

BAKTERIOLOGI



Bagas Ardiyantoro M.Farm | Dismo Katiandagho, SST, M.Kes.Epid
Herry Hermansyah, AMAK, SKM., M.Kes | Jasman, S.Pd, M.kes
Firdaus Fahdi, M.Pd | Adelia Febriyossa, S.Si, M.Si
Joice Mermy Laoh, S.Pd., S.Kep.,Ners., M.Kep
Dr. Nastiti Intan Permata Sari, S.Si, M.Ked.Trop
Suwarja, S.Pd, M.Kes | Okto Asriatno, S.Pd., M.Si
apt. Zola Efa Harnis, S. Farm., M. Si | apt. Rika Puspita Sari, S. Farm., M.Si
Dr. apt. Bunga Rimta Barus, S.Farm,M.Si | dr Adinta Anandani Sp.MK
apt. Nadia Raihana, S,Farm., M.Farm | dr. Putu Yuliandari, S.Ked., Ph.D
Dewinta Nur Alvionita, S.Si., M.Si | apt. Lidia Klorida Br Barus, S.Farm., M.Farm
apt.Nina Irmayanti Hrp,S.Si., M.Si | Apt, Fathul Jannah, S.Si., SpFRS
drh. Ade Meliala, M.Si

BAKTERIOLOGI

Bagas Ardiyantoro M.Farm
Dismo Katiandagho, SST, M.Kes.Epid
Herry Hermansyah, AMAK, SKM., M.Kes
Jasman, S.Pd, M.kes
Firdaus Fahdi, M.Pd
Adelia Febriyossa, S.Si, M.Si
Joice Mermy Laoh, S.Pd., S.Kep.,Ners., M.Kep
Dr. Nastiti Intan Permata Sari, S.Si, M.Ked.Trop
Suwarja, S.Pd, M.Kes
Okto Asriatno, S.Pd., M.Si
apt. Zola Efa Harnis, S. Farm., M. Si
apt. Rika Puspita Sari, S. Farm., M.Si
Dr. apt. Bunga Rimta Barus, S.Farm,M.Si
dr Adinta Anandani Sp.MK
apt. Nadia Raihana, S,Farm., M.Farm
dr. Putu Yuliandari, S.Ked., Ph.D
Dewinta Nur Alvionita, S.Si., M.Si
apt. Lidia Klorida Br Barus, S.Farm., M.Farm
apt.Nina Irmayanti Hrp,S.Si., M.Si
Apt, Fathul Jannah, S.Si., SpFRS
drh. Ade Meliala, M.Si

Editor :

La Ode Alifariki, S.Kep., Ns., M.Kes

BAKTERIOLOGI

Penulis:

Bagas Ardiyantoro M.Farm
Dismo Katiandagho, SST, M.Kes.Epid
Herry Hermansyah, AMAK, SKM., M.Kes
Jasman, S.Pd, M.kes
Firdaus Fahdi, M.Pd
Adelia Febriyossa, S.Si, M.Si
Joice Mermy Laoh, S.Pd., S.Kep.,Ners., M.Kep
Dr. Nastiti Intan Permata Sari, S.Si, M.Ked.Trop
Suwarja, S.Pd, M.Kes
Okto Asriatno, S.Pd., M.Si
apt. Zola Efa Harnis, S. Farm., M. Si
apt. Rika Puspita Sari, S. Farm., M.Si
Dr. apt. Bunga Rimta Barus, S.Farm,M.Si
dr Adinta Anandani Sp.MK
apt. Nadia Raihana, S,Farm., M.Farm
dr. Putu Yuliandari, S.Ked., Ph.D
Dewinta Nur Alvionita, S.Si., M.Si
apt. Lidia Klorida Br Barus, S.Farm., M.Farm
apt.Nina Irmayanti Hrp,S.Si., M.Si
Apt, Fathul Jannah, S.Si., SpFRS
drh. Ade Meliala, M.Si

ISBN :

978-634-7156-14-3

Editor Buku:

La Ode Alifariki, S.Kep., Ns., M.Kes

Diterbitkan Oleh :

PT MEDIA PUSTAKA INDO

Jl. Merdeka RT4/RW2 Binangun, Kab. Cilacap, Jawa Tengah

Website: www.mediapustakaindo.com

E-mail: mediapustakaindo@gmail.com

Anggota IKAPI: 263/JTE/2023

Cetakan Pertama : 2025

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang memperbanyak sebagian karya tulis ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada saya sehingga buku ini dapat tersusun. Buku ini diperuntukkan bagi Dosen, Praktisi, dan Mahasiswa Kesehatan sebagai bahan bacaan dan tambahan referensi.

Buku ini berjudul Bakteriologi mencoba menyuguhkan dan mengemas beberapa hal penting konsep Bakteriologi. Buku ini berisi tentang segala hal yang berkaitan dengan konsep Bakteriologi serta konsep lainnya yang disusun oleh beberapa Dosen dari berbagai Perguruan Tinggi.

Buku ini dikemas secara praktis, tidak berbelit-belit dan langsung tepat pada sasaran. Selamat membaca.

Kendari, 28 Februari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

BAB 1 <u>Sejarah Mikrobiologi</u>	1
A. Pendahuluan.....	1
B. Perkembangan Mikrobiologi Modern.....	5
BAB 2 <u>Klasifikasi Mikroorganisme</u>	10
A. Pendahuluan.....	10
B. Klasifikasi Mikroorganisme.....	11
BAB 3 <u>Sel Prokariotik dan Eukariotik</u>	22
A. Pendahuluan.....	22
B. Sel Prokariotik	23
C. Sel Eukariotik.....	26
BAB 4 <u>Mikroorganisme yang Bermanfaat dan Merugikan</u>	31
A. Pendahuluan.....	31
B. Pengertian Mikroorganisme	32
BAB 5 <u>Bakteri dan Bentuk Bakteri</u>	48
A. Pendahuluan.....	48
B. Bakteri dan Bentuk Bakteri	48
BAB 6 <u>Struktur Bakteri</u>	56
A. Pendahuluan.....	56
B. Struktur dan Fungsi Bakteri	60
BAB 7 <u>Pertumbuhan Bakteri</u>	70
A. Pendahuluan.....	70
B. Pertumbuhan Bakteri.....	71
BAB 8 <u>Infeksi Bakteri</u>	80
A. Pendahuluan.....	80
B. Jenis dan Faktor Infeksi	81

BAB 9	Kelompok Bakteri Patogen	87
A.	Pendahuluan.....	87
B.	Kelompok Bakteri Patogen	88
BAB 10	Genetika dan Metabolisme Bakteri	98
A.	Pendahuluan.....	98
B.	Genetika dan Metabolisme Bakteri.....	98
BAB 11	Mikroflora Normal	110
A.	Pendahuluan.....	110
B.	Mikroflora Normal Pada Manusia.....	110
BAB 12	Bakteri Patogen Gram (+) Kokus	118
A.	Pendahuluan.....	118
B.	Jenis dan Ciri Bakteri Coccus Gram Positif	120
BAB 13	Bakteri Patogen Gram Positif Batang	130
A.	Pendahuluan.....	130
B.	Kelompok Bakteri Patogen.	133
BAB 14	Bakteri Kokus Gram Negatif.....	141
A.	Pendahuluan.....	141
B.	Bakteri Kokus Gram Negatif	142
BAB 15	Bakteri Patogen Gram (-) Batang.....	159
A.	Pendahuluan.....	159
B.	Bakteri Gram (-) Batang.....	160
BAB 16	Penyebaran dan Pengendalian Bakteri.....	171
A.	Pendahuluan.....	171
B.	Penyebaran dan Pengendalian Bakteri	172
BAB 17	Pewarnaan Bakteri	182
A.	Pendahuluan.....	182
B.	Pewarnaan Bakteri	183

BAB 18 Uji Biokimia Bakteri	194
A. Pendahuluan.....	194
B. Prinsip Uji Biokimia.....	194
BAB 19 Uji Sensitivitas Bakteri	206
A. Pendahuluan.....	206
B. Sensitivitas Bakteri.....	207
BAB 20 Bakteriologi Air.....	228
A. Pendahuluan	228
B. Air	229
a. Air Minum	230
b. Pemeriksaan Bakteriologi Air Metode MPN (Most Probable Number)	233
c. Penyakit Akibat Bakteriologi Air Minum.....	235
BAB 21 Bakteriologi Makanan dan Minuman.....	240
A. Pendahuluan.....	240
B. Keamanan Pangan dan Kesehatan Masyarakat.....	241
C. Keseimbangan Manfaat dan Risiko Bakteri dalam Sistem Pangan	242
D. Bakteri Patogen dalam Bahan Makanan Asal Hewan, Tumbuhan, dan Minuman.....	243
E. Sumber Kontaminasi Bakteri Pada Makanan dan Minuman.....	245
F. Penyakit Bawaan Makanan (<i>Foodborne Diseases</i>)	246
G. Fermentasi dan Aplikasinya.....	247
H. Mikrobiologi Air untuk Minuman	249
I. Penanganan dan Penyimpanan Makanan.....	249
J. Tren dan Inovasi dalam Bakteriologi Makanan.....	250

BAB 1

Sejarah Mikrobiologi

* Bagas Ardiyantoro M.Farm *

A. Pendahuluan

Mikrobiologi adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari mikroorganisme, yaitu organisme hidup yang berukuran sangat kecil dan tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Perkembangan mikrobiologi telah melalui berbagai tahapan penting yang melibatkan penemuan-penemuan signifikan oleh para ilmuwan terkemuka.

Penemuan mikroorganisme dimulai dengan pengamatan Antonie van Leeuwenhoek pada abad ke-17. Ia adalah seorang ilmuwan Belanda yang pertama kali melihat mikroorganisme menggunakan mikroskop yang ia buat sendiri.

1. Sejarah Penemuan Mikroorganisme:

- a. Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723)
 - 1) Mengembangkan mikroskop sederhana dengan lensa berkualitas tinggi.
 - 2) Pada tahun 1674, ia mengamati dan mendokumentasikan organisme mikroskopis dalam air hujan dan cairan lainnya.
 - 3) Ia menyebut mikroorganisme ini sebagai “animalcules” atau hewan kecil.
- b. Robert Hooke (1635–1703)

Sebelumnya, pada tahun 1665, Hooke telah mengamati dan mendeskripsikan struktur sel dari gabus menggunakan mikroskop.

Penemuan ini membuka jalan bagi perkembangan mikrobiologi sebagai disiplin ilmu dan berkontribusi besar

dalam pemahaman tentang bakteri serta organisme mikroskopis lainnya.

2. Perdebatan Teori Generasi Spontan

Teori Generasi Spontan menyatakan bahwa makhluk hidup dapat muncul secara tiba-tiba dari materi tak hidup. Gagasan ini didukung oleh filsuf seperti Aristoteles, yang berpendapat bahwa beberapa bentuk kehidupan berasal dari lumpur yang dihangatkan oleh sinar matahari.

Namun, teori Fini mulai dipertanyakan melalui berbagai eksperimen ilmiah. Francesco Redi, misalnya, melakukan percobaan dengan menempatkan daging dalam toples yang berbeda: beberapa dibiarkan terbuka, beberapa ditutup dengan kain kasa, dan beberapa ditutup rapat. Hasilnya menunjukkan bahwa belatung hanya muncul pada daging di toples yang terbuka, menunjukkan bahwa belatung berasal dari telur lalat, bukan dari daging itu sendiri.

Selanjutnya, Louis Pasteur melakukan percobaan dengan menggunakan labu berleher angsa yang berisi kaldu. Labu tersebut memungkinkan udara masuk tetapi mencegah partikel debu mencapai kaldu. Hasilnya, tidak ada mikroorganisme yang tumbuh dalam kaldu tersebut, membantah teori generasi spontan dan mendukung teori biogenesis, yang menyatakan bahwa kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya.

Perdebatan mengenai asal-usul kehidupan ini berlangsung selama berabad-abad, dengan berbagai eksperimen yang mendukung atau menentang teori generasi spontan. Akhirnya, melalui bukti-bukti ilmiah yang kuat, teori generasi spontan ditinggalkan oleh komunitas ilmiah



Louis Pasteur (1822–1895) adalah seorang ahli kimia dan mikrobiologi Prancis yang dikenal sebagai "Bapak Mikrobiologi". Kontribusinya yang signifikan telah merevolusi ilmu pengetahuan, kedokteran, dan industri makanan.

3. Penemuan dalam Fermentasi

Pada tahun 1854, Pasteur diangkat sebagai dekan Fakultas Sains di Universitas Lille. Di sana, ia memulai penelitian tentang fermentasi dan menemukan bahwa proses tersebut disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme spesifik. Penemuan ini membantah anggapan bahwa fermentasi terjadi secara spontan.

4. Pengembangan Proses Pasteurisasi

Pasteur mengembangkan metode untuk mencegah kerusakan makanan dan minuman dengan memanaskannya pada suhu tertentu untuk membunuh mikroba berbahaya tanpa merusak kualitas produk. Proses ini, yang dikenal sebagai pasteurisasi, masih digunakan hingga saat ini untuk menjaga keamanan produk seperti susu dan anggur.

5. Teori Kuman Penyebab Penyakit

Melalui eksperimen dengan kaldu steril dalam labu berleher angsa, Pasteur menunjukkan bahwa mikroorganisme dari udara adalah penyebab kontaminasi, mendukung teori biogenesis yang menyatakan bahwa kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya. Hal ini menantang teori generasi spontan yang dominan pada masa itu.

6. Pengembangan Vaksin

Pasteur mengembangkan vaksin untuk penyakit seperti antraks dan rabies. Pada tahun 1885, ia berhasil menguji vaksin rabies pada seorang anak yang digigit anjing rabies, yang kemudian sembuh. Keberhasilan ini menandai tonggak penting dalam imunologi dan penyelamatan banyak nyawa.

7. Warisan dan Pengaruh

Kontribusi Pasteur telah meletakkan dasar bagi mikrobiologi modern dan praktik medis. Penemuannya dalam fermentasi, pasteurisasi, dan vaksinasi telah meningkatkan kesehatan masyarakat dan keamanan pangan secara signifikan.

Melalui dedikasinya, Louis Pasteur telah memberikan dampak yang tak ternilai bagi ilmu pengetahuan dan kemanusiaan.

Robert Koch adalah seorang bakteriolog Jerman yang dikenal sebagai salah satu pendiri mikrobiologi modern. Penemuan utamanya meliputi:

- a. Siklus penyakit antraks (1876): Koch mengidentifikasi bahwa *Bacillus anthracis* adalah agen penyebab antraks, menunjukkan bahwa penyakit ini disebabkan oleh bakteri tertentu.
- b. Bakteri penyebab tuberkulosis (1882): Ia menemukan *Mycobacterium tuberculosis* sebagai bakteri penyebab tuberkulosis, yang pada saat itu merupakan salah satu penyakit paling mematikan di dunia.
- c. Bakteri penyebab kolera (1883): Koch mengidentifikasi *Vibrio cholerae* sebagai bakteri penyebab kolera, membantu memahami penyebaran dan pencegahan penyakit ini.

Selain itu, Koch merumuskan Postulat Koch, serangkaian kriteria yang digunakan untuk menetapkan hubungan antara mikroorganisme tertentu dan penyakit tertentu. Postulat ini menjadi dasar dalam penelitian penyakit menular.

Atas kontribusinya yang luar biasa dalam bidang mikrobiologi dan kedokteran, Robert Koch dianugerahi Hadiah Nobel dalam Fisiologi atau Kedokteran pada tahun 1905.

B. Perkembangan Mikrobiologi Modern

Perkembangan mikrobiologi modern telah membawa banyak penemuan penting yang memperkaya pemahaman kita tentang mikroorganisme dan peranannya dalam berbagai aspek kehidupan. Berikut adalah beberapa tahap dan penemuan penting dalam perkembangan mikrobiologi modern:

1. Penemuan Mikroskop (1600-an):

Mikroskop pertama kali dikembangkan oleh Antonie van Leeuwenhoek pada abad ke-17. Ia adalah orang pertama yang mengamati mikroorganisme seperti bakteri dan protozoa dengan mikroskop buatannya. Ini membuka pintu untuk studi mikroorganisme.

2. Teori Generasi Spontan (Abad ke-17 hingga ke-19):

Pada awalnya, banyak orang percaya bahwa mikroorganisme bisa muncul begitu saja dari benda tak hidup (teori generasi spontan). Namun, eksperimen oleh ilmuwan seperti Louis Pasteur (1861) membuktikan bahwa mikroorganisme berasal dari udara, bukan muncul tanpa sebab.

3. Teori Kuman Penyakit (1857-1880):

Louis Pasteur dan Robert Koch adalah pionir dalam membuktikan bahwa mikroorganisme dapat menyebabkan penyakit. Pasteur menciptakan vaksin untuk rabies dan antraks, sementara Koch mengembangkan postulat Koch, yang digunakan untuk mengidentifikasi kuman penyebab penyakit tertentu.

4. Penemuan Antibiotik (1928):

Alexander Fleming menemukan penisilin, antibiotik pertama, yang mengubah cara dunia menangani infeksi. Penemuan ini membuka jalan untuk pengembangan lebih banyak antibiotik yang digunakan untuk mengobati berbagai penyakit.

5. Pengembangan Teknologi DNA dan Genetika (1950-an hingga 1970-an):

Penemuan struktur DNA oleh James Watson dan Francis Crick serta berkembangnya teknik pemrograman genetik telah membawa mikrobiologi ke era baru. Rekombinan DNA memungkinkan ilmuwan untuk memodifikasi gen mikroorganisme, yang berdampak pada pengembangan vaksin, produksi insulin, dan terapi gen.

6. Mikrobiologi Molekuler dan Bioinformatika:

Dengan menggunakan teknologi seperti reaksi rantai polimerase (PCR) dan sekuensing DNA, ilmuwan kini dapat mengidentifikasi mikroorganisme dengan cara yang jauh lebih cepat dan akurat. Ini membuka era mikrobiologi molekuler, yang memungkinkan analisis genetik mikroorganisme dan interaksi mereka dengan inang.

7. Mikrobiota dan Kesehatan Manusia:

Penelitian terbaru telah menyoroti peran mikrobiota (komunitas mikroorganisme di tubuh manusia) dalam berbagai aspek kesehatan, termasuk pencernaan, sistem kekebalan tubuh, dan bahkan kesehatan mental. Mikrobiota tubuh manusia kini menjadi topik penelitian besar dalam mikrobiologi modern.

8. Mikrobiologi Lingkungan dan Bioremediasi:

Mikrobiologi modern juga mencakup penelitian mengenai bagaimana mikroorganisme dapat digunakan untuk membersihkan polusi dan limbah berbahaya melalui bioremediasi. Mikroorganisme digunakan untuk mengurai bahan beracun di lingkungan, termasuk dalam proses pembersihan tumpahan minyak dan limbah industri.

9. Krisis Resistensi Antibiotik:

Seiring berkembangnya penggunaan antibiotik, munculnya strain bakteri yang resisten terhadap antibiotik menjadi masalah besar dalam mikrobiologi. Ini mendorong penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan obat baru, terapi alternatif, dan cara untuk mengatasi resistensi.

Mikrobiologi modern terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan pengetahuan baru yang diperoleh. Konsep-konsep baru seperti mikrobioma manusia, mikrobiologi sintetik, dan teknologi CRISPR menjanjikan revolusi lebih lanjut dalam memahami dunia mikroba dan penerapannya dalam kesehatan, pertanian, dan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, R. (2023) 'Mikrobiologi Umum', in I. Wahidah (ed.) Sejarah dan Ruang Lingkup Mikrobiologi. Jakarta: PT. Scifintech Andrew Wijaya, pp. 1-197.
- De Kruif, P. (1926). Microbe Hunters. Harcourt Brace & Company.
- Collard, P. (1976). The Development of Microbiology. Cambridge University Press.
- Dobell, C. (1932). Antony van Leeuwenhoek and His "Little Animals". Dover Publications.
- Foster, W. D. (1970). A History of Medical Bacteriology and Immunology. Heinemann.
- Gest, H. (2004). The Discovery of Microorganisms by Robert Hooke and Antoni van Leeuwenhoek, Fellows of The Royal Society. Notes and Records of the Royal Society of London, 58(2), 187-201.
- Ligon, B. L. (2004). Louis Pasteur: A True Pioneer in Microbiology. Seminars in Pediatric Infectious Diseases, 15(1), 21-26.
- Lechevalier, H. A., & Solotorovsky, M. (1965). Three Centuries of Microbiology. McGraw-Hill.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2018). Brock Biology of Microorganisms (15th ed.). Pearson.
- Sakula, A. (1982). Robert Koch: Centenary of the Discovery of the Tubercle Bacillus, 1882. Thorax, 37(4), 246-251.
- Prescott, L. M., Harley, J. P., & Klein, D. A. (2005). Microbiology (6th ed.). McGraw-Hill.
- Prescott, L.M., et al. (2017). "Microbiology". McGraw-Hill.
- Brock, T. D. (1999). Milestones in Microbiology: 1546 to 1940. ASM Press.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2018). Microbiology: An Introduction (13th ed.). Pearson.
- Radetsky, P. (1996). The Invisible Invaders: The Story of the Emerging Age of Viruses. Little, Brown and Company.
- Wilkinson, J. F. (1975). The History of Microbiology: A Symposium. Microbiology, 89(1), 1-8.
- Zuckerman, L. (1998). The Potato: How the Humble Spud Rescued the Western World. North Point Press.

BIODATA PENULIS



Bagas Ardiyantoro M. Farm lahir di Sukoharjo, Jawa tengah, pada 19 November 1997. Menyelesaikan, S1 Farmasi di universitas setia budi surakarta (2020), S2 Farmasi di universitas setia budi surakarta (2023), Sampai saat ini penulis sebagai Dosen di Universitas Duta Bangsa Surakarta.

BAB 2

Klasifikasi Mikroorganisme

Dismo Katiandagho, SST, M.Kes.Epid

A. Pendahuluan

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari tentang organisme berukuran mikroskopis seperti uniseluler (sel tunggal), multiseluler (sel koloni), dan aseluler (tidak memiliki sel). Mikrobiologi merupakan ilmu dasar yang memiliki banyak aplikasi pada dunia kesehatan, pertanian, industri dan bioteknologi. Hal ini dikarenakan mikrobiologi mencakup beberapa mikroorganisme. Ada lima grup besar dari mikroorganisme yaitu seperti bakteri (uniseluler), jamur (yeast dan jamur) yang dapat bersifat uniseluler atau multiseluler, virus (aseluler), protozoa (uniseluer) dan alga.

Pada bab ini akan dibahas secara lebih dalam tentang histori perkembangan mikrobiologi, kriteria umum organisme prokariotik, dan fisiologi bakteri. Bidang mikrobiologi berkembang pesat sejak adanya penemuan mikroskop oleh para ilmuwan di tahun 1.600an. Penemuan ini memberikan banyak kontribusi untuk perkembangan ilmu mikrobiologi

Pentingnya mikrobiologi juga dapat dilihat dalam kontribusinya terhadap pemahaman lebih lanjut tentang proses-proses biokimia, ekologi mikroba, dan peran mikroorganisme dalam siklus nutrisi dan dekomposisi. Dalam era modern ini, studi mikrobiologi tidak hanya menjadi kajian ilmiah, tetapi juga menjadi kunci bagi inovasi di berbagai sektor, termasuk bioteknologi, bioinformatika, dan penelitian obat-obatan. Dengan memahami mikrobiologi, kita dapat memahami lebih baik bagaimana kehidupan mikroba mempengaruhi dunia di sekitar kita. Dengan teknologi dan

pendekatan baru, mikrobiologi terus berkembang dan memberikan kontribusi besar terhadap peradaban manusia. Pemahaman mengenai mikroorganisme akan menjelajahi dunia kecil yang memiliki dampak besar, membuka jendela menuju keajaiban kehidupan mikroskopis yang secara tak terlihat menjadi penggerak penting dalam berbagai aspek kehidupan.

B. Klasifikasi Mikroorganisme

Mikrobiologi adalah ilmu yang mempelajari tentang mikroorganisme yang merupakan organisme yang berdimensi mikroskopis. Namun, seberapa kecilkah mereka? Umumnya, beberapa jenis mikroskop diperlukan untuk melihat mereka. Organisme ini terlalu kecil untuk dapat dilihat dengan jelas oleh mata manusia. Organisme dengan diameter 1 mm atau kurang adalah mikroorganisme dan termasuk dalam domain mikrobiologi yang luas. Karena sebagian besar mikroorganisme hanya berukuran beberapa ribu mm, mereka hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop (Trivedi, Pandey and Bhadauria, 2010; Kumar, 2012).

Meskipun saat ini diketahui lebih banyak tentang kehidupan mikroba daripada sebelumnya, sebagian besar dunia tak terlihat ini tetap belum dijelajahi. Sebagian besar mikroba adalah sel tunggal dan cukup kecil sehingga memerlukan pembesaran buatan untuk dapat terlihat. Namun, ada beberapa mikroba sel tunggal yang dapat terlihat dengan mata telanjang, dan beberapa organisme multiseluler yang berskala mikroskopis. Suatu objek harus memiliki panjang sekitar 100 mikrometer (μm) untuk dapat terlihat tanpa mikroskop, tetapi sebagian besar mikroorganisme jauh lebih kecil dari itu. Sebagai gambaran, pertimbangkan bahwa sel hewan yang tipikal memiliki diameter sekitar 10 μm tetapi masih dianggap mikroskopis. Sel bakteri biasanya sekitar 1 μm , dan virus bisa sepuluh kali lebih kecil dari bakteri.

Klasifikasi adalah pengorganisasian organisme yang memiliki ciri morfologis, fisiologis, dan genetik yang serupa ke dalam kelompok atau takson tertentu. Nomenklatur, penamaan

mikroorganisme sesuai dengan aturan dan pedoman yang telah ditetapkan, memberikan label yang diterima secara universal.

Klasifikasi mikroba fokus pada pembahasan ini didasarkan pada morfologi, reproduksi dan fisiologi. Klasifikasi mikroba terdapat dua kategori utama mikroba: mikroba aseluler (disebut juga partikel infeksius) dan mikroba seluler (disebut juga mikroorganisme). Mikroba aseluler (juga dikenal sebagai partikel infeksius) termasuk prion dan virus. Mikroba seluler termasuk prokariota yang tidak terlalu kompleks (organisme yang terdiri dari sel-sel yang tidak memiliki inti sejati, seperti archaea dan bakteri) dan eukariota yang lebih kompleks (organisme yang terdiri dari sel-sel yang mengandung inti sejati, seperti ganggang, protozoa, dan jamur. (Trivedi, Pandey and Bhadauria, 2010; Engelkirk and Engelkirk, 2011).

Morfologi, Reproduksi dan Fisiologi

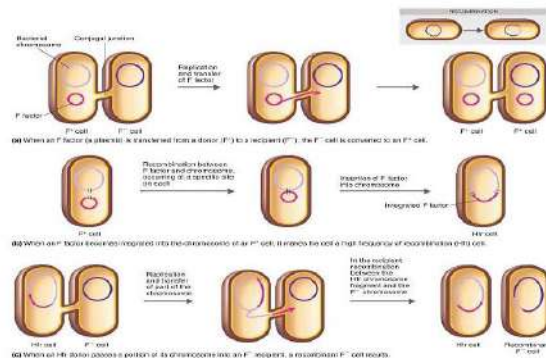
1. Bakteri

Bakteri (tunggal: bacterium) adalah mikroorganisme uniseluler sederhana yang memiliki sel prokariotik (bahasa Yunani: prenukleus) karena materi genetiknya tidak diselimuti oleh membran apa pun. Bakteri ditemukan di hampir setiap habitat di bumi, termasuk di dalam dan di tubuh manusia. Kebanyakan bakteri tidak berbahaya atau bermanfaat, namun ada pula yang bersifat patogen, menyebabkan penyakit pada manusia dan hewan lainnya. Hampir semua bakteri memiliki dinding sel yang mengandung peptidoglikan (Sharma, Gupta and Yadav, 2022).

Bakteri memiliki morfologi yang bervariasi tergantung dari jenisnya dan juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Secara umum morfologi bakteri ditinjau dari: bentuk, ukuran, distribusi, struktur tambahan, pewarnaan gram, spora, gerakan. Secara umum bentuk-bentuk bakteri termasuk bulat (coccus), berbentuk batang (bacillus), atau melengkung (spirillum, spirochete, atau vibrio).

Bakteri berkembang biak melalui aseksual yang melibatkan pembelahan biner. Bakteri bereproduksi dengan cara membelah diri secara biner atau dikenal dengan secara vegetatif. Setiap 20 menit bakteri dapat melakukan pembelahan diri apabila lingkungannya mendukung atau baik. Pembelahan diri secara biner dikenal dengan pembelahan secara langsung yang tidak melalui tahapan mitosis dan setiap sel bakteri dapat membelah menjadi dua. Pada bakteri pembuahan secara seksual tidak dijumpai, namun terjadi pemindahan materi genetik tanpa menghasilkan zigot peristiwa ini disebut paraseksual. Pada proses paraseksual terdiri dari transformasi, konjugasi dan transduksi (Sharma, Gupta and Yadav, 2022).

Transformasi: pada proses ini terjadi proses fisiologis yang kompleks yaitu perpindahan sedikit materi genetik antara sel bakteri. Konjugasi: pada proses ini antara filamen bakteri Bersatu untuk mempertukarkan atau menyumbangkan materi genetik. Pemindahan materi genetik ini membentuk jembatan. Transduksi: proses ini membutuhkan perantara bakteriofage untuk pemindahan materi genetik.



Gambar 1. Reproduksi Bakteri Secara Konjugasi Pada *E.Coli*. Sumber (Tortora, Funke and Case, 2010)

Kebutuhan akan energi oleh bakteri melalui reaksi eksotermis -kemosintesis dan semuanya membutuhkan karbon sebagai sumbernya. Beberapa diantaranya autotrof dengan menggunakan CO₂. Senyawa organik kompleks dapat dimanfaatkan beberapa patogen. Tetapi, hampir semuanya dapat bertahan hidup dengan menggunakan senyawa organik yang sederhana seperti glukosa. Untuk menghasilkan energi salah satunya melalui tahap glikolisis yaitu dengan jalur Embed Meyerhoff Parnas, dan dua lainnya melalui siklus asam sitrat dan fosforilasi oksidatif atau melalui jalur pentosa-fosfat (Amelia, 2023).

Beberapa bakteri tumbuh pada kondisi anaerobik dan aerobik. Aerob obligat tumbuh pada kondisi adanya oksigen sebagai akseptor elektron, dan anaerobik menghasilkan energi dari molekul seperti glukosa dalam kondisi tanpa oksigen melalui fermentasi (Purwoko, 2009).

2. Fungi

Fungi didefinisikan sebagai jamur dan berasal dari bahasa latin. Jamur terbagi dalam jamur makroskopis dan mikroskopis. Secara genetika jamur memiliki kerabat dekat dengan hewan namun, secara morfologi memiliki kemiripan dengan tanaman. Tersusun atas hifa struktur seperti benang, dan miselium kumpulan dari benang-benang (Lianah, 2021).

Kapang atau mold terdiri dari massa benang bercabang yang disebut miselium. Miselium terdiri dari hifa (serat) yang merupakan benang tunggal. Tubuh vegetatif jamur yang terdiri dari serat-serat disebut talus. Berdasarkan fungsinya, terdapat dua jenis hifa, yaitu hifa yang subur dan hifa vegetatif. Hifa subur adalah hifa yang dapat membentuk sel reproduksi atau spora. Jika hifa tumbuh keluar dari media disebut hifa udara. Hifa vegetatif adalah hifa yang berfungsi untuk menyerap makanan dari substrat (Ngatirah, 2017).

Berdasarkan bentuknya, hifa juga dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu hifa non-septat dan hifa bersepta.

Hifa yang tidak berselaput adalah ciri khas jamur yang termasuk *Phycomycetes* (jamur tingkat rendah). Hifa ini merupakan sel yang memanjang, bercabang, terdiri dari sitoplasma dengan banyak inti (sinkositik). Hifa yang berselaput adalah ciri khas jamur tingkat lebih tinggi, atau yang termasuk *Eumycetes*.

Kelompok jamur ini terbagi menjadi kelompok yang uniseluler dikenal dengan khamir dan kelompok multiseluler dikenal dengan kapang. Sel ragi tidak membentuk miselium meskipun tergolong dalam fungi. Reproduksi dari ragi melalui aseksual dengan cara tunas sedangkan seksual dengan cara pembentukan spora.

Jamur melakukan reproduksi agar tidak punah dan spesiesnya bisa menyebar. Lingkungan menjadi salah satu faktor penentu struktur dari reproduksi. Baik secara fase anamorf (aseksual) dan fase teleomorf (seksual). Reproduksi aseksual dapat dilakukan dengan fragmentasi miselium (tallus) dan pembentukan spora aseksual. Ada 4 cara reproduksi dengan fragmentasi tallus, yaitu, (a) dengan pembentukan tunas, misalnya pada ragi, (b) dengan blastospora, yang merupakan tunas yang tumbuh menjadi spora, misalnya pada *Candida sp...*, (c) dengan arthrospora (oidium), yaitu terjadinya segmen pada ujung hifa, kemudian sel-sel dibulatkan dan akhirnya dilepaskan menjadi spora, misalnya pada *Geotrichum sp.*, dan (d) dengan khlamidospora, yaitu pembulatan dan penebalan dinding sel pada hifa vegetatif, misalnya pada *Geotrichum sp* (Apriyanto *et al.*, 2022).

Spora aseksual terbentuk melalui dua cara yang berbeda. Pada fungi tingkat rendah, spora aseksual terbentuk sebagai hasil dari pembelahan inti yang berulang. Contohnya, spora yang terbentuk dalam sporangium disebut sporangiospora. Konidia terbentuk di ujung konidiophore, yang muncul dari ujung hifa atau dari konidia yang sudah terbentuk sebelumnya. Reproduksi seksual, dilakukan melalui pembentukan spora seksual dan

peleburan gamet (sel seksual). Tipe kelamin sel seksual terdiri dari jantan (+) dan betina (-). Peleburan gamet terjadi antara dua jenis kelamin yang berbeda (Gandjar, 2006).

Reproduksi seksual terdiri dari (a) plasmogami, yaitu peleburan dua sel plasma, (b) karyogami, yaitu peleburan dua inti haploid yang menghasilkan satu inti diploid, dan (c) meiosis, yaitu pembelahan reduksi yang menghasilkan satu inti haploid. Bentuk dan cara reproduksi fungi sangat beragam, dan dapat digunakan sebagai dasar untuk mengklasifikasikan fungi tersebut (Apriyanto et al., 2022).

Kemampuan fungi dalam memanfaatkan nutrisi dari lingkungan dan metabolisme sangat bervariasi. Khamir dan kapang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan dibandingkan mikroba lain. Khamir tumbuh pada kondisi adanya oksigen maupun tanpa oksigen atau sedikit oksigen. Sumber energi diperoleh dari senyawa karbon anorganik dan organik seperti CO₂ dan pemecahan karbohidrat. Umumnya jamur bersifat heterotrof. Energi dapat pula diperoleh dari pemecahan karbohidrat menjadi ATP. Beberapa jenis lainnya menggunakan nitrogen, urea.

3. Virus

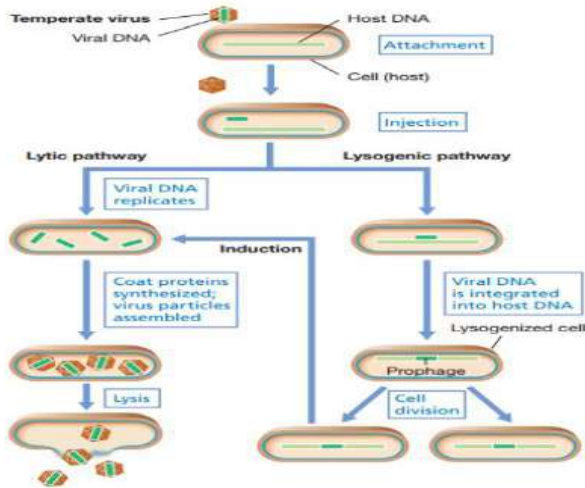
Partikel virus atau “virion”, memiliki ukuran yang bervariasi dari skala nano hingga skala mikro. Mereka memiliki banyak bentuk yang berbeda dan tersusun atas protein, gula, asam nukleat, lipid, air, dan zat terlarut. Virion adalah entitas otonom dan mempengaruhi semua bentuk kehidupan dalam hubungan parasit. Mereka menginfeksi sel prokariotik dan eukariotik. Sifat fisik virion disesuaikan dengan cara mereka berinteraksi dengan sel. Ketika virion berinteraksi dengan sel, mereka menjadi sangat kompleks dan menimbulkan sel yang terinfeksi, yang juga dikenal sebagai virus (Greber, 2019).

