyak ditemukan pada anak sekolah dasar dengan prevalensi 25–35%. Kasus zoonosis parasit menunjukkan kasus toksokariasis pada anak dengan gejala viseral larva migrans, akibat kontak erat dengan hewan peliharaan tanpa sanitasi memadai. Relevansi klinis dari kasus-kasus tersebut menunjukkan bahwa diagnosis mikroskopis dan serologis masih menjadi metode utama di daerah terbatas, namun pendekatan molekuler mulai diterapkan di balai atau lembaga yang lebih besar.

4. Virus

Virus adalah agen infeksi yang tidak memiliki struktur seluler dan hanya dapat bereplikasi di dalam sel inang. Di bidang klinik, virus menjadi penyebab utama penyakit akut dan kronik, mulai dari infeksi saluran napas hingga penyakit sistemik. Contoh virus yang sangat relevan secara klinis antara lain *SARS-CoV-2*, *Dengue virus*, *Hepatitis B*

virus (HBV), *Hepatitis C virus* (HCV), dan *Human Immunodeficiency Virus* (HIV).

Di Indonesia, virus dengue masih menjadi salah satu penyebab utama rawat inap anak dan dewasa. Data dari Kementerian kesehatan mencatat lebih dari 114.000 kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) dengan angka kematian 0,77%. Selain itu, sejak pandemi COVID-19 tahun 2020, laboratorium mikrobiologi klinis memainkan peran sentral dalam mendeteksi virus SARS-CoV-2 dengan metode RT-PCR dan *whole genome sequencing* (WGS), termasuk dalam mengidentifikasi *varian Delta* dan *Omicron* yang dominan di Indonesia pada 2021–2022. Contoh kasus di salah satu RSUD ditemukan kasus ko-infeksi SARS-CoV-2 dan *Mycobacterium tuberculosis*, yang memperberat gejala dan memperpanjang masa perawatan. Relevansi klinisnya adalah, bahwa Deteksi cepat virus melalui metode molekuler dan koordinasi lintas laboratorium sangat menentukan dalam upaya pengendalian penyakit menular di tingkat nasional.

5. Agen Non-Konvensional dan Mikroba Lain

Selain kelompok mikroba di atas, masih ada beberapa agen infeksi non-konvensional seperti prion dan mikrosporidia. Prion adalah protein infeksius penyebab penyakit neurodegeneratif seperti *Creutzfeldt-Jakob Disease* (CJD). Meskipun

kasusnya sangat jarang di Indonesia, laporan dari Kementerian kesehatan mencatat satu kasus dugaan CJD pada pasien usia lanjut di Jakarta dengan gejala yang cepat dan progresif. Mikrosporidia, merupakan parasit intraseluler yang semula dikategorikan sebagai protozoa, namun kini dianggap lebih dekat ke fungi. Kasus infeksi mikrosporidia dilaporkan telah terjadi di Indonesia pada pasien HIV/AIDS dengan diare kronis yang disebabkan oleh *Enterocytozoon bienersi*. Relevansi klinis dari kasus ini, walau jarang, agen infeksius ini tetap penting untuk diperhatikan dan diwaspadai karena prion dan mikrosporidia sulit dideteksi dengan metode konvensional, diperlukan teknik pewarnaan khusus atau pemeriksaan molekuler.

C. Pentingnya Diagnosis Cepat dan Akurat

Diagnosis dalam mikrobiologi klinis bukan hanya soal "mengetahui mikroba mana" yang menyebabkan infeksi, tetapi lebih menekankan pada *seberapa cepat* dan *seberapa akurat* proses identifikasi dapat dilakukan. Perlu diingat bahwa proses identifikasi ini sangat sangat menentukan perjalanan klinis pasien, efektivitas terapi, penggunaan sumber daya kesehatan, dan pencegahan penyebaran infeksi. Berikut ini adalah beberapa aspek penting dari diagnosis penyakit secara cepat dan akurat.