Morfologi virus merujuk pada bentuk, ukuran, atau karakteristik eksternal virus. Ini dapat dikategorikan berdasarkan bentuk dan komponen strukturalnya. Ada

beberapa jenis (Trivedi, Pandey and Bhadauria, 2010; Murtafi'ah, 2023):

- a. Heliks: Morfologi virus heliks ditandai dengan susunan lingkaran unit protein di sekitar sumbu, membentuk bentuk batang filamen. Materi genetik terkandung dalam rongga atau terendam di dalam kapsid.
- b. Polihedral: Virus dengan morfologi polihedral terdiri dari banyak capsomere yang meliputi seluruh genom virus. Contohnya adalah adenovirus, yang memiliki struktur morfologi polihedral dengan berbagai capsomere. Asam nukleat dalam virus polihedral tidak berikatan dengan protein kapsid.
- c. Bersampul: Virus bersampul memiliki lapisan luar yang melingkupi kapsid, disebut mantel. Morfologi virus bersampul ini bervariasi tergantung pada bentuk kapsidnya.
- d. Kompleks: Virus ini memiliki struktur yang lebih kompleks seperti bagian kepala dan ekor. Contoh virus ini yaitu bakteriofage

Reproduksi pada virus terjadi memerlukan sel inang dengan cara menginfeksi sel bakteri, hewan, tumbuhan dan manusia untuk mereplikasi dan berkembang biak. Virus menyusup ke dalam sel inang dan menggunakan mesin sel inang untuk membuat salinan dirinya.



Gambar 2. Reproduksi pada Virus Secara Litik dan Lisogenik (Madigan, *et al*, 2012)

Pada gambar 2, menunjukkan tahapan reproduksi virus melalui sel inang yaitu sel bakteri. Secara umum reproduksi pada tumbuhan maupun hewan mirip pada bakteriofag. Cara infeksi virus dapat berlangsung secara litik maupun lisogenik. Pada proses secara litik setelah melakukan reproduksi sel inang akan dihancurkan (lisis) sedangkan pada proses secara lisogenik virus berintegrasi dengan sel DNA bakteri sehingga ikut membelah.

Selama siklus litik, fag menempel pada permukaan sel inang untuk menyuntikkan asam nukleatnya ke dalam sel, kemudian DNA sel inang terdegradasi, dan metabolisme sel inang diarahkan untuk memulai biosintesis fag. Asam nukleat fag bereplikasi di dalam bakteri. Dengan demikian, seluruh partikel fag virus dirakit, yang dilepaskan dari sel yang terinfeksi melalui lisis sel bakteri. Sebaliknya, siklus lisogenik didasarkan pada integrasi materi genetik fag ke dalam genom sel inang untuk menghasilkan fag (fag yang tidak aktif). Ketika bakteri bereproduksi, profag juga disalin

dan diteruskan ke setiap sel anak. Sel anak dapat terus bereplikasi dengan profag, atau profag dapat keluar dari kromosom bakteri untuk memulai siklus litik. Inisiasi infeksi fag dipicu oleh pengenalan spesifik antara protein pengikat fag yang terletak di ujung ekor atau selubung kapsid dan reseptor yang terletak di permukaan sel inang. Reseptor permukaan sel yang dikenali oleh fag dapat mencakup reseptor protein (OmpA dan OmpC), reseptor lipopolisakarida (LPS), reseptor yang terletak di kapsular polisakarida (Vi-antigen), dan pili dan flagela (Bräuer, 2021).

Mikroorganisme memiliki variasi yang berbeda-beda sesuai dengan pengklasifikasiannya namun, secara umum produksi energinya digolongkan dalam tahapan bagian berikut (Suryani, 2022):

- a. Tanpa adanya oksigen (anaerob): glikolisis dan fermentasi
- b. Adanya oksigen (aerob): rantai angkutan elektron, siklus asam sitrat, hasil energi dalam respirasi aerobik, katabolisme lipid, protein, respirasi beberapa bakteri secara anaerob
- c. Secara fotosintesis, fosforilasi siklik dan nonsiklik dan mekanisme sintesis ATP.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, (2023). Mikrobiologi Umum', in I. Wahidah (ed.) Sejarah dan Ruang Lingkup Mikrobiologi. Jakarta: PT. Scifintech
Andrew Wijaya, pp. 1-197
- Apriyanto, M. *et al.* (2022) Dasar Mikrobiologi Pangan. Banten: CV. AA. Rizky
- Bräuer, N.W. (2021) 'Friends or Foes—Microbial Interactions in Nature', Biology
- Engelkirk, P.G. and Engelkirk, J.D. (2011) Burton's Microbiology for the Health Sciences. Ninth Edit. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Gandjar (2006) Mikologi Dasar dan Terapan. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia
- Greber, U.F. (2019) Physical Virology: Virus Structure and Mechanics. Edited by Urs. F Greber. Germany: Springer International Publishing.
- Kumar, S. (2012) Textbook of Microbiology. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers
- Lianah (2021) Dasar-Dasar Mikologi. Semarang: Alinea Media Dipantara
- Madigan, M.T. *et al.* (2012) Brock Biology of Microorganisms. 13th Edition. San Fransisco: Benjamin Cummings.
- Murtafi'ah, N. (2023) Virologi. Edited by Oktavianis. Jakarta: Get Press Indonesia.
- Ngatirah (2017) Mikrobiologi Umum. Yogyakarta: Instiper Yogyakarta.
- Purwoko, T. (2009) Fisiologi Mikroba. Jakarta: Bumi Aksara.
- Suryani, Y. (2022) Fisiologi Mikroorganisme. Bandung: Gunung Djati Publishin
- Sharma, A.K., Gupta, G.K. and Yadav, M. (eds) (2022) Medical Microbiology. Germany: Walter De Gruyter.
- Tortora, G.J., Funke, B.R. and Case, C.L. (2010) Microbiology an Introduction. 10th Edition. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Trivedi, P.C., Pandey, S. and Bhadauria, S. (2010) Text Book Of Microbiology. Jaipur: Aavishkar Publisher.

BIODATA PENULIS



Dismo Katiandagho, SST, M. Kes. Epid lahir di Sangihe Provinsi Sulawesi Utara, pada 2 Desember 1978. Menyelesaikan pendidikan D3 di Akademi Kesehatan Lingkungan Depkes Manado (2000), D4 Kesehatan Lingkungan, di Poltekkes Kemenkes Manado Peminatan Epidemiologi Lingkungan (2010) dan S2 Epidemiologi peminatan Epidemiologi Lapangan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang (2012). Penulis aktif sebagai pengurus HAKLI Provinsi Sulawesi Utara dan sebagai ketua HAKLI Kota Manado. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen Tetap di Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Manado.

BAB 3

Sel Prokariotik dan Eukariotik

Herry Hermansyah, AMAK, SKM., M.Kes

A. Pendahuluan

Sebagai unit kehidupan terkecil, sel memiliki kemampuan untuk berfungsi secara independen dari sel lain guna mempertahankan kelangsungan hidupnya. Sel dibentuk oleh kombinasi molekul-molekul seperti asam lemak, asam amino, gula, purin dan pirimidin. Molekul ini dibentuk dari gabungan 2 atau lebih atom seperti oksigen, carbon, hidrogen, nitrogen, calsium, fosfor, kalium, sulfur, natrium dan chlorida. Molekul air (H_2O) merupakan komponen terbanyak penyusun sel (Riandini A et al., 2019).

Teori perkembangan sel dimulai dari para ilmuwan seperti Aristoteles dan Paracelcus pada jaman Renaissance yang menyatakan bahwa semua makhluk hidup terbentuk dari beberapa elemen yang mengalami pengulangan. Selanjutnya istilah sel pertama kali dikemukakan Robert Hooke pada tahun 1665 dengan mengamati sayatan gabus pada mikroskop. Hasil temuannya berupa adanya ruangan kecil yang disebut cella yang berarti kamar kecil (Nurdin Gaby M, 2022).

Sel dapat berperilaku mandiri seperti menyerap, nutrisi, menghasilkan energi, dan membelah untuk memproduksi diri. Sel mempunyai fungsi utama yaitu reproduksi, metabolisme, transportasi, komunikasi, perlindungan, pengenalan dan identifikasi, penyimpanan dan sekresi (Agustinus Butar, dk 2024).

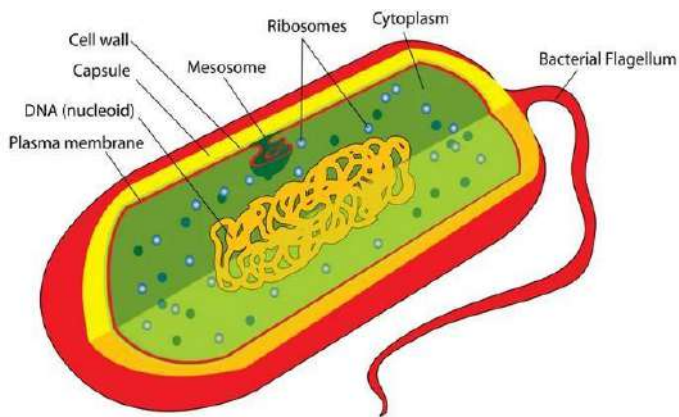
B. Sel Prokariotik

Sel prokariotik didefinisikan sebagai sel yang tidak memiliki membran sitoplasma internal baik pada inti sel atau organel sel, sehingga memungkinkan nukleus berkembang biak di seluruh sitoplasma. Dengan demikian, sel prokariotik hanya mengandung ribosom sebagai organel sel prokariotik dan tidak memiliki organel tambahan seperti mitokondria. Prokariotik terdiri dari dua domain organisme, yaitu bakteri dan arkea, yang dapat ditemukan hampir di setiap habitat di bumi. Sel prokariotik didefinisikan sebagai sel yang tidak memiliki membran sitoplasma internal baik pada inti sel atau organel sel, sehingga memungkinkan nukleus berkembang biak di seluruh sitoplasma. Sel prokariotik hanya mengandung ribosom sebagai organel sel prokariotik dan tidak memiliki organel tambahan seperti mitokondria. *Nanobacterium* merupakan contoh sel prokariotik terkecil dengan diameter 0,1 hingga 0,3 μm , dan *Thiomargarita Namibiensis* adalah contoh sel prokariotik terbesar (Azzahrah, 2024).

1. Karakteristik Sel Prokariotik
 - a. Tidak memiliki inti sel.
 - b. DNA tidak terorganisir dalam kromosom yang terbungkus membran.
 - c. Memiliki organel yang terbatas, hanya ribosom dan beberapa struktur lain seperti mesosom.
 - d. Ukuran relatif lebih kecil.
2. Struktur Sel Prokariotik
 - e. Polisakarida, lipid, dan protein membentuk dinding sel, mereka melindungi sel dan memberi mereka struktur yang konsisten.
 - f. Lapisan ganda lipid dan protein yang membentuk membran plasma melindungi sel dari dunia luar dan mengontrol aliran ion dan bahan kimia masuk dan keluar sel.
 - g. Sitoplasma. Plasma sel, atau cairan di dalam sel, disebut sitoplasma. Air, mineral, lipid, protein,

ion, nukleotida, dan enzim yang berperan sebagai katalis dalam metabolisme sel, baik anabolisme, atau produksi dan sintesis, serta katabolisme, atau pemecahan dan remodeling merupakan komponen penyusun cairan sel.

- h. Mesosom berfungsi sebagai lingkungan penghasil energi untuk respirasi. Mesosom biasanya ditemukan dekat dengan dinding sel yang baru dibuat yang dihasilkan dari pembelahan sel bakteri menjadi unit biner. Sel prokariotik kekurangan organel mitokondria, sedangkan mesosome mengisi kekosongan. (Rahmadina Rahmadina et al., 2024)
- i. Sintesis protein terjadi pada ribosom. Organel ribosom yang ditemukan pada sel prokariotik dan eukariotik memainkan peran penting dalam penciptaan protein, yang penting untuk sintesis DNA dan RNA serta perkembangan organisme hidup.
- j. RNA dan DNA. Meskipun asam ribonukleat merupakan zat yang dihasilkan melalui transkripsi DNA, asam deoksiribonukleat (DNA) berfungsi untuk membawa informasi genetik, yaitu kualitas yang akan diturunkan kepada keturunannya..
- k. Sel Filii dan Flagela digunakan sebagai alat untuk menempel pada sel, flagela digunakan untuk pergerakan. Pili tidak berfungsi dalam motilitas, tetapi berfungsi untuk pelekatan bakteri, memungkinkan terjadinya perpindahan DNA (konjugasi), serta sebagai pintu gerbang masuknya bahan genetik selama berlangsungnya perkawinan antarbakteri. Dengan adanya pili, menyebabkan bakteri dapat melekat pada sel lain. (Nurdin Gaby M, 2022).



Gambar 1. Struktur Sel Prokariotik

Tabel 1: Perbedaan Sel Prokariotik dan Sel Eukariotik

No	Kategori	Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
1	Ukuran	0,2-2,0µm	10-100µm
2	Inti Sel	Tidak ada	Memiliki inti sel yang terbungkus membran
3	Organel Sel	Hanya memiliki organel tidak bermembran seperti ribosom	Memiliki organel Membran seperti mitokondria, RE, dll.
4	DNA	Tersusun bebas di nukleoid	Tersusun dalam kromosom dalam inti sel
5	Flagella	Bergerak dengan berputar/rotary tersusun atas selulosa	Bergerak dengan cara mencambung, tersusun atas tubulin
6	Kompleksitas Dinding Sel	Sangat kompleks mengandung peptidoglikan dan senyawa lain	Sederhana, tidak memiliki peptidoglikan
7	Pembelahan Sel	Secara binari/visi	Secara meiosis

8	Keadaan Sitoplasma	Tidak terdapat aliran sitoplasma	Terdapat aliran Sitoplasma dan sitokeleton
9	Kromosom	Kromosom tidak memiliki Histon sehingga DNA tersusun membentuk kromosom sirkular	Kromosom memiliki Histon, kromosom membentuk struktur multiple linear sehingga sangat padat
10	Proses Transkripsi	Transkripsi DNA dan translasi DNA dapat terjadi secara simultan	Transkripsi terjadi dalam Nukleus, sedangkan Translasi terjadi di Sitoplasma
11	Wilayah Genetik Kopian Gen	Hanya memiliki satu gen yang menentukan sifat karena haploid	Memiliki minimal sepasang gen yang menentukan sifat yang sama karena diploid

C. Sel Eukariotik

Sel eukariotik adalah unit dasar kehidupan yang ditemukan pada organisme multiseluler dan beberapa organisme uniseluler. Penelitian terhadap sel eukariotik memberikan wawasan mendalam tentang mekanisme biologi dasar yang mendukung kehidupan. Sel yang diklasifikasikan sebagai Eukariotik memiliki membran inti atau inti sel yang mengandung bahan inti. Sel ini biasanya ditemukan pada organisme multiseluler, seperti sel hewan, sel tumbuhan, jamur, dan protista. contoh organel sel eukariotik yaitu kompleks golgi, sitoplasma, nukleus, sentriol, lisosom, peroksisom, mitokondria, mikrotubulus, dan mikrofilamen (Azzahrah, 2024).

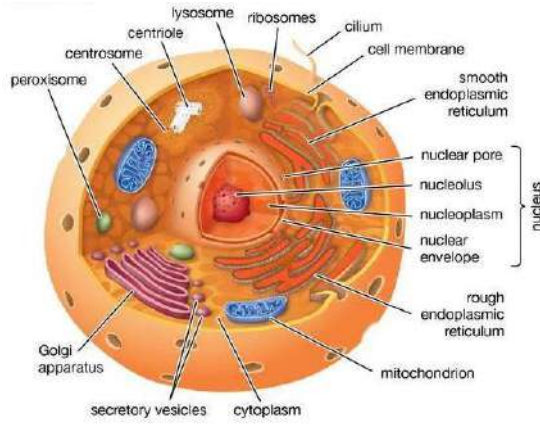
1. Struktur Sel Eukariotik

- a. Membran Plasma: Berfungsi sebagai penghalang selektif yang mengontrol masuk dan keluarnya molekul.

- b. Nukleus: Inti sel yang menyimpan informasi genetik dalam bentuk DNA. Suatu struktur yang sering tampak di dalam nukleus adalah nukleolus (anak inti), suatu area yang kaya RNA sebagai tempat sintesis ribosom. Fungsi inti sel adalah untuk mengontrol struktur dan aktivitas sel (Nurdin Gaby M, 2022).
- c. Sitoskeleton: Struktur jaringan mikrotubulus, filamen aktin, dan filamen intermediat. Fungsinya memberikan bentuk sel, mendukung organel, dan memfasilitasi pergerakan seluler.
- d. Inti Sel (Nukleus): Struktur dikelilingi oleh membran inti (nuclear envelope) yang memiliki pori-pori nukleus. Di dalamnya terdapat nukleoplasma, kromatin, dan nukleolus. Fungsinya menyimpan DNA dan mengontrol aktivitas genetik serta sintesis RNA.
- e. Mitokondria: Struktur Organel berbentuk lonjong dengan membran ganda, membran dalam berlipat membentuk krista. Fungsinya menghasilkan energi dalam bentuk ATP melalui respirasi seluler.
- f. Retikulum Endoplasma (RE): RE Kasar: memiliki ribosom yang melekat, berfungsi dalam sintesis protein dan RE Halus: tidak memiliki ribosom, berfungsi dalam sintesis lipid dan detoksifikasi.
- g. Aparatus Golgi: Struktur Tumpukan kantong pipih membran. Fungsinya memproses, memodifikasi, dan mengemas protein serta lipid untuk transportasi.
- h. Lisosom: Struktur vesikel kecil yang mengandung enzim hidrolitik. Fungsinya untuk degradasi bahan intraseluler melalui enzim hidrolitik, mencerna molekul yang tidak dibutuhkan atau rusak. Terdapat enzim lisosom yang dapat menghidrolisis kelas utama makromolekul diantaranya protein, polisakarida, lemak, dan asam nukleat (Nurdin Gaby M, 2022).
- i. Vakuola: Struktur ruang besar berisi cairan yang dikelilingi oleh membran tonoplas. Fungsinya

penyimpanan zat-zat cadangan, pengaturan tekanan osmotik, dan detoksifikasi.

- j. Kloroplas (Hanya pada sel tumbuhan) Struktur: Organel hijau dengan membran ganda dan tilakoid yang mengandung klorofil. Fungsinya tempat berlangsungnya fotosintesis.



Gambar 2: Struktur Sel Eukariotik

2. Fungsi Sel Eukariotik
 - a. Produksi Energi: Mitokondria menghasilkan ATP melalui respirasi seluler.
 - b. Sintesis Protein: RE kasar dan ribosom berkolaborasi untuk menerjemahkan RNA menjadi protein.
 - c. Pemrosesan dan Distribusi Molekul: Aparatus Golgi memainkan peran kunci dalam memastikan protein sampai ke lokasi targetnya.
 - d. Degradasi Molekuler: Lisosom dan proteasom mendaur ulang molekul yang tidak diperlukan atau rusak.
 - e. Reproduksi dan pewarisan materi genetik.
 - f. Produksi energi melalui proses respirasi.
 - g. Sintesis protein dan metabolisme molekuler.
 - h. Pengaturan transport bahan dan informasi dalam sel.
 - i. Pengaturan respons terhadap lingkungan eksternal.

DAFTAR PUSTAKA

- Azzahrah, N. (2024). *Struktur dan Kultur Sel MakhluK Hidup*. In Jurnal Pendidikan Inklusif (Vol. 8, Issue 12).
- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2014). *Molecular Biology of the Cell* (6th ed.). Garland Science
- D'Angelo, M. A., & Hetzer, M. W. (2008). Structure, dynamics and function of nuclear pore complexes. In *Trends in Cell Biology* (Vol. 18, Issue 10, pp. 456–466).
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Scott, M. P., Bretscher, A., Matsudaira, P. (2008). *Molecular Cell Biology* (6th ed.). W. H. Freeman.
- Nuridin Gaby M. (2022). *Konsep Dasar Biologi Tim Penulis Penerbit Cendekia Publisher*.
- Pfanner, N., Warscheid, B., & Wiedemann, N. (2019). Mitochondrial Proteins: From Biogenesis To Functional Networks. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 20(5), 267–284.
- Rahmadina, Yulis Aulia, Muhammad Agung Saputra³, Dilla Wardhani, & Fitriani Fitriani. (2024). Perbedaan Teori Organisme Sel Prokariotik, Eukariotik dan Virus. *Algoritma : Jurnal Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, Kebumian Dan Angkasa*, 2(5), 75–84.
- <https://doi.org/10.62383/algoritma.v2i5.128> Riandini A, Mahmuda N, & Risanti. (2019). Biologi Molekuler.
- Zamboni, M. A. (2023). The Eukaryotic Cell: Basic Structure and Function. *Journal of Cell Science*, 136(1), jcs.258901. DOI: 10.1242/jcs.258901 , 136(1).

BIODATA PENULIS



Herry Hermansyah, AMAK., SKM., M.Kes dilahirkan di Desa Jagaraga Propinsi Lampung, 18 Mei 1970. Pada tahun 1991 diangkat sebagai pegawai negeri sipil. Tahun 1998 mendapat tugas belajar di Akademi Analis Kesehatan (AAK) Departemen Kesehatan Jakarta. Menyelesaikan S1 di STIKES Bina Husada Palembang, melanjutkan S2 Ilmu Biomedik Bidang Kajian Parasitologi Kedokteran di Universitas Sriwijaya. Sampai saat ini tercatat dosen Mikrobiologi di jurusan Teknologi Laboratorium Medis Politeknik Kesehatan Palembang. Menulis buku ini merupakan pengalaman ketujuh dan satu buku monograf.

BAB 4

Mikroorganisme yang Bermanfaat dan Merugikan

Jasman, S.Pd, M.kes

A. Pendahuluan

Mikroorganisme adalah makhluk hidup mikroskopis yang memiliki peran penting dalam berbagai aspek kehidupan, baik yang bermanfaat maupun yang merugikan. Mikroorganisme mencakup bakteri, virus, jamur, dan protozoa yang dapat ditemukan hampir di semua ekosistem, termasuk tanah, air, udara, dan tubuh makhluk hidup. Pemahaman tentang mikroorganisme sangat penting karena pengaruhnya terhadap kesehatan, lingkungan, dan ekonomi. Mikroorganisme dapat ditemukan dimanapun di dunia ini, karena banyak mikroorganisme dibawa oleh angin, dibawa oleh aliran udara dari permukaan bumi ke atmosfer atau terbawa oleh agen pembawa lainnya, seperti hewan, manusia, dan tumbuhan. Mikroorganisme banyak ditemukan di tempat-tempat yang tersedia makanan, kelembaban dan suhu yang sesuai untuk pertumbuhan dan reproduksi mikroorganisme. Pada diri manusia, mikroorganisme terdapat mulai dari permukaan kulit kita sampai ke dalam usus.

Mikroorganisme tidak lepas dari bidang ilmu Mikrobiologi ditakrifkan sebagai ilmu yang mempelajari makhluk hidup berukuran mikroskopis (mikrobia) meliputi bakteri, algae, protozoa, fungi, dan virus. Mikrobiologi dapat dipandang sebagai ilmu dasar yang mempelajari biologi dari mikrobia baik yang berguna dalam bidang Medik, Immunologi, Pangan, Industri, Lingkungan, dan Pertanian. Pemanfaatan mikroorganisme ini dalam bidang pertanian dimanfaatkan

untuk meningkatkan produksi pertanian baik kuantitas maupun kualitas dan menekan kemungkinan kehilangan produksi karena berbagai sebab (Wiyatiningsih, et.al, 2021).

Pada dunia pertanian, mikroorganisme terdapat mulai dari tanah sebagai medium tanam sampai komoditi yang dihasilkan dan dalam proses-proses pengolahannya (industri pertanian).

B. Pengertian Mikroorganisme

Mikroorganisme adalah organisme yang berukuran sangat kecil sehingga hanya dapat dilihat dengan bantuan mikroskop. Mikroorganisme meliputi semua bentuk kehidupan yang tidak dapat dilihat tanpa bantuan alat pembesar, seperti bakteri, *archaea*, jamur mikroskopis, protista, dan virus. Organisme hidup yang ukurannya kecil disebut sebagai mikroorganisme atau mikroba atau jasad renik. Mikroorganisme yang dapat menyebabkan penyakit disebut mikroba patogen atau oleh masyarakat umum dikenal dengan sebagai kuman. Sel mikroorganisme umumnya hanya dapat dilihat dengan alat pembesar atau mikroskop, namun ada juga jenis mikroba yang dapat dilihat tanpa alat pembesar. Seringkali mikroorganisme bersel tunggal (uniselular) masih terlihat oleh mata telanjang dan ada beberapa spesies yang bersel banyak (multisel) tidak terlihat mata telanjang.

Istilah mikroba (disebut juga mikroorganisme, mikrobia, maupun jasad renik) bukan nama dari suatu kelompok organisme seperti hewan dan tumbuhan, melainkan suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan suatu organisme yang mempunyai ukuran yang sangat kecil, sehingga tidak dapat dilihat dengan mata telanjang tanpa menggunakan mikroskop. Secara umum, mikroba merupakan organisme yang sangat sederhana. Umumnya bakteri, protozoa, dan beberapa alga serta fungi mikroskopik merupakan mikroba bersel tunggal. Bahkan mikroba yang multiseluler pun tidak memiliki ukuran sel yang besar. Beberapa aspek yang dibahas dalam mikrobiologi antara lain mengkaji tentang: 1) karakteristik sel hidup dan bagaimana sel tersebut melakukan aktivitas; 2)

karakteristik mikroba, khususnya bakteri; 3) keanekaragaman mikroba; 4) interaksi mikroba dengan organisme lain; dan 5) peranan mikrobiologi dalam berbagai bidang (Hafsan, 2011).

Dewasa ini, kajian mikrobiologi mengalami perkembangan yang pesat. Kajian yang lebih khusus sebagai perkembangan dari ilmu mikrobiologi dapat dikelompokkan berdasarkan tujuannya, misalnya berdasarkan taksonomi, habitat dan cakupan masalah serta hubungannya dengan disiplin ilmu lain. Mikroorganisme memiliki peran yang beragam dalam kehidupan manusia, mulai dari yang menguntungkan hingga yang menimbulkan dampak negatif. Dalam konteks Indonesia, hal ini juga didukung oleh penelitian yang dikemukakan oleh Sarwono (2017), yang menekankan pentingnya mikroorganisme dalam ekosistem tropis.

1. Peran Mikroorganisme

a. Mikroorganisme yang Bermanfaat

Rorong, J, A et.al (2020) menjelaskan bahwa mikrobiologi pangan terdiri dari bakteri dan jamur. Bakteri terdiri dari bakteri yang menguntungkan dan bakteri yang merugikan sedangkan jamur terdiri dari kapang dan khamir. Terdapat pemahaman awam secara umum bahwa mikroorganisme itu adalah bakteri yang merupakan penyebab penyakit yang sangat berbahaya, namun seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah banyak dipelajari bahwa mikroorganisme bukan hanya bakteri tetapi di alam ini terdapat banyak jenis jasad renik yang sifatnya mikro.

Disamping dapat menyebabkan penyakit, bakteri juga dapat dimanfaatkan untuk kehidupan. Bakteri *Escherichia coli* berperan untuk pembusukan makanan, *Rhizobium leguminosarum* berfungsi mengikat nitrogen, *Lactobacillus bulgaricus* bermanfaat untuk pembuatan Yogurt, *Acetobacter Xilinum* bermanfaat untuk pembuatan nata de coco, *Lactobacillus casei* bermanfaat untuk pembuatan keju, *Methanobacterium* bermanfaat pembuatan biogas dan *Streptomyces griseus* bermanfaat

untuk pembuatan antibiotik Streptomisin. Mikroorganisme yang bermanfaat memberikan kontribusi positif di berbagai bidang, termasuk kesehatan, pertanian, industry dan pengolahan air limbah.

1) Dalam Bidang Kesehatan

Probiotik adalah contoh utama mikroorganisme yang bermanfaat. *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium*, dua jenis bakteri probiotik, berperan dalam menjaga kesehatan saluran pencernaan. Bakteri ini membantu meningkatkan sistem imun dan mencegah infeksi saluran cerna. Dalam konteks lokal, penelitian yang dilakukan oleh Suryani (2020) menunjukkan bahwa konsumsi probiotik yang berasal dari fermentasi makanan tradisional Indonesia dapat meningkatkan kesehatan usus.

2) Dalam Bidang Pertanian

Di bidang pertanian, bakteri seperti *Rhizobium* dan *Azotobacter* membantu dalam proses fiksasi nitrogen, yang penting untuk kesuburan tanah. Menurut Wang et al. (2021), mikroorganisme ini memungkinkan tanaman memperoleh nitrogen dalam bentuk yang dapat digunakan. Buku "Mikrobiologi Pertanian" oleh Adiningsih et al. (2018) juga menguraikan peran mikroorganisme dalam peningkatan produktivitas lahan di Indonesia.

Bahan buangan dari manusia dan hewan, jasad dan jaringan tumbuhan, dibuang atau dikubur dalam tanah. Setelah beberapa lama, bahan-bahan tersebut berubah menjadi komponen organik dan beberapa ada yang menjadi komponen anorganik tanah. Perubahan-perubahan tersebut dilakukan oleh mikroorganisme yaitu perubahan bahan organik menjadi substansi yang menyediakan nutrisi bagi dunia tumbuhan.

Bakteri, cendawan, alga, protozoa, dan virus secara bersama-sama membentuk kumpulan mikroorganisme per gram tanah. Peranan terpenting mikroorganisme tanah misalnya: Membawa perubahan kimiawi pada substansi substansi di dalam tanah. Pengubahan senyawa organik yang mengandung karbon, nitrogen, sulfur, dan fosfor menjadi senyawa anorganik. Mengubah senyawa anorganik menjadi senyawa organik untuk digunakan makhluk hidup. Proses ini disebut mineralisasi, dan di dalamnya terlibat sejumlah besar perubahan kimiawi serta peranan berbagai macam spesies mikroorganisme.

3) Dalam Bidang Industri

Wiyatiningsih, S, et.al (2021), mikroorganisme telah digunakan untuk produk seperti roti, yoghurt, minuman beralkohol, keju, dll, untuk waktu yang lama tanpa mengetahui keterlibatan mereka dalam fermentasi. Louis Pasteur menunjukkan peran mikroorganisme dalam pembusukan dan fermentasi juga melibatkan mikroorganisme. Setelah fakta ini ditetapkan, ilmuwan mencoba mengisolasi mikroorganisme, yang lebih efisien dalam menghasilkan produk yang lebih baik atau perbaikan proses. Beberapa spesies berguna untuk pengembangan rasa yang unik untuk anggur tertentu. Jadi secara tradisional mikroorganisme tertentu digunakan dalam makanan fermentasi seperti itu.

Mikroorganisme juga berperan dalam produksi makanan dan minuman. *Saccharomyces cerevisiae*, misalnya, digunakan dalam pembuatan roti dan bir (Kurtzman et al., 2020). Selain itu, mikroorganisme juga digunakan dalam produksi antibiotik seperti *Penicillium notatum* yang menghasilkan penisilin (Fleming, 2018). Dalam industri fermentasi lokal,

mikroorganisme seperti *Rhizopus oryzae* banyak digunakan untuk menghasilkan tempe, seperti yang dijelaskan oleh Utami (2019).

Menurut Sulastris E, et.al (2022) bahwa mikroorganisme yang digunakan dalam pengolahan bahan pangan juga memerlukan proses yang higienis untuk menghindari kerusakan dan pembusukan bahan makanan tersebut karena akan memperpendek umur simpan. Pengolahan yang sembarangan akan menumbuhkan organisme patogen yang dapat menyebabkan penyakit apabila dikonsumsi. Selanjutnya dijelaskan bahwa mikroorganisme dalam makanan tidak hanya bergantung pada karakteristik fisik dan nutrisi makanan tetapi juga pada serangkaian faktor yang mempengaruhi seperti suhu, pH, aktivitas air, dan potensi redoks, dapat dianggap sebagai faktor terpenting yang mendorong nasib mikroba dalam makanan. Fermentasi merupakan cara pengawetan bahan pangan dari bahan mentah dengan bantuan mikroorganisme. 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

Mikroorganisme dapat berada dimana saja, di tanah, air, udara, makanan, tubuh manusia dan di lingkungan sekitar. Mikroorganisme khususnya bakteri banyak terdapat dalam bahan pangan secara alami, dan dapat berperan dalam proses pengolahan makanan, misalnya dalam proses fermentasi. Fermentasi makanan adalah proses dimana bahan baku menjadi makanan fermentasi oleh pertumbuhan dan aktivitas metabolisme mikroorganisme yang diinginkan dan terkontrol (Simanjuntak R, et al, 2024).

4) Dalam Bidang Pengolahan Air Limbah

Prinsip dasar pengolahan air limbah secara biologis adalah suatu proses yang melibatkan aktivitas mikroorganisme dalam penguraian bahan-bahan organik yang terdapat dalam air limbah. Irianto (2017) menjelaskan bahwa mikroorganisme yang berperan aktif dalam proses pemurnian air limbah secara biologis terutama adalah kelompok bakteri, jamur.

Limbah organik umumnya berasal dari rumah, hotel, restoran, dan pertanian. Di rumah, hotel, dan restoran, makanan sisa, makanan basi, atau sisa masakan seperti kulit bawang dan tangkai cabai, termasuk sampah organik. Sementara di sawah dan di alam terbuka, limbah organik bisa jadi sisa tanaman, kayu, maupun bangkai hewan. Begitu pula di peternakan, tinja dari hewan ternak, bulu, susu, kulit, dan segala sesuatu yang berasal dari hewan merupakan limbah organik.

Dalam limbah organik mengandung air, serat, dan senyawa organik kompleks yang mudah diuraikan. Ada limbah organik yang kandungan airnya tinggi seperti sayur, buah, dan tinja. Namun ada juga limbah organik yang kandungan airnya sedikit atau kering. Contohnya daun kering, ranting pohon, kertas, kain, Limbah organik akan terurai atau terdegradasi oleh alam. Ada yang membusuk dengan cepat, dan membusuk dengan lama. Limbah organik akan terurai diurai atau dibusukkan oleh mikroorganisme. Mikroorganisme atau mikroba adalah makhluk yang berukuran sangat kecil. Mikroorganisme memproses hasil reduksi senyawa organik untuk menjadi makanan mereka.

Megasari, R et.al (2012) menjelaskan jenis mikroba spesifik yang berperan dalam pengolahan limbah dengan rincian sebagai berikut:

(a) Bakteri.

Bacillus sp. bersifat aerob dan fakultatif anaerob serta merupakan salah satu bakteri yang bermanfaat dalam proses pengolahan air limbah. *Bacillus* sp. Sangat resisten terhadap kondisi yang kurang baik seperti suhu, pH, dan salinitas sehingga distribusinya di alam sangat luas. Peran utama bakteri pada lingkungan perairan adalah menguraikan biomassa organik dan mendaur ulang berbagai elemen penting (nitrogen, fosfor dan sulfur). *Acinetobacter* sp, mempunyai kemampuan dalam mereduksi nitrat oleh bakteri yang terkandung dalam lumpur aktif.