1. Tujuan Diagnosis Mikrobiologi Klinis

Diagnosis mikrobiologi klinis memiliki beberapa tujuan utama meliputi:

- a. Menentukan agen penyebab infeksi seperti bakteri, virus, jamur, atau parasit; spesies dan strain spesifik penting terutama bila ada varian yang berbeda dalam virulensi atau resistensi.
- b. Menetapkan terapi yang tepat, agar pemberian obat (antibiotik, antivirus, antifungi) bisa disesuaikan berdasarkan jenis mikroba dan profil kepekaannya, bukan hanya berdasarkan dugaan klinis atau empiris.
- c. Mengurangi penggunaan terapi empiris, penggunaan obat spektrum luas yang salah atau tidak perlu berpotensi memicu resistensi, efek samping, beban biaya.
- d. Meningkatkan prognosis pasien, diagnosis yang cepat dapat menurunkan morbiditas dan mortalitas, memperpendek durasi penyakit, dan meningkatkan kesempatan pemulihan dan penyembuhan pasien.
- e. Pengendalian infeksi dan kesehatan masyarakat, identifikasi cepat memungkinkan tindakan pengendalian (isolasi, pelacakan kontak, karantina, desinfeksi) sehingga pencegahan penyebaran di komunitas atau rumah sakit bisa lebih efektif.

2. Dampak Keterlambatan Diagnosis terhadap Terapi dan *Outcome* Pasien

- a. Meningkatnya mortalitas dan morbiditas: Banyak studi menunjukkan bahwa keterlambatan dalam diagnosis infeksi berat seperti sepsis atau infeksi aliran darah dapat berakibat fatal dan menurunkan peluang hidup pasien. Studi terkait HIV menunjukkan bahwa pasien dengan diagnosis yang ditunda memiliki angka kematian jauh lebih tinggi dibanding dengan proses diagnosis langsung (tidak ditunda).
- b. Perpanjangan pengobatan dan rawat inap: Terapi yang dilakukan terlambat berpotensi akan menjadikan durasi perawatan dan terapi menjadi lebih panjang karena infeksi telah meluas (menyebarkan) dan kerusakan jaringannya telah berada pada level parah atau komplikasi.
- c. Biaya kesehatan lebih tinggi: Rawat inap yang lama, penggunaan obat lebih banyak, perawatan komplikasi (misalnya di ICU) akan meningkatkan biaya perawatan kesehatan.
- d. Peningkatan risiko resistensi antimikroba: Saat proses identifikasi belum selesai dilakukan, biasanya dilakukan terapi empiris menggunakan obat spektrum luas yang sering kali tidak tepat sehingga memacu munculnya bakteri yang resisten.

3. Tantangan dalam Diagnosis Cepat dan Akurat

- a. Keterbatasan sumber daya: Peralatan molekuler, teknisi terlatih, biaya reagen dan perawatan serta distribusi alat ke daerah terpencil masih menjadi hambatan di banyak tempat, termasuk di Indonesia.
- b. Kualitas spesimen dan infrastruktur pengiriman: Spesimen yang tidak ditangani dengan baik atau dikirim dalam waktu yang lama ke laboratorium dapat mengalami kerusakan, kontaminasi, atau mikroba telah mati sehingga hasil diagnosisnya dapat berupa negatif palsu.
- c. Sensitivitas dan spesifisitas: Beberapa metode cepat mungkin kurang sensitif jika konsentrasi mikroba rendah, atau memiliki *cross-reactivity* sehingga bisa muncul hasil positif palsu.
- d. Integrasi hasil diagnostik ke klinik: Tidak cukup hanya dengan alat cepat; dokter dan tenaga kesehatan yang bekerja juga harus siap dan mampu menggunakan hasil pemeriksaan untuk terapi, disertai dengan adanya kebijakan, pedoman, atau *stewardship* antibiotik yang mendukung.
- e. Pelaporan dan regulasi: Validasi lokal, standar akreditasi, dan pengawasan hasil diagnostik cepat harus dilakukan secara tepat dan cermat agar hasilnya konsisten dan dapat dipercaya.

BAB 2. TEKNIK KULTUR DAN ISOLASI MIKROORGANISME

A. Prinsip Kultur dan Isolasi

Kultur dan isolasi mikroorganisme merupakan prosedur mendasar dalam mikrobiologi klinis yang bertujuan memperoleh kultur murni sehingga dapat dipelajari secara lebih mendalam. Melalui kultur murni, ilmuwan maupun tenaga laboratorium medis dapat menilai karakteristik fisiologis, morfologis, maupun biokimia mikroorganisme tertentu tanpa adanya kontaminasi dari spesies lain. Hal ini penting karena identifikasi mikroorganisme penyebab infeksi sangat bergantung pada ketersediaan kultur yang benar-benar mewakili satu jenis mikroba (Willey *et al.*, 2017)

Tujuan utama dari kultur dan isolasi antara lain: (1) memperoleh kultur murni dari satu jenis mikroorganisme; dan (2) mempelajari sifat-sifat mikroba, seperti kebutuhan nutrisi, pola pertumbuhan, maupun kemampuan patogeniknya. Dengan demikian, isolasi mikroorganisme tidak hanya berperan dalam diagnosis klinis, tetapi juga menjadi pintu masuk bagi penelitian dasar maupun aplikasi terapeutik (Madigan *et al.*, 2018).

Secara prinsip, isolasi mikroorganisme dilakukan melalui beberapa tahapan penting. (1) pengenceran dan pemisahan sel, karena mikroorganisme dalam

sampel klinis biasanya bercampur dalam jumlah besar. Proses pengenceran pada media padat (agar) maupun media cair membantu mengurangi jumlah sel sehingga memungkinkan terbentuknya koloni tunggal yang berasal dari satu sel induk. (2) pertumbuhan pada media yang sesuai, yaitu media pertumbuhan steril yang menyediakan nutrisi serta kondisi lingkungan optimal. (3) pemisahan fisik dengan teknik cawan gores, cawan tuang, atau cawan sebar untuk memisahkan sel-sel mikroba secara mekanis pada permukaan atau di dalam media padat. (4) verifikasi kemurnian, yakni memastikan bahwa koloni yang diperoleh benar-benar berasal dari satu jenis sel tunggal melalui pengamatan morfologi koloni, pewarnaan, maupun uji biokimia (Ordonez *et al.*, 2025; Sanders, 2012).

Beberapa metode umum yang sering digunakan antara lain:

1. Cawan Gores (*Streak Plate*): Menggoreskan suspensi bakteri secara zig-zag pada permukaan media agar di cawan petri untuk menghasilkan koloni terpisah (Cheng, 2022).
2. Cawan Tuang (*Pour Plate*): Mencampurkan suspensi bakteri dengan media agar cair yang telah didinginkan, kemudian menuangkannya ke dalam cawan petri sehingga koloni dapat tumbuh baik di permukaan maupun di dalam agar (Cheng, 2022).

3. Cawan Sebar (*Spread Plate*): Meneteskan suspensi bakteri yang telah diencerkan ke permukaan media agar lalu menyebarkannya secara merata dengan alat steril (Cheng, 2022).

Penerapan prinsip dan metode umum diharapkan mikroorganisme dari sampel klinis dapat diisolasi secara efektif sehingga mendukung proses identifikasi, diagnosis infeksi, serta pengembangan terapi antimikroba.

B. Pengambilan dan Penanganan Spesimen

Pengambilan dan penanganan spesimen merupakan tahap awal yang sangat krusial dalam diagnosis mikrobiologi klinis. Kualitas spesimen sangat menentukan keberhasilan identifikasi mikroorganisme penyebab infeksi. Spesimen yang tidak dikumpulkan dengan benar, tidak disimpan sesuai prosedur, atau terkontaminasi dapat menghasilkan hasil yang salah, baik negatif palsu maupun positif palsu (CDC, 2023). Oleh karena itu, penerapan prinsip aseptik menjadi hal yang mutlak selama proses pengambilan dan penanganan spesimen.

1. Prinsip Aseptik dan Kualitas Spesimen

Prinsip aseptik bertujuan untuk mencegah masuknya mikroorganisme asing dari lingkungan ke dalam spesimen. Petugas laboratorium harus menggunakan alat pelindung diri (APD) yang

sesuai, seperti sarung tangan, masker, dan jas laboratorium, serta memastikan bahwa wadah spesimen dalam keadaan steril dan tertutup rapat. Setiap spesimen harus diberi label identitas pasien secara lengkap untuk menghindari kesalahan diagnosis. Selain itu, waktu pengiriman ke laboratorium sebaiknya sesingkat mungkin agar viabilitas mikroorganisme tetap terjaga (WHO, 2022).