Corynebacterium glutamicum adalah organisme yang paling serbaguna, organisme yang digunakan secara komersial untuk menyiapkan glutamat, lisin, treonin, fenilalanin. *Escherichia*, *Serratia*, *Bacillus*, *Hansenula*, *Candida*, dan *Saccharomyces* juga digunakan dalam produksi asam amino, beberapa di antaranya dimodifikasi secara geneti (Wiyatiningsih, S, et.al, 2021)

(b) Jamur

Jamur telah berperan sejak zaman dahulu dalam pembuatan makanan dan minuman, seperti produksi minuman beralkohol dan roti. Sebaliknya, jamur dan khamir memiliki peran penting dalam fermentasi industri modern untuk memperoleh bahan makanan. Jamur dan khamir digunakan sebagai agen biotransformasi untuk sintesis enzim, asam organik, vitamin, pigmen, dan asam lemak. Proses fermentasi memanfaatkan jamur untuk mengubah substrat padat atau cair menjadi berbagai produk. Substrat sangat bervariasi, dengan bahan apapun yang mendukung pertumbuhan mikroba

bertujuan untuk menghasilkan bioproduk yang diinginkan sedini mungkin dengan tingkat dan hasil tertinggi secara konsisten, dengan cara yang paling sederhana dan termurah. Fisiologi jamur yang terlibat dan jalur metabolisme yang relevan harus dipahami dengan baik; selain itu, nutrisi yang cukup harus disediakan dan perubahan kebutuhan nutrisi sepanjang berbagai tahap fermentasi harus dipenuhi.

Asam organik banyak digunakan sebagai bahan dalam pengolahan makanan modern, terutama sebagai pengasaman, tetapi juga sebagai bahan penyedap, penyangga, pengawet, dan bahan pembantu teknologi. Hingga saat ini, asam organik jamur yang umum digunakan adalah asam sitrat dan asam glukonat; keduanya dibuat melalui fermentasi glukosa atau sukrosa oleh *Aspergillus niger*. Asam itakonat, laktat, fumarat, malat, tartarat, suksinat, dan oksalat juga dapat diproduksi dengan menggunakan jamur, tetapi dalam jumlah yang lebih sedikit.

Akumulasi asam organik yang signifikan hanya terjadi dalam sejumlah kondisi yang ditentukan dan, dalam beberapa kasus, ditemukan kondisi yang menghasilkan konversi substrat karbon menjadi asam secara kuantitatif. Untuk produksi asam sitrat, parameter kritisnya meliputi konsentrasi karbohidrat dan oksigen terlarut yang tinggi, pH dan konsentrasi mangan yang rendah, serta pengadukan yang konstan.

Asam sitrat pertama kali diisolasi dari sari lemon, tetapi, saat ini, produksi asam oleh jamur ini mewakili lebih dari 95% produksi dunia. Asam sitrat merupakan salah satu asam yang paling serbaguna, digunakan dalam industri makanan, mencakup sekitar 80% dari

penggunaan pengasaman makanan. Asam sitrat merupakan bahan penting untuk rasa asam dan pengendalian pH dalam selai dan jeli. Asam sitrat juga digunakan untuk menyesuaikan rasa asam dalam minuman seperti jus buah, minuman ringan, dan anggur. Asam sitrat juga memiliki kemampuan untuk mengomplekskan logam berat, dan makanan beku sering diolah dengan asam sitrat untuk mempertahankan vitamin C dan mengurangi pencoklatan enzimatis.

A. niger adalah spesies yang paling umum digunakan dalam fermentasi industri asam sitrat, tetapi jamur dan ragi lain, seperti *Aspergillus wentii*, *Penicillium citrinum*, dan *Candida lipolytica* juga dapat mengakumulasi asam ini.

Asam glukonat dapat disiapkan dalam bioproses yang menggunakan *A. niger*. Saat ini, proses tersebut juga dapat dilakukan tanpa adanya sel jamur, dengan enzim glukosa oksidase dan katalase yang berasal dari *A. niger*, di mana hampir 100% glukosa diubah menjadi asam glukonat. Proses enzimatis memiliki keuntungan tambahan karena tidak memerlukan langkah pemurnian produk. Produksi asam glukonat telah menjadi contoh penting dari bioproses jamur di masa lalu, tetapi perolehan asam ini melalui fermentasi jamur telah mengurangi relevansinya, karena produksi komersial berdasarkan enzim telah menjadi hemat biaya

b. Mikroorganisme yang Merugikan

Meskipun banyak mikroorganisme yang bermanfaat, ada pula yang menyebabkan kerugian dalam berbagai bidang. Bakteri selain bermanfaat dalam pengolahan pangan, ada juga yang dapat menimbulkan kerugian karena dapat mengakibatkan pembusukan

pada makanan, dan bahkan dapat berbahaya bagi manusia. Beberapa bakteri yang sering mengkontaminasi bahan makanan dan merupakan bakteri patogen adalah *Salmonella thyphimurium*, *Escherichia coli*, dan *Staphylococcus aureus* (Simanjuntak, R et.al, 2024).

1) Dalam Bidang Kesehatan

Banyak mikroorganisme yang merupakan patogen dan menyebabkan penyakit. Contohnya adalah *Mycobacterium tuberculosis*, penyebab tuberkulosis, dan *Plasmodium falciparum*, penyebab malaria. Data dari WHO (2022) menunjukkan bahwa tuberkulosis dan malaria masih menjadi masalah kesehatan global yang serius. Di Indonesia, tuberkulosis masih menjadi masalah kesehatan masyarakat kompleks, karena berhubungan dengan masalah lingkungan dan perilaku masyarakat.

Simanjuntak, R et.al (2024) menguraikan bahwa *Escherichia coli* merupakan bakteri berbentuk bakteri batang pendek, Gram negatif, aerob dan fakultatif anaerob, dan beberapa strain mempunyai kapsul. Strain patogen *Escherichia coli* dapat menyebabkan kasus diare berat pada semua kelompok usia melalui endotoksin yang dihasilkannya. Pangan yang sering terkontaminasi *E. coli* ialah daging hamburger yang setengah matang dan pangan cepat saji lain serta keju yang berasal dari susu yang tidak dipasteurisasi.

2) Dalam Bidang Pertanian

Patogen tanaman seperti *Phytophthora infestans*, yang menyebabkan penyakit hawar daun pada kentang, telah merugikan petani secara ekonomi. Di Indonesia, penyakit seperti *blast* pada padi yang disebabkan oleh *Pyricularia oryzae* juga sangat merugikan petani, sebagaimana dijelaskan dalam buku "Hama dan Penyakit Tanaman Pangan" oleh Suripno (2019).

3) Dalam Bidang Industri

Mikroorganisme seperti bakteri penyebab korosi, *Desulfovibrio sp.*, dapat merusak infrastruktur industri. Korosi mikrobiologis mengakibatkan kerugian besar di sektor minyak dan gas. Dampak serupa juga dilaporkan dalam industri perkapalan di Indonesia, di mana korosi menjadi salah satu faktor utama dalam kerusakan struktur logam (Hidayat, 2020).

Mikroorganisme tersebar luas di alam dan sebagai akibatnya produk pangan jarang sekali yang steril, tetapi umumnya tercemar oleh berbagai jenis mikroorganisme. Pertumbuhan mikroorganisme dalam bahan pangan dapat mengakibatkan perubahan fisik atau kimia yang tidak diinginkan, sehingga bahan pangan tersebut tidak layak dikonsumsi. Pengawetan pangan merupakan usaha untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme pada bahan pangan. Untuk dapat tumbuh dan berfungsi secara normal, mikroorganisme membutuhkan sumber energi, sumber nitrogen, vitamin, mineral dan faktor pertumbuhan lainnya. Komponen-komponen tersebut diperoleh mikroba dari bahan pangan, sehingga makanan menjadi rusak. Untuk pertumbuhannya, kapang mempunyai kebutuhan zat gizi yang paling minimal, diikuti dengan khamir, kemudian bakteri gram negatif, sedangkan bakteri gram positif mempunyai kebutuhan zat gizi yang paling lengkap (Rorong, J, A et.al, 2020).

Kerusakan oleh Mikroorganisme pada Produk Ikan, Daging, dan Telur

Ikan, daging, dan telur mudah mengalami kerusakan karena mempunyai gizi yang tinggi dan kandungan air pada bahan yang cukup banyak. Serta mengandung banyak vitamin dan mineral.

(a) Ikan

Kerusakan oleh mikroorganisme yang terjadi pada ikan pada umumnya disebabkan oleh kontaminasi bakteri. Aktivitas mikroba dapat menyebabkan berbagai perubahan biokimia dan fisika pada tubuh ikan, yang dapat menyebabkan kebusukan. Bakteri penyebab kerusakan pada ikan diantaranya adalah *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Moraxella*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Escherchia*, *Proteus*, *Serratia*, *Sarcina*, dan *Clostridium*. Kontaminan pada ikan olahan seperti ikan asin biasanya disebabkan oleh bakteri halofilik. Sedangkan pada ikan yang diasap disebabkan oleh mikroba jenis kapang.

(b) Daging

Mikroorganisme mengkontaminasi daging bisa disebabkan oleh banyak faktor. Diantaranya adalah: Terkontaminasi dari organ dalam hewan yang banyak mengandung mikroorganisme, kondisi hewan sebelum disembelih, terutama kesehatan dari hewan tersebut, tingkat sanitasi selama pemeliharaan dan penyembelihan dan kecepatan pendinginan daging hasil sembelihan.

Kerusakan daging oleh mikroorganisme disebabkan oleh bakteri, kapang, maupun khamir. Contoh mikroorganisme tersebut adalah *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Moraxella*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Lactobacillus*, *Photobacterium spp*, dan *Actinomycetes*.

(c) Telur

Telur merupakan produk yang bisa mengalami kerusakan akibat mikroorganisme. Mikroba dari air, udara, dan kotoran ayam dapat masuk ke dalam telur yang utuh melalui pori-pori yang terdapat pada cangkang telur.

Mikroorganisme penyebab kerusakan pada telur diantaranya adalah beberapa bakteri seperti *Pseudomonas flourence*, *Aeromonas*, dan *Serratia*. Beberapa jenis jamur juga ada yang menyebabkan kerusakan pada telur. Jamur yang biasa ditemukan pada telur yang rusak diantaranya adalah *Penicillum*, *Alternaria*, dan *Rhizopus*.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, S., Herawati, T., & Wijayanto, S. (2018). *Mikrobiologi Pertanian*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Azara R (2020). Buku Ajar Mikrobiologi Pangan, Umsida Press, Universitas Muhammadiyah.
- Covetti M.V (2019). Jamur Sebagai Produsen Industri Bahan Makanan, *Jurnal Elzevier* Volume 25 (2), 52-56.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214799318301802>
- Fleming, A. (2018). The Discovery of Penicillin. Oxford University Press.
- Hafsan (2011). Mikrobiologi Umum, Alaudin University Press
- Hidayat, A. (2020). Korosi Mikrobiologi pada Infrastruktur Industri Perkapalan di Indonesia. Bandung: ITB Press.
- Irianto, I.K (2017). Sistem teknologi Pengolahan Limbah, Marwadewa University Press.
- Kompas.com, 2020. Limbah Organik, Limbah yang Berasal dari Makhluk Hidup, : <https://www.kompas.com/skola/read/2020/05/31/182027169/limbah-organik-limbah-yang-berasal-dari-makhluk-hidup>.
- Kurtzman, C. P., Fell, J. W., & Boekhout, T. (2020). Yeasts: A Taxonomic Study. Elsevier.
- Megasari R, Biyatmoko D, Ilham W dan Hadie J (2012). Identifikasi Keragaman Jenis Bakteri Pada Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Minuman Dengan Lumpur Aktif Limbah Tahu, *Jurnal Enviro Scientee*, 8 (1), 89-101.
- Rorong J.A dan Wilar W.F (2020). Keracunan Makanan Oleh Mikroba, *Techno Science Journal* 2 (2), 47-60.
- Sarwono, B. (2017). Peran Mikroorganisme dalam Ekosistem Tropis. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Simanjuntak R, dan Naibaho B (2024). Identifikasi Mikroba Yang Menguntungkan dan Merugikan Dari Dengke Naniura. *Jurnal Riset Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian (REPITA)*, 4 (2), 92-99.

- Suripno, T. (2019). Hama dan Penyakit Tanaman Pangan. Bogor: IPB Press.
- Sulastri E, Indriani C, Zainudin M, Wardhani S, Astriani M dan Aryanto E (2022), Review; Peran Mikrobiologi Pada Industri Makanan, *Jurnal Indobiosains* Volume 4 (1), 1-8.
- Utami, R. (2019). Produksi Tempe dengan *Rhizopus oryzae*. *Jurnal Teknologi Pangan*, 14(3), 112-119.
- WHO (2022). Global Tuberculosis Report. World Health Organization.
- Wiyatiningsih S (2021). Book Chapter Mikrobiologi Pertanian, Nuta Media

BIODATA PENULIS



Jasman, S.Pd, M.Kes lahir di Majene Sulawesi Barat, 7 September 1967. Menyelesaikan Pendidikan dasar dan menengah di Majene, kemudian melanjutkan Pendidikan Diploma III Akademi Penilik Kesehatan (APK) Makassar, selesai tahun 1989. Pendidikan S1 pada Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) Manado Jurusan Administrasi Pendidikan, selesai tahun 1997. Pada tahun 2005, Atas beasiswa Kementerian Kesehatan RI, penulis mendapat kesempatan meneruskan pendidikan Program S-2 di Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta dan memperoleh gelar Magister Kesehatan (M. Kes) Peminatan Kesehatan Lingkungan pada tahun 2007. Sejak tahun 1992 penulis bertugas sebagai dosen tetap pada Jurusan Kesehatan Lingkungan Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Manado. Selain sebagai dosen, juga memiliki sertifikat *Lead Auditor In Quality Management System ISO 9001:2015* dari SAI Global. Pada tahun 2014 – 2022 penulis diberi tugas sebagai Ketua Program Studi Diploma III Sanitasi Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Manado.

BAB 5

Bakteri dan Bentuk Bakteri

Firdaus Fahdi, M.Pd

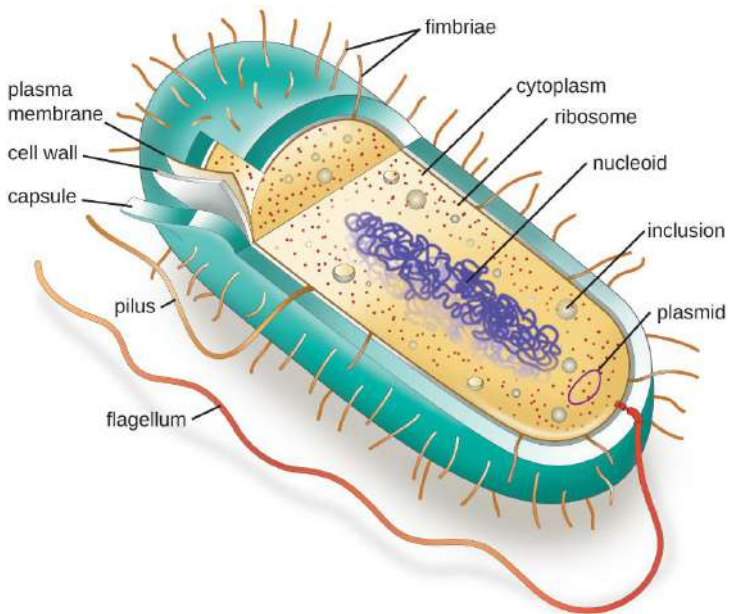
A. Pendahuluan

Bakteri merupakan mikroorganisme uniseluler yang memiliki peran penting dalam kehidupan, baik sebagai agen penyebab penyakit maupun sebagai bagian dari keseimbangan ekosistem. Bakteri tersebar luas di berbagai lingkungan, dari tanah, air hingga tubuh manusia. Sejarah penemuan bakteri dimulai dengan penemuan mikroskop oleh *Antonie van Leeuwenhoek* pada abad ke-17. Meskipun ukurannya sangat kecil dan tidak kasat mata, bakteri memiliki keragaman bentuk dan struktur yang unik, yang berkontribusi pada cara mereka beradaptasi dengan lingkungan (Tortora et al., 2022). Secara umum, bakteri diklasifikasikan berdasarkan bentuknya menjadi tiga kelompok utama, yaitu kokus (bulat), basil (batang), dan spirillum (spiral), masing-masing dengan karakteristik yang berbeda dalam hal pergerakan, reproduksi, dan interaksi dengan organisme lain (Prescott et al., 2021). Memahami struktur dan variasi bentuk bakteri tidak hanya penting dalam bidang mikrobiologi, tetapi juga dalam dunia kesehatan, industri, dan lingkungan. Buku ini akan membahas lebih dalam mengenai bakteri dan bentuk-bentuknya, serta bagaimana karakteristik fisik tersebut berhubungan dengan fungsinya dalam berbagai aspek kehidupan.

B. Bakteri dan Bentuk Bakteri

Bakteri adalah mikroorganisme uniseluler prokariotik yang ditemukan hampir di seluruh lingkungan, termasuk tanah, air, udara, serta dalam tubuh makhluk hidup (Tortora et al., 2022). Sebagai organisme prokariotik (Gambar 1), bakteri

tidak memiliki inti sel yang sejati, dan materi genetiknya berupa DNA sirkular yang terdapat di dalam sitoplasma. Bakteri dapat hidup secara bebas atau berkoloni serta memiliki peran yang beragam, baik sebagai patogen penyebab penyakit maupun sebagai mikroorganisme yang menguntungkan dalam ekosistem dan industri (Prescott et al., 2021).



Gambar 1. Struktur sel organisme prokariotik (Keenleysade, 2019)

1. Karakteristik Umum Bakteri

Bakteri memiliki beberapa karakteristik utama yang membedakannya dari organisme lain:

- a. Prokariotik: Tidak memiliki inti sejati, dengan DNA yang terkonsentrasi di dalam nukleoid.
- b. Uniseluler: Sebagian besar bakteri terdiri dari satu sel, meskipun ada yang membentuk koloni atau filamen.
- c. Dinding sel: Sebagian besar bakteri memiliki dinding sel yang tersusun dari peptidoglikan, yang memberikan bentuk dan perlindungan.

- d. Reproduksi cepat: Bakteri berkembang biak dengan pembelahan biner, yang memungkinkan mereka berkembang dalam waktu singkat.
 - e. Metabolisme beragam: Bakteri dapat bersifat aerob (memerlukan oksigen) atau anaerob (tidak memerlukan oksigen) serta mampu memperoleh energi dari berbagai sumber, termasuk bahan organik dan anorganik.
 - f. Mobilitas: Beberapa bakteri memiliki flagela untuk bergerak atau pili untuk menempel pada permukaan. (Madigan et al., 2021).
2. Klasifikasi Bentuk Bakteri

Bakteri merupakan makhluk hidup mikroskopik, sehingga bakteri hanya dapat diamati dengan jelas menggunakan mikroskop (Glazer & Nikaido, 2007). Pengamatan bakteri dapat dilakukan dengan mikroskop cahaya atau mikroskop elektron. Satuan dari pengukuran sel bakteri yaitu mikron/mikrometer (mm) (Parija, 2012).

- a. 1 micron (μm) = 1/1000 milimeter (mm)
- b. 1 nanometer (nm) = 1/1000 micron (μm)
- c. 1 Angstrom unit ($\text{\AA}$) = 1/10 nm (nanometer)

Ukuran sel bakteri memiliki ukuran Panjang 2,0 – 5,0 μm dan lebar nya berkisar antara 0,2 – 1,5 μm (Parija, 2012). Identifikasi berbagai jenis mikroorganisme dapat dilakukan berdasarkan karakteristik morfologi koloni bakteri dan biakan murni. Namun, untuk mendapatkan hasil identifikasi yang lebih akurat, perlu dilakukan uji biokimia sebagai tahap lanjutan.

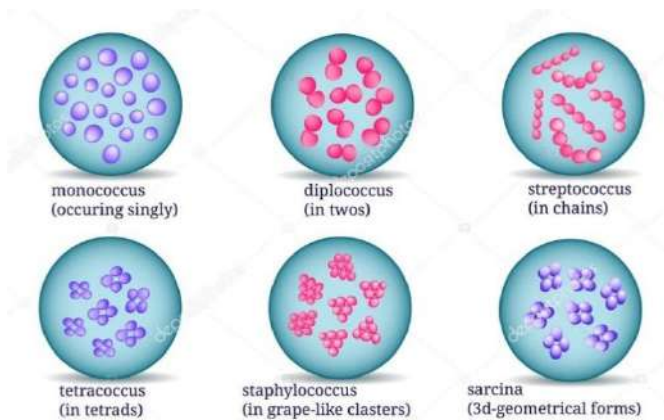
Berdasarkan morfologi bentuk selnya, bakteri dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bentuk. Yaitu :

- a. Kokus (Coccus)

Kokus adalah bakteri berbentuk bulat atau oval (Gambar 2). Bakteri ini dapat ditemukan dalam berbagai pola penyusunan, seperti:

- 1) Monokokus: merupakan bakteri bulat tunggal (hanya sendiri).

- 2) Diplokokus: bakteri bulat berpasangan/bergandengan, misalnya *Neisseria gonorrhoeae* (penyebab gonore).
- 3) Streptokokus: Bakteri bulat yang berbentuk rantai memanjang, contohnya *Streptococcus pyogenes* (penyebab faringitis).
- 4) Stafilokokus: Berkelompok menyerupai anggur, misalnya *Staphylococcus aureus* (penyebab infeksi kulit).
- 5) Tetrad: Kelompok berempat/bakteri berkoloni yang bentuknya menyerupai bujur sangkar (terdiri dari empat sel), seperti *Micrococcus luteus* (bakteri lingkungan). (Madigan et al., 2021).
- 6) Sarkina: bakteri yang membentuk koloni menyerupai kubus (terdiri dari delapan sel), contohnya *Sarcina ventriculi*.



Gambar 2. Bakteri bentuk kokus/bulat

b. Basil (Bacillus)

Basil adalah bakteri berbentuk batang, yang bisa berbentuk pendek atau panjang. Bagian ujung pada bakteri basil bervariasi, bisa berbentuk bulat, runcing maupun persegi (Gambar 3). Bakteri basil dapat

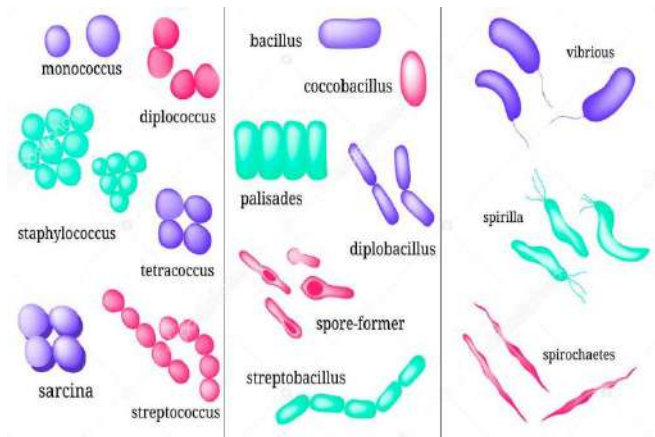
dikelompokkan menjadi beberapa kelompok berdasarkan jumlah sel bakterinya.

- 1) Monobasil, merupakan bakteri dengan hanya satu batang tunggal/satu sel bakteri.
- 2) Diplobasil, adalah bakteri bentuk batang yang berjumlah dua/bergandengan dua pasang. Contohnya, *Renibacterium salmoninarum*.
- 3) Streptobasil, merupakan bakteri bentuk batang yang membentuk rantai panjang. Contohnya: *Escherichia coli*, flora normal dalam usus manusia; *Bacillus anthracis*, penyebab antraks; *Salmonella typhi*, penyebab demam tifoid. (Prescott et al., 2021).

c. *Spirillum* dan *Spirochetes*

Bakteri berbentuk spiral (Gambar 3), merupakan bakteri yang hidup secara soliter dan tidak berkoloni. Bakteri ini dibagi menjadi tiga kelompok utama:

- 1) *Spirillum*: Bentuk spiral yang kaku dan bergerak dengan flagela eksternal, misalnya *Spirillum volutans*.
- 2) *Vibrio*: kelompok bakteri dengan bentuk melengkung setengah lingkaran, misalnya *Vibrio cholera*.
- 3) *Spirochetes*: Lebih fleksibel dan bergerak dengan filamen aksial, misalnya *Treponema pallidum* (penyebab sifilis) dan *Borrelia burgdorferi* (penyebab penyakit Lyme). (Tortora et al., 2022).



Gambar 3. Variasi bentuk bakteri

3. Faktor Yang Mempengaruhi Bentuk Bakteri

Bentuk bakteri dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti:

- a. Komposisi dinding sel: Dinding sel yang kaku pada bakteri mempertahankan bentuknya dan melindungi dari tekanan osmotik (Madigan et al., 2021).
- b. Kondisi lingkungan: Faktor seperti tekanan, suhu, dan pH dapat memengaruhi morfologi sel bakteri.
- c. Genetik: Bentuk bakteri dikendalikan oleh ekspresi gen yang menentukan sintesis protein struktural dalam sel.

4. Peran Bentuk Bakteri Dalam Kehidupan

Bentuk bakteri memiliki peran penting dalam mekanisme infeksi, kemampuan bertahan hidup di lingkungan ekstrem, serta dalam bioteknologi:

- a. Bakteri berbentuk basil lebih efisien dalam menyerap nutrisi karena memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan kokus (Prescott et al., 2021).
- b. Bakteri berbentuk spiral lebih fleksibel dalam bergerak dan dapat bertahan di lingkungan dengan kondisi sulit, seperti saluran pencernaan dan darah (Tortora et al., 2022).
- c. Studi morfologi bakteri membantu dalam identifikasi bakteri patogen dan pengembangan antibiotik.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, N.A., & Reece, J. (2003). *Campbell Biology 11th Edition*. New York : Pearson Higher Education.
- Glazer, A., N., & Nikaido, H. (2007). *Micorbial Biotechnology : Fundamentals of Applied Microbiology*. Cambridge University Press.
- Keenleyside, W. (2019). *Microbiology : Canadian Edition*. Ontario : Pressbook.
- Madigan, M. T., Bender, K. S., Buckley, D. H., Sattley, W. M., & Stahl, D. A. (2021). *Brock Biology of Microorganisms* (16th ed.). Pearson.
- Parija, S.,C. (2012). *Textbook of Microbiology and Immunology 2nd Edition*. New Delhi : Elsevier.
- Prescott, L. M., Harley, J. P., & Klein, D. A. (2021). *Microbiology* (11th ed.). McGraw-Hill.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. (2022). *Microbiology: An Introduction* (13th ed.). Pearson.

BIODATA PENULIS



Firdaus Fahdi, M.Pd lahir di Banda Aceh, pada 26 Agustus 1989. Menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam dan Matematika, Program Studi Pendidikan Biologi, Universitas Negeri Medan tahun 2011 dan melanjutkan Pasca sarjana Pada Prodi Magister Pendidikan Biologi di Universitas Negeri Medan lulus tahun 2015. Penulis merupakan dosen tetap di Institut Kesehatan Deli Husada Deli Tua, Deli Serdang, Sumatera Utara. Sselama menjadi dosen, penulis aktif menulis baik jurnal penelitian maupun book chapter.

BAB 6

Struktur Bakteri

*Adelia Febriyossa, S.Si, M.Si *

A. Pendahuluan

Cikal bakal ditemukan struktur bakteri, fungi, hewan maupun tumbuhan yang saat ini berhasil dipelajari dan diamati adalah diawali dengan ditemukannya *Cell* (Sel) pada berabad-abad yang lalu oleh para ilmuwan dari berbagai belahan dunia. Sel pertama kali ditemukan oleh ilmuwan bernama Robert Hook pada tahun 1665. Sel dapat didefinisikan sebagai unit fungsional dasar kehidupan. Semua organisme hidup terdiri dari satu atau banyak sel untuk melakukan tugas dan fungsi masing-masingnya. Sel pada kelompok organisme digolongkan menjadi dua yaitu sel organisme Prokariot dan Eukariot. Semua organisme hidup terdiri dari satu sel tunggal (uniseluler) dikenal dengan organisme prokariotik contohnya bakteri; atau organisme yang terdiri lebih dari satu sel (multiseluler) yaitu dikenal dengan organisme eukariotik contohnya sel hewan, tumbuhan dan fungi (Dwidjoseputro, 2003).

1. Sel Prokariotik dan Eukariotik

Sel prokariotik lebih sederhana dibandingkan sel eukariotik. Istilah Prokariota berasal dari bahasa Yunani yang berarti “sebelum inti”. Sel prokariot tidak memiliki organel terikat membran, bereproduksi dengan pembelahan biner dan memiliki selubung sel yang terdiri dari kapsul, dinding sel, sitoplasma, membran plasma, nukleus, ribosom, plasmid, pili dan flagella. Karakteristik organisme eukariot yaitu: 1) DNA di dalam inti sel (nukleus) yang dipisahkan oleh membran nukleus, 2)

Memiliki sejumlah organel tertutup membran yaitu mitokondria, retikulum endoplasma, badan Golgi, lisosom, dan kloroplas, 3) Pembelahan sel dapat secara mitosis dan meiosis yang mana kromosom bereplikasi dan didistribusikan ke masing-masing inti (Pelczar dkk, 2005). Perbedaan sel prokariot dan eukariot dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Perbedaan Sel Prokariotik Dan Eukariotik

No	Jenis Komponen	Prokariot	Eukariot
1	Ukuran	0.5-3um	2-100um
2	Tipe Sel	Uniseluler	Multiseluler
3	Dinding Sel	(Ada) tersusun atas Peptidoglikan atau mukopeptida (polisakarida)	(Sebagian) Ada pada sel tumbuhan dan jamur) yang tersusun atas selulosa (polisakarida), pada hewan tidak ada
4	Nukleus	Tanpa nukleus sejati	Nukleus sejati dengan membran ganda
5	Tipe DNA	Sirkular, double strand DNA	Linear, double strand DNA
6	Ribosom	30-50 S	60-80 S
7	Mitokondria	Tidak Ada	Ada
8	Badan Golgi	Tidak Ada	Ada
9	Retikulum Endoplasma	Tidak Ada	Ada
10	Tipe Reproduksi	Aseksual	Sebagian besar Seksual
11	Pembelahan Sel	Biner (konjugasi, transformasi dan transduksi)	Mitosis dan Meiosis

12	Sintesis RNA/Protein	Keduanya berlangsung di Sitoplasma	Sintesis RNA berlangsung di dalam nukleus; Sintesis Protein berlangsung di Sitoplasma
13	Organel	Tidak terikat membran	Terikat membran dan memiliki fungsi spesifik
14	Contoh Organisme	Bakteri, Archaeabacteria	Hewan, Tumbuhan, Fungi

2. Sel Bakteri

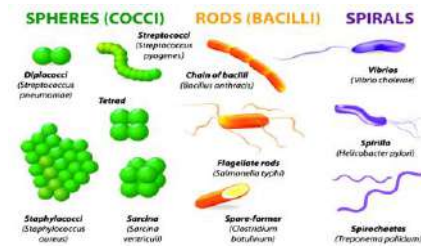
Pada akhir tahun 1600-an seorang ilmuwan bernama Antony van Leeuwenhoek menemukan sel bakteri. Ia menjadi orang pertama menemukan bakteri yang diamati di bawah mikroskop. Perkembangan bidang ilmu Bakteriologi terus berlanjut ke abad 19 yang mana ilmuwan Prancis Louis Pasteur dan dokter Jerman Robert Koch turut menemukan bakteri sebagai patogen (penyebab penyakit). Pada abad ke-20 para ilmuwan sudah melihat banyak kemajuan dalam bidang bakteriologi seperti ditemukan antibiotik untuk mengendalikan laju populasi spesies bakteri patogen (Putri dkk, 2017).

Bakteri sangat penting peranannya bagi kehidupan manusia di planet Bumi. Bakteri berperan penting dalam piramida makanan dan kelangsungan ekosistem bumi secara keseluruhan. Meskipun kebanyakan bakteri dapat menyebabkan penyakit pada manusia, namun ada juga spesies yang bermanfaat bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Bakteri merupakan kelompok organisme prokariota yang tidak memiliki inti dan organel yang terikat membran, dan dengan kromosom yang terdiri dari satu lingkaran DNA tertutup. Bakteri ditemukan hampir di seluruh bagian Bumi dan dapat hidup di beberapa tempat yang paling tidak umum. Bukti menunjukkan bahwa bakteri sudah ada sejak 3,5 miliar tahun lalu menjadikannya

salah satu organisme hidup tertua di Bumi. Golongan bakteri primitif yang sudah hidup jutaan tahun lalu adalah kelompok bakteri Archea (Archaeobacteria) yang hidup di lingkungan ekstrim seperti air panas, air asin, belerang kawah gunung berapi, lingkungan asam, dan di dalam es.

Ada banyak ukuran dan bentuk bakteri yang sebagian besar ukurannya 0,2-2,0 μm dan panjang 2-8 μm . Secara umum bentuk dasar bakteri dibagi menjadi 3 kelompok:

- a. *Bakteri Coccus (Bulat)* : Umumnya berbentuk bulat dan oval, memanjang. Saat kokus membelah untuk bereproduksi, sel-sel dapat tetap melekat satu sama lain. Beberapa tipe Coccus yaitu:
 - 1) Diplococcus → Kokus yang tetap berpasangan setelah membelah
 - 2) Streptococcus → Kokus yang telah membelah dan membentuk rantai
 - 3) Tetracoccus → Membelah menjadi dua bidang bagian dan membentuk kubus berjumlah 4
 - 4) Sarcina → Membelah menjadi tiga bidang bagian dan membentuk kubus berjumlah 8
 - 5) Staphylococcus → Membelah menjadi beberapa bidang bagian dan membentuk kelompok seperti anggur.
- b. *Bakteri Bacil (Batang)* : Umumnya berbentuk persegi panjang dan dapat membelah dengan bagian sumbunya. Beberapa tipe Basil yaitu:
 - 1) Bacil → Batang tunggal
 - 2) Diplobacil → Batang berpasangan
 - 3) Streptobacil → Membentuk rantai panjang
 - 4) Coccobacil → Membentuk rantai panjang seperti Coccus
- c. *Bakteri Spiral (Lekukan)* : Beberapa tipe Spiral yaitu:
 - 1) Memiliki satu atau lebih lekukan yang terlihat seperti batang melengkung, contohnya *Vibrio sp.*
 - 2) Memiliki lekukan berpasangan berbentuk heliks

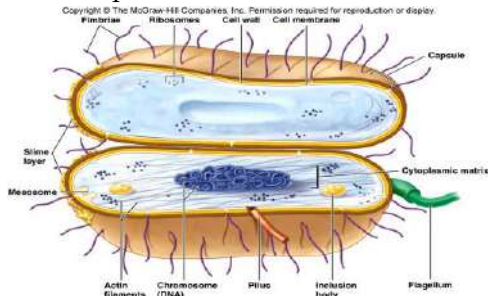


Gambar 1. Bentuk Dasar Bakteri (Sumber: Habib, 2020)

B. Struktur dan Fungsi Bakteri

Bakteri memiliki bentuk berbeda-beda, namun secara umum struktur setiap bakteri adalah sama. Struktur bakteri dibagi menjadi dua bagian yaitu: 1) *Struktur Luar (Outer Structure)*, komponen sel bakteri yang tersusun di bagian paling luar sel yang meliputi: Kapsul, Flagella, Pili dan Fimbriae, Dinding Sel; 2) *Struktur Dalam (Inner Structure)*, komponen sel bakteri yang terdapat di bagian paling dalam sel yang meliputi:

Membran Plasma, Sitoplasma, Nukleus, Ribosom, DNA, Plasmid, Klorosom, Vakuola Gas, Endospora (Al-dabbagh, 2019). Berikut merupakan sel bakteri beserta bagian-bagiannya yang dapat dilihat pada Gambar dibawah ini:



Gambar 2. Struktur Bakteri

Agar pembaca memahami lebih dalam mengenai struktur dan fungsi bagian-bagian bakteri, maka dapat dipelajari lebih rinci seperti berikut ini (Al-dabbagh, 2019):

1. Struktur Luar (*Outer Structure*), terdiri dari:

a. Kapsul (lapisan lendir)

Kapsul atau lapisan lendir adalah lapisan di luar dinding sel pada jenis bakteri tertentu. Beberapa bakteri

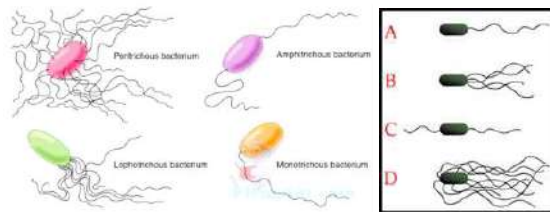
mempunyai lapisan lendir yang menyelubungi dinding sel seluruhnya. Jika lapisan lendir ini cukup tebal, maka akan berbentuk seperti kapsul. Kapsul tersusun atas polisakarida dan air. Fungsi kapsul diantaranya (Al-dabbagh, 2019):

- 1) Sebagai pengikat antar sel dan penempelan pada substrat (Biofilm).
- 2) Melindungi sel terhadap faktor lingkungan (kekeringan)
- 3) Melindungi bakteri patogen dari fagositosis oleh sel-sel inang.
- 4) Sebagai faktor virulensi bakteri patogen. Jika suatu bakteri kehilangan kapsul, maka akan turun virulensinya dan dengan demikian akan kehilangan kemampuannya untuk menyebabkan infeksi.

b. *Flagella* (bulu cambuk)

Merupakan benang halus yang keluar dari sitoplasma dan menembus dinding sel yang digunakan bakteri sebagai alat pergerakan. Ukuran flagel bakteri sangat kecil 0,02-0,1 mikron. Flagella berlekatan pada sel bakteri karena adanya struktur kompleks yang terdiri dari Filamen, Kait dan Badan Basal. Filamen berdiameter bulat dan membentuk heliks di sekitar inti berongga, kemudian kait berupa struktur pendek yang melengkung yang berfungsi sebagai sendi antara motor pada struktur basal dengan flagella, sedangkan badan basal terdiri dari batang tengah kecil yang dimasukkan ke dalam serangkaian cincin yang membantu melekatkan flagel ke dinding sel dan membran plasma. Banyak spesies bakteri yang bergerak menggunakan flagel. Kebanyakan bakteri spiral memiliki flagella dan sebagian bakteri berbentuk batang ditemukan adanya flagel, sedangkan bakteri coccus jarang sekali memiliki flagel. Berdasarkan letak dan jumlah flagelnya bakteri dibagi menjadi 5, yaitu (Al-dabbagh, 2019):

- 1) Bakteri monotrich yaitu bakteri yang memiliki flagel tunggal pada salah satu ujungnya, contohnya : *Vibrio cholerae*
- 2) Bakteri lofotrich yaitu bakteri yang mempunyai flagel yang terletak pada salah satu ujungnya, contohnya: *Rhodospirillum rubrum*.
- 3) Bakteri amfitrik yaitu bakteri yang mempunyai masing-masing flagella yang terletak pada kedua ujungnya, contohnya: *Pseudomonas aeruginosa*
- 4) Bakteri peritrich yaitu bakteri yang mempunyai flagel yang terletak diseluruh permukaan sel, contohnya : *Salmonella thyposa*
- 5) Bakteri atrich, yaitu bakteri yang tidak mempunyai flagel, contohnya : *Klebsiella* sp dan *Shigella* sp.