Spesimen harus diambil sebelum pasien menerima terapi antibiotik, karena penggunaan antibiotik dapat menurunkan jumlah mikroorganisme hidup dan menyulitkan proses isolasi (Madigan *et al.*, 2018). Pengambilan juga harus dilakukan pada lokasi infeksi yang tepat—misalnya, aspirasi langsung dari abses lebih baik daripada mengambil swab dari permukaan luka.

2. Jenis Spesimen Klinis

Berbagai jenis spesimen klinis digunakan dalam pemeriksaan mikrobiologi tergantung pada lokasi dan jenis infeksi. Jenis-jenis spesimen utama meliputi:

- a. Darah (Blood) — digunakan untuk mendeteksi bakteremia, septicemia, atau infeksi sistemik. Pengambilan dilakukan dengan teknik steril melalui vena, biasanya sebanyak 10–20 mL, dan segera dimasukkan

ke dalam botol media kultur darah yang mengandung antikoagulan (Tortora *et al.*, 2018).

- b. Urin (Urine) — spesimen penting untuk diagnosis infeksi saluran kemih. Pengambilan dilakukan dengan metode *midstream clean catch* untuk mencegah kontaminasi flora normal dari uretra atau kulit (Tortora *et al.*, 2018).
- c. Sputum — dikumpulkan untuk pemeriksaan infeksi saluran pernapasan, terutama pneumonia dan tuberkulosis. Sputum harus berasal dari saluran pernapasan bawah, bukan air liur, agar hasil representatif (Tortora *et al.*, 2018).
- d. Pus (Nanah) — digunakan dalam diagnosis infeksi kulit, abses, atau luka bernanah. Aspirasi dengan jarum steril lebih disarankan dibandingkan swab karena meminimalkan kontaminasi (Tortora *et al.*, 2018).
- e. Cairan tubuh lain seperti *cerebrospinal fluid (CSF)*, *pleural fluid*, *synovial fluid*, dan *peritoneal fluid* diambil secara invasif dengan teknik steril di bawah pengawasan medis (Tortora *et al.*, 2018).

Masing-masing jenis spesimen harus segera dikirim ke laboratorium dengan mempertimbangkan jenis media transport yang sesuai.

3. Media Transport dan Penyimpanan Sementara

Media transport berfungsi mempertahankan viabilitas mikroorganisme selama proses pengiriman ke laboratorium, tanpa menyebabkan multiplikasi yang berlebihan. Beberapa media transport yang umum digunakan meliputi:

- a. Stuart's Transport Medium – digunakan untuk spesimen dari saluran pernapasan atau genital yang mungkin mengandung *Neisseria* atau *Haemophilus* (Willey *et al.*, 2017).
- b. Amies Medium (dengan atau tanpa arang) – sering digunakan untuk swab tenggorokan, luka, atau uretra; arang membantu menyerap zat toksik yang dapat membunuh mikroba (Willey *et al.*, 2017).
- c. Cary-Blair Medium digunakan untuk spesimen tinja yang dicurigai mengandung patogen enterik seperti *Salmonella*, *Shigella*, atau *Vibrio cholerae* (Willey *et al.*, 2017).

Suhu penyimpanan juga sangat penting: sebagian besar spesimen sebaiknya disimpan pada suhu 4°C jika tidak segera dikultur, kecuali untuk spesimen darah, CSF, dan gonokokus yang harus disimpan pada suhu kamar atau diinkubasi segera.

4. Faktor yang Mempengaruhi Viabilitas Mikroorganisme

Beberapa faktor yang memengaruhi kelangsungan hidup (viabilitas) mikroorganisme dalam spesimen antara lain:

- a. Waktu dan suhu penyimpanan: Penundaan pengiriman dan suhu yang tidak sesuai dapat menyebabkan kematian mikroba sensitif atau multiplikasi mikroba kontaminan.
- b. pH dan kelembapan media: Kondisi pH ekstrem dapat menurunkan viabilitas, terutama pada mikroorganisme fastidious.
- c. Paparan oksigen: Beberapa mikroorganisme seperti *Clostridium* bersifat anaerob dan akan mati bila terpapar udara.
- d. Bahan kimia pengawet atau desinfektan: Residu antiseptik atau bahan pengawet pada alat pengambil sampel dapat menghambat pertumbuhan mikroba (Madigan *et al.*, 2018; Tortora *et al.*, 2018).