Gambar 3. Letak Flagella Bakteri (Sumber: <http://www.yalescientific.org>)

c. *Pili dan Fimbriae*

Pili merupakan benang-benang halus yang menonjol keluar dari dinding sel yang berfungsi sebagai alat untuk melekat. Pili hampir mirip dengan flagel akan tetapi lebih pendek, kaku dan berdiameter lebih kecil. Panjang pili sekitar 0.5-20 mikron dengan jumlah lebih kurang 150 buah tiap sel dan dengan jumlah yang banyak tersebut hampir dapat menutupi seluruh bagian sel. Pili tersusun atas protein yang disebut *Pillin* dan kebanyakan terdapat pada bakteri Gram Negatif. Pili diketahui dapat melekatkan sel satu dengan sel lainnya. Fungsi pelekatan sel ini penting dalam proses konjugasi. Konjugasi merupakan peristiwa penggabungan sel untuk proses pembelahan sel. Sel-sel bakteri juga

dilengkapi dengan Pili khusus yang disebut Pili sex (Putri dkk, 2017).

Untuk jumlah fimbria pada bakteri lebih banyak dari pili. Fimbria memiliki fungsi yang berbeda pada bakteri patogen yang dapat membantu bakteri untuk menempel pada sel epitel inang seperti fimbria bakteri *Escherichia coli* O157 yang memungkinkan bakteri ini menempel pada lapisan usus kecil (Al-dabbagh, 2019).

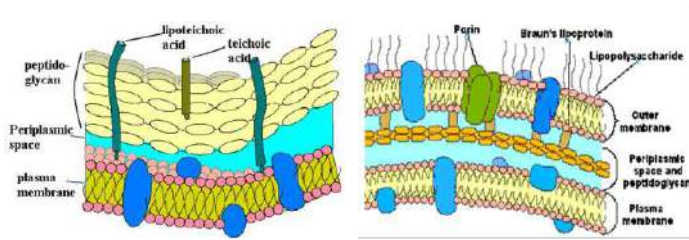
d. *Dinding sel*

Dinding sel bakteri merupakan suatu struktur kompleks dan semipermeable yang bertanggung jawab dalam memberikan bentuk bakteri sehingga lebih kokoh. Dinding sel bakteri berperan dalam melindungi bakteri dari kerusakan mekanis dan lisis osmotik. Umumnya dinding sel ditemukan pada semua bakteri yang hidup bebas di alam. Dinding sel bakteri memiliki berbagai bentuk dan ukuran yang berbeda. Dinding sel bakteri bersifat elastis dan terletak diantara kapsul dan membran sitoplasma. Senyawa kimia penyusun dinding sel sangat kompleks terdiri dari selulosa, hemiselulose, kitin (karbohidrat, protein, lemak yang mengandung unsur N). Adapun fungsi dinding sel bakteri diantaranya:

- 1) Memberi perlindungan pada sel
- 2) Berperan penting dalam perkembangbiakan sel
- 3) Mengatur pertukaran zat dari luar sel
- 4) Sebagai pertahanan bakteri agar dapat bertahan hidup dalam lingkungannya
- 5) Mempertahankan tekanan osmotik bakteri
- 6) Sebagai titik jangkar untuk perlekatan flagella
- 7) Membedakan jenis bakteri berdasarkan komposisi kimia dinding sel

Adapun komponen penyusun dinding sel utama adalah mengandung Peptidoglikan. Peptidoglikan merupakan polimer penyusun dinding sel prokariot yang terdiri dari rantai N-asetileglukosamin dan asam

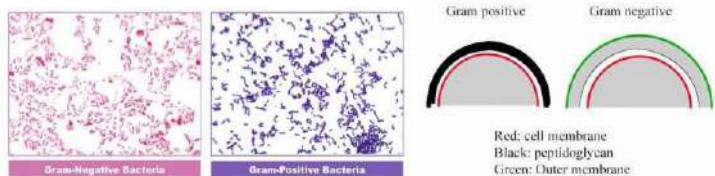
N-asetilmuramatat (glikan) untuk memberi kekakuan pada dinding sel (Gambar 4) (Al-dabbagh, 2019).



Gambar 4. Struktur Dinding Sel Bakteri Gram Positif (Kiri); Gram Negatif (Kanan) (Sumber: Sweash, 2020)

Berdasarkan komposisi dinding sel nya bakteri dibedakan menjadi dua kelompok utama yaitu: a) Bakteri Gram Positif; b) Bakteri Gram Negatif.

- 1) Bakteri Gram Positif, berwarna ungu dan memiliki dinding sel relatif tebal terdiri dari peptidoglikan, asam teikoat dan asam lipoteikoat. Contoh spesies bakteri: *Staphylococci*, *Clostridium*, *Bacillus*.
- 2) Bakteri Gram Negatif, berwarna merah dan memiliki dinding sel dengan struktur lebih kompleks terdiri dari membran luar dan sejumlah kecil peptidoglikan. Contoh spesies bakteri: *Enterobacteriaceae*, *Salmonella* sp, *Shigella* sp, *E. coli*.



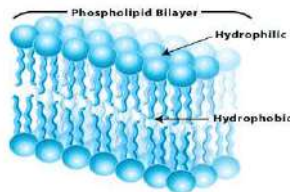
Gambar 5. Penampakan Bakteri Gram Positif dan Negatif di bawah Mikroskop (Sumber: Sweash, 2020)

2. Struktur Dalam (*Inner Structure*), terdiri dari:
 - a. *Membran plasma*

Membran sel merupakan pembungkus protoplasma yang terletak di dalam dinding sel, namun tidak terikat dengan dinding sel. Pada membran sel terdapat protein, lipid dan asam-asam nukleat sebagai

penyusunnya. Membran sitoplasma memiliki struktur fleksibel yang terdiri dari fosfolipid dan protein yang secara struktural mirip dengan membran plasma sel eukariotik. Namun, membran sitoplasma bakteri tidak mengandung sterol. Permukaan dalam dan luar membran bersifat hidrofilik sedangkan bagian dalamnya bersifat hidrofobik. Hal ini bertujuan sebagai penghalang molekul hidrofilik masuk dan dibatasi hanya untuk molekul air, oksigen, karbon dioksida dan beberapa senyawa yang larut dalam lipid yang dapat masuk melalui difusi pasif. Dua jenis molekul protein pada membran sitoplasma bakteri yaitu protein perifer dan integral. Fungsi membran bakteri :

- 1) Melindungi sitoplasma dan struktur bagian dalam sel
- 2) Transpor bahan makanan secara selektif permeabel.
- 3) Transpor elektron untuk respirasi bakteri
- 4) Pada spesies aerob merupakan tempat transport elektron dan oksidasi-fosforilasi.
- 5) Mengandung enzim dan molekul-molekul yang berfungsi pada biosintesis DNA.
- 6) Mengandung reseptor protein di sistem kemotaktik
- 7) Mengatur keluar masuknya zat-zat yang berperan dalam proses pembelahan sitoplasma menjadi 2 bagian, diikuti pembentukan dinding pemisah.



Gambar 6. Struktur Membran Plasma Bakteri (Sumber: Sweash, 2020)

b. *Nukleus* (Inti Sel)

Pada organisme prokariot seperti bakteri di dalam inti sel nya terkandung Asam Deoksiribonukleat

(DNA), namun bagian inti tidak memiliki membran (Putri dkk, 2017).

c. *Ribosom*

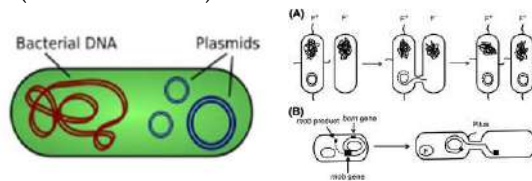
Organel ini berfungsi sebagai tempat sintesis protein. Ribosom bakteri menyebar di sitoplasma. dikarenakan bakteri tidak mempunyai membran inti. Jumlah ribosom bervariasi sesuai dengan kondisi pertumbuhan. Ribosom prokariot disebut Ribosom 70 yang terdiri dari dua subunit yaitu 50S berukuran besar dan 30S berukuran lebih kecil. Satuan Svedberg (S) yang menunjukkan laju relatif selama sentrifugasi berkecepatan ultra tinggi dan laju sedimentasi yang bergantung pada ukuran, berat dan bentuk partikel (Al-dabbagh, 2019).

d. *Granula*

Granula berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan dan tersebar pada sitoplasma (Putri dkk, 2017).

e. *Plasmid*

Kebanyakan bakteri memiliki plasmid dan diberikan kepada bakteri lainnya dalam bentuk transfer gen (Putri dkk, 2017).

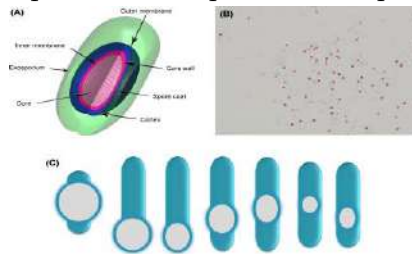


Gambar 7. (A) Plasmid Bakteri; (B) Transfer dan Replikasi selama Konjugasi (Habib, 2020)

f. *Endospora*

Endospora berbentuk bulat atau bulat lonjong, bersifat sangat resisten terhadap cekaman biotik maupun abiotik. Endospora dapat dibentuk oleh beberapa bakteri akan tetapi bukan sebagai alat reproduksi seperti halnya fungi, namun endospora dibentuk sebagai usaha melindungi diri dari

lingkungan luar. Endospora mengandung sedikit sitoplasma, materi genetik, dan ribosom. Dinding endospora yang tebal tersusun atas protein menyebabkan endospora tahan kekeringan, radiasi cahaya, suhu tinggi dan zat kimia. Jadi, jika kondisi lingkungan tidak menguntungkan, maka bakteri pembentuk spora akan mengubah bentuk vegetatifnya menjadi spora. Kondisi tersebut dinamakan fase sporulasi. sebaliknya jika kondisi lingkungan menguntungkan. maka spora akan tumbuh menjadi sel bakteri baru (sel vegetatif) dinamakan fase germinasi. Adapun golongan bakteri yang dapat membentuk spora adalah genus *Bacillus* sp dan *Clostridium* sp serta beberapa spesies *Sarcina* sp. dan *Vibrio* sp. (Gambar 7).



Gambar 8. (A) Struktur Spora Bakteri; (B) Spora bakteri *C. tetani*; (C) Ukuran Spora Bakteri (Sumber: Zhou *et al*, 2015)

g. *Klorosom*

Klorosom adalah struktur yang berada tepat dibawah membran plasma dan mengandung pigmen klorofil dan pigmen lainnya untuk proses fotosintesis. Klorosom hanya terdapat pada bakteri yang melakukan fotosintesis (Putri dkk, 2017).

h. *Vakuola Gas*

Vakuola gas terdapat pada bakteri yang hidup di air dan berfotosintesis. Dengan mengatur jumlah gas dalam vakuola gasnya, bakteri dapat meningkatkan atau mengurangi kepadatan sel secara keseluruhan dan bergerak ke atas atau bawah dalam air (Putri dkk, 2017).

DAFTAR PUSTAKA

- Al-dabbagh, S.Y. (2019). *General Microbiology: Bacterial Cell Structure and Function*. University of Mosul.
- Dwidjoseputro, D. (2003). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta. Djambatan.
- Habib, H. (2020). *Bacterial Structure, Function and Genetics*. Department of Pathology: King Saud University.
- Pelczar, M., E.C.S. Chan. (2005). *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Penerbit Universitas Indonesia. Jakarta.
- Putri, M.H, Sukini, Yodong. (2017). *Mikrobiologi*. Kementerian Kesehatan RI.
- Sweash, M. (2020). *Medical Microbiology*. College of Medicine: University of Anbar.
- Zhou, X and Li, Y. (2015). *Atlas of Oral Microbiology*. Zhejiang University Press. Published by Elsevier Inc.
- <http://microbiologyconcepts.blogspot.morphology-of-bacteria-part-i.html>)
- <http://www.yalescientific.org>

BIODATA PENULIS



Adelia Febriyossa, S.Si, M.Si, lahir di Padang, Sumatera Barat 05 Februari 1992. Menyelesaikan jenjang pendidikan Sarjana Biologi di Universitas Andalas, Sumatera Barat lulus tahun 2013 dan melanjutkan Pendidikan Magister Biologi di Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat lulus tahun 2017. Saat ini Penulis menjadi dosen tetap di Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Sumatera Utara. Penulis mengampu mata kuliah Biologi Umum, Biologi Sel dan Mikrobiologi pada pendidikan Sarjana Biologi Universitas Negeri Medan. Selama mengajar aktif menulis buku dan karya ilmiah serta mempublikasikannya pada jurnal-jurnal ilmiah bereputasi. Penulis pernah memperoleh Hibah Penelitian yang didanai Universitas Negeri Medan (BOPTN 2023-2024). Jika ingin berdiskusi lebih lanjut dapat dihubungi melalui surel: adeliafebriyossa@unimed.ac.id; dessawalastra@gmail.com

BAB 7

Pertumbuhan Bakteri

* Joice Mermy Laoh, S.Pd., S.Kep.,Ners., M.Kep

*

A. Pendahuluan

Bakteri merupakan mikroorganisme yang memiliki peran penting dalam berbagai aspek kehidupan, baik dalam ekosistem alam maupun dalam bidang industri dan kesehatan. Kemampuan bakteri untuk berkembang biak dengan cepat memungkinkan mereka untuk beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan. Studi mengenai pertumbuhan bakteri menjadi krusial dalam memahami dinamika populasi mikroba, terutama dalam kaitannya dengan aplikasi di bidang medis, pangan, dan bioteknologi.

Pertumbuhan bakteri tidak hanya melibatkan peningkatan jumlah sel, tetapi juga mencakup perubahan fisiologis dan biokimia yang terjadi selama siklus hidupnya. Faktor-faktor seperti suhu, pH, ketersediaan nutrisi, serta keberadaan zat antimikroba dapat mempengaruhi laju pertumbuhan bakteri. Oleh karena itu, berbagai metode telah dikembangkan untuk mengukur pertumbuhan bakteri, termasuk teknik kultur, spektrofotometri, dan perhitungan koloni.

Pemahaman mengenai pola pertumbuhan bakteri sangat penting dalam berbagai bidang, seperti pengendalian infeksi, produksi makanan fermentasi, serta pengembangan antibiotik dan probiotik. Dengan memahami bagaimana bakteri berkembang dalam kondisi tertentu, ilmuwan dan praktisi dapat mengoptimalkan pemanfaatannya sekaligus mencegah dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh bakteri patogen.

Oleh karena itu, bab ini akan membahas tahapan pertumbuhan bakteri, faktor-faktor yang mempengaruhinya, serta metode yang digunakan untuk mengukur pertumbuhan bakteri.

B. Pertumbuhan Bakteri

1. Pengertian

Bakteri merupakan mikroorganisme prokariotik yang memiliki peran penting dalam berbagai aspek kehidupan, baik dalam ekosistem alami maupun dalam kehidupan manusia. Studi mengenai pertumbuhan bakteri sangat penting dalam bidang bakteriologi, terutama dalam konteks kesehatan, industri pangan, farmasi, dan bioteknologi. Pertumbuhan bakteri merujuk pada peningkatan jumlah sel dalam suatu populasi, bukan ukuran sel individual. Proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti suhu, pH, ketersediaan nutrisi, dan oksigen.

2. Pola Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan bakteri umumnya mengikuti pola tertentu yang terdiri dari empat fase utama:

a. Fase Lag

Fase lag merupakan tahap awal pertumbuhan bakteri setelah inokulasi ke dalam medium baru. Pada fase ini, bakteri belum mengalami pembelahan sel yang signifikan karena sedang beradaptasi dengan lingkungan. Sel bakteri mulai mensintesis enzim, protein, dan molekul lain yang diperlukan untuk pertumbuhan. Lama fase lag sangat bergantung pada kondisi medium dan fisiologi bakteri yang diinokulasikan.

Selain itu, faktor seperti sumber nutrisi, suhu, dan pH juga memengaruhi durasi fase lag. Jika bakteri dipindahkan dari medium yang mirip dengan lingkungan barunya, fase lag akan lebih singkat. Namun, jika medium sangat berbeda atau kondisi lingkungan kurang optimal, bakteri memerlukan

waktu lebih lama untuk beradaptasi sebelum mulai membelah secara aktif.

b. Fase Log (Eksponensial)

Fase log adalah tahap di mana bakteri mengalami pertumbuhan cepat dengan laju pembelahan yang konstan. Selama fase ini, bakteri membelah secara eksponensial, dengan jumlah sel meningkat secara berlipat ganda dalam waktu yang tetap. Misalnya, jika waktu generasi bakteri adalah 20 menit, maka dalam satu jam jumlah selnya akan meningkat 8 kali lipat.

Pada fase ini, metabolisme bakteri sangat aktif, sehingga kebutuhan akan nutrisi dan oksigen meningkat. Kondisi lingkungan seperti suhu dan pH yang sesuai akan mempercepat pertumbuhan bakteri. Namun, apabila nutrisi mulai terbatas atau terjadi akumulasi produk sampingan metabolisme yang beracun, maka fase ini akan berakhir dan berlanjut ke fase berikutnya.

c. Fase Stasioner

Fase stasioner terjadi ketika laju pertumbuhan bakteri mulai menurun dan akhirnya mencapai keseimbangan dengan laju kematian. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya ketersediaan nutrisi, perubahan pH akibat akumulasi produk metabolisme, dan peningkatan kompetisi antar bakteri dalam medium. Dalam kondisi ini, jumlah bakteri tetap konstan karena jumlah sel yang baru terbentuk sama dengan jumlah sel yang mati.

Meskipun aktivitas pertumbuhan berkurang, beberapa bakteri mampu menghasilkan senyawa seperti antibiotik, eksopolisakarida, atau toksin sebagai respons terhadap kondisi lingkungan yang mulai memburuk. Beberapa bakteri juga dapat membentuk endospora untuk bertahan dalam kondisi yang kurang menguntungkan.

d. Fase Kematian

Fase kematian terjadi ketika jumlah bakteri yang mati lebih banyak daripada yang bertahan hidup. Kondisi lingkungan semakin memburuk karena akumulasi limbah metabolik dan kehabisan nutrisi. Dalam kondisi ini, banyak bakteri tidak dapat mempertahankan fungsi selulernya, menyebabkan lisis atau mati karena stres lingkungan.

Laju kematian bakteri dalam fase ini dapat bervariasi tergantung pada jenis bakteri dan kondisi medium. Beberapa bakteri mampu membentuk struktur bertahan seperti endospora untuk bertahan lebih lama dalam kondisi ekstrem, sementara bakteri lainnya akan mati dengan cepat jika tidak memiliki mekanisme pertahanan yang memadai.

3. Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan Bakteri

Beberapa faktor utama yang berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri meliputi:

- a. **Suhu:** Bakteri memiliki suhu optimum untuk pertumbuhan, misalnya:
 - Psikrofil: tumbuh pada suhu rendah ($<20^{\circ}\text{C}$)
 - Mesofil: tumbuh pada suhu sedang ($20\text{--}45^{\circ}\text{C}$)
 - Termofil: tumbuh pada suhu tinggi ($>45^{\circ}\text{C}$)
- b. **pH:** **Setiap** jenis bakteri memiliki pH optimum:
 - Asidofilik: tumbuh pada pH rendah
 - Neutrofilik: tumbuh pada pH netral
 - Alkalifilik: tumbuh pada pH tinggi
- c. **Nutrisi:** Karbon, nitrogen, fosfor, sulfur, dan berbagai mineral esensial diperlukan untuk sintesis biomolekul.
- d. **Oksigen:**
 - Aerob obligat: membutuhkan oksigen
 - Anaerob fakultatif: dapat tumbuh dengan atau tanpa oksigen
 - Anaerob obligat: tidak dapat tumbuh dengan adanya oksigen
 - Mikroaerofil: membutuhkan kadar oksigen rendah

- Aerotoleran: tidak menggunakan oksigen tetapi dapat bertahan dalam lingkungannya
- e. **Kelembaban dan tekanan osmotik:** Air sangat penting bagi metabolisme seluler, sementara tekanan osmotik dapat memengaruhi keseimbangan ion dalam sel.

4. Metode Pengukuran Pertumbuhan Bakteri

Pertumbuhan bakteri dapat diukur dengan berbagai metode, antara lain:

a. Penghitungan Koloni

Metode ini dilakukan dengan menumbuhkan bakteri pada medium padat dan menghitung jumlah koloni yang terbentuk. Setiap koloni yang muncul diasumsikan berasal dari satu sel bakteri awal yang mengalami pembelahan berulang. Metode ini sangat berguna dalam menentukan jumlah bakteri hidup dalam suatu sampel.

Meskipun metode ini cukup akurat, ada beberapa keterbatasan, seperti ketidakmampuan menghitung bakteri yang tidak dapat tumbuh pada medium yang digunakan. Selain itu, beberapa bakteri dapat tumbuh dalam kelompok atau rantai sehingga perhitungan dapat menghasilkan angka yang lebih rendah dari jumlah sel yang sebenarnya.

b. Spektrofotometri

Spektrofotometri digunakan untuk mengukur kekeruhan (turbiditas) suatu kultur bakteri dengan membaca densitas optik (OD) pada panjang gelombang tertentu. Metode ini memungkinkan pengukuran cepat tanpa perlu melakukan inkubasi seperti pada metode penghitungan koloni.

Namun, metode ini memiliki keterbatasan, yaitu tidak dapat membedakan antara sel hidup dan mati, sehingga hasil yang diperoleh mungkin tidak mencerminkan jumlah bakteri yang aktif. Oleh karena itu, metode ini sering dikombinasikan dengan metode lain untuk memperoleh hasil yang lebih akurat.

c. Penghitungan Mikroskopik

Metode ini dilakukan dengan menggunakan hemocytometer atau kamera hitung untuk menghitung jumlah sel bakteri secara langsung di bawah mikroskop. Dengan metode ini, jumlah bakteri dapat dihitung secara cepat tanpa memerlukan inkubasi.

Kelemahan dari metode ini adalah sulitnya membedakan antara sel hidup dan mati, serta kesalahan manusia dalam melakukan perhitungan yang dapat mempengaruhi akurasi hasil. Untuk meningkatkan keakuratan, pewarnaan tertentu dapat digunakan untuk membedakan antara sel yang hidup dan yang telah mati.

d. Pengukuran Berat Kering

Metode ini dilakukan dengan menyentrifugasi kultur bakteri, menghilangkan cairan supernatan, lalu mengeringkan dan menimbang biomassa bakteri. Cara ini berguna untuk mengukur pertumbuhan bakteri dalam jumlah besar.

Meskipun metode ini dapat memberikan gambaran kuantitatif tentang pertumbuhan bakteri, kelemahannya adalah ketidakmampuannya membedakan antara sel hidup dan mati, serta memerlukan peralatan tambahan seperti sentrifugasi dan pengering vakum

5. Aplikasi dalam Bakteriologi

Pemahaman tentang pertumbuhan bakteri sangat relevan dalam berbagai bidang:

a. Kesehatan

Dalam bidang kesehatan, pemahaman tentang pertumbuhan bakteri sangat penting untuk pengendalian infeksi. Antibiotik dikembangkan berdasarkan pola pertumbuhan bakteri untuk mengoptimalkan efektivitasnya dalam membunuh patogen. Selain itu, studi pertumbuhan bakteri

digunakan untuk memahami mekanisme resistensi antibiotik dan mencari solusi untuk mengatasinya.

Selain itu, pemantauan pertumbuhan bakteri juga digunakan dalam diagnosis penyakit infeksi. Metode kultur bakteri digunakan untuk mengidentifikasi patogen penyebab penyakit dan menentukan terapi yang tepat. Pemahaman tentang pola pertumbuhan juga berperan dalam pengembangan vaksin dan terapi berbasis bakteri.

b. Industri Pangan

Dalam industri pangan, bakteri memiliki peran ganda, baik sebagai agen fermentasi maupun sebagai kontaminan. Mikroba seperti *Lactobacillus* dan *Saccharomyces* digunakan dalam produksi makanan fermentasi seperti yogurt, keju, dan roti. Studi pertumbuhan bakteri memastikan proses fermentasi berjalan optimal untuk menghasilkan produk berkualitas.

Di sisi lain, pemahaman tentang pertumbuhan bakteri juga penting dalam pengawetan makanan. Teknologi seperti pendinginan, pengeringan, dan penggunaan bahan pengawet bertujuan untuk menghambat pertumbuhan bakteri patogen yang dapat menyebabkan penyakit bawaan makanan.

c. Bioteknologi

Dalam bidang bioteknologi, bakteri memiliki peran penting dalam produksi berbagai produk industri, termasuk enzim, vaksin, antibiotik, dan bahan kimia berbasis mikroba. Bakteri seperti *Escherichia coli* dan *Bacillus subtilis* sering dimanfaatkan sebagai pabrik biologis untuk menghasilkan enzim yang digunakan dalam industri makanan, farmasi, dan detergen. Contohnya, enzim amilase dari bakteri digunakan dalam industri pengolahan pati, sementara protease digunakan dalam industri tekstil dan deterjen untuk membantu proses degradasi protein.

Selain itu, bakteri juga memainkan peran penting dalam produksi antibiotik dan vaksin. Misalnya, *Streptomyces* adalah genus bakteri yang dikenal sebagai produsen utama berbagai antibiotik seperti streptomisin dan tetrasilin. Dalam produksi vaksin, bakteri digunakan baik sebagai agen langsung (seperti dalam vaksin berbasis bakteri yang dilemahkan atau dimatikan) maupun sebagai sistem ekspresi rekombinan untuk menghasilkan antigen vaksin. Pemanfaatan bakteri dalam bioteknologi ini terus berkembang dengan inovasi dalam rekayasa genetika dan bioteknologi sintetik untuk meningkatkan efisiensi produksi dan efektivitas produk biologi yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Brooks, dkk. 2005. Mikrobiologi Kedokteran. Jakarta: Salemba Medika.
- Cappuccino, J G, Sherman, N 2014. Manual Laboratorium Mikrobiologi. Jakarta: EGC.
- Maier, Raina M, Pepper, Ian L. Bacterial growth. In: *Environmental microbiology*. Academic Press, 2015. p. 37-56.
- Scott, Matthew; HWA, Terence. Bacterial growth laws and their applications. *Current opinion in biotechnology*, 2011, 22.4: 559-565.
- Widdel, Friedrich. Theory and measurement of bacterial growth. *Di dalam Grundpraktikum Mikrobiologie*, 2007, 4.11: 1-11.
- Maalqle, O. L. E. An analysis of bacterial growth. *Communication in Development*, 2012, 3: 33-58.
- Koch, Arthur L. *Bacterial growth and form*. Springer Science & Business Media, 2001.

BIODATA PENULIS



Joice Mermy Laoh, S.Pd., S.Kep.,Ners., M.Kep., Lahir pada tanggal 17 Januari 1972 dari pasangan Noch Laoh dan Lely Kalalo. Istri dari Rudolf Boyke Purba.,SKM.,M.Kes. Lahir di Tomohon, 17 Januari 1972. Sekolah Dasar GMIM Tambelang tamat 1984 dan SMP Negeri Tambelang tamat tahun 1987. Pada Tahun 1994 saya kembali di Dinas Kesehatan Propinsi Sulawesi Utara dan mengikuti test Diploma 3 Keperawatan yang diselenggarakan oleh DEPKES akhirnya LULUS sehingga bisa mengikuti Pendidikan AKPER DEPKES Tidung Ujung Pandang tamat tahun 1999 bersama AKTA 3 dari Universitas Negeri Makasar tahun 1999. Saya Mengikuti S1 Pendidikan di Universitas Negeri Manado (UNIMA) lulus tahun 2003, dan melanjutkan Pendidikan S1 Keperawatan di Universitas Sam Ratulangi Manado (UNSRAT) Lulus tahun 2007, dilanjutkan dengan Profesi Ners lulus tahun 2008. Melanjutkan pendidikan S2 Keperawatan di Universitas Padjadjaran Bandung (UNPAD) dan Lulus Tahun 2011. Bekerja sebagai Dosen tetap di Poltekkes Kemenkes Manado sejak tahun 2004- sampai sekarang.

BAB 8

Infeksi Bakteri

Dr. Nastiti Intan Permata Sari, S.Si, M.Ked.Trop

A. Pendahuluan

Infeksi bakteri adalah suatu perjalanan bakteri masuk dan berkembang biak di dalam tubuh menyebabkan beberapa respon tubuh termasuk gangguan pada fungsi tubuh normal. Infeksi dapat mempengaruhi kerja berbagai bagian tubuh dan beragam jenisnya mulai dari infeksi ringan hingga infeksi berat.

Bakteri dapat masuk ke dalam tubuh menyebabkan infeksi dengan cara melalui luka yang ada di tubuh, saluran pernafasan, saluran pencernaan, serta saluran kemih. Beberapa jenis infeksi bakteri yang sering ditemukan yaitu:

- a. Infeksi saluran pernafasan : pneumonia atau bronchitis
- b. Infeksi saluran kemih : terjadi pada kandung kemih atau ginjal
- c. Infeksi kulit : abses atau selulitis
- d. Infeksi saluran pencernaan : diare
- e. Meningitis : infeksi selaput otak dan sumsum tulang belakang

Gejala infeksi bakteri dapat bervariasi tergantung pada jenis bakteri apa yang menginfeksi, namun terdapat gejala umum dari infeksi tersebut antara lain demam, kemerahan, nyeri, bengkak, dan kelelahan. Umumnya infeksi bakteri diberikan pengobatan antibiotik dengan dosis yang sesuai resep dokter untuk menghindari resistensi antibiotik.

Virulensi adalah ukuran kemampuan mikroba untuk menyebabkan penyakit. Ini adalah ukuran kuantitatif patogenisitas dan diukur dengan jumlah organisme yang diperlukan untuk menyebabkan penyakit. Mikroba yang sangat ganas membutuhkan lebih sedikit organisme untuk menyebabkan penyakit daripada yang kurang ganas; karenanya secara langsung tergantung pada dosis infeksi organisme.

Dosis mematikan 50% (LD50) adalah jumlah organisme yang diperlukan untuk membunuh setengah dari inang, sedangkan 50% dosis infeksi (ID50) adalah jumlah mikroba yang diperlukan untuk menyebabkan infeksi pada setengah dari inang. Dosis infeksi organisme yang diperlukan untuk menyebabkan penyakit bervariasi di antara bakteri patogen.

Misalnya, dosis infeksi *Shigella* yang menyebabkan disentri kurang dari 100 organisme, sedangkan *Salmonella* yang menyebabkan diare lebih dari 100.000 organisme. Virulensi mikroba ditentukan oleh faktor virulensi, seperti kapsul, eksotoksin, atau endotoksin.

B. Jenis dan Faktor Infeksi

1. Jenis-jenis Infeksi

Infeksi dapat dibedakan berdasarkan jenisnya yaitu sebagai berikut:

- a. Infeksi primer: Kondisi ini menunjukkan infeksi awal dengan organisme dalam inang.
- b. Infeksi ulang: Kondisi ini menunjukkan infeksi berikutnya dengan organisme yang sama pada inang yang sama.
- c. Infeksi sekunder: Kondisi ini menunjukkan infeksi organisme baru pada inang yang daya tahan tubuhnya sudah diturunkan oleh penyakit menular yang sudah ada sebelumnya.
- d. Infeksi silang: Kondisi ini menunjukkan infeksi dengan organisme baru dari inang lain atau sumber eksternal lain pada pasien yang sudah menderita penyakit.
- e. Infeksi nosokomial: Infeksi silang yang didapat di rumah sakit disebut infeksi yang didapat di rumah sakit, yang berhubungan dengan rumah sakit, atau nosokomial.
- f. Infeksi iatrogenik: Kondisi ini menunjukkan infeksi yang diinduksi oleh dokter sebagai akibat terapi dengan obat-obatan atau prosedur pemeriksaan.
- g. Infeksi subklinis: Infeksi klinis yang tidak tampak disebut infeksi subklinis.
- h. Infeksi laten: Ini menunjukkan suatu kondisi di mana beberapa organisme dapat tetap berada dalam tahap laten atau tersembunyi di dalam pejamu dan selanjutnya mereka berkembang biak untuk menghasilkan penyakit klinis ketika resistensi pejamu diturunkan.

Hasil infeksi tergantung pada berbagai faktor mikroba dan inang sebagai berikut:

- a. Kemampuan organisme untuk memecahkan penghalang inang dan menghindari kehancuran oleh pertahanan lokal dan jaringan inang bawaan.
 - b. Kemampuan organisme untuk bereplikasi, menyebar, menimbulkan infeksi, dan menyebabkan penyakit.
 - c. Kemampuan organisme untuk menularkan ke pejamu baru yang rentan.
 - d. Kemampuan imunologi bawaan dan adaptif dari pejamu untuk mengontrol dan mengeliminasi mikroorganisme yang menyerang.
2. Faktor yang mempengaruhi terjadinya infeksi

Proses terjadinya infeksi meliputi tahapan sebagai berikut: (a) transmisi infeksi, (b) masuknya organisme dan penghindaran pertahanan lokal, (c) perlekatan pada permukaan sel, (d) pertumbuhan dan multiplikasi bakteri pada tempat kepatuhan, (e) manifestasi penyakit, dan (f) penghentian penyakit.