Penanganan spesimen yang tepat sesuai pedoman standar laboratorium sangat penting untuk memastikan hasil pemeriksaan yang akurat dan reliabel.

C. Media Kultur

Media kultur merupakan komponen utama dalam proses pertumbuhan dan isolasi mikroorganisme di laboratorium. Media berfungsi sebagai sumber nutrisi dan lingkungan buatan yang mendukung metabolisme serta reproduksi mikroba. Pemilihan media yang tepat sangat penting agar

mikroorganisme dari spesimen klinis dapat tumbuh optimal, sehingga memungkinkan identifikasi yang akurat (Tortora *et al.*, 2018).

Secara umum, media kultur dapat diklasifikasikan berdasarkan tujuan dan komposisinya. Berdasarkan fungsinya, media dibedakan menjadi empat kategori utama: media umum (general purpose media), media selektif (selective media), media diferensial (differential media), dan media pengkayaan (enrichment media) (Forbes *et al.*, 2022).

1. Media umum seperti *Nutrient agar* dan *Tryptic Soy Agar (TSA)* digunakan untuk menumbuhkan berbagai jenis bakteri non-fastidious yang tidak memerlukan faktor pertumbuhan khusus.
2. Media selektif mengandung bahan kimia tertentu (seperti garam empedu, antibiotik, atau pewarna) yang menghambat pertumbuhan mikroorganisme tertentu tetapi mendukung spesies lain. Contohnya, *MacConkey agar* digunakan untuk menyeleksi bakteri Gram-negatif enterik dengan menghambat pertumbuhan bakteri Gram-positif.
3. Media diferensial memungkinkan perbedaan visual antar spesies melalui reaksi biokimia, misalnya *MacConkey agar* yang juga bersifat diferensial karena membedakan bakteri fermenter laktosa (koloni merah muda) dari non-fermenter (koloni tidak berwarna).
4. Media pengkayaan seperti *Selenite broth* atau *Tetrathionate broth* dirancang untuk

meningkatkan populasi mikroba tertentu yang jumlahnya sedikit dalam spesimen campuran (Madigan *et al.*, 2018).

Untuk kultur jamur, digunakan media khusus seperti *Sabouraud Dextrose Agar (SDA)*, yang memiliki pH sedikit asam (sekitar 5.6) dan kandungan glukosa tinggi untuk menghambat pertumbuhan bakteri tetapi mendukung pertumbuhan kapang dan ragi. Variasi media seperti *Sabouraud Chloramphenicol Agar* atau *Potato Dextrose Agar (PDA)* sering digunakan untuk isolasi jamur patogen dari spesimen klinis (Forbes *et al.*, 2022).

Pemilihan media sangat bergantung pada jenis spesimen dan dugaan mikroorganisme penyebab infeksi. Misalnya, spesimen urin biasanya ditanam pada *Blood agar* dan *MacConkey agar* untuk mendeteksi *Enterobacteriaceae*, sedangkan sputum ditanam pada *Chocolate agar* dan *Blood agar* untuk mendeteksi *Haemophilus* atau *Streptococcus pneumoniae*. Untuk luka atau pus, media tambahan seperti *Anaerobic Blood Agar* digunakan untuk mengidentifikasi bakteri anaerob (Doern *et al.*, 2019).

Selain komposisi nutrisi, faktor-faktor seperti pH, kelembapan, dan kondisi oksigen juga harus disesuaikan dengan kebutuhan mikroba. Misalnya, *Campylobacter jejuni* memerlukan kondisi mikroaerofilik, sedangkan *Clostridium spp.* memerlukan kondisi anaerob. Dengan demikian, pemilihan media dan kondisi inkubasi yang tepat

menjadi kunci keberhasilan dalam kultur mikrobiologi klinis (Belay *et al.*, 2020).