Ada tiga komponen penting yang berperan penting dalam keberhasilan transmisi penyakit mikroba. Ini adalah (a) reservoir, (b) cara penularan, dan (c) host yang rentan.

Reservoir infeksi mikroba adalah manusia, hewan, tumbuhan, tanah, atau benda mati di mana organisme biasanya hidup, berkembang biak, dan menyebabkan infeksi dengan atau tanpa manifestasi klinis yang jelas. Manusia biasanya merupakan reservoir umum dari banyak infeksi mikroba. Hewan adalah reservoir infeksi zoonosis, seperti wabah (misalnya, tikus), rabies (misalnya, anjing), sistiserkosis (misalnya, babi), dll.

Sumber infeksi ada 2 jenis yaitu endogen dan eksogen:

- a. Sumber endogen: Sumber infeksi adalah flora bakteri normal yang ada dalam tubuh manusia. Bakteri ini biasanya nonpatogen tetapi dalam situasi tertentu menjadi patogen dan menyebabkan infeksi pada tempat yang berbeda pada pejamu yang sama. Misalnya, *Escherichia coli* yang hadir sebagai flora normal usus dapat menyebabkan infeksi saluran kemih pada pejamu yang sama. Demikian pula, streptokokus viridans hadir sebagai bagian dari flora normal mulut dapat menyebabkan endokarditis infeksi.

- b. Sumber eksogen: Sumber infeksi berasal dari luar tubuh inang. Sebagian besar infeksi mikroba bersifat eksogen.

Sumber-sumber eksogen antara lain sebagai berikut:

- a. Manusia:

Manusia adalah sumber infeksi yang paling umum yang disebabkan oleh mikroorganisme. Mereka mungkin pasien atau pembawa. Pasien yang menderita infeksi aktif merupakan sumber infeksi yang penting bagi orang lain.

Karier/pembawa adalah orang yang menampung mikroorganisme patogen tanpa menunjukkan tanda dan gejala penyakit. Pembawa juga merupakan sumber infeksi yang penting. Seorang karier dapat berupa (a) karier yang sehat, (b) karier yang sembuh, (c) karier sementara, dan (d) karier kronis.

Pembawa sehat adalah inang yang menampung mikroorganisme tanpa pernah menderita penyakit yang disebabkan oleh mikroorganisme tersebut.

Pembawa konvalesen adalah pejamu yang terus menampung mikroorganisme bahkan setelah sembuh dari penyakit klinis yang disebabkan oleh patogen yang sama.

Pembawa sementara adalah inang yang menampung mikroorganisme hingga 6 bulan setelah sembuh dari penyakit yang disebabkan oleh patogen yang sama.

Pembawa kronis adalah pejamu yang menampung mikroorganisme selama bertahun-tahun setelah sembuh dari penyakit klinis yang disebabkan oleh patogen yang sama.

- b. Hewan:

Hewan juga merupakan sumber infeksi yang penting bagi manusia. Hewan yang bergejala maupun tidak bergejala dapat menularkan infeksi ke manusia. Hewan tanpa gejala bertindak sebagai reservoir infeksi manusia. Ini disebut sebagai host reservoir. Infeksi yang ditularkan dari hewan ke manusia disebut infeksi zoonosis. Contoh infeksi zoonosis termasuk bakteri (misalnya, wabah, antraks, tuberkulosis sapi, dll), virus (misalnya, rabies, ensefalitis Jepang, dll), jamur (misalnya, infeksi dermatofit), dan parasit (misalnya,

toksoplasmosis). sistiserkosis, penyakit hidatidosa, dll).

c. Serangga:

Serangga, seperti nyamuk, kutu, tungau, lalat, kutu, dan kutu dapat menularkan berbagai macam mikroorganisme ke manusia. Penyakit yang ditularkan oleh serangga secara kolektif disebut sebagai penyakit yang ditularkan melalui artropoda dan serangga yang menularkan patogen ini disebut vektor. Vektor serangga dapat menularkan infeksi melalui dua cara: transmisi mekanis dan transmisi biologis.

Vektor mekanis: Serangga (misalnya lalat domestik) membawa bakteri enterik (*Salmonella typhi*, *Shigella* spp., dll.) secara mekanis pada kaki, sayap, dan permukaan tubuh mereka dan memindahkannya ke makanan.

Vektor biologis: Ini adalah vektor di mana mikroorganisme berkembang biak atau menjalani bagian dari kehidupan mereka siklus sebelum ditularkan ke manusia. Kutu tikus dan nyamuk *Anopheles* betina adalah contoh vektor biologis yang masing-masing menularkan wabah dan malaria ke manusia melalui gigitan. Serangga, selain sebagai vektor, juga bertindak sebagai inang reservoir (misalnya, kutu pada demam yang kambuh).

d. Makanan:

Makanan yang terkontaminasi patogen juga berperan sebagai sumber infeksi dan menyebabkan diare, disentri, keracunan makanan, dan gastroenteritis.

e. Air:

Air yang terkontaminasi mikroorganisme juga berperan sebagai sumber infeksi dan menularkan penyakit yang ditularkan melalui air, seperti leptospirosis, kolera, disentri, dll.

DAFTAR PUSTAKA

- Darmadi. (2008). Infeksi Nosokomial Problematika dan Pengendaliannya. Jakarta : Salemba Medika.
- Jawetz, Melnick & Adelberg's medical microbiology by George F. Brooks. (2007). Lange Medical Books/McGraw-Hill, Medical Pub. Division edition, in English - 24th ed.
- Parija SC. (2012). Textbook of Microbiology and Immunology- 2nd ed. EIH Unit Ltd. Press, Manesar, India.

BIODATA PENULIS



Dr. Nastiti Intan Permata Sari, S.Si, M.Ked.Trop. Menyelesaikan pendidikan S1 hingga S3 di Universitas Airlangga. Sampai saat ini penulis sebagai Peneliti di Pusat Riset Biomedis, Organisasi Riset Kesehatan, Badan Inovasi dan Riset Nasional.

BAB 9

Kelompok Bakteri Patogen

Suwarja, S.Pd, M.Kes

A. Pendahuluan

Bakteri merupakan mikroorganisme dengan diameter rata-rata berukuran 1-5 mikron. Ada tiga bentuk yaitu spira (spiral), basil (batang), dan kokus (bulat). Selain bentuk-bentuk dasar tersebut, bakteri juga dapat berbentuk kokobasil (gabungan kokus dan basil) dan filamen. Struktur dan fungsi dasar dari bakteri adalah dinding sel, membran plasma, sitoplasma, ribosom, DNA, dan granula penyimpanan. Sedangkan struktur dan fungsi tambahannya adalah berupa bagian kapsul, flagellum, fimbria, klorosom, vakuola gas dan endospors. Bakteri bereproduksi secara asexual dan seksual. Reproduksi asexual bakteri adalah berupa pembelahan biner, sedangkan reproduksi seksualnya berupa rekombinasi DNA. Bakteri dapat memberikan efek positif bagi kehidupan manusia, namun juga dapat memberikan efek negatif. Efek negatif yang disebabkan oleh bakteri rata-rata karena kontaminasi dari bakteri patogen (Ramadhan P, 2015).

Bakteri dikenal sebagai agen penyebab penyakit, bakteri juga mempunyai manfaat yang besar bagi kehidupan manusia seperti pemanfaatan bakteri dalam pembuatan yogurt dan antibiotik. Bakteri merupakan sel prokariotik dengan genom berbentuk sirkuler dan mempunyai plasmid. Didalam tubuh manusia bakteri memberikan manfaat yang banyak antara lain sebagai pertahanan melawan infeksi, berperan dalam sistem imun, sumber nutrisi dan menstimulasi pergantian epitel (Setiyo Rini.C dan Rohmah. J, 2020).

B. Kelompok Bakteri Patogen

1. Bakteri Gram (+) Kokus

Bakteri gram positif kokus mencakup berbagai genus dan spesies, termasuk *Staphylococcus*, *Streptococcus*, dan *Enterococcus*. Kelompok bakteri ini dapat menyebabkan sejumlah penyakit yang beragam, termasuk infeksi kulit, pneumonia, penyakit pernapasan, infeksi saluran kemih, serta infeksi darah yang serius. Oleh karena itu, berikut pemahaman mendalam mengenai karakteristik, patogenitas dan pengobatan. (Ratna Dewi.Y, 2023)

a. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan bakteri Gram positif berbentuk bulat, berdiameter sampai $0.7\ \mu\text{m}$ – $1.2\ \mu\text{m}$, tersusun dalam kelompok yang tidak teratur seperti buah anggur, fakultatif anaerobik, tidak berbentuk spora, dan tidak bergerak. Lebih dari 90% isolat klinik menghasilkan *Staphylococcus aureus* yang mempunyai kapsul polisakarida atau selaput tipis yang berperan dalam virulensi bakteri. *Staphylococcus aureus* juga membentuk pigmen *lipochrom* yang menyebabkan koloni tanpa berwarna kuning keemasan dan kuning jeruk. *Staphylococcus aureus* merupakan bakteri dominan penyebab mastitis subklinis maupun kronis, sehingga kejadian mastitis sering dihubungkan dengan infeksi *Staphylococcus aureus*. *Staphylococcus aureus* dalam susu segar dan produk pangan lainnya dapat menyebabkan *toxic shock syndrome* akibat keracunan pangan (Khairunnisa.M, dkk, 2018)



Gambar 1. *Staphylococcus aureus*

b. *Streptococcus*

Streptococcus atau yang disebut juga dengan *Streptococcus pyogenes* merupakan salah satu bakteri patogen yang banyak menginfeksi manusia. *Carrier* bakteri *Streptococcus* dapat ditemukan di saluran pernafasan, kadang tidak menimbulkan penyakit akan tetapi dapat beresiko untuk menyebarkan penyakit. Infeksi yang ditimbulkan *Streptococcus* ini juga terjadi karena adanya interaksi faktor-faktor virulensi *Streptococcus* dengan sel-sel hoat. Bakteri ini dapat menyebabkan berbagai macam penyakit, seperti radang tenggorokan, faringitis, impetigo, erysepelas deman nifas, *Scarlet fever*, *netrotizin fascilitis*, *toxic shock syndrome* dan septikimia. Bakteri *Streptococcus* merupakan penyebab paling umum dari faringitis akut, dimana prevalensi kasus pada anak-anak 15 – 30% dan 5 – 10% dari kasus orang dewasa. Faringitis adalah peradangan pada membran mukosa dan mendasari struktur tenggorokan (Aini.F dkk, 2016)

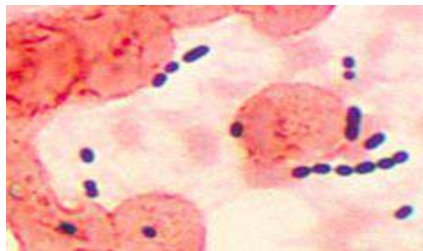


Gambar 2. Bakteri (*Sterptococcus*)

c. *Enterococcus*

Bakteri *Enterococcus* adalah bakteri gram positif dengan katalase negatif, tidak membentuk spora, termasuk bakteri asam laktat *anaerob fakultatif* yang terdapat pada tanah, permukaan air bahkan perairan laut. Bakteri ini bersosialisasi dengan tanaman, dalam produk fermentasi, hidup dalam usus hewan vetrebrata maupun invertebrata serta menjadi agen penyakit pada manusia. Bentuk bakteri *Enterococcus* adalah bulat atau bulat telur yang tersusun berpasangan atau berantai.

Menurut Hayati dkk dalam dalam Saskia.L (2023), menyatakan dalam hasil penelitiannya bahwa morfologi koloni *Enterococcus faecalis* dan *Enterococcus faecium* memiliki ciri yang sama yaitu bentuk bulat, berwarna putih, tepi halus, bentuk elevansi cembung, dan koloni non-hemolitik pada agar darah. Demikian pula pada pengamatan mikroskopis dan pembesaran 1000x menunjukkan gram positif yang berpasangan dengan rantai pendek. Bakteri ini berwarna merah pada medium pertumnuhan *Stanetz and bartley* Agar. (Saskia L, 2023)



Gambar 3. Bakteri *Enterococcus*

d. *Clostridium Tetani*

Klasifikasi Ilmiah:

Kerajaan : Bacteria
 Division : Firmicutes
 Kelas : Clostridia
 Ordo : Clostridiales
 Keluarga : Clostridiaceae
 Genus : Clostridium
 Spesies : *Clostridium Tetani*

Clostridium tetani adalah bakteri berbentuk batang lurus, langsing, berukuran panjang 2 – 5 mikron dan lebar 0,4 – 0,5 mikron. Bakteri ini membentuk eksotoksin yang disebut tetanospasmin. Kuman ini terdapat di tanah terutama tanah yang tercemar tinja manusia dan binatang. *Clostridium titani* termasuk bakteri gram positif anaerobic berspora, mengeluarkan eksotoksin. *Clostridium tetani* menghasilkan 2 eksotoksin yaitu

tetanospamin dan tetanolisin. Tetanospaminlah yang dapat menyebabkan penyakit tetanus. Perkiraan dosis mematikan minimal dari kadar toksin (tetanospamin) adalah 2,5 nanogram per kilogram berat badan atau 175 nanogram untuk 70 kilogram (154lb) manusia (Ramadhan.A, 2022)



Gambar 4. Bakteri *Clostridium Tetani*
(Wibisono M.F, 2020)

2. Bakteri Gram Negatif (-)
 - a. *Salmonella sp* merupakan salah satu bakteri penyebab utama *food borne disease* di Amerika Serikat. Karena bakteri ini sering ditemukan dalam bahan makanan atau minuman dan merupakan salah satu bakteri patogen yang sering menginfeksi manusia melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi. Masuknya bakteri *Salmonella sp* ke dalam tubuh manusia, dapat berpengaruh terhadap kesehatan, diantaranya dapat menyebabkan penyakit *gastroenteritis*, demam tifoid dan bakterimia dengan atau tanpa penyakit. *Gastroenteritis* yang disebabkan oleh bakteri *Salmonella* merupakan infeksi pada usus dan terjadi lebih dari 8 sampai 48 jam setelah bakteri patogen itu masuk ke dalam host. Ciri-cirinya adalah diare, demam, sakit kepala, muntah, sakit pada abdomen yang terjadi selama 2 sampai 5 hari. Gejalanya antara lain kehilangan cairan dan kehilangan keseimbangan elektrolit merupakan bahaya terutama

terhadap anak-anak dan orang tua (Rini Setyo dan Rohmah. J, 2020)

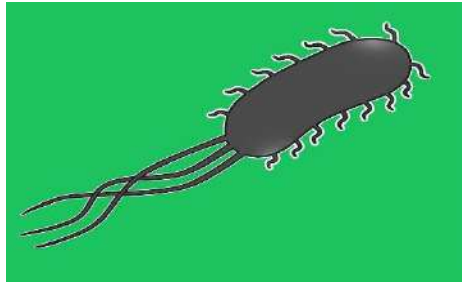


Gambar 5. *Salmonella sp*
(Wibisono M.F, 2020)

b. *E. Coli*

Jenis *Escherichia*, *Enterbakter* (dahulu disebut *Aerobacter*). Jenis *Escherichia*, hanya memiliki satu spesies yaitu *E.Coli*, dan disebut koliform fekal, karena di dalam saluran usus hewan dan manusia, sehingga sering ditemukan dalam feses. Bakteri *E.Coli*, sering digunakan sebagai indikator kontaminasi kotoran. Dalam dunia mikrobiologi, *Escherichia coli* ini termasuk klasifikasi sebagai bakteri Gram negatif berbentuk batang dan masuk dalam keluarga *Enterobacteraiceae*. Dalam banyak literatur bakteri *Escherichia coli* ini menghuni saluran usus bagian bawah hewan berdarah panas, termasuk manusia. Keberadaan *Escherichia coli* itu sering dibuang ke lingkungan melalui fices atau limbah cair. Atas dasar inilah, salah satu dasar keberadaan *Escherichia coli* di lingkungan perairan telah dianggap sebagai indikator pencemaran tinja. Menariknya akhir-akhir ini banyak penelitian yang melaporkan bahwa beberapa strain spesifik *Escherichia coli* dapat bertahan hidup untuk jangka waktu yang lama. Hebatnya lagi *Escherichia coli* ini berpotensi diare encer dan berdarah. Infeksi cendrung merendah secara spontan dalam waktu 1 - 4 hari tanpa terapi selain pemulihan keseimbangan

air dalam elektrolit (Jawetz, 2020 dalam Haryanto.E, 2023)



Gambar 6. Bakteri Escheria Coli

c. *Vibrio Cholerae*

Vibrio cholerae merupakan bakteri yang berbentuk batang bengkok seperti koma berukuran ($0,5 \mu\text{m} \times 1,5 - 3,0 \mu\text{m}$) , Gram negatif tidak berspora, hidup secara aerob atau anaerob fakultatif, bergerak melalui flagel yang mnotrik, tidak berbentuk spora, dan pada biakan tua dapat menjadi berbentuk batang lurus. Morfologi dan sifat-sifat *Vibrio choerae* ini dapat dijadikan pedoman dalam diagnosa atau identifikasi *Vibrio cholerae* secara konvensional. Keberadaan *cholera* entrotoksin yang spesifik hanya dapat pada *Vibrio cholerae* patogen dapat menjadi target dalam pemeriksaan laboratorium untuk diagnosa bakteri *Vibrio cholerare* patogen dengan menggunakan teknik biomolekuler seperti metode *polymerase chain reaction (PCR)* Guntina *et al*, 2022 dalam Sebrina *at al* 2022)

Vibrio cholerae pada dasarnya bersifat patogen bagi manusia. Sebagian besar infeksi disebabkan oleh gejala kolera vena atau diare ringan pada pasien. Gejala muncul 1-4 hari setelah akhir masa inkubasi. Munculnya diare berair yang melimpah tanpa mulas dan tanpa tenesmus merupakan gejala paling khas yang terjadi saat terinfeksi bakteri ini. Diare yang awalnya berwarna dan berbau busuk segera berubah menjadi cairan putih

keruh mirip air cairan beras yang mengandung lendir. Selain itu, diare diikuti dengan gejala mual yang diikuti dengan muntah dan biasanya kram pada otot betis, bisep, trisep, otot dada dan kram perut (Salima Media 2014 dalam Sebrina 2022)

Vibrio choerae merupakan penyebab penyakit kolera. Kolera adalah penyakit infeksi pada saluran pencernaan yang disebabkan oleh bakteri *Vibrio cholerae* yang gejala klinisnya dimulai setelah timbulnya diare cair, kemudia feses yang awalnya berwarna dan berbau busuk menjadi lebih encer , masif dan putih, seperti air beras dalam waktu singkat. Cairan ini mengandung lendir, sel epitel dan *Vibrio cholerae* dalam jumlah besar. Bila tidak diobati , pasien dapat kehilangan cairan dalam jumlah besar dan berkembang menjadi dehidrasi dan parah, bahkan mungkin kematian, dalam beberapa jam setelah infeksi (WS at al, 2013 dlam Sebrina 2022). Selain air atau minuman yang terkontaminasi oleh bakteri tersebut, makanan yang terkontaminasi manusia yang dihindangi lalat pun juga menjadi salah satu faktor dalam pertumbuhan bakteri *Vibrio cholerae*.



Gambr 7. Bakteri *Vibrio cholerae*

d. *Pseudomonas sp*

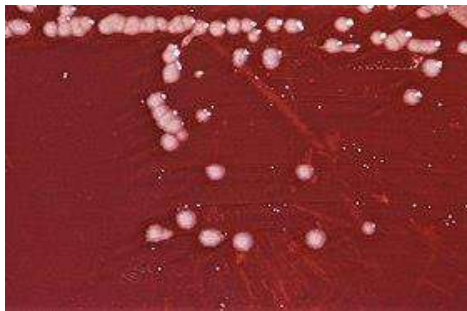
Bakteri *Pseudomonas sp* mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- 1). Bakteri Gram negatif
- 2). Berbentuk batang atau kokus

- 3). Bergerak , bersifat katalase- positif
- 4). Tumbuh dengan baik dari berbagai suhu
- 5). Dapat mengoksidasi glukosa menjadi asam glukonat

Bakteri *Pseudomonas sp* memiliki karakteristik seperti Gram negatif , berbentuk batang (*rods*) atau kokus (*coccus*) ,aerob obligat, motil mempunyai flagel polar. Bakteri ini oksidase positif, katalase positif, non fermenter dan tumbuh dengan baik pada suhu 4° C atau dibawah 43°C. Bakteri genus ini memproduksi beberapa enzim seperti protease , amilase, dan lipase. Selain itu bakteri *Pseudomonas sp* juga dapat menguraikan protein , karbohidrat dan senyawa organik lain menjadi CO₂, gas amoniak, dan senyawa-senyawa lain yang lebih sederhana (Rahmadian A.C, 2018)

Bakteri *Pseudomonas sp* senang hidup di lingkungan yang bersuhu antara 15-30°C. Bakteri *Pseudomonas sp* umumnya berkembang dengan baik pada pH antara 5,5-9,0. pH rendah merupakan keadaan yang optimal bagi berkembangbiaknya beberapa jenis bakteri patogen seperti bakteri *Pseudomonas sp* dan perubahan pH yang menyolok menyebabkan ikan menjadi sters. (Ramadian A.C, 2018).



Gambar.8. Bakteri *Pseudomonas sp*

DAFTAR PUSTAKA

- Aini.F, Djaimal.A, Usama.E, Identifikasi Carier Bakteri Streptococcus pad murid SD Negeri 13 Padang Bedarakan Perbedaan umur dan Jenis kelamin, Jurnal Kesehatan Andalas.
- Haryanto.E, (2023), Pengantar Bakteriologi, Penerbit CV. Eureka Media Aksara
- https://id.wikipedia.org/wiki/Staphylococcus_aureus
<https://id.wikipedia.org/wiki/Pembicaraan:Streptococcus>
https://id.wikipedia.org/wiki/Enterococcus_faecalis
<https://pixabay.com/id/images/search/escherichia%20coli/>
<https://www.istockphoto.com/id/foto/bakteri-vibrio-cholerae-gm624718516-109>
<https://id.wikipedia.org/wiki/Pseudomonas>
- Khairunnisa.M dkk, Isolasi Identifikasi Staphylococcus aureuas pada kambing Pernakan Etawa, Jurnal JIMVET E-ISSN: 2540-9492
- Ramadhan.A, (2022), Mikroorganisme Patogen Penyebab Penyakit Pada Manusia
- Rahmadian. A.C, dkk, (2018), Isolasi dan Identifikasi Bakteri Pseudomonas sp Pada Ikan Asin di tempat pelelangan ikan LabuhanAdji Aceh, UniversitasSyiah Kuala
- Rini. S dam Rommah.J (2020), Bakteriologi Dasar, Buku Ajar Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
- Saskia.L, (2023), Keberadaan Bakteri Entwrococcus di Perairan Pulaou Samalona, Kota makasar, Skripsi, Universitas hasanuddin Makasar
- Sebri a Z.N, dkk, (2022), Prosiding Seminar Nasional Bio, UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta
- Wibisono, M.F, 2020, Bahaya Bakteri Salmonella sp pada Kesehatan, Universitas Airlangga Surabaya

BIODATA PENULIS



Suwarja, S.Pd, M.Kes lahir di Cijeruk , pada 19 April 1963. Menyelesaikan pendidikan Diploma 1 di Sekolah Pembantu Penilik Hygiene (SPPH) Manado, Diploma 3 di Akademi Kesehatan Lingkungan (AKL) Surabaya, S1 di Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan (IKIP) Manado Fakultas Pendidikan dan S2 di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, Fakultas Kesehatan Masyarakat Program Studi Ilmu Kesehatan Kerja, peminatan Kesehatan Lingkungan. Sampai saat ini penulis sebagai dosen tetap di Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Manado.

BAB 10

Genetika dan Metabolisme Bakteri

Okto Asriatno, S.Pd., M.Si.

A. Pendahuluan

Genetika bakteri adalah studi tentang bagaimana organisasi, ekspresi, dan transfer gen bakteri. Bakteri adalah mikroorganisme bersel tunggal yang memainkan peran penting dalam ekosistem, kesehatan manusia, dan industri. Penelitian tentang bakteri telah menghasilkan penemuan penting, seperti pengembangan teknik rekayasa genetika, produksi obat-obatan dan dalam penelitian ilmiah sebagai organisme model karena struktur genetiknya yang sederhana dan pertumbuhannya yang cepat.

Metabolisme bakteri mengacu pada berbagai proses kimia yang digunakan bakteri untuk memperoleh energi dan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhan, reproduksi, dan kelangsungan hidup. Berbeda dengan organisme yang lebih kompleks, bakteri memiliki beragam jalur metabolisme yang memungkinkan mereka hidup di berbagai lingkungan. Beberapa bakteri adalah organisme autotrof yang menghasilkan makanannya sendiri melalui proses seperti fotosintesis atau kemosintesis, sementara yang lain adalah organisme heterotrof yang bergantung pada senyawa organik dari lingkungan sekitarnya.

B. Genetika dan Metabolisme Bakteri

1. Genetika Bakteri

a. Materi Genetik

Pada bakteri, materi genetiknya berupa DNA (*deoxyribose nucleic acid*) untai ganda yang terdiri dari gula 2-deoksiribosa yang terhubung oleh ikatan

fosfodiester, dengan empat basa—adenin (A), guanin (G), timin (T), dan sitosin (C)—terikat pada gula tersebut. DNA membentuk heliks ganda dengan tulang punggung gula-fosfat di bagian luar dan basa-basa yang berpasangan di tengah melalui ikatan hidrogen, di mana adenin berpasangan dengan timin dan guanin berpasangan dengan sitosin (Dale dan Park, 2010). Satu molekul DNA terdiri dari 1 gula berkarbon 5 (deoksiribosa), 1 basa nitrogen, dan 1 gugus fosfat yang berikatan dengan karbon ke-5 gula deoksiribosa, yang nantinya akan berikatan dengan karbon ke-3 gula deoksiribosa dari molekul DNA lainnya untuk membentuk untai panjang DNA (Snyder et al., 2010). Potongan DNA yang mengkodekan suatu produk fungsional disebut gen. Keseluruhan gen yang dimiliki oleh organisme disebut genom. Biasanya produk yang dikodekan oleh gen berupa protein (Tortora et al., 2019).

RNA merupakan asam nukleat untai tunggal, yang secara struktur hampir sama dengan DNA, kecuali pada basa nitrogennya timin (T) digantikan oleh urasil (U) dan gula berkarbon 5-nya adalah ribosa. RNA secara umum dikenal terbagi atas tiga jenis, yaitu messenger RNA (mRNA), ribosomal RNA (rRNA) dan transfer RNA (tRNA), yang ketiganya berperan dalam sintesis protein (Brooks et al., 2013).

Untaian DNA bakteri membentuk struktur yang dinamakan kromosom, yang uniknya pada bakteri berbentuk sirkular (kromosom pada eukariotik berbentuk linear). Kromosom tersebut tergulung dan terlipat sedemikian rupa, yang disebut dengan supercoiled (Tortora et al., 2019). Awalnya sel bakteri diketahui hanya memiliki satu kromosom, namun berbagai penelitian telah membuktikan adanya bakteri yang memiliki kromosom lebih dari satu, seperti pada

bakteri jenis *Rhodobacter sphaeroides*, *Brucella melitensis* dan *Vibrio cholerae* (Trahan et al., 2019).

Selain pada kromosom, gen bakteri juga terdapat dalam struktur non-kromosomal yang disebut Plasmid. Plasmid berbentuk linear atau sirkular, merupakan DNA untai ganda yang ukurannya lebih kecil daripada kromosom (Madigan et al., 2019). Plasmid biasanya membawa gen yang tidak berkaitan dengan metabolisme primer bakteri, melainkan membawa gen yang berperan pada kondisi cekaman atau ketika bakteri tersebut berada pada kondisi yang tidak menguntungkan. Selain itu, pada beberapa bakteri Plasmid membawa gen yang berkaitan dengan patogenitas seperti produksi senyawa metabolit sekunder bersifat toksik yang dan ada pula yang membawa gen terkait metabolisme senyawa hidrokarbon yang tidak biasa, seperti toluen (Tortora et al. 2019).

b. Aliran Informasi Genetik

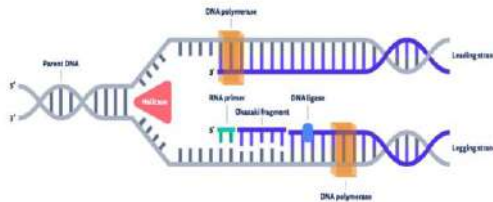
Tranfer gen secara vertikal terjadi melalui proses replikasi DNA sehingga gen suatu jenis bakteri dapat diturunkan ke generasi berikutnya (Tortora et al., 2019). Transfer gen secara horizontal terjadi ketika potongan DNA dari suatu kromosom diperbanyak dan diinsersikan ke dalam kromosom yang sama ataupun kromosom yang berbeda, yang dapat pula terjadi dari organisme pendonor ke organisme penerima (resipien bukan merupakan keturunan dari organisme pendonor) (Garba dan Khalid, 2020).

Transfer gen vertikal terjadi dalam tiga tahapan, yaitu:

1) Replikasi DNA

Pada proses replikasi DNA, enzim DNA helikase akan membuka untai ganda DNA dan tiap untai tersebut akan menjadi DNA template (tahap inisiasi). Enzim primase akan memasangkan RNA primer komplemen terhadap DNA template.

Setelah itu, enzim DNA polimerase akan menempel pada masing-masing DNA template dan bergerak dengan arah ujung 5' ke ujung 3' dan menyintesis DNA yang komplemen terhadap DNA template dengan basis dari RNA primer. Dari proses tersebut, 1 untai ganda DNA akan dihasilkan 2 untai ganda yang masing-masing membawa 1 untai DNA template dan 1 untai DNA komplemennya (sesuai dengan teori semikonservatif).



Gambar 1. replikasi DNA. Sumber:

2) Transkripsi

Proses transkripsi dilakukan dengan menyintesis RNA komplemen dari DNA template. mRNA yang membawa kode genetik, rRNA berintegrasi ke ribosom untuk menerjemahkan kode dari mRNA, dan tRNA berperan membawa sekuen mRNA yang akan ditranskripsi. Transkripsi dikatalisasi oleh enzim RNA polymerase dan proses ini dimulai ketika enzim tersebut berikatan pada bagian DNA template yang disebut promoter. RNA polimerase akan bergerak sepanjang DNA template dan menyintesis RNA komplemen dengan arah 5' → 3' hingga mencapai bagian pada DNA template yang disebut terminator.

3) Translasi

Translasi adalah proses penerjemahan RNA yang disintesis pada proses transkripsi menjadi asam-asam amino dan proses ini terjadi

pada ribosom. mRNA yang membawa kode genetik (disebut kodon) berupa tiga urutan nukleotida dengan basa nitrogen tertentu, akan diterjemahkan menjadi asam amino yang sesuai. Proses translasi akan dimulai pada kodon start (AUG) dan akan berhenti ketika ribosom menerjemahkan kodon UAA, UAG, atau UGA (kodon stop).

		Second position			
		U	C	A	G
First position	U	UUU Phe UUC Phe UUA Leu UUG Leu	UCU Ser UCC Ser UCA Ser UCG Ser	UAU Tyr UAC Tyr UAA Stop UAG Stop	UGU Cys UGC Cys UGA Stop UGG Trp
	C	CUU Leu CUC Leu CUA Leu CUG Leu	CCU Pro CCC Pro CCA Pro CCG Pro	CAU His CAC His CAA Gln CAG Gln	CGU Arg CGC Arg CGA Arg CGG Arg
	A	AUU Ile AUC Ile AUA Ile AUG Met	ACU Thr ACC Thr ACA Thr ACG Thr	AAU Asn AAC Asn AAA Lys AAG Lys	AGU Ser AGC Ser AGA Ser AGG Ser
	G	GUU Val GUC Val GUA Val GUG Val	GCU Ala GCC Ala GCA Ala GCG Ala	GAU Asp GAC Asp GAA Glu GAG Glu	GGU Gly GGC Gly GGA Gly GGG Gly

Gambar 2. daftar kodon dan jenis asam aminonya.
Sumber: Tortora et al., 2019.

Transfer informasi genetik secara horizontal pada bakteri yang telah diketahui ada tiga, yaitu:

1) Konjugasi

Konjugasi terjadi dengan bantuan plasmid khusus yang disebut plasmid konjugasi. Proses ini melibatkan bakteri donor (+) dan resipien (-). Proses ini memerlukan kontak antara kedua sel, pada bakteri Gram positif melalui lapisan yang sifatnya lengket sedangkan bakteri Gram negatif menggunakan pili sex.

2) Transformasi

Transformasi adalah proses suatu sel bakteri mengambil DNA bebas dari lingkungan, lalu DNA tersebut terintegrasi ke dalam kromosomnya dan menyebabkan perubahan pada struktur genetiknya. Suatu sel bakteri dapat melakukan transformasi ketika sel tersebut berada dalam

kondisi kompeten. Untuk mencapai kondisi tersebut secara alamiah diperlukan protein spesifik yang mengaturnya atau keadaan *quorum sensing*. Secara artifisial, kondisi kompeten dapat diinduksi dengan senyawa kimia atau kejutan listrik bertegangan tinggi.

3) Transduksi

Transduksi melibatkan bantuan virus (bacteriophage) dalam prosesnya. Virus yang menginfeksi suatu bakteri, DNA maupun proteinnya disintesis di dalam sel bakteri inangnya dan tersimpan di dalam selubung protein virus tersebut. Dalam prosesnya, baik DNA maupun plasmid bakteri dapat terikut ke dalam selubung protein virus dan ketika virus tersebut menginfeksi bakteri inang berikutnya, DNA dari bakteri inang sebelumnya juga akan ikut ditransfer ke dalam sel bakteri inang yang baru, baik keseluruhan dari DNA bakteri inang sebelumnya (transduksi umum) atau hanya sebagian saja (transduksi terspesialisasi).

c. Operon

Operon adalah sekumpulan gen yang terkait secara fungsional, ditranskripsi sebagai satu mRNA, dan diatur secara kolektif oleh sebuah promotor. Sebagai contoh, operon *lac* adalah sistem genetik pada *E. coli* yang mengatur metabolisme laktosa. Meskipun menggunakan glukosa sebagai sumber energi utama, *E. coli* juga dapat memecah laktosa dan akan menggunakannya sebagai sumber energi jika hanya laktosa yang tersedia (Morris, 2021). Ketika laktosa hadir di lingkungan, operon ini diaktifkan, menyebabkan transkripsi dan translasi gen strukturalnya terjadi secara cepat dan simultan. Kombinasi promotor, operator, dan gen struktural

membentuk operon *lac*, memungkinkan sel mengontrol metabolisme laktosa secara efisien (Tortora et al., 2019).

2. Metabolisme Bakteri

a. Bakteri Autotrof dan Heterotrof

Autotrof adalah kemampuan suatu organisme mengubah senyawa karbon anorganik menjadi senyawa karbon organik secara mandiri. Dalam proses ini, bakteri menggunakan sumber energi yang berbeda, bergantung jenis bakteri dan kondisi lingkungannya, seperti cahaya (disebut bakteri fotoautotrof) atau reaksi oksidasi-reduksi senyawa kimia (disebut kemoautotrof) (Tortora et al., 2019). Bakteri heterotrof menggunakan senyawa karbon organik untuk memperoleh energinya. Bakteri fotoheterotrof menggunakan cahaya sebagai sumber energi dalam proses tersebut sedangkan bakteri kemoheterotrof menggunakan senyawa kimia seperti sulfida, ammonia, nitrit atau ion logam seperti Fe^{2+} (Madigan et al., 2019).

b. Katabolisme Bakteri

1) Fermentasi

Fermentasi adalah proses pemecahan senyawa organik makro menjadi senyawa yang lebih sederhana yang dilakukan oleh mikroorganisme dengan menggunakan reaksi enzimatik. Ada dua tipe fermentasi anaerobik berdasarkan senyawa akhir yang diproduksinya, yaitu fermentasi asam laktat dan fermentasi etanol. Kedua jenis fermentasi tersebut menggunakan asam piruvat sebagai substratnya (Sourvinos, 2022).

2) Respirasi

Salah satu pembeda proses respirasi dan fermentasi adalah akseptor elektron terakhir dalam proses tersebut. Fermentasi menggunakan senyawa organik sebagai akseptor elektron terakhirnya, sedangkan respirasi menggunakan

bahan anorganik sebagai akseptor elektron terakhir. Respirasi terbagi atas dua, yaitu respirasi aerob yang membutuhkan oksigen sebagai akseptor elektron terakhir dan respirasi anaerob dengan akseptor elektron terakhirnya berupa senyawa kimia selain oksigen, seperti nitrat, ion besi, ion sulfat, hidrogen sulfida, ataupun karbon dioksida.

Respirasi aerob berlangsung dalam empat tahapan, yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus Krebs, dan fosforilasi oksidatif atau rantai transfer elektron (Madigan et al., 2019).

a) Glikolisis

Pada proses ini satu molekul gula berkarbon 6 melalui serangkaian tahapan diubah menjadi dua molekul asam piruvat dan menghasilkan 2 ATP serta 2 NADH.

b) Dekarboksilasi oksidatif atau oksidasi piruvat

Masing-masing asam piruvat hasil glikolisis diubah menjadi Asetil Koenzim A (asetil KoA) serta menghasilkan 2 NADH dan melepaskan dua molekul karbon dioksida.

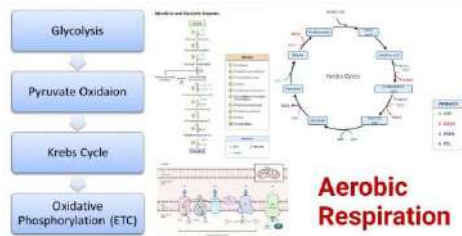
c) Siklus Krebs

Proses ini disebut juga sebagai siklus asam sitrat karena asetil KoA yang masuk ke dalam siklus tersebut berikatan dengan oksaloasetat membentuk asam sitrat. Rangkaian siklus ini menghasilkan 6 NADH, 2 FADH₂, dan 2 ATP.

d) Fosforilasi oksidatif

Molekul pembawa proton (NADH dan FADH₂) mengalami oksidasi dan melepaskan proton (ion H⁺). Hal tersebut menyebabkan ketidakseimbangan muatan dan pH di dalam dan luar membran sel, menyebabkan terbentuknya gerakan proton melewati membran sel yang disebut proton motive

forces (PMF). Beda potensial ini yang dibantu oleh serangkaian enzim menyebabkan terbentuknya ATP atau energi.



Gambar 3. Respirasi aerob

c. Biosintesis Makromolekul

1) Biosintesis Polisakarida

Polisakarida disintesis dengan monomer berupa ADPG (adenosine diphosphoglucose). Pada kondisi dimana sel membutuhkan glukosa, bakteri akan menyintesis glukosa dari senyawa intermediet dari proses glikolisis (seperti fosfoenolpiruvat) dan proses ini disebut glukoneogenesis. Bakteri juga menyintesis gula berkarbon 5 (pentosa) melalui jalur pentosa fosfat. Proses ini menggunakan glukosa (gula berkarbon 6) sebagai bahannya dan menghasilkan CO₂, NADPH, dan gula berkarbon 5 berupa ribulosa 5-fosfat yang dibutuhkan sebagai kerangka dasar pembuatan nukleotida (Madigan et al., 2019).

2) Biosintesis Asam Amino dan Nukleotida

Bahan dasar dalam sintesis asam amino diperoleh bakteri dari jalur katabolisme glukosa, berupa senyawa intermediet seperti piruvat, 3-fosfoglisarat, korismat, α -ketoglutarat dan oksaloasetat. Penambahan gugus amina pada piruvat maupun asam organik hasil siklus Krebs sehingga menjadi asam amino disebut aminasi, sedangkan transfer gugus amina dari asam amino lainnya disebut transaminasi (Tortora et al., 2019).

Nukleotida, baik pirin maupun pirimidin, memiliki jalur biosintesis yang kompleks. Prekursor purin adalah asam inosinat sedangkan prekursor pirimidin adalah uridilat (Madigan et al., 2019).

3) Biosintesis Lipid

Penyusun dasar dari lipid adalah asam lemak dan gliserol. Asam lemak disintesis oleh protein ACP (acyl carrier protein) dari 2 atom karbon fragmen asetil KoA menjadi malonil KoA hingga mencapai panjang tertentu (Mendoza dan Schujman, 2014). Gliserol disintesis dari dihidroksiaseton fosfat, senyawa intermediat dalam glikolisis (Tortora et al., 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Brooks, G,D., Carroll, K,C., Butel, J,S., Morse, S,A., Mietzner, T,A. 2013. *Medical Microbiology: Twenty-Sixth Edition*. United States: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Dale, J,W., & Park, S,F. 2010. *Molecular Genetics of Bacteria: Fifth Edition*. United Kingdom: A John Willey and Sons, Ltd.
- Garba, I., & Khalid, H,U. 2020. Mechanisms of Gene Transfer in Bacteria: A Review. *International Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. 10(2): 326 – 332.
- Madigan, M,T., Bender, K,S., Buckley, D,H., Sattley, W,M., Stahl, D,A. 2019. *Brock Biology of Microorganisms: Fifteenth Edition*. New York: Pearson Education, Ltd.
- Mendoza, D, & Schujman, G,E. 2014. Lipid Biosynthesis. In: *Encyclopedia of Microbiology, 4th Edition*. United States: Elsevier, Inc.
- Morris, S. 2021. Lac Operon: It's Structure and Function. *Genetics and Molecular Research*. 20(4):1–3. DOI <http://dx.doi.org/10.4238/gmr29630>
- Snyder, L., Peters, J,E., Henkin, T,M., Champness, W. 2010. *Molecular Genetics of Bacteria*. Washington DC: ASM Press.
- Sourvinos, G. 2022. Methods Involved in Aerobic and Anaerobic Fermentations. *Journal of Probiotics and Health*. 10:277.
- Tortora, G,J., Funke, B,R., Case, C,L. 2019. *Microbiology An Introduction: Thirteenth Edition*. Boston: Pearson Education, Ltd.
- Trahan, C., Pandey, R,S., Singh, U., Choudhary, A., Cho, H., Azad, R,K., Choudhary, M. 2019. Multiple Chromosomes in Bacteria: Low Level Evolutionary Constraint Drives the Rapid Genetic Divergence of Chromosome II. *Advances in Microbiology*. 9: 656 – 677. DOI: 10.4236/aim.2019.97041.

BIODATA PENULIS



Okto Asriatno, S.Pd., M.Si., lahir di Kendari, 21 Oktober 1996. Menyelesaikan pendidikan S1 Pendidikan Biologi di Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Halu Oleo Kendari dan S2 Mikrobiologi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam IPB University. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen di Jurusan Kedokteran Universitas Halu Oleo Kendari.

BAB 11

Mikroflora Normal

apt. Zola Efa Harnis, S. Farm., M. Si

A. Pendahuluan

Mikroflora normal adalah sekelompok berbagai mikroorganisme yang hidup di dalam tubuh semua manusia atau hewan. Organisme ini ada secara konsisten, dan relatif stabil, dengan genera spesifik yang menghuni berbagai wilayah tubuh selama periode tertentu dalam kehidupan seseorang, mulai dari segera setelah lahir hingga mati. Mikrobiota normal pribumi memberikan garis pertahanan pertama terhadap mikroba patogen, membantu pencernaan, dan berkontribusi terhadap pematangan sistem kekebalan tubuh dan secara umum mampu membantu anatomi, fisiologi, kerentanan terhadap patogen, dan bahkan morbiditas inang.

Beberapa faktor internal seperti usia dan faktor eksternal seperti letak geografis, pola makan, kondisi stres, infeksi bahkan konsumsi antibiotik, merupakan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi fungsi mikroflora normal (Sunarti, Lusia Sri. 2022).

B. Mikroflora Normal Pada Manusia

1. Mikroflora Normal di Mulut

Keanekaragaman bakteri di rongga mulut disebabkan oleh berbagai struktur anatomi itu mendukung lingkungan ekologi yang berbeda. Bakteri ditemukan di mulut antara lain Firmicutes, bacilli (*Streptococci* dan *Lactobacilli*), *Actinobacteria* (terutama *Actinomyces*), *Spirochaetes*, *Proteobacteria* dan berbagai lainnya. *Streptokokus* merupakan komponen utama flora mulut. *Haemophilus* spp ditemukan dalam air liur. *Candida*

albicans menempel pada mukosa bukal. Gram bakteri anaerob negatif penghuni periodontal sampel. Ini termasuk Actinobacilli actinomycetemcomitans, Porphyromonas gingivalis dan Prevotella intermedia. Endodontal sampel ditemukan mengandung Gram negative spesies, Porphyromonas endodontalis, P. gingivalis, dan banyak spesies Prevotella. Di bidang gigi karies spesies yang ditemukan didominasi Gram bakteri anaerob fakultatif positif. Di antara ini, Streptococcus mutans adalah yang paling banyak dipelajari bersama dengan streptokokus lain yang ditemukan di mulut.

Rongga mulut sebagian besar terdiri dari jaringan lunak. Rongga mulut bayi lembab sehingga sekret air liur kelenjar dan kurangnya jaringan keras. Sebagai akibat Streptococcus salivarius adalah bakteri utama spesies di rongga mulut bayi. Banyak Stafilokokus spp. ditemukan di rongga mulut, tetapi Staphylococcus aureus sering ditemukan di rongga mulut pada anak kecil tetapi tidak pada orang dewasa.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dalam rongga mulut yang sehat karena hasil interaksi dari beberapa faktor:

- a. Potensi Reduksi Oksidasi (nilai Eh)
 - b. pH
 - c. Pola makan
 - d. Variasi Diurnal
 - e. Kebersihan Mulut
 - f. Asupan Antibiotik
 - g. Adanya Karies Gigi dan Penyakit Periodontal Lainnya
 - h. Nutrisi (T. Manigandan, At Al. 2014).
2. Mikroflora Normal di Saluran Pernapasan
- a. Daerah Nasofaring atau Saluran Pernafasan Bagian Atas

Selaput lendir daerah nasofaring membatasi pertumbuhan mikroorganisme meskipun memiliki kadar air yang tinggi. Mikroorganisme dari udara masuk ke daerah nasofaring melalui penyekat hidung

dan langsung menempel pada lendir atau lapisan lembab.

Beberapa bakteri berjalan menuruni orofaring menuju lingkungan asam lambung melalui gerakan ritmis silia pada permukaan nasofaring. Lisozim menghancurkan beberapa bakteri di lendir hidung. Spesies *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Corynebacterium*, *Neisseria*, *Haemophilus* dan *Micrococcus* adalah mikroflora normal nasofaring.

b. Saluran Pernapasan Bawah

Wilayah ini bebas dari mikroorganisme. Trakea dan bronkus kekurangan flora normal karena pergerakan lendir ke atas yang didorong oleh silia. Namun, mikroorganisme yang masuk ke alveoli paru-paru dirusak oleh makrofag alveolar melalui fagositosis.

3. Mikroflora Normal di Usus

Usus adalah sistem kehidupan yang sangat kompleks yang berpartisipasi dalam perlindungan inang melalui pertahanan yang kuat terhadap agresi dari lingkungan luar. Tugas pertahanan ini didasarkan pada 3 unsur yang berada dalam kontak dan dialog permanen satu sama lain: mikroflora, penghalang mukosa, dan sistem kekebalan lokal. Mikroflora usus berperan besar melawan bakteri eksogen melalui resistensi kolonisasi, namun mekanisme kerjanya belum diketahui, meskipun terkait dengan bakteri yang mengkolonisasi usus. Mukosa usus merupakan penghalang seluler dan tempat utama interaksi dengan zat asing dan mikroorganisme eksogen. Ini adalah struktur fisikokimia kompleks yang terdiri dari lapisan mukosa yang terkait dengan komponen seluler dan stroma yang berpartisipasi dalam pertahanan inang melalui aliran darah mukosa, sekresi mukosa, fungsi sel epitel, hidrofobisitas permukaan, dan produksi defensin. Usus adalah organ kekebalan tubuh utama yang diwakili oleh jaringan limfoid terkait usus melalui kekebalan bawaan dan didapat. Sistem

kekebalan ini dapat menoleransi antigen makanan dan bakteri yang mengkolonisasi usus serta mengenali dan menolak mikroorganisme enteropatogenik yang mungkin mengganggu pertahanan tubuh. Bekerja sama dengan penghalang endogen ini, beberapa bakteri transit, seperti probiotik, dapat bertindak sebagai mitra sistem pertahanan usus (Pierre Bourlioux, *At. Al.* 2002)

4. Mikroflora Normal di Kulit

Kulit adalah rumah bagi berbagai macam mikroorganisme, yang sebagian besar bersifat jinak atau bahkan bermanfaat bagi inangnya. Kemungkinan besar membawa flora sementara karena seringnya terpapar lingkungan. Namun, terdapat flora residen yang konsisten dan berbeda yang diubah di berbagai wilayah anatomi oleh sekresi atau paparan pada membran mukosa. Mikroflora kulit manusia tersebut adalah:

- a. *Staphylococcus aureus*
- b. *Staphylococcus epidermidis*
- c. *Corynebacterium spp*
- d. *Propionibacterium spp*
- e. *Micrococcus spp*

5. Mikroflora Normal Sistem Urogenital

Mikrobiota normal di berbagai bagian tubuh memberikan pertahanan nonspesifik yang penting terhadap penyakit menular (lihat Pertahanan Fisik), dan tidak terkecuali pada saluran urogenital. Namun, baik pada pria maupun wanita, ginjalnya mandul. Meskipun urin mengandung beberapa komponen antibakteri, bakteri akan tumbuh dalam urin jika dibiarkan pada suhu kamar. Oleh karena itu, tindakan pembilasanlah yang menjaga ureter dan kandung kemih bebas dari mikroba. Di bawah kandung kemih, mikrobiota normal sistem urogenital pria ditemukan terutama di uretra distal dan mencakup spesies bakteri yang umumnya berhubungan dengan mikrobiota kulit. Pada wanita, mikrobiota normal ditemukan di sepertiga distal uretra dan vagina. Mikrobiota normal pada

vagina terbentuk segera setelah kelahiran dan merupakan populasi bakteri yang kompleks dan dinamis yang berfluktuasi sebagai respons terhadap perubahan lingkungan.

Anggota mikrobiota vagina berperan penting dalam pertahanan nonspesifik terhadap infeksi vagina dan infeksi menular seksual dengan menempati tempat pengikatan seluler dan bersaing untuk mendapatkan nutrisi. Selain itu, produksi asam laktat oleh anggota mikrobiota menyediakan lingkungan asam di dalam vagina yang juga berfungsi sebagai pertahanan terhadap infeksi. Bagi sebagian besar wanita, bakteri penghasil asam laktat di vagina didominasi oleh berbagai spesies *Lactobacillus*. Bagi wanita yang kekurangan *Lactobacillus* di vaginanya, produksi asam laktat terutama berasal dari spesies bakteri lain seperti *Leptotrichia* spp., *Megasphaera* spp., dan *Atopobium* vaginae. *Lactobacillus* spp. menggunakan glikogen dari sel epitel vagina untuk metabolisme dan produksi asam laktat. Proses ini diatur secara ketat oleh hormon estrogen. Peningkatan kadar estrogen berkorelasi dengan peningkatan kadar glikogen vagina, peningkatan produksi asam laktat, dan penurunan pH vagina. Oleh karena itu, penurunan estrogen selama siklus menstruasi dan menopause berhubungan dengan penurunan kadar glikogen vagina dan asam laktat, serta pH yang lebih tinggi. Selain menghasilkan asam laktat, *Lactobacillus* spp. juga berkontribusi terhadap pertahanan terhadap penyakit menular melalui produksi hidrogen peroksida dan bakteriosin (peptida antibakteri).

6. Efek Menguntungkan dan efek berbahaya Mikrobiota Normal
 - a. Flora normal berhubungan dengan sintesis vitamin B kompleks dan vitamin K.
 - b. Kolonisasi flora normal pada kulit mencegah perkembangbiakan mikroba patogen, karena mereka bersaing untuk mendapatkan nutrisi yang sama.

- c. Mereka menambah mekanisme pertahanan tubuh manusia atau meningkatkan sistem kekebalan tubuh.
- d. Mikroorganisme menghasilkan beberapa zat mirip antibiotik. Misalnya, bakteri menghasilkan bakteriosin.
- e. Efek Berbahaya
- f. Konsekuensi dari patogen oportunistik menyebabkan penyakit pada orang dengan imunosupresi.
- g. Beberapa mikroflora resisten terhadap obat.
- h. Beberapa mikroflora dapat menyebabkan kebingungan dalam diagnosis penyakit.

DAFTAR PUSTAKA

- Pierre Bourlioux, Berthold Koletzko, Francisco Guarner, Véronique Braesco, The intestine and its microflora are partners for the protection of the host: report on the Danone Symposium "The Intelligent Intestine," held in Paris, June 14, 2002, The American Journal of Clinical Nutrition, Volume 78, Issue 4, 2003, Pages 675-683
- Sunarti, Lusiana Sri. 2022. "Microbial Normal Flora: Its Existence And Their Contribution To Homeostasis". *Journal of Advances in Microbiology* 22 (9):1-15.
- T. Manigandan, S.P. Mangaiyarkarasi, R. Hemalatha, A.V. Sivagami, Vikram Sagar⁵ and N.P. Murali⁵ *J Pure Appl Microbiol.* 2014;8(3):2403-2408
- <https://byjus.com/biology/microflora-of-human-body/#normal-microflora>)
- <https://biologyreader.com/normal-flora-of-human-body.html>)
- <https://bio.libretexts.org>

BIODATA PENULIS



Apt. Zola Efa Harnis, S. Farm., M. Si lahir di Kualasimpang, pada 10 Maret 1989. Menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Farmasi Universitas Muslim Nuasantara Al Washliyah Medan, Profesi Apoteker di Universitas Andalas Padang dan S2 di Fakultas Farmasi Universitas Sumatera Utara. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen di fakultas Farmasi di Institut Kesehatan Delihusada Delitua.

BAB 12

Bakteri Patogen Gram (+) Kokus

apt. Rika Puspita Sari, S. Farm., M.Si.

A. Pendahuluan

Bakteri merupakan organisme bersel tunggal yang memiliki ukuran mikroskopik dan berkembang biak secara sederhana. Perkembangbiakan bakteri dilakukan dengan cara pembelahan biner. Bakteri memiliki bentuk morfologi yang beraneka ragam seperti bulat (kokus), batang (basil) dan spiral.

Bakteri mempunyai beragam karakteristik yang berbeda. Oleh karena itu dalam proses mempelajari dan memahami bakteri dalam suatu kelompok tertentu diperlukan identifikasi. Identifikasi dilakukan dengan mencari ciri pada organisme yang belum diketahui. Identifikasi bakteri dapat dilakukan dengan dua cara baik secara morfologi ataupun fisiologi. Identifikasi secara morfologi dapat meliputi bentuk koloni, struktur koloni, bentuk sel, ukuran sel dan pewarnaan bakteri. Pengamatan morfologi kemudian dibagi lagi menjadi dua pengamatan secara makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan secara makroskopis dilakukan dengan mengamati mikroorganisme pada bagian yang nampak dan dapat dilihat dengan mata telanjang seperti bentuk koloni, tepian koloni, elevasi koloni dan permukaan koloni. Sedangkan pengamatan mikroskopis digunakan pada saat ingin mengamati pergerakan dan pembelahan secara biner, mengamati bentuk dan ukuran sel yang alami, yang pada saat mengalami fiksasi panas serta selama pewarnaan mengakibatkan beberapa perubahan (Gorahe, 2023).

Bakteri gram positif berbentuk kokus atau batang dikenal sebagai bakteri asam laktat (BAL). fermentasi BAL dapat

merombak molekul organik kompleks seperti protein, karbohidrat dan lipid menjadi lebih sederhana seperti asam lemak, glukosa dan asam amino. BAL menghasilkan beberapa senyawa yang dapat melawan parasit yaitu asam laktat, asam asetat, asam format dan senyawa lain yang bersifat asam. keasaman tersebut dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan parasit maupun bakteri patogen. BAL dapat bersaing secara efektif dengan bakteri lain khususnya bakteri patogen dengan kisaran pH yang ideal antara 4 dan 5.

Bakteri asam laktat mempunyai peranan hampir dalam semua proses fermentasi makanan dan minuman misalnya yougurt, yakult, sus asam dan keju. Bakteri asam laktat termasuk mikroorganisme yang aman jika ditambahkan dalam pangan karena sifatnya tidak toksik dan tidak menghasilkan toksin sehingga disebut sebagai *food grade microorganism* atau dikenal sebagai *Generally Recognized as Safe* (GRAS) yaitu mikroorganisme yang tidak beresiko terhadap kesehatan bahkan beberapa jenis bakteri tersebut berguna bagi kesehatan. bakteri asam laktat bermanfaat untuk peningkatan kualitas hygiene dan keamanan pangan melalui penghambatan secara alami terhadap flora berbahaya yang bersifat patogen. Bakteri asam laktat dapat berfungsi sebagai pengawet makanan karena mampu memproduksi asam organik, menurunkan pH lingkungan dan mengekskresikan senyawa seperti H_2O_2 , diasetil, CO_2 , asetaldehid, d-isomer, asam amino dan bakteriosin.

Bakteri asam laktat merupakan bakteri fakultatif anaerob yang hidup di berbagai habitat cukup luas seperti pada tanaman, saluran pencernaan hewan maupun manusia. Bakteri asam laktat saat ini diketahui banyak memiliki kegunaan diantaranya dapat digunakan sebagai antibiotik, pengawet makanan, kultur fermentasi dan pangan probiotik karena bakteri ini mempunyai aktivitas yang mampu melawan mikroorganisme patogen dan pembusuk makanan. Senyawa yang berperan dalam aktivitas tersebut yaitu bakteriosin sebagai salah satu hasil metabolit bakteri tersebut. Produk

utama BAL pada fermentasi glukosa atau sukrosa adalah asam laktat, tetapi ada juga yang membuktikan bahwa BAL mampu menghasilkan metabolit asam organik, hidrogen peroksida dan bakteriosin yang bersifat sebagai antimikroba. Senyawa antimikroba ini mampu menghambat pertumbuhan bakteri gram positif dan gram negatif, termasuk bakteri patogen dan bakteri pembusuk. Substansi antimikroba yang dihasilkan oleh BAL itu dikenal dengan nama bakteriosin.

Bakteriosin merupakan molekul protein yang mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme atau antimikrobal karena sifat antimikrobal inilah bakteriosin sering digunakan sebagai biopreservatif makanan. Penggunaan bakteriosin sebagai biopreservatif memiliki beberapa keuntungan yaitu tidak bersifat toksik dan mudah mengalami biodegradasi karena bakteriosin ini merupakan senyawa protein yang tidak membahayakan mikroflora usus, mudah dicerna oleh enzim-enzim dalam saluran pencernaan dan aman bagi lingkungan. Bakteriosin secara alami dihasilkan oleh BAL termasuk diantaranta bakteri yang digunakan dalam pembuatan yoghurt. Bakteriosin didefinisikan sebagai suatu senyawa protein yang memiliki bobot molekul kecil dan mempunyai aktivitas sebagai antibakterial atau bakteriostatik. Bakteriosin bersifat stabil yaitu tahan terhadap proses pengolahan yang melibatkan asam dan basa, suhu panas dan dingin, dapat beradaptasi dengan baik pada lingkungannya, stabil saat disimpan, tidak mengubah cita rasa dan mempunyai spektrum yang kecil terhadap aktivitas mikroorganisme (Pratiwi dkk, 2020).

B. Jenis dan Ciri Bakteri Coccus Gram Positif

Bakteri coccus gram positif akan berubah warna menjadi ungu apabila diberi pewarna gram. Bakteri ini menyebabkan terjadinya infeksi kulit, pneumonia, keracunan makanan dan impetigo. Bakteri coccus gram positif memiliki beberapa ciri khusus, diantaranya :

1. Dinding selnya banyak mengandung peptidoglikan
2. Berwarna ungu jika diberi pewarna gram

3. Mempertahankan zat warna kristal violet saat proses pewarnaan gram.

Pewarnaan yang dilakukan untuk bakteri gram positif biasanya bersifat asam dan basa. Pada zat warna basa bagian yang berperan dalam memberikan warna disebut kromofor dan memiliki muatan positif. Zat warna basa lebih banyak digunakan karena muatan negatif banyak ditemukan pada dinding sel, membran sel dan sitoplasma, sewaktu proses pewarnaan muatan positif pada zat warna basa akan berkaitan dengan muatan negatif dalam sel sehingga mikroorganisme lebih jelasterlihat.

Prosedur pewarnaan yang menghasilkan pewarnaan mikroorganisme disebut pewarnaan positif yang dlaam prosedurnya dapat digunakan zat warna basa yang bermuatan positif maupun zat warna asam. Prinsip pewarnaan gram mengarah kepada kemampuan dinding sel terhadap zat warna dasar (kristal violet) setelah pencucian alkohol 96%. Bakteri gram positif terlihat berwarna ungu karena dinding selnya mengikat kristal violet lebih kuat. Pewarnaan gram dilakukan bertujuan sama dengan uji gram yaitu untuk membedakan bakteri apakah termasuk ke dalam bakteri gram positif ataupun gran negatif. Bakteri dicampur dengan tetesan steril pada gelas objek, kemudian disebar di tengah gelas objek sehingga membentuk lapisan tipis dan difiksasi. Dengan kristal violet olesan bakteri digenangi selama dua menit lalu dicuci dengan aor mengalir dan dikering anginkan. Diberi yodium selama dua menit dan dicucui dengan air mengalir dan dikeringkan. Selanjutnya diberi larutan pemucat yaitu alkohol 95% tetes demi tetes sampai warna ungu tidak terlihat lagi, lalu dicuci pada air mengalir dan dikering anginkan, kemudian digenangi lagi dengan safranin selama 30 detik lalu dicuci dan dibiarkan kering di udara. Warna ungu pada bakteri menunjukkan bakteri gram positif.

Bakteri gram positif terdiri dari membran sel selapis yang tidak mempunyai membran luar, serta dinding sel yang tebal. Pewarnaan bakteri gram akan berkontak dengan pewarna

primer. Pewarna mordan logol berfungsi untuk memfiksasi atau mengikat pewarna primer yang telah diserap oleh bakteri target. Alkohol 100% merupakan pelarut organik. Alkohol berfungsi sebagai dekolorisasi yang digunakan untuk melunturkan zat warna sisa yang tidak terserap oleh sel bakteri. Pewarna sekunder safarin atau fuchsin merupakan pewarna tandingan pada pewarna gram. Pewarna sekunder berfungsi untuk mewarnai kembali sel bakteri yang kehilangan pewarna primer setelah dekolorisasi oleh alkohol (Audia, 2021).

Bakteri gram positif lebih rentan terhadap antibiotik penisilin karena antibiotik ini mampu merusak peptidoglikan, selain itu jumlah peptidoglikan lebih banyak pada bakteri gram positif dan lebih rentan terhadap adanya kerusakan mekanis. Bakteri gram positif mengandung protein. Struktur dinding bakteri gram positif memiliki kandungan lipid yang rendah dibanding bakteri gram negatif. Bakteri gram positif biasanya merupakan flora normal yang menetap di kulit pada lapisan epidermis dan di celah kulit, sehingga sulit dihilangkan meskipun sudah melalui proses penggosokan pada saat mencuci tangan dibandingkan bakteri gram negatif (Amin dkk, 2023).

Bakteri coccus umumnya berbentuk bulat. Jika bakteri ini membelah diri, sel-sel dapat tetap melekat satu sama lain. Berdasarkan strukturnya bakteri coccus dibedakan menjadi (1) mikrokokus (bulat satu-satu) (2) diplokokus (bulat berpasangan) (3) streptokokus (berstruktur seperti rantai) (4) tetrakokus (tersusun dari empat sel menyerupai persegi) (5) staphylococcus (sel bergerombol menyerupai anggur). Bakteri gram positif mempunyai lapisan peptidoglikan yang membentuk struktur tebal dan kaku, asam teikoat yang mengandung alkohol dan fosfat.



Gambar 1 Bakteri Gram Positif dan Gram Negatif

Pertumbuhan bakteri dapat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, baik faktor biotik maupun faktor abiotik. Segala perubahan lingkungan dapat mempengaruhi morfologi bakteri. Beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan bakteri antara lain :

1. Suhu

Suhu sangat berpengaruh dalam pertumbuhan bakteri. Setiap bakteri memiliki temperatur optimal dimana mereka tumbuh sangat cepat. Bakteri patogen biasanya akan tumbuh baik pada suhu 37°C.

2. Derajat keasaman

Medium bakteri juga mempunyai rentang optimal. Pada bakteri patogen optimalnya 7,2-7,6.

3. Kelembaban

Bakteri dapat tumbuh pada media yang basah dan udara lembab. Nilai kadar air bebas di dalam larutan bakteri umumnya antara 0,90-0,999.

4. Oksigen

Berdasarkan kebutuhan oksigennya, bakteri dikelompokkan menjadi aerob (hanya dapat tumbuh apabila ada oksigen bebas), anaerob (hanya dapat tumbuh apabila tidak ada oksigen bebas), anaerob fakultatif (dapat tumbuh baik dengan atau tanpa oksigen bebas), mikroaerofilik (dapat tumbuh bila ada oksigen dalam jumlah kecil).

5. Tekanan osmosis

Dalam mempertahankan hidupnya, sel bakteri harus berada pada tingkat tekanan osmosis yang sesuai. Berdasarkan tekanan osmosis yang dibutuhkan dapat dikelompokkan menjadi :

6. Mikroba osmofil adalah mikroba yang dapat tumbuh pada kadar gula tinggi.
7. Mikroba halofil adalah mikroba yang dapat tumbuh pada kadar garam halogen yang tinggi.
8. Mikroba halodurik adalah kelompok mikroba yang dapat tahan (tidak mati) tetapi dapat tumbuh pada kadar garam tinggi, kadar garamnya mencapai 30%.
9. Nutrisi

Unsur dasar tersebut merupakan karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, sulfur, fosfor, zat besi dan sejumlah kecil logam lainnya. Kekurangan sumber-sumber nutrisi ini dapat dipengaruhi pertumbuhan mikroba hingga pada akhirnya dapat menyebabkan kematian.

10. Ion-ion lain

Untuk pertumbuhannya bakteri membutuhkan unsur-unsur kimia seperti C,H,N, S dan P. selain itu juga membutuhkan unsur mikro seperti Zn, Fe dan Cu. Sedangkan logam berat seperti Hg, Ag, Cu, Au dan Pb pada kadar rendah dapat bersifat racun (toksin). Logam berat memiliki daya oligodinamik yaitu daya bunuh logam berat pada kadar rendah. Selain logam berat ada juga ion-ion yang dapat mempengaruhi kegiatan fisiologi mikroba antara lain ion sulfat, tartrat, klorida, nitrat dan benzoat. Ion ini dapat mengurangi pertumbuhan mikroba tersebut. Oleh sebab itu ion ini dapat digunakan untuk mengawetkan suatu bahan. Ada senyawa lain yang dapat mempengaruhi fisiologi mikroba, misalnya asam benzoat, asam asetat dan asam sorbat.

11. Radiasi

Radiasi yang berbahaya bagi mikroorganisme yaitu radiasi pengionisasi yang memiliki anti radiasi dari gelombang panjang yang sangat pendek dan berenergi sehingga atom kehilangan elektron (ionisasi). Proses pertumbuhan mikroba umumnya ditunjukkan dengan kurva pertumbuhan, tahapan pertumbuhan bakteri terdiri atas empat fase, diantaranya :

12. Fase lag

Pada fase ini bakteri mengalami adaptasi metabolik ketika bakteri memasuki habitat atau medium yang baru agar dapat bertahan hidup di lingkungan baru. Sel yang sudah beradaptasi dengan habitat atau medium yang baru akan mulai membelah secara eksponensial dan memasuki fase logaritmik.

13. Fase logaritmik/eksponensial

Pada fase ini bakteri mulai terjadi perubahan bentuk, pembelahan sel dengan cepat dan jumlah sel meningkat. Jika kondisi lingkungannya tidak mempunyai nutrisi yang cukup maka pertumbuhan bakteri akan lebih lambat.

14. Fase stasioner

Proses pertumbuhan bakteri akan memasuki fase stasioner jika nutrisi pada medium mulai menipis atau ketika adanya akumulasi produk sampingan lain yang menghambat pertumbuhan bakteri. Pada fase stasioner jumlah sel yang membelah dengan jumlah yang mati hampir sama. Sehingga laju pertumbuhan bakteri adalah nol.

15. Fase kematian

Jumlah nutrisi pada medium yang terus menipis dan adanya akumulasi produk sampingan yang terjadi terus-menerus akan menyebabkan biakan mengalami fase kematian. Fase kematian pada biakan diikuti adanya proses lisis dari masing-masing bakteri (Hamidah dkk, 2019).

Agen bakteri seperti asam laktat dan bakteriosin yang dimiliki oleh bakteri probiotik mempunyai efek yang sangat penting dalam menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Hal ini dikarenakan asam laktat mampu menurunkan pH menjadi rendah sehingga bakteri patogen akan sulit bertahan hidup, sedangkan bakteriosin menghambat produksi energi dan biosintesis protein pada bakteri patogen. Besar kecilnya daya hambat dapat dipengaruhi oleh konsentrasi senyawa antimikroba, jumlah mikroba, suhu, waktu, jenis mikroba, pH dan zat atau bahan organik terlarut. Bakteri probiotik yang merupakan bakteri asam laktat menghasilkan senyawa

metabolit yang berfungsi sebagai antimikroba. Proses fermentasi yang melibatkan bakteri asam laktat mempunyai ciri khas terakumulasinya asam organik yang disertai dengan penurunan nilai pH. Efek antimikroba dari asam organik merupakan akibat dari turunnya nilai pH dan juga bentuk tidak terdisosiasi dari molekul asam organik. Efek bakterisidal senyawa H_2O_2 merupakan karena terjadinya oksidasi pada sel bakteri yaitu gugus sulfhidril dari protein sel sehingga mendenaturasi sejumlah enzim dan terjadinya peroksidasi dan lipid membran meningkatkan permeabilitas membran. CO_2 bersifat antibakteri karena menghambat dekarboksilasi enzimatis. Selain itu terdapat bakteriosin yang merupakan suatu peptida yang bersifat antibakteri, toksin yang berupa protein sehingga dapat mencegah pertumbuhan bakteri sejenis. Aktivitas bakterisidal atau efek pembunuhan terhadap bakteri yang sensitif yaitu melalui destabilisasi fungsi permeabilitas membran sel dan pembentuk energi.

Bakteri asam laktat menghasilkan senyawa yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri lainnya sehingga berpotensi sebagai antibakteri. Senyawa yang bersal dari asam laktat yaitu asam laktat, bakteriosin, hidrogen peroksida maupun karbondioksida. Perbedaan besar daerah hambat yang dibentuk dari setiap bakteri disebabkan perbedaan aktiivitas hambat yang dipengaruhi oleh jenis dinding sel bakteri yang dihambat. Hal ini berpengaruh pada ketahanan suatu bakteri terhadap zat antimikrob karena perbedaan pada struktur dinding sel. Aktivitas produksi bakteriosin oleh bakteri probiotik akan dipengaruhi oleh faktor pH, suhu, sumber karbon serta fase pertumbuhan. Jenis sumber karbon dan nitrogen yang dipengaruhi dalam medium produksi mempengaruhi laju pertumbuhan sel bakteri probiotik yang selanjutnya berpengaruh pada metabolisme produksi bakteriosin.