D. Teknik Kultur Bakteri

Kultur bakteri merupakan langkah penting dalam diagnosis mikrobiologi klinis untuk menumbuhkan dan mengidentifikasi bakteri patogen dari spesimen pasien. Tujuan utama teknik kultur adalah memperoleh koloni bakteri yang dapat diamati secara morfologis dan diuji lebih lanjut melalui pewarnaan atau uji biokimia. Setiap metode kultur dirancang untuk tujuan tertentu, baik untuk isolasi, enumerasi, maupun peningkatan jumlah mikroorganisme (Willey *et al.*, 2017)).

1. Metode *Streak Plate* (Cawan Gores)

Metode *streak plate* digunakan untuk memperoleh koloni tunggal dari campuran mikroba. Prinsipnya adalah menggoreskan inokulum bakteri secara bertahap dan menipis di atas permukaan media agar steril menggunakan ose atau loop. Teknik ini menghasilkan area dengan kerapatan sel yang berkurang secara bertahap, sehingga pada bagian akhir goresan dapat diperoleh koloni terpisah yang berasal dari satu sel tunggal (Tortora *et al.*, 2018). Metode ini paling sering digunakan dalam laboratorium klinik karena sederhana, cepat, dan efektif untuk isolasi awal spesimen seperti urin, sputum, atau pus.

2. Metode *Spread Plate* (Cawan Sebar)

Metode *spread plate* digunakan untuk menghitung jumlah mikroorganisme yang hidup (*viable count*) dalam suatu sampel cair. Suspensi bakteri yang telah diencerkan ditetaskan ke permukaan media padat, kemudian disebar merata menggunakan *L-shaped spreader* steril. Setelah inkubasi, koloni yang tumbuh di permukaan dihitung dan dilaporkan sebagai *colony-forming units per milliliter (CFU/mL)*. Metode ini sangat berguna dalam pemeriksaan kuantitatif, seperti uji kualitas air, makanan, atau cairan tubuh dengan jumlah bakteri yang rendah (Madigan *et al.*, 2018).

3. Metode *Pour Plate* (Cawan Tuang)

Pada metode *pour plate*, suspensi bakteri yang telah diencerkan dicampurkan dengan media agar cair (suhu $\pm 45\text{--}50^\circ\text{C}$) dan kemudian dituangkan ke dalam cawan petri steril. Setelah mengeras, koloni akan tumbuh baik di permukaan maupun di dalam agar. Metode ini memungkinkan perhitungan total populasi mikroba dalam sampel dan sering digunakan untuk uji mikrobiologi kuantitatif (Forbes *et al.*, 2022).

4. Kultur Cair

Selain media padat, media cair (*broth culture*) digunakan untuk memperbanyak jumlah mikroba

secara cepat. Media seperti *Nutrient broth* atau *Brain Heart Infusion (BHI) broth* sering digunakan untuk pertumbuhan bakteri fastidious maupun non-fastidious. Kultur cair juga digunakan untuk uji biokimia, seperti *oxidase test* atau *motility test*, serta untuk persiapan inokulum dalam penelitian lanjutan (Bonnet *et al.*, 2019).

5. Kondisi Inkubasi

Keberhasilan kultur bakteri sangat bergantung pada kondisi inkubasi yang sesuai. Faktor utama yang diperhatikan meliputi suhu, atmosfer, dan lama inkubasi (Bonnet *et al.*, 2019).

- a. Suhu: Sebagian besar bakteri patogen manusia tumbuh optimal pada suhu 35–37°C.
- b. Atmosfer: Beberapa bakteri memerlukan kondisi khusus, seperti *anaerob* (misalnya *Clostridium spp.*), *mikroaerofilik* (misalnya *Campylobacter jejuni*), atau *CO₂-enriched* (misalnya *Neisseria gonorrhoeae*).
- c. Waktu inkubasi: Umumnya 18–24 jam, namun beberapa bakteri seperti *Mycobacterium tuberculosis* memerlukan waktu hingga beberapa minggu (Gutierrez *et al.*, 2018; Lagier *et al.*, 2015).