Dinding sel bakteri gram positif seperti *S. aureus* terdiri dari polisakarida. Dinding sel yang tersusun atas polisakarida tersebut mudah mengalami denaturasi dibandingkan dinding yang tersusun oleh fosfolipid. Hal tersebut yang menyebabkan

nilai zona hambat bakteri *S.aureus* lebih besar dari *E.coli*. dinding sel bakteri yang paling mudah terdenaturasi yaitu dinding sel yang tersusun dari polisakarida dibandingkan dengan dinding sel yang tersusun dari fosfolipid. Dinding sel bakteri gram positif tersusun dari polisakarida diantaranya mengandung peptidoglikan, asam laktat dan asam teikuronat (Apriyanthi dkk, 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, S.S., Ghozali, T.Z., dan Efendi, M.R.S. (2023). Identifikasi Bakteri dari Telapak Tangan dengan Pewarnaan Gram. *CHEMVIRO: Jurnal Kimia dan Ilmu Lingkungan*. 1(1): 30-35.
- Apriyanthi, D.P.R.V., Laksmi, A.S., dan Widayanti, N.P. (2022). Identification of Contaminant Bacteria on Tri Datu Bracelet. *BIOMA: Jurnal Biologi Makassar*. 7(2): 24-34.
- Audia, A.A. (2021). Pemeriksaan Gonore dengan Metode Pewarnaan Gram di Rumah Sakit Swasta Bekasi Timur. Karya Tulis Ilmiah. Bekasi: Program Studi Sarjana Teknologi Laboratorium Medis. Institut Mitra Keluarga.
- Gorehe, N. (2023). Identifikasi Bakteri dengan Pewarnaan Gram Pasien Infeksi Saluran Pernapasan Akut Pada Anak Usia Sekolah Dasar di Puskesmas Tamalanrea Makassar Tahun 2023. Skripsi. Makassar: Program Studi Pendidikan Dokter. Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan. UIN Alauddin Makassar.
- Hamidah, M.N., Rianingsih, L., Romadhon. (2019). Aktivitas Antibakteri Isolat Bakteri Asam Laktat dari Peda dengan Jenis Ikan Berbeda Terhadap E. coli dan S. aureus. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Perikanan*. 1(2): 12-21.
- Medina, D., Walke, J.B., Gajewski, Z., Backer, M.H., and Swartwout, M.C. (2020). Culture Media and Individual Hosts Affect The Recovery of Culturable Bacterial Diversity from Amphibian Skin. *Frontiers in Microbiology*. 8(1): 23-33.
- Pratiwi, N.P.I.I., Suardana, I.W., dan Suarsana, I.N. (2020). Karakterisasi Fisikokimia dan Uji Aktivitas Bakteriosin dari Bakteri Asam Laktat Isolat 13B Hasil Isolasi Kolon Sapi Bali. *Indonesia Medicus Veterinus*. 6(4): 278-290.

BIODATA PENULIS



apt. Rika Puspita Sari lahir di Minas, pada 19 April 1987. Menyelesaikan pendidikan S1 di Sekolah Tinggi Ilmu farmasi Bandung dan S2 di Fakultas Farmasi Universitas Sumatera Utara. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen di Jurusan Farmasi Institut Kesehatan Deli Husada Delitua.

BAB 13

Bakteri Patogen Gram Positif Batang

Dr. apt. Bunga Rimta Barus, S.Farm,M.Si

A. Pendahuluan

Bakteri berperan penting bagi kehidupan manusia, baik itu secara langsung maupun tidak langsung dan menguntungkan atau merugikan. Contoh nyata yang bisa langsung kita rasakan adalah adanya bakteri dalam usus kita yang membantu penguraian dan penyerapan gizi. Contoh lain yang bisa kita lihat adalah peranan bakteri dalam industri, seperti industri makanan dan minuman.

Bakteri merupakan salah satu jenis mikroorganisme yang tidak bisa dilihat oleh mata langsung. Bakteri merupakan organisme yang jumlahnya paling banyak dibandingkan makhluk hidup lain dan tersebar luas didunia. Bakteri memiliki ratusan ribu spesies yang hidup di darat, laut, udara dan tempat-tempat ekstrem. Bakteri memiliki ciri-ciri yang berbeda dengan makhluk lain antara lain:

1. Organisme uniseluler (bersel satu).
2. Prokariot (tidak mempunyai membran inti sel).
3. Tidak mempunyai klorofil.
4. Tubuh berukuran antara 0,12 mikron sampai ratusan mikron.
5. mempunyai bentuk tubuh yang beraneka seperti basil (batang), kokus (bulat), spirillum (spiral), kokobasil (bulat dan batang), dan vibrio (tanda baca koma).
6. Memiliki dinding sel. Pada dinding sel bakteri tersusun atas mukopolisakarida dan peptidoglikan. Peptidoglikan terdiri dari polimer besar yang tersusun atas N-asetil

glukosamin dan N-asetil muramat yang saling berikatan kovalen

7. Hidup dengan bebas atau parasite.

Bakteri diwarnai dengan zat warna violet dan yodium, kemudian dibilas (dicuci) dengan alkohol, dan diwarnai sekali lagi dengan zat warna merah. Bila bakteri menunjukkan warna ungu, maka dikelompokkan pada jenis bakteri Gram positif, dan bila bakteri menunjukkan warna merah maka dikelompokkan pada jenis bakteri Gram negatif. Namun, ada pula bakteri yang pada usia tertentu berubah dari Gram positif menjadi Gram negatif, yang disebut Gram variabel. Contoh bakteri Gram variabel, yaitu bakteri yang tergolong famili Bacillaceae.

Bakteri Gram positif adalah bakteri yang dinding selnya menyerap warna violet dan memiliki lapisan peptidoglikan yang tebal. Contoh bakteri Gram positif terdiri dari : *Actinomyces*, *Lactobacillus*, *Propionibacterium*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium*, *Arachnia*, *Clostridium*, *Peptostreptococcus*, dan *Staphylococcus*.

Ciri - ciri bakteri gram positif dapat dilihat dibawah ini

1. Dinding sel
2. Bentuk sel
3. Bulat, batang atau filamen.
4. Reproduksi
5. Pembelahan biner.
6. Metabilosme
7. Alat Gerak

Klasifikasi Pembagian Bakteri

Pembagian grup atau kelompok bakteri berdasarkan buku bergey's manual dapat digolongkan menjadi:

1. Bakteri Berbentuk Kokus (bulat)
 - a. Bakteri Kokus Gram Positif (grup 14)

Aerobik: *Micrococcus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*,
Leuconostoc

Anaerobik: *Methanosarcina*, *Thiosarcina*,
Sarcina, *Ruminococcus*.

2. Bakteri Berbentuk Batang

a. Bakteri Gram Positif

1) Bakteri Gram Positif Tidak Membentuk Spora (grup 16)

Aerobik: *Lactobacillus*, *Listeria*, *Erysipelothrix*, *Caryophanon*.

2) Bakteri Coryneform Dan Actinomycetes (grup 17)

Aerobik Coryneform: *Corynebacterium*, *Arthrobacter*, *Brevibacterium*, *Cellulomonas*, *Propionibacterium*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium*. Aerobik Actinomycetes: *Mycobacterium*, *Nocardia*, *Actinomyces*, *Frankia*, *Actinoplanes*, *Dermatophilus*, *Micromonospora*, *Microbispora*, *Streptomyces*, *Streptosporangium*.

3) Bakteri Pembentuk Endospora (grup 15)

Aerobik: *Bacillus*, *Sporolactobacillus*, *Sporosarcina*, *Thermoactinomyces*. Anaerobik: *Clostridium*, *Desulfotomaculum*, *Oscillospira*.

Untuk mengidentifikasi bakteri bisa dilakukan pemeriksaan secara langsung yaitu dengan:

a) Pemeriksaan mikroskopis adalah pemeriksaan bertujuan mengamati pergerakan, pembelahan, bentuk dan ukuran sel.

b) Pewarnaan adalah mengamati reaksi sel bakteri terhadap zat pewarna dan sistem pewarnaannya. Tujuan dilakukan pewarnaan Gram adalah untuk mengetahui bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Jika untuk mengetahui bakteri Tuberculosis menggunakan pewarnaan tahan asam. Untuk melihat struktur bakteri dapat menggunakan pewarnaan flagella, kapsul, spora, granula.

c) Aktivitas biomikrobia bakteri. Mikroba memiliki suatu karakteristik yang khas, yang dapat dilihat dari karakteristik biokimianya.

B. Kelompok Bakteri Patogen.

Kelompok bakteri pathogen dapat dibagi menjadi 2, yaitu: bakteri patogen gram negatif dan bakteri patogen gram positif. Dalam hal ini lebih membahas terkait kelompok bakteri patogen gram positif bentuk batang.

Berikut ini adalah contoh bakteri patogen gram positif batang yang dapat menyebabkan penyakit infeksi oleh bakteri tersebut.

1. *Streptococcus pneumoniae*

Pneumonia adalah peradangan paru yang menyebabkan nyeri saat bernafas dan keterbatasan intake oksigen. Pneumonia dapat disebarkan dengan berbagai cara antara lain pada saat batuk dan bersin (WHO, 2014). Bakteri penyebab pneumonia adalah *Streptococcus pneumoniae* (*pneumococcus*).

Gejala Usia kurang dari 5 tahun rentan mengalami pneumonia berat dengan gejala batuk dan sukar bernapas. Sistem kekebalan tubuh anak pada usia tersebut juga sangat rentan sehingga mudah terinfeksi oleh penyakit yang ditularkan melalui udara.

Masa perawatan paling pendek adalah selama 3 hari dan paling lama adalah 36 hari. Pada pasien dewasa persentase lama perawatan paling tinggi yaitu 8 – 14 hari, dengan perawatan paling pendek selama 4 hari dan paling lama selama 27 hari.

2. *Streptococcus pyogenes*

Radang tenggorokan atau amandel merupakan penyakit yang pernah dirasakan oleh hampir semua orang, yang disebabkan oleh bakteri *Streptococcus pyogenes*. Peradangan yang sangat hebat dapat menyebabkan angina ludwing (radang dasar mulut yang berat disertai pernanahan) sehingga akan menghambat aliran udara yang masuk melalui saluran pernafasan.

Gejala dari penyakit ini antara lain radang tenggorokan dapat ditandai seperti flu, batuk, demam, mual dan kelelahan.

3. *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus adalah penyebab utama infeksi bernanah pada manusia yang terdapat di rongga hidung dan kulit sebagian besar populasi manusia. Jalur masuknya *Staphylococcus* ke tubuh melalui folikel rambut, tusukan jarum atau melalui saluran pernafasan. Prototipe lesi *Staphylococcus* adalah furunkel atau abses lokal lainnya yang dapat menyebabkan nekrosis jaringan (faktor dermatonekrotik). *Staphylococcus aureus* adalah bakteri aerob yang bersifat grampositif dan merupakan salah satu flora normal manusia pada kulit dan selaput mukosa. *Staphylococcus aureus* merupakan patogen utama pada manusia dan hampir setiap orang pernah mengalami infeksi *Staphylococcus aureus* yang bervariasi dalam beratnya, mulai dari keracunan makanan hingga infeksi kulit ringan sampai berat yang mengancam jiwa. Gejala yang dialami seperti muncul benjolan pada kulit yang penuh dengan nanah, peradangan, rasa sakit. Penderita penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus aureus* umumnya diberi terapi berupa antibiotik seperti cloxacillin, dicloxacillin dan eritromycin.

4. *Staphylococcus saprophyticus*

Staphylococcus saprophyticus umumnya ditemukan pada kasus ISK wanita muda yang seksual aktif. *Staphylococcus saprophyticus* mempunyai kemampuan adhesi pada epitel saluran urogenital lebih kuat tetapi semuanya mempunyai risiko yang sama dapat menyebabkan ISK. *Staphylococcus* melekat pada epitel saluran kemih melalui mekanisme yang berbeda dari *Escherichia coli*.

Gejala dari penyakit ini dalam kondisi normal di dalam urine dapat ditemukan adanya bakteri, baik yang memberikan gejala (simptomatik) maupun tanpa gejala (asimptomatik). Gejala ISK juga dapat berupa nyeri atau tekanan di punggung atau perut bagian bawah, demam,

terasa terbakar ketika buang air kecil dan sering buang air kecil.

5. ***Clostridium botulinum***

Clostridium botulinum yaitu bakteri yang memproduksi neurotoksin yang menyerang saraf dan menyebabkan kelumpuhan. Penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Clostridium botulinum* adalah Botulisme yaitu penyakit disebabkan oleh keracunan makanan atau mabuk makanan oleh *Clostridium botulinum*. Gejala apat berupa mual, kram perut, lumpuh, gangguan penglihatan serta kesulitan bernafas.

6. ***Clostridium tetani***

Clostridium tetani merupakan agen penyebab penyakit tetanus. Penyakit tetanus neonates (pada bayi) sering terjadi jika dalam proses kelahiran atau persalinan mengabaikan pemeliharaan tali pusat atau umbilicus (alat pemotong yang digunakan untuk memotong umbilicus tidak steril). Pada orang dewasa, penyakit tetanus ini mengikuti luka dalam dengan lubang yang kecil (luka tusuk). *Clostridium tetani* bersifat anaerobik, dan mampu memproduksi toxin tetanus. Gejala ditandai dengan sulitnya saat menelan, kejang-kejang otot yang parah, kejang pada rahang.

7. ***Corynebacterium diphtheriae***

Difteri disebabkan oleh strain toksik kuman bacillus gram positif *Corynebacterium diphtheriae*. Difteri dapat berupa infeksi saluran napas atas, infeksi pada kulit atau berupa status karier tanpa timbulnya gejala. Difteri juga dapat menimbulkan berbagai komplikasi serius yang berakibat kematian.

Gejala klinis difteri yang paling sering ditemukan adalah demam dan disfagia. Gejala klinis lain yang didapati adalah batuk, nyeri tenggorok, dan bull neck. Gejala klinis yang jarang ditemukan yaitu suara serak, perdarahan pada pseudomembran, dan kejang.

Penularan difteri dapat dicegah melalui pemberian imunisasi toksoid difteri. Imunisasi dasar difteri pertusis tetanus (DPT) diberikan 3 kali sejak usia 2 bulan dengan interval 4-6 minggu.

8. ***Clostridium perfringens***

Clostridium perfringens adalah bakteri anaerob gram positif yang mampu membentuk spora. Strain yang menjadi penyebab keracunan pangan adalah tipe A dengan enterotoksin yang dapat menyebabkan sakit perut akut dan diare.

Diare sering kali dianggap biasa sebab dengan atau tanpa pengobatan diare tersebut dapat sembuh sehingga tidak dilaporkan. Bagi balita penderita gizi buruk, diare tersebut akan berpengaruh nyata pada bobot badan dan status kesehatan umumnya sehingga pencapaian status gizi baik dan sehat menjadi lebih lama.

Gejala penyakit biasanya muncul 8-16 jam setelah mengkonsumsi makanan yang terkontaminasi, dan sembuh dengan sendirinya dalam 12-24 jam.

9. ***Bacillus anthracis***

Penyakit antraks disebabkan oleh *Bacillus anthracis*. Manusia terjangkit antraks biasanya akibat kontak langsung atau tidak langsung dengan binatang atau bahan yang berasal dari binatang terinfeksi. Gejala dari penyakit ini:

a. Antraks

Kulit Sering disebut sebagai black eschar atau malignant pustule yang paling sering terjadi, yaitu lebih dari 90%. Penderita biasanya mempunyai riwayat kontak dengan hewan atau produknya. Lesi pertama terjadi dalam waktu tiga sampai lima hari pasca inokulasi spora dan umumnya terdapat pada daerah ekstremitas, kepala dan leher (daerah terbuka). Lesi berwarna kemerahan, gatal dan tak sakit. Dalam kurun waktu 24-36 jam lesi berubah membentuk vesikel berisi cairan jernih.

b. Antraks Intestinal

Biasanya muncul 2-5 hari setelah tertelannya spora yang umumnya berasal dari santapan daging tercemar. Penderita biasanya berupa demam, nyeri perut difus dan disertai nyeri lepas. Feses bercampur darah atau berupa melena dengan konsistensi padat atau cair. Penderita kadang-kadang muntah berdarah atau berwarna seperti kopi. Asites muncul dua sampai empat hari sejak gejala pertama timbul. Kematian terjadi umumnya karena toksemia atau perforasi.

c. Antraks Orofaring

Gejalanya berupa edema leher dan pembesaran kelenjar limfe lokal dengan akibat kesulitan menelan dan kesulitan bernafas. Lesi di orofaring berupa ulkus dengan pseudomembran.

10. ***Bacillus cereus***

Bacillus cereus merupakan bakteri yang menyebabkan keracunan dengan gejala muntah dan diare. Terdapat dua jenis toksin yang dihasilkan oleh *Bacillus cereus*, yaitu toksin yang menyebabkan diare (disebabkan oleh protein dengan berat molekul besar) dan toksin yang menyebabkan muntah atau emetik (disebabkan oleh peptida tahan panas dengan berat molekul rendah).

Masa inkubasi sekitar 1-5 jam. Toksin ini menyebabkan timbulnya gejala muntah, dan kadang-kadang diare. Strain yang ditemukan pada makanan penyebab keracunan *Bacillus cereus* yang mengandung bahan dasar nasi (Nababan & Hasrudin, 2015).

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, Trisna. 2017. Buku Ajar Mikrobiologi. Umrah Press: Tanjungpinang
- Bagg J, Mac Farlane TW, Poxton I, Miller CH, Smith AJ. 2002. Essentials of Microbiology for Dental Students. Oxford University Press: New York
- Black, Jacquelyn G. 2002. Microbiology. John Wiley & Sons Inc
- Boleng, Didimus Tanah. 2015. Bakteriologi Konsep-Konsep Dasar. Universitas Muhammadiyah Malang: Malang
- Brock. TD. Madiqan. MT. 1991. Biology of Microorganisms. Sixth ed. Prentice- Hall International Inc
- Cappuccino, JG. & Sherman, N. 1987. *Microbiology: A Laboratory Manual*. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc: California.
- Case, C.L. & Johnson, T.R. 1984. *Laboratory Experiments in Microbiology*. Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc: California.
- Departemen Kesehatan RI. 2009. Peraturan Kepala BPOM RI No. HK.00.06.1.52.4011 tentang Batas Maksimum Cemaran Mikroba dan Kimia dalam Makanan.
- Dwijoseputro, D. 2005. Dasar-dasar Mikrobiologi. Djambatan: Jakarta
- Fardiaz, S. 1993. Analisis Mikrobiologi Pangan. PT. Raja Grafindo: Jakarta
- Faridah, Hayyun Durrotul dan Silvia K.S. 2019. Pemanfaatan Mikroorganisme Dalam Pengembangan Makanan Halal Berbasis Bioteknologi. *Journal of Halal Product and Research*, 2(1): 33-43.
- Harmita dan Maksum Radji. 2005. Buku Ajar Analisis Hayati. Edisi Kedua. Departemen Farmasi FMIPA Universitas Indonesia :
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.H.A., Staley, J.T., & Williams, S.T. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology* 9th Ed.
- Imam Supardi. dan sukamto. 1999. Mikrobiologi dalam Pengolah dan Keamanan Pangan. Yayasan Adikarya IKAPI. Bandung

- Irianto, Koes. 2007. Dasar-dasar Mikrobiologi Jilid 1. Yrama Widya: Bandung
- Irianto, Koes. 2007. Dasar-dasar Mikrobiologi. Jilid 2. Yrama Widya.: Bandung
- Madigan et al., 1995. Biology of Microorganisms. Prentice Hall Inc: New Jersey
- Maksum Radji. 2009. Buku Ajar Mikrobiologi Panduan Mahasiswa Farmasi dan Kedokteran. Penerbit Buku Kedokteran EGC: Jakarta
- Metting, F.B. 1993. Soil Microbial Ecology. Applications in Agriculture and Environment Management. Marcel Dekker Inc: New York
- Mitchell, R. 1974. Introduction to Environmental Microbiology. Prentice-Hall, Englewood Cliffs: New Jersey
- Moat, A.G. & Foster, J.W. 1979. Microbial Physiology. John Wiley & Sons
- Murray PR, Rosenthal KS, Kobayashi GS, Pfaller MA. 1998. Medical Microbiology 3 rd ed. Mosby Inc: St.Louis
- Nicklin. J.K. Graeme-Cook. T. Paget & R. Killington. 1999. Instans Notes in Microbiology. Springer Verlag: Singapore Pte, Ltd.
- Nurhayati, B., Darmawati, S. 2017. Biologi Sel dan Molekuler. PPSDMK Kemenkes RI: Jakarta
- Padoli. 2016. Mikrobiologi dan Parasitologi Keperawatan. PPSDMK Kemenkes RI: Jakarta
- Pelczar and Chan. 2014. Dasar-dasar Mikrobiologi Jilid 1. UIP: Jakarta
- Pelczar and Chan. 2014. Dasar-dasar Mikrobiologi Jilid 2. UIP: Jakarta Depok

BIODATA PENULIS



Dr. apt. Bunga Rimta Barus, S.Farm., M.Si. lahir di Galang, pada 04 Januari 1984. Menyelesaikan pendidikan S1 Farmasi pada Fakultas Farmasi tahun 2010 Universitas Sumatera Utara, menyelesaikan Pendidikan Profesi Apoteker di Universitas Sumatera Utara 2011 dan S2 di Fakultas Farmasi Program Magister 2017 dan menyelesaikan S3 Farmasi pada Fakulstas Farmasi tahun 2024 di Universitas Sumatera Utara, Sampai saat ini penulis sebagai Dosen di Fakultas Farmasi pada Institut Kesehatan Deli Husada Deli Tua.

BAB 14 | Bakteri Kokus Gram Negatif

dr Adinta Anandani Sp.MK

A. Pendahuluan

Dalam literatur disebutkan spesies bakteri kokus Gram negatif yang diketahui merupakan spesies yang termasuk dalam famili *Neisseriaceae*, yaitu genus *Neisseria* dan famili *Moraxellaceae*, spesies *Moraxella catarrhalis*. Mikroorganisme tersebut dikelompokkan karena mempunyai kemiripan morfologi dan sifat biokimianya (Table 1)(Tille, 2017). Sementara spesies *Neisseria* lainnya yang berbentuk seperti batang dan spesies *Moraxella* lainnya yang mempunyai morfologi kokobasil atau bisa juga berbentuk batang berukuran sedang atau pendek(Tille, 2017).

Genus *Neisseria* memiliki 35 spesies dan subspecies. Dua spesies yang merupakan pathogen pada manusia adalah *Neisseria gonorrhoeae* dan *Neisseria meningitidis*. Spesies lainnya mempunyai habitat di permukaan mukosa orofaring dan nasofaring, dan kadang-kadang mereka juga mengkolonisasi membran mukosa anogenital. Penyebaran infeksi *Neisseria gonorrhoeae* melalui transmisi seksual sedangkan *Neisseria meningitidis* melalui droplet sekret saluran napas.(Murray et al., 2023) Sementara *Moraxella catarrhalis* ditemukan di saluran napas atas, dengan infeksi yang terjadi berasal dari strain endogen, walau kadang kala dapat terjadi penyebaran melalui droplet sekret saluran napas (Murray et al., 2023; Verduin et al., 2002). Ketiga spesies pathogen tersebut yang akan dibahas dalam bab ini.

Tabel 1. Habitat dan mode transmisi bakteri Gram negatif kokus

Organisme	Habitat (Reservoir)	Mode transmisi
<i>Moraxella catarrhalis</i>	Mikrobiota normal saluran napas atas, kadang-kadang berkolonisasi di saluran genital wanita	Penyebaran endogen pada pasien pada bagian tubuh steril. Penyebaran antar manusia secara droplet mungkin saja terjadi
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	Bukan mikrobiota normal. Hanya ditemukan pada membrane mukosa organ genitalia, area anorectal, orofaring atau conjungtiva pada saat infeksi.	Penyebaran orang ke orang secara kontak seksual, termasuk anal dan oral seks. Dapat terjadi penularan secara vertikal dari ibu ke bayi selama persalinan. Karier asimtomatik merupakan reservoir yang signifikan dalam terjadinya peningkatan penularan penyakit.
<i>Neisseria meningitidis</i>	Kolonisasi di membran mukosa orofaring dan nasofaring manusia, biasanya bersifat sebagai karier.	Penyebaran antar manusia secara droplet, biasanya dalam tempat dimungkinkannya terjadi kontak erat, seperti asrama, penjara, tempat penampungan
<i>Neisseria</i> spp lainnya.	Mikrobiota normal saluran napas atas,	Penyebaran endogen pada pasien pada bagian tubuh steril. Penyebaran antar manusia secara mungkin saja terjadi, tetapi spesie ini jarang menjadi penyebab infeksi pada manusia.

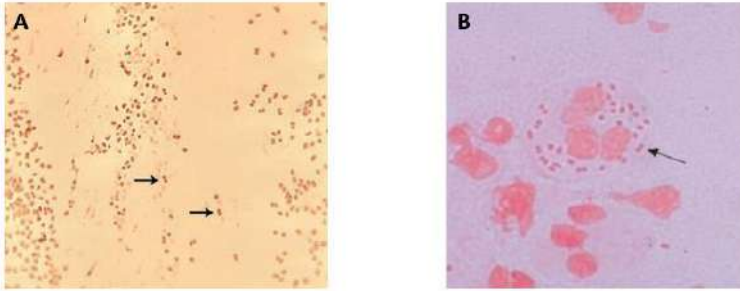
Sumber : Tille, P. (2017). Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology (17th Ed.). Elsevier

B. Bakteri Kokus Gram Negatif

1. Struktur bakteri dan fisiologi

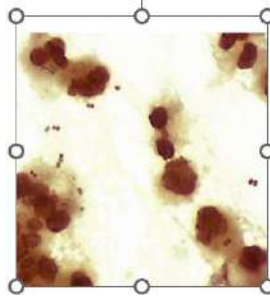
Spesies *Neisseria* merupakan bakteri Gram-negatif aerob yang memiliki lapisan tipis peptidoglikan di antara membran sitoplasma dan membrane luar. Bakteri ini

biasanya berbentuk kokus dengan diameter 0,6–1,0 μm dan tersusun dalam pasangan (diplokokus) dengan sisi yang berdekatan rata satu sama lain, menyerupai biji kopi. Semua spesies menghasilkan katalase dan bersifat oksidase positif (Murray et al., 2023).



Gambar 1. A. Pewarnaan Gram untuk *Neisseria gonorrhoeae* memperlihatkan adanya diplokokus. B. Pewarnaan Gram yang memperlihatkan diplokokus intrasel (Sumber: A. Tille, P. (2017). *Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology* (17th Ed.). Elsevier; B. Levinson, W. (2014). *Review of Medical Microbiology and Immunology* (13th ed.). McGraw-Hill Education.)

Kapsul polisakarida utama *N. meningitidis*, juga dikenal sebagai meningokok, menginduksi antibodi protektif dan meningkatkan virulensi melalui tindakan antifagositiknya. Berdasarkan antigen polisakarida kapsulernya, meningokok dibagi menjadi setidaknya tiga belas kelompok serologis. Sebagian besar kasus meningokokusemia dan meningitis disebabkan oleh lima serotipe: A, B, C, Y, dan W-135. Serotipe A merupakan penyebab terbanyak meningitis di seluruh dunia, sedangkan serotipe B menyebabkan sebagian besar penyakit di Amerika Serikat (Levinson, 2014).



Gambar 2. Penampakan diplokokus dari *N.meningitidis* di cairan serebrospinal.
(Sumber: Murray, P., Rosenthal, K., & Pfaller, M. (2023). Medical Microbiology (9th ed.). Elsevier)

N. gonorrhoeae, juga dikenal sebagai gonokok, tidak memiliki kapsul polisakarida, tetapi berdasarkan antigenisitas protein pilusnya mempunyai beberapa serotipe yang berbeda. Lebih dari seratus serotipe diketahui. Tiga protein membran luar gonokok adalah protein I, II, dan III. Protein II berfungsi melekatkan bakteri ke sel. *Neisseriae* adalah bakteri Gram-negatif dengan membran luar yang mengandung endotoksin. Endotoksin *Neisseriae* terdiri dari lipooligosakarida (LOS), berbeda dengan lipopolisakarida (LPS pada bakteri Gram negative batang enteric. Baik LOS maupun LPS memiliki lipid A, tetapi bagian polisakarida LPS memiliki rantai samping gula yang panjang dan berulang, sedangkan bagian oligosakarida LOS memiliki sedikit gula (Levinson, 2014). Strain patogenik dan nonpatogenik *Neisseria* memiliki pili yang memanjang dari membran sitoplasma melalui membran luar (Murray et al., 2023). Struktur ini terutama membantu dalam transfer materi genetik antar strain, adaptasi dengan permukaan sel mukosa manusia, penetrasi sel inang, dan penghindaran fagositosis (Mahapure & Singh, 2023). Kehadiran pili pada *N. gonorrhoeae* dan *N. meningitidis* tampaknya penting untuk patogenesis, sebagian karena pili memediasi keterikatan pada sel epitel non-silia dan memberikan ketahanan terhadap pembunuhan oleh neutrofil (Murray et al., 2023; Unemo et al., 2019). Pili terdiri dari subunit protein yang berulang

(pilin) yang memiliki daerah yang terjaga di satu ujung dan daerah yang sangat bervariasi di ujung karboksil yang terekspos. Kurangnya kekebalan terhadap reinfeksi dengan *N. gonorrhoeae* sebagian disebabkan oleh variasi antigenik di antara protein pilin dan sebagian lagi disebabkan oleh variasi fase dalam ekspresi pilin, yang merupakan faktor yang berkontribusi pada sulitnya membuat vaksin gonorrhea (Murray et al., 2023).

Protein lainnya adalah protein porin. Protein ini adalah protein membran luar yang penting yang membentuk pori-pori atau saluran yang memungkinkan nutrisi masuk ke dalam sel dan keluar dari sel. Dua gen porin, *porA* dan *porB*, ditemukan di *N. gonorrhoeae* dan *N. meningitidis*. Protein PorA dan PorB diekspresikan dalam *N. meningitidis*, tetapi gen *porA* tetap diam di *N. gonorrhoeae*. Oleh karena itu, PorB tidak hanya merupakan protein membran luar utama *N. gonorrhoeae* (yang menyumbang sekitar 60% dari protein membran luar gonokok), tetapi juga harus aktif agar *N. gonorrhoeae* dapat bertahan hidup. PorB memainkan peran penting dalam virulensi *N. gonorrhoeae* karena protein ini memiliki kemampuan untuk menghentikan degranulasi neutrofil (yang berarti fusi fagolysosome yang membunuh bakteri intraseluler) dan memungkinkan bakteri untuk dilindungi dari reaksi inflamasi inang. Selain itu, PorB dengan adhesin tambahan memudahkan bakteri untuk masuk ke dalam sel epitel (Murray et al., 2023).

Selain itu, juga terdapat protein membran lainnya yaitu protein Opa, yang berperan melakukan perlekatan pada sel epitel dan sel-sel fagosit, juga berperan penting dalam pensinyalan sel-ke-sel (Murray et al., 2023). Sebagian besar protein Opa berikatan dengan salah satu atau lebih molekul adhesi sel yang terkait dengan antigen karsinoembrionik manusia (CEACAM), kelompok protein yang terpapar permukaan. Beberapa protein Opa juga

berikatan dengan proteoglikan heparan sulfat (Unemo et al., 2019)

Zat besi sangat penting untuk metabolisme dan pertumbuhan *N. gonorrhoeae* dan *N. meningitidis*. Patogen-patogen ini dapat berkompetisi dengan inang manusia untuk mendapatkan zat besi dengan mengikat transferrin sel inang ke reseptor permukaan bakteri tertentu (Murray et al., 2023). Immunoglobulin protease (Ig)A1 diproduksi oleh *N. gonorrhoeae* dan *N. meningitidis*, yang kemudian memecah dan menonaktifkan imunoglobulin IgA1 manusia yang berada di mukosa (Mahapure & Singh, 2023; Murray et al., 2023). Beberapa strain *N. gonorrhoeae* juga menghasilkan α -laktamase, yang memiliki kemampuan untuk menghancurkan penisilin (Murray et al., 2023).

Moraxella (Branhamella) catarrhalis, yang sebelumnya disebut *Neisseria catarrhalis* atau *Micrococcus catarrhalis*, adalah diplokokus Gram-negatif, aerobik yang sering ditemukan sebagai komensal di saluran pernapasan atas (Murphy & Parameswaran, 2009). Lipooligosakarida (LOS) adalah faktor virulensi penting dari bakteri Gram-negatif dan lebih terkonservasi secara antigenik di antara strain dibandingkan dengan LOS dari bakteri Gram-negatif lainnya. *M. catarrhalis* terdiri dari berbagai lapisan peptidoglikan. Lapisan peptidoglikan ini terbukti bertanggung jawab atas kemampuan organisme untuk memicu berbagai kemampuan fungsional makrofag (Verduin et al., 2002).

Pili atau fimbriae berperan membantu bakteri melekat pada sel epitel mukosa. Beberapa strain mungkin memiliki pilus, sementara strain lain telah terbukti kekurangan pili. Pilin adalah subunit protein yang terpolimerisasi yang terdiri dari pili. Struktur lainnya adalah kapsul polisakarida. Kapsul dianggap berperan penting dalam meningkatkan kemampuan bakteri Gram positif dan Gram negatif untuk menyebarkan virus (Verduin et al., 2002)

2. Patogenesis dan spektrum penyakit

Manusia adalah satu-satunya inang alami untuk *N. gonorrhoeae*. Organisme ini biasanya ditularkan secara seksual, sementara bayi baru lahir dapat terinfeksi saat lahir. Sensitif gonokokus terhadap dehidrasi dan kondisi dingin mempermudah terjadinya penularan seksual. Gonore biasanya bersifat simptomatik pada pria tetapi seringkali asimtomatik pada wanita (Levinson, 2014).

Infeksi biasanya tetap terlokalisasi di permukaan mukosa tempat terpaparnya dengan mikroorganisme (serviks, konjungtiva, orofaring, area anorektal, atau uretra jantan). Infeksi lokal mungkin asimtomatik atau akut yang purulen. Namun, tidak semua infeksi tetap terlokalisasi, dan penyebaran dari lokasi infeksi awal dapat menyebabkan penyakit diseminasi yang parah. Penyakit diseminasi dengan *N. gonorrhoeae* jarang terjadi tetapi dapat mengakibatkan morbiditas dan mortalitas yang serius, termasuk radang sendi gonokokus, endokarditis, dan meningitis (Tille, 2017).

Gonokokus menempel pada sel mukosa, menembus ke dalam sel dan berkembang biak, dan kemudian melewati sel ke ruang subepitel di mana infeksi terjadi. Protein Pili, PorB, dan Opa memediasi perlekatan dan penetrasi ke dalam sel inang. LOS gonokokus merangsang pelepasan sitokin proinflamasi TNF- α , yang menyebabkan sebagian besar gejala yang terkait dengan penyakit gonococcal (Murray et al., 2023).

Meningokokus, seperti gonokokus, hanya menyebabkan penyakit pada manusia. Manusia adalah satu-satunya inang alami untuk meningokokus. Organisme ini ditularkan secara droplet kemudian akan terkolonisasi di membran nasofaring dan menjadi bagian dari flora sementara saluran pernapasan atas. Karier biasanya tidak menunjukkan gejala. Dari nasofaring, organisme dapat masuk ke dalam aliran darah dan menyebar ke lokasi tertentu, seperti meningen atau sendi, atau menyebar ke

seluruh tubuh (meningokokemia). Sekitar 5% orang menjadi karier kronik dan menjadi sumber infeksi bagi orang lain. Prevalensi karier dapat mencapai 35% pada orang yang tinggal dalam jarak dekat (misalnya, barak militer); ini menjelaskan tingginya frekuensi wabah meningitis di angkatan bersenjata sebelum penggunaan vaksin. Karier juga tinggi di lingkungan keluarga yang tinggal serumah yang memungkinkan terjadinya kontak erat. Wabah penyakit meningokokus juga telah terjadi di kalangan mahasiswa yang tinggal di asrama (Levinson, 2014).