Kombinasi teknik kultur dan kondisi inkubasi yang tepat akan menghasilkan pertumbuhan koloni yang optimal, memudahkan proses identifikasi morfologi, pewarnaan Gram, serta uji biokimia lanjutan. Oleh karena itu, pemahaman

mengenai prinsip dan aplikasi setiap metode menjadi dasar penting bagi tenaga laboratorium dalam mikrobiologi klinis.

E. Teknik Kultur Jamur

Kultur jamur merupakan bagian penting dalam diagnosis infeksi mikotik pada manusia. Berbeda dengan bakteri, jamur memiliki struktur sel eukariotik dan pertumbuhan yang lebih lambat, sehingga memerlukan media dan kondisi inkubasi yang disesuaikan. Tujuan utama kultur jamur adalah untuk mengisolasi dan mengidentifikasi spesies penyebab infeksi, terutama pada kasus dermatofitosis, kandidiasis, aspergilosis, dan mikosis sistemik (Tortora *et al.*, 2018).

1. Media Khusus untuk Jamur

Media yang digunakan untuk menumbuhkan jamur harus mendukung pertumbuhan kapang (*mold*) maupun ragi (*yeast*), serta menghambat pertumbuhan bakteri kontaminan. Media yang umum digunakan antara lain:

- a. *Sabouraud Dextrose Agar* (SDA): media dasar dengan pH asam (± 5.6) dan kandungan glukosa tinggi, mendukung pertumbuhan jamur dan menghambat bakteri.
- b. *Sabouraud Chloramphenicol Agar*: SDA yang ditambah antibiotik (chloramphenicol) untuk mencegah kontaminasi bakteri.

- c. *Potato Dextrose Agar* (PDA): digunakan untuk memperjelas karakteristik morfologi koloni jamur seperti warna dan tekstur.
- d. *Corn Meal Agar* (CMA): sering digunakan untuk mengamati struktur khas ragi seperti hifa semu dan klamidospora pada *Candida albicans*.

Pemilihan media harus disesuaikan dengan jenis spesimen dan dugaan jamur patogen. Misalnya, pada spesimen kulit dan kuku lebih disarankan *SDA dengan cycloheximide*, karena dapat menghambat jamur saprofit (Das *et al.*, 2010; Scognamiglio *et al.*, 2010).

2. Kondisi Inkubasi

Jamur umumnya tumbuh lebih lambat dibandingkan bakteri, dengan waktu inkubasi antara 2 hingga 4 minggu tergantung jenis spesies.

Faktor lingkungan yang perlu diperhatikan meliputi:

- a. Suhu: umumnya 25–30°C untuk jamur saprofit dan dermatofit, sedangkan jamur patogen dimorfik seperti *Histoplasma capsulatum* tumbuh optimal pada 35–37°C.
- b. Kelembapan: kelembapan tinggi diperlukan untuk mempertahankan viabilitas spora dan konidia.
- c. Atmosfer: sebagian besar jamur bersifat aerob, tetapi beberapa ragi dapat tumbuh

dalam kondisi mikroaerofilik (Forbes *et al.*, 2022).

Inkubasi biasanya dilakukan dalam kondisi tertutup untuk mencegah penyebaran spora ke lingkungan. Pengamatan awal biasanya dilakukan setiap 2–3 hari untuk memantau pertumbuhan koloni dan mencegah kontaminasi silang.

3. Pengamatan Morfologi Koloni

Setelah koloni tumbuh, identifikasi awal dapat dilakukan melalui pengamatan makroskopik dan mikroskopik.

- a. Makroskopik: mencakup warna permukaan dan balik koloni, tekstur (seperti beludru, kapas, atau granular), serta kecepatan pertumbuhan.
- b. Mikroskopik: dilakukan dengan metode *Lactophenol Cotton Blue (LPCB)* untuk mengamati struktur hifa, spora, konidia, dan klamidospora.

Ciri morfologi ini membantu membedakan genus seperti *Aspergillus*, *Penicillium*, *Candida*, dan *Trichophyton* (Willey *et al.*, 2017)

4. Keamanan dan Penanganan Kultur Jamur

Karena spora jamur dapat mudah menyebar melalui udara, penanganan kultur harus dilakukan di dalam biosafety cabinet (BSC) kelas II. Penggunaan masker, sarung tangan, dan

desinfeksi area kerja dengan alkohol 70% atau larutan hipoklorit sangat penting untuk mencegah infeksi laboratorium (Berche, 2025; Burnett *et al.*, 2009). Kultur positif harus disimpan dalam wadah tertutup rapat dan dimusnahkan sesuai prosedur biosafety level 2 (BSL-2) sebelum dibuang sebagai limbah biologis.

F. Teknik Isolasi Mikroorganisme

Isolasi mikroorganisme bertujuan untuk memperoleh *kultur murni*—yakni populasi mikroba yang berasal dari satu sel tunggal dan memiliki sifat genetik yang sama. Kultur murni sangat penting untuk memastikan hasil identifikasi dan uji biokimia yang akurat, serta menghindari interpretasi yang salah akibat adanya kontaminasi atau campuran mikroba lain (Madigan *et al.*, 2018).

1. Isolasi dari Media Padat

Proses isolasi biasanya dilakukan pada media padat yang memungkinkan koloni tumbuh terpisah satu sama lain. Koloni tunggal yang muncul dari hasil inokulasi (misalnya pada metode *streak plate*) dapat diambil menggunakan jarum ose steril dan dipindahkan ke media baru untuk memperoleh kultur murni. Setiap koloni memiliki morfologi khas seperti bentuk, warna, tepi, dan elevasi yang dapat menjadi indikasi awal terhadap

jenis mikroorganisme (Ordenez *et al.*, 2025; Sanders, 2012).

2. Subkultur untuk Pemurnian

Jika hasil awal masih menunjukkan adanya campuran beberapa koloni berbeda, maka dilakukan *subkultur* dengan memindahkan koloni yang tampak homogen ke media baru secara aseptik. Langkah ini dapat diulang beberapa kali sampai diperoleh pertumbuhan mikroba tunggal yang stabil. Subkultur juga dilakukan untuk memperbanyak stok kultur yang akan digunakan dalam identifikasi lanjutan atau uji sensitivitas antibiotik (Bonnet *et al.*, 2019).

3. Tantangan dalam Isolasi Polimikroba

Beberapa spesimen klinis, seperti sputum, pus, atau cairan luka, sering kali mengandung campuran mikroorganisme (*polimikroba*). Kondisi ini menyulitkan proses isolasi karena mikroba dengan pertumbuhan cepat dapat menutupi koloni lain yang lebih lambat tumbuh. Untuk mengatasi hal ini, digunakan media selektif atau diferensial yang dapat menekan pertumbuhan mikroba tertentu dan mempermudah pemisahan spesies target (Ehrmann *et al.*, 2013; Wong *et al.*, 2018).

4. Kriteria Keberhasilan Isolasi

Isolasi dianggap berhasil apabila diperoleh koloni tunggal yang seragam secara morfologis dan tidak menunjukkan kontaminasi silang. Kultur murni yang dihasilkan kemudian dapat digunakan untuk tahap identifikasi mikroskopik, uji biokimia, atau analisis genetik. Keberhasilan isolasi juga sangat bergantung pada penerapan prinsip aseptik, pemilihan media yang sesuai, serta kondisi inkubasi yang optimal bagi mikroba target (Wan *et al.*, 2023).

G. Kualitas, Keselamatan, Biosafety

Dalam kegiatan kultur mikroorganisme, kualitas hasil sangat bergantung pada kebersihan dan penerapan teknik aseptik. Kontaminasi silang dapat terjadi apabila peralatan, media, atau area kerja terpapar mikroba lain dari lingkungan atau operator. Pencegahannya dilakukan melalui sterilisasi alat menggunakan autoklaf atau oven, penggunaan alat pelindung diri (APD), serta bekerja di dalam *biosafety cabinet* jika menangani mikroba patogen. Setiap tahapan harus dilakukan dengan disiplin aseptik, termasuk penutupan wadah segera setelah digunakan dan pembersihan permukaan kerja dengan desinfektan sebelum serta sesudah kegiatan (Mohapatra, 2017).