Infeksi yang disebabkan oleh *M. catarrhalis* biasanya terlokalisasi ke saluran pernapasan dan jarang menyebar. *M. catarrhalis* juga dapat menyebabkan infeksi saluran pernapasan atas kronis (Tille, 2017). Studi prevalensi titik menunjukkan bahwa *M. catarrhalis* adalah penyebab utama eksaserbasi PPOK. Pneumonia, bakteriemia, dan infeksi invasif lainnya adalah infeksi lain yang disebabkan oleh *M. catarrhalis* (Murphy & Parameswaran, 2009)

3. Epidemiologi

WHO memperkirakan terdapat 82,4 juta infeksi baru *N. gonorrhoeae* antara usia 15 hingga 49 tahun pada tahun 2020. Prevalensi tertinggi pada populasi rentan seperti lelaki yang berhubungan seks dengan lelaki (LSL), pekerja seks, wanita transgender, serta remaja dan pemuda di negara-negara dengan angka infeksi yang tinggi (WHO, 2024).

Sementara di Eropa, tahun 2022 dilaporkan 70.881 kasus gonore yang terkonfirmasi di 28 negara Uni Eropa/Area Ekonomi Eropa (UE/EEA), dengan tingkat notifikasikan sebesar 17,9 kasus per 100.000 populasi. Angka ini merupakan peningkatan sebesar 48% dibandingkan dengan tahun 2021 dan peningkatan sebesar 59% dibandingkan dengan tahun 2018. Kelompok usia sepsifik yang tertinggi adalah kelompok usia 20 hingga 24 tahun, baik pada laki-laki (99,6 kasus per 100.000 populasi)

maupun wanita (48,1 kasus per 100.000 populasi). Kelompok LSL menyumbang lebih dari setengah dari kasus yang dilaporkan (60%) pada tahun 2022.(ECDC, 2024)

Di Indonesia prevalensi gonore menempati urutan tertinggi dibandingkan penyakit infeksi menular seksual (IMS) lainnya. Di antara IMS lainnya, gonore adalah yang paling umum di Indonesia. Studi 2016 di Surabaya, Jakarta, dan Bandung menunjukkan prevalensi gonore pada wanita pekerja seks (WPS) sebesar 7,4% hingga 50% di Indonesia. Menurut laporan Kementerian Kesehatan tahun 2018, terdapat 63.815 kasus gonore di Indonesia, yang meningkat menjadi 73.027 kasus pada tahun 2019. Berdasarkan Survei Terpadu Biologis dan Perilaku (STBP) tahun 2018, Kementerian Kesehatan melaporkan prevalensi gonore tertinggi ditemukan pada kelompok LSL, sebesar 17,8%. Prevalensi yang lebih rendah ditemukan pada waria, sebesar 8,6%, dan WPS sebesar 11,4%.(Puspandari et al., 2023).

Sekitar 80% anak mengalami otitis media sebelum usia tiga tahun, yang merupakan penyebab paling umum penggunaan antibiotik. *M. catarrhalis* dapat menyebabkan 15% hingga 20% episode otitis media akut, berdasarkan kultur cairan telinga tengah (Murphy & Parameswaran, 2009).

4. Manifestasi klinis

a. *N. gonorrhoeae*

Infeksi genital pada laki-laki sebagian besar terbatas pada uretra. Cairan uretra purulent dan disuria muncul setelah masa inkubasi dua hingga lima hari. Hampir semua pria yang terkena infeksi menunjukkan gejala akut. Epididimitis, prostatitis, dan abses periuretra adalah komplikasi yang dapat terjadi, meskipun jarang terjadi.

Tempat utama infeksi pada wanita adalah serviks karena bakteri menginfeksi sel epitel kolumnar endoserviks. Organisme ini tidak dapat menginfeksi sel

epitel skuamosa yang melapisi vagina wanita pascapubertas. Pasien yang menunjukkan gejala umumnya mengeluh keluar cairan dari vagina, disuria, dan nyeri perut. Infeksi genital yang kemudian menyebar secara ascenden, termasuk salpingitis, abses tuboovarian, dan *pelvic inflammatory diseases* (PID), diamati pada 10% hingga 20% wanita. Meskipun infeksi awal pada banyak wanita tidak menunjukkan gejala, mereka memiliki risiko lebih tinggi terhadap PID, kehamilan ektopik, infertilitas, arthritis dan infeksi menyebar (Murray et al., 2023).

Infeksi gonokokal yang menyebar (DGI) umumnya muncul sebagai artritis, tenosynovitis, atau pustula di kulit. Infeksi yang menyebar adalah penyebab paling umum dari artritis septik pada orang dewasa yang aktif secara seksual (Levinson, 2014). *N. gonorrhoeae* adalah penyebab utama artritis purulen pada orang dewasa (Murray et al., 2023). Diagnosis klinis DGI seringkali sulit untuk dikonfirmasi menggunakan tes laboratorium karena organisme ini tidak dapat dikultur dalam lebih dari 50% kasus (Levinson, 2014).

Area anorektal, tenggorokan, dan mata juga terinfeksi. Wanita dan pria homoseksual paling sering mengalami infeksi anorektal. Sementara mereka seringkali tidak menunjukkan gejala, mereka dapat mengeluarkan nanah atau darah, yang dikenal sebagai proktitis. Faringitis terjadi di tenggorokan, tetapi banyak pasien tidak menunjukkan gejalanya. Infeksi gonokokal yang diderita ibu selama proses melahirkan dapat menyebabkan konjungtivitis purulen (*ophthalmia neonatorum*) pada bayi baru lahir. Insiden oftalmia gonokokal telah menurun secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir karena penggunaan luas salep mata eritromisin profilaksis (atau perak nitrat) yang diterapkan segera setelah kelahiran. Konjungtivitis

gonokokal juga terjadi pada orang dewasa sebagai akibat dari transfer organisme dari genital ke mata (Levinson, 2014).

b. *N. meningitidis*

Meningitis dan meningokokemia adalah dua manifestasi klinis yang utama yang ditimbulkan oleh infeksi *N.meningitidis*. Sindrom *Waterhouse-Friderichsen* yang mengancam jiwa, ditandai dengan demam tinggi, syok, purpura yang luas, koagulasi intravaskular diseminata, trombositopenia, dan insufisiensi adrenal, adalah bentuk meningokokemia paling parah. Bakteri dapat menyebar ke banyak organ, terutama meninges. Gejala meningitis meningokokus, seperti demam, sakit kepala, leher kaku, dan peningkatan jumlah polimorfonuklear (PMN) dalam cairan tulang belakang, adalah gejala meningitis bakteri yang khas (Levinson, 2014). Selain itu, ada kasus septikemia kronis yang lebih ringan. Pada kondisi ini bakteri dapat bertahan selama berhari-hari atau berminggu-minggu, dan satu-satunya gejala infeksi adalah demam ringan, artritis, dan lesi kulit petechial. Pasien yang mengalami hal ini biasanya memiliki respons yang baik terhadap terapi antibiotik (Murray et al., 2023).

Pneumonia, artritis, dan urethritis merupakan manifestasi klinis lainnya dari infeksi *N. meningitidis*. Infeksi saluran pernapasan biasanya menyebabkan pneumonia meningokokus. Sebagian dari gejalanya adalah batuk, nyeri dada, rales, demam, dan menggigil. Sebagian besar pasien menunjukkan gejala faringitis. Pasien yang menderita pneumonia meningokokus memiliki prospek yang baik (Murray et al., 2023).

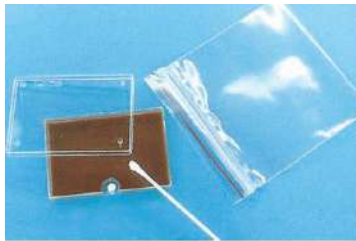
5. Pemeriksaan Laboratorium

a. Pengelolaan spesimen

Spesimen untuk *N. gonorrhoeae* diambil menggunakan swab yang sesuai, seperti plastik atau kawat dengan ujung rayon, polietilen tereftalat (Dacron).

Sebagai alternatif, loop kawat steril dapat digunakan untuk mengambil sampel dari pria dengan eksudat uretra yang terlihat jelas. Disarankan untuk menghindari bahan swab lainnya, seperti ujung kapas dan batang kayu, karena bahan-bahan ini dapat menghambat atau beracun bagi *N. gonorrhoeae*. Untuk kultur *N. gonorrhoeae*, eksudat yang terlihat pada pasien sudah cukup untuk diambil. Namun, jika eksudat tidak terlihat atau sedikit, sampel harus diambil dengan swab yang dimasukkan sedalam 2-3 cm ke dalam uretra dan diputar dua kali (Puspandari et al., 2023).

N.gonorrhoeae harus diinokulasi ke media pertumbuhan segera setelah pengambilan spesimen untuk pemulihan organisme yang optimal. Sampel kemudian harus ditempatkan dalam wadah yang dapat mempertahankan atmosfer dari peningkatan karbon dioksida (CO₂) selama transportasi. Media yang dikemas khusus yang terdiri dari agar selektif dalam nampan plastik yang mengandung sistem pembangkit CO₂ tersedia secara komersial (piring JEMBEC). Sistem JEMBEC dikirim ke laboratorium pada suhu ruangan (Tille, 2017).



Gambar 3. Sistem JEMBEC. Lempeng agar (plat) yang mengandung media Thayer-Martin yang dimodifikasi disertai dengan tablet penghasil CO₂ terdiri dari natrium bikarbonat dan asam sitrat.

(Sumber: A. Tille, P. (2017). Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology (17th Ed.). Elsevier.)

Swab nasofaring yang diambil untuk mendeteksi karier *N. meningitidis* juga harus segera ditanam pada sistem JEMBEC, atau harus segera dikirimkan dalam

medium transport yang mengandung charcoal(Tille, 2017).

Sistem JEMBEC harus diinkubasi pada suhu 35°C hingga 37°C segera setelah diterima di laboratorium. Cairan tubuh (misalnya, sendi atau cairan serebrospinal [CSF]) harus disimpan sampai dibiakkan pada suhu 37°C, karena keduanya sensitif terhadap dingin (Tille, 2017).

Setiap spesimen atau kultur di mana *N. meningitidis* menjadi perhatian harus ditangani di dalam kabinet keselamatan biologis untuk mencegah infeksi yang diperoleh di laboratorium (Tille, 2017).

b. Pemeriksaan mikroskopik

Terlihatnya morfologi bakteri Gram negative diplokokus berdempetan seperti biji kopi mensiratkan kemungkinan adanya *Neisseria* spp. dan *M. catarrhalis* (Tille, 2017). Pada pria dengan uretritis purulen, sensitifitas dan spesifisitas pewarnaan gram untuk mendeteksi infeksi gonokokal sangat tinggi yaitu lebih dari 90% dan lebih dari 98%. Namun, sensitifitasnya untuk mendeteksi infeksi pada pria yang tidak memiliki gejala adalah hanya 60% (Murray et al., 2023). Dalam kasus ini, terlihatnya diplokokus Gram-negatif dalam PMN atau diplokokus intraseluler merupakan cara untuk menentukan diagnosis. Akan tetapi, pemeriksaan langsung sekret endoserviks pada wanita simptomatik hanya merupakan bukti dugaan infeksi gonokokal karena adanya mikrobiota vagina dan rektum normal terdiri dari kokobasil Gram-negatif, yang dapat menyerupai *Neisseria* spp. (Tille, 2017). Oleh karena itu, semua hasil pewarnaan gram negatif pada laki-laki dan perempuan yang tidak menunjukkan gejala harus divalidasi (Murray et al., 2023; Tille, 2017).

Pewarnaan gram juga berguna untuk diagnosis dini artritis purulent, tetapi tidak sensitive dan tidak spesifik pada pasien dengan lesi kulit, infeksi anorektal,

atau faringitis, pewarnaan Gram tidak sensitif dan tidak spesifik dalam mendeteksi *N. gonorrhoeae*. Beberapa spesies *Neisseria* yang komensal di orofaring dan secara morfologi mirip dengan bakteri saluran pencernaan dapat membingungkan dalam mengenali *N. gonorrhoeae* (Murray et al., 2023).

Sementara *N. meningitidis* mudah ditemukan dalam cairan serebrospinal pasien yang menderita meningitis kecuali pasien telah menerima terapi antimikroba sebelum spesimen klinis diambil (Murray et al., 2023).

c. Kultur dan identifikasi

Semua spesimen genital, rektal, dan faring harus diinokulasi ke dalam media selektif dan nonselektif (misalnya, agar darah cokelat) karena adanya organisme komensal yang dapat mempengaruhi pertumbuhan. Oleh karena itu, *N. gonorrhoeae* dapat dengan mudah diisolasi dari spesimen genital jika prosedur pengelolaan spesimen dilakukan secara adekuat (Murray et al., 2023).

Jenis media lain yang dapat digunakan adalah agar GC base non-selektif yang disuplementasi dengan IsoVitaleXTM dan agar Chocolate II atau media selektif seperti Thayer-Martin (TM) dan Modifikasi Thayer-Martin (MTM) atau media agar gonokokus (basis agar GC plus suplemen). Penggunaan media selektif ini sangat disarankan untuk menghindari kontaminasi. Dalam media selektif tersebut, mengandung antimikroba vankomisin, colistin, nistatin dan trimetoprim atau antijamur lainnya yang akan menghambat pertumbuhan spesies bakteri dan jamur non-*Neisseria* spp lainnya (Puspandari et al., 2023).

Plat agar harus diinkubasi pada suhu 35°C hingga 37°C selama 72 jam dalam atmosfer yang kaya CO₂ dan kondisi lembab. Kadar CO₂ 3%-7% merupakan kondisi terbaik untuk pertumbuhan optimal *N. gonorrhoeae*, *N. meningitidis*, dan *M. catarrhalis*. Kondisi

ini dapat dicapai dengan menggunakan sungkup lilin, kantong penghasil CO₂, atau inkubator CO₂. Jika inkubasi menggunakan sungkuplilin, maka hanya lilin putih tanpa aroma yang harus digunakan, karena jenis lain mungkin beracun bagi *N. gonorrhoeae* dan *N. meningitidis*. Kelembaban dapat disediakan dengan menempatkan panci berisi air di bagian bawah inkubator CO₂ atau dengan menempatkan kain kasa steril yang direndam dengan air steril di bagian bawah wadah lilin (Tille, 2017).

Penampakan koloni yang dapat terlihat pada medium pertumbuhan untuk *M. catarrhalis* adalah koloni besar, merah muda hingga coklat, buram, halus dengan konsistensi seperti "keping hoki" yang rapuh. Sementara koloni *Neisseria gonorrhoeae* tampak berupa koloni kecil, putih keabu-abuan, cembung, tembus cahaya, mengkilap dengan tepi halus atau tidak beraturan. Untuk *N. meningitidis*, koloni yang tampak adalah koloni berukuran Sedang, halus, bulat, lembab, abu-abu hingga putih; strain yang terenkapsulasi bersifat mukoid; mungkin memiliki nuansa kehijauan (Tille, 2017).

Beberapa metode dan alat tersedia untuk identifikasi *Neisseria* spp. dan *Moraxella* spp. termasuk pengujian berbasis kolorimetri yaitu Vitek 2 Compact® dan berbasis spektrometri masa (MALDI-TOF)(Murray et al., 2023; Puspendari et al., 2023; Rennie et al., 2008).

d. Uji kepekaan antibiotik dan terapi

Meskipun *M. catarrhalis* memproduksi beta-laktamase namun masih banyak antimikroba beta-laktam yang tetap efektif, sehingga uji kepekaan untuk memandu terapi tidak secara rutin diperlukan. *Clinical and Laboratory Standards Institute* (CLSI) merekomendasikan penggunaan metode dilusi agar untuk pengukuran konsentrasi penghambatan minimal

(MIC) dan agar GC yang mengandung 1% suplemen pertumbuhan untuk metode difusi cakram *N. gonorrhoeae* (Tille, 2017).

Sementara WHO menyarankan penggunaan strip ETEST® (bioMérieux, Marcy l'Etoile, France) yang juga berbasiskan pengukuran MIC untuk melakukan uji kepekaan terhadap sefiksim, seftriakson dan azitromisin, dengan tambahan gentamisin dan ciprofloxacin yang juga dapat dilakukan dengan metode ini (Puspandari et al., 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Levinson, W. (2014). *Review of Medical Microbiology and Immunology* (13th ed.). McGraw-Hill Education.
- Mahapure, K., & Singh, A. (2023). *A Review of Recent Advances in Our Understanding of Neisseria gonorrhoeae*. 15(Cdc).
<https://doi.org/10.7759/cureus.43464>
- Murphy, T. F., & Parameswaran, G. I. (2009). *Moraxella catarrhalis*, a Human Respiratory Tract Pathogen. 49(figure 1).
<https://doi.org/10.1086/599375>
- Murray, P., Rosenthal, K., & Pfaller, M. (2023). *Medical Microbiology* (9th ed.). Elsevier.
- Puspendari, N., Indriatmi, W., Nilasari, H., & Karuniawati, A. (2023). *Petunjuk Teknis Surveilans Antimikroba Gonokokus* (Issue November).
- Rennie, R. P., Brosnikoff, C., Shokoples, S., Reller, L. B., Mirrett, S., Janda, W., Ristow, K., Krilich, A., & Al, R. E. T. (2008). *Multicenter Evaluation of the New Vitek 2 Neisseria - Haemophilus Identification Card □ This is important for bacterial pathogens within the genera*. 46(8), 2681–2685.
<https://doi.org/10.1128/JCM.00449-08>
- Tille, P. (2017). *BAILEY & SCOTT'S DIAGNOSTIC MICROBIOLOGY* (17th ed.). Elsevier.
- Unemo, M., Seifert, S., Iii, E. W. H., Hawkes, S., Dillon, A. R., & Ndowa, F. (2019). *Gonorrhoea. NATURE REVIEWS | DISEASE PRIMERS*, 5(79).
<https://doi.org/10.1038/s41572-019-0128-6>
- Verduin, C. M., Hol, C., Dijk, H. Van, & Belkum, A. Van. (2002). *Moraxella catarrhalis: from Emerging to Established Pathogen*. 15(1), 125–144. <https://doi.org/10.1128/CMR.15.1.125>

BIODATA PENULIS



dr. Adinta Anandani, Sp.MK lahir di Jakarta pada 25 Febuari 1981. Menyelesaikan Pendidikan Dokter di Fakultas Kedokteran Universitas Trisakti dan Spesialis Mikrobiologi Klinik di Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen Fakultas kedokteran dan Kesehatan Universitas Muhammadiyah Jakarta.

BAB 15

Bakteri Patogen Gram (-) Batang

apt. Nadia Raihana, S,Farm., M.Farm.

A. Pendahuluan

Patogen adalah keadaan suatu organisme yang dapat menyebabkan penyakit pada inang misalnya bakteri. Bakteri dapat merusak sistem pertahanan tubuh inang dimulai dari permukaan kulit, saluran respirasi, saluran pencernaan dan saluran urogenitalia. Sedangkan Patogenesis sendiri adalah mekanisme dari infeksi dan mekanisme perkembangan penyakit yang dihasilkan oleh bakteri patogen.

Agen penyebab penyakit adalah bakteri patogen yang menyebabkan suatu penyakit. Sedangkan bakteri nonpatogen merupakan bakteri yang tidak menyebabkan penyakit. Akan tetapi, bakteri nonpatogen dapat berubah menjadi patogen dikarenakan kemampuan adaptasi terhadap efek mematikan terapi seperti imunoterapi, kemoterapi, dan resistensi bakteri.

Bakteri patogen terdiri dari dua golongan, yaitu bakteri gram (+) dan bakteri gram (-). Bakteri gram (-) umumnya bersifat patogen dan lebih berbahaya daripada bakteri gram (+). Hal ini dikarenakan bakteri gram (-) memiliki struktur sel yang terdiri dari selaput luar yang disebut selaput kapsul, selaput periplasmik, dan selaput dinding sel.

Selaput kapsul dan selaput periplasmik melindungi bakteri gram (-), sehingga obat seperti antibiotik sangat sukar masuk ke dalam sel bakteri. Akibatnya, bakteri dapat terus hidup dan terus menginfeksi meskipun telah diberikan antibiotik.

Selaput dinding sel terdiri dari peptidoglikan tipis yang tidak bisa menyimpan warna kristal violet ketika proses

pewarnaan gram sehingga saat bakteri diamati dibawah mikroskop maka akan berwarna merah. Oleh karena itu, bakteri ini disebut bakteri gram (-). Sedangkan bakteri gram (+) akan berwarna ungu. Bakteri ini juga memiliki bentuk sel yang berbentuk batang, yang artinya ukurannya lebih panjang daripada lebar (Putri, 2020).

Bakteri gram (-) juga dapat melepaskan zat endotoksin (lipoposakarida) ketika mengalami gangguan pada membran luarnya. Endotoksin tersebut adalah racun yang dapat memperparah gejala infeksi yang disebabkan. Kemampuan resistensi antibiotik dan melepaskan endotoksin membuat bakteri gram (-) lebih berbahaya.

B. Bakteri Gram (-) Batang

1. Pengertian Bakteri gram (-) batang

Bakteri Gram (-) adalah salah satu jenis bakteri yang paling sering ditemui dan merupakan sel bakteri yang berbentuk batang memanjang atau silinder yang dikenal juga dengan bakteri basil gram (-).

Bagian dari bakteri gram (-) batang yang paling panjang adalah panjang longitudinal dan tegak lurus dengan sumbu batang bakteri. Bakteri gram (-) batang dapat ditemukan dalam berbagai ukuran, mulai dari beberapa mikrometer hingga beberapa centimeter

Sel bakteri hanya membelah melalui sumbu pendeknya dan sebagian besar bakteri gram (-) batang tampak sebagai batang tunggal. Bakteri gram (-) batang dapat dijumpai pada famili *Enterobacteriaceae* seperti *Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Klebsiella pneumoniae* maupun famili *Bacillaceae* seperti genus *Clostridium* dan genus *Bacillus*.

2. Bentuk Bakteri gram (-) batang

Bakteri gram (-) batang terbagi atas :

- a. Monobacillus atau basil tunggal. Monobacillus adalah bakteri berbentuk satu batang tunggal, misalnya *Escherichia coli*, *Lactobacillus* dan *Salmonella typhosa* penyebab penyakit tifus.

- b. *Diplobacillus*. *Diplobacillus* adalah bakteri berbentuk batang yang bergandengan dua-dua. Contohnya yaitu *Reribacterium salmoninarum*.
- c. *Streptobacillus*. *Streptobacillus* merupakan bakteri berbentuk basil yang bergandengan memanjang membentuk rantai, misalnya *Azobacter* sp, *Streptobacillus moniliformis* dan *Bacillus anthracis* penyebab penyakit antraks. (Irianto, 2014).



Gambar 1. Bentuk bakteri gram (-) batang. Sumber (Perumperindo, 2023).

3. Ciri-ciri Bakteri gram (-) bentuk batang

Bakteri gram (-) batang memiliki beberapa ciri khas yang membedakannya dari jenis bakteri lainnya. Berikut adalah beberapa ciri-ciri bakteri gram (-) batang yaitu :

 - a. Mempunyai bentuk penampang bulat atau roll
 - b. Tidak memiliki area yang terlalu lebar
 - c. Memiliki sumbu longitudinal dan tegak lurus dengan sumbu batang bakteri
 - d. Memiliki panjang yang lebih besar dari diameternya
 - e. Tidak memiliki helaian atau lapisan
4. Klasifikasi Bakteri gram (-) bentuk batang

Bakteri gram (-) batang dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kriteria seperti ukuran, bentuk dan sporulasi.

Berikut adalah beberapa jenis klasifikasi bakteri gram (-) batang yang umum :

a. Berdasarkan Ukuran

Bakteri gram (-) batang diklasifikasikan menjadi tiga kategori berdasarkan ukuran, yaitu mikro basil, meso basil, dan makro basil.

b. Berdasarkan Bentuk

Bakteri gram (-) batang juga dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuknya, seperti basil coccus (bakteri gram (-) batang berbentuk bulat), basil batang (bakteri gram (-) batang berbentuk silinder), dan basil spiral (bakteri gram (-) batang berbentuk spiral).

c. Berdasarkan Sporulasi

Beberapa bakteri gram (-) batang dapat membentuk spora, yaitu stuktur yang tahan terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan. Bakteri gram (-) batang yang dapat membentuk spora disebut sebagai basil spora, sedangkan yang tidak dapat membentuk spora disebut basil non-spora.

5. Cara Berkembang Biak Bakteri gram (-) bentuk batang

Bakteri gram (-) berbentuk batang memiliki berbagai cara untuk berkembang biak. Beberapa metode reproduksi yang umum digunakan meliputi : (Perumperindo, 2023).

a. Pembelahan Biner: Metode reproduksi yang paling umum digunakan oleh bakteri basil adalah pembelahan biner. Dalam proses ini, satu sel bakteri membelah menjadi dua sel anak yang identik dengan sel induknya. Setiap sel anak akan mewarisi materi genetik dan sejumlah kecil sitoplasma dari sel induk.

b. Konjugasi: Konjugasi adalah proses reproduksi di mana dua sel bakteri bertukar materi genetik melalui jembatan sel yang disebut pilus. Sel yang bertindak sebagai donor akan mentransfer materi genetik ke sel penerima, yang kemudian akan menjadi donor untuk sel lainnya. Proses ini memungkinkan perubahan genetik dan penyebaran resistensi antibiotik dalam populasi bakteri.

- c. Transduksi: Transduksi adalah proses reproduksi di mana materi genetik ditransfer di antara bakteri melalui bakteriofag, virus yang menginfeksi bakteri. Dalam proses ini, materi genetik bakteri di dalam sel induk akan dikemas dalam partikel bakteriofag dan ditransfer ke sel penerima ketika virus berikutnya menginfeksi sel penerima.
 - d. Transformasi: Transformasi adalah proses reproduksi di mana bakteri mampu mengambil DNA bebas dari lingkungan mereka. DNA bebas ini kemudian dimasukkan ke dalam genom bakteri, memungkinkan perubahan genetik dan adaptasi terhadap lingkungan.
6. Jenis Bakteri Gram (-) Batang

Bakteri gram (-) berbentuk batang ditemukan di berbagai kelompok taksonomi. Besar kemungkinan adanya bakteri ini memiliki bentuk yang berbeda tetapi masuk ke dalam kelompok taksonomi yang sama, misalnya bakteri jenis kelamin *Chorobium* yang merupakan bakteri hijau belerang. Bakteri *Chorobium* ini berbentuk seperti basil dan tongkat melengkung (Streich, 2025).

Bakteri gram (-) berbentuk batang juga ditemukan pada kelompok *Tiobacillus*, *Acetobacter*, *Hemotoga*, *Thermodesulfobacterium*, *Gluconobacter*, dll. Akan tetapi, tidak semua anggota kelompok bakteri tersebut merupakan bakteri gram (-). Banyak diantara anggota kelompok bakteri tersebut adalah bakteri gram (+).

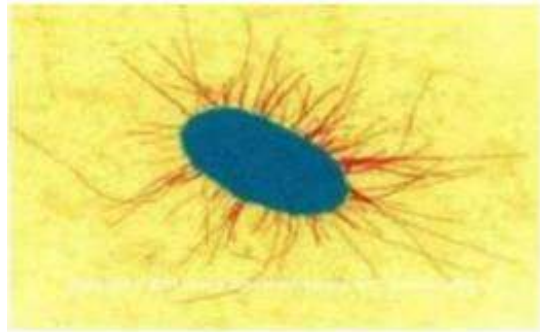
Kelompok taksonomi yang semua anggotanya adalah bakteri gram (-) dan bentuk bakterinya hanya *Bacillus*, yaitu:

- a. Enterobacteria (Family Enterobacteriaceae)

Enterobacteria terdiri dari sejumlah besar spesies bakteri yang sangat erat hubungannya satu dengan lainnya. Hidup di usus besar manusia dan hewan, tanah, air, dan dapat pula ditemukan pada dekomposisi material. Karena hidupnya yang pada keadaan normal di dalam usus besar manusia, kuman

ini sering disebut kuman enteric atau basel enteric. (Putu,dkk. 2019)

Contoh bakteri yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah *Escherichia coli* (bakteri pada saluran pencernaan), *Salmonella* sp (bakteri penyebab radang usus), *Proteus* (bakteri penyebab infeksi saluran kemih), *Yersinia* (bakteri penyebab wabah) dan *Klebsiella* (bakteri penyebab radang paru-paru). *Enterobacter* dan *Serratia* juga termasuk ke dalam family enterobacteria, akan tetapi mereka jarang bersifat patogen (Streich, 2025).



Gambar 2. Bakteri *Escherichia coli*. Sumber (Bota, dkk.2015)

b. *Pseudomonas* (Kelas Gammaproteobacteria)

Contoh bakteri yang termasuk ke dalam kelompok ini yaitu *Pseudomonas. sp* (bakteri pada luka bakar dan infeksi sistemik), *Zymomonas*, *Burkholderia* dan *Xanthomonas*. Bentuk yang ditemukan dari kelompok ini kadang berbeda-beda, ada basil lurus dan basil melengkung.

Zymomonas mobilis tergolong dalam mikroba gram negatif dengan sifat anaerobik fakultatif dan umumnya berpasangan. Mikroba ini memiliki kecepatan pengambilan glukosa dan pembuatan etanol yang lebih tinggi melalui Entner-Doudoroff dalam keadaan anaerob. (Cazetta, 2007).

Pseudomonas aeruginosa merupakan suatu bakteri yang bersifat opportunistic yaitu memanfaatkan kerusakan pada mekanisme pertahanan inang untuk dapat menyebabkan infeksi. Apabila mikroorganisme berada pada inang yang sistem kekebalannya telah terganggu, mereka dapat melintasi penghalang anatomi dan mikroorganisme terbawa masuk melalui kateter, alat penyuntik, dan respirator yang terkontaminasi. (Rostinawati, 2009).



Gambar 3. Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Sumber (Todar, 2011).

c. *Phytobacter* (Kelas gammaproteobacteria)

Bakteri kelompok ini merupakan bakteri dengan ukuran yang besar. Dengan karakterisasi tidak berpigmen, kemoorganotrofik dan mampu memperbaiki nitrogen. Bakteri ini bekerja dengan cara fermentasi laktosa, sitokrom-oksidadase negatif dan katalase positif. Bakteri ini akan memfermentasi glukosa dengan produksi gas. Koloni yang tumbuh pada agar MacConkey berbentuk lingkaran, cembung dan halus dengan garis tepi yang tidak utuh dan bagian tengah lebih tinggi dari bagian tepi bakteri. (Pillonetto,dkk. 2017).

Contoh bakteri dalam kelompok ini yaitu *Phytobacter massiliensis*, *Phytobacter ursingii*, *Phytobacter diazotrophicus* yang merupakan spesies *Phytobacter* yang paling umum ditemukan pada lingkungan dan manusia dan merupakan bakteri patogen oportunistik pada

kateter yang terkontaminasi atau penggunaan nutrisi parenteral total. Serta *Phytobacter palmae* spesies dengan kemampuan pengikat nitrogen tinggi yang pertama kali diidentifikasi di Singapura pada jaringan daun kelapa sawit (*Elaeis guineensis*). (Madhaiyan,dkk. 2020)



Gambar 4. Bakteri *Phytobacter diazotrophicus*. Sumber (Niu, 2022).

d. Bacteroides (Kelas Bacteroidia)

Bacteroides adalah genus bakteri Gram-negatif dan merupakan bakteri anaerobik obligat. Spesies Bacteroides adalah basil pembentuk endospora, dan dapat bergerak atau tidak bergerak, tergantung pada spesiesnya.



Gambar 5. Bakteri *Bacteroides* sp. Sumber (sciencephoto.com).

Studi menunjukkan bahwa pola makan jangka panjang sangat terkait dengan komposisi mikrobioma usus. Orang yang mengonsumsi lebih banyak protein dan lemak hewani memiliki bakteri *Bacteroides*, sedangkan bagi mereka yang mengonsumsi lebih banyak karbohidrat atau serat lebih banyak ditemukan spesies *Prevotella*.

Banyak sekali bakteri yang tergabung ke dalam kelompok *Bacteroides*. Diantaranya adalah *Bacteroides acidifaciens*, *Bacteroides distasonis*, *Bacteroides gracilis*, *Bacteroides fragilis*, *Bacteroides oris*, *Bacteroides ovatus* dan masih banyak lagi. (Madigan,dkk. 2005).

DAFTAR PUSTAKA

- Bota, Welmince. Martanto Martosupono. Ferdy S Rondonuwu. (2015). Karakterisasi Produk-Produk Minyak Sereh Wangi (Citronella Oil) Menggunakan Spektroskopi Inframerah Dekat (Nirs). Seminar Nasional Sains dan Teknologi.
- Cazetta, M.L. Celligoi M.A.P.C. Buzato J.B. and Scarmino I.S. (2007). Fermentation of molasses by *Zymomonas mobilis*: Effects of temperature and sugar concentration on ethanol production, *Bioresource Technology*, 98. 2824-2828.
- Irianto K. (2014). Epidemiologi Penyakit Menular dan Tidak Menular Panduan Klinis. Bandung: Alfabeta.
- Madigan M. Martinko J (editors). (2005). Brock Biology of Microorganisms (edisi ke-11th ed.). Prentice Hall.
- Madhaiyan. Munusamy. Saravanan. Venkatakrishnan Sivaraj. Blom. Jochen. Smits. Theo H. M. Rezzonico. Fabio. Kim Soo-Jin. Weon Hang-Yeon. Kwon Soon-Wo. Whitman William B. Ji, Lianghui (2020). *Phytobacter palmae* sp. nov., a novel endophytic, N₂ fixing, plant growth promoting Gammaproteobacterium isolated from oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.)". *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 70 (2): 841–848.
- Perumperindo. (2023). Bakteri Bentuk Basil. 20 November 2023. <https://www.perumperindo.co.id/bakteri-bentuk-basil/>
- Pillonetto. Marcelo Arend. Blom. Jochen. Lavinia N. Faoro. Helisson. D'Espindula. Helena R.S. Smits. Theo H.M. Mira. Marcelo T. Rezzonico. Fabio (2017). Emended description of the genus *Phytobacter*, its type species *Phytobacter diazotrophicus* (Zhang 2008) and description of *Phytobacter ursingii* sp. nov". *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. [Epub ahead of print] (1): 176–184.
- Putri, C, BR, Siahaan. (2020). Identifikasi Bakteri Gram Negatif Batang Pada Luka Infeksi. Prodi Teknologi Laboratorium Medis. Politeknik Kesehatan Kemenkes RI Medan
- Putu, I, Sindhunata Upadhana. I Gusti Ayu Made Wulan Diantari. Kadek Egi Rai Pratama. Ni Luh Gede Anggi Witari

- Febrianti. Ini Kadek Diah Tri Yunita Dewi. Luh Gede Meilia Ayu Suari Putri. Ini Putu Sri Widia Wati. (2019). Identifikasi Bakteri Enterobacteriaceae. Laporan Praktikum Bakteriologi II. Politeknik Kesehatan Denpasar Jurusan Teknologi Laboratorium Medis
- Rostinawati, T. (2009). Aktifitas Antibakteri Madu Amber Dan Madu Putih Terhadap Bakteri *Pseudomonas Aeruginosa* Multiresisten Dan *Staphylococcus Aureus* Resisten Metisilin. Skripsi, Universitas Padjadjaran Fakultas Farmasi Jatinangor.
- Niu, Q. (2022). Suyao Liu. Mingshen Yin. Shengwei Lei. Fabio Rezzonico. Lin Zhang. *Phytobacter diazotrophicus* from Intestine of *Caenorhabditis elegans* Confers Colonization-Resistance against *Bacillus nematocida* Using Flagellin (FliC) as an Inhibition Factor. College of Life Science and Agricultural Engineering, Nanyang Normal University, 1638 Wolong Road, Nanyang 473061, China and Environmental Genomics and Systems Biology Research Group, Institute of Natural Resource Sciences, Zurich University of Applied Sciences (ZHAW), 8820 Wädenswil, Switzerland.
- Streich, D. (2025). Karakteristik, struktur, jenis basil negatif gram. <https://id.learnaboutworld.com/article/bacilos-gram-negativos-caractersticas--estructura--tipos>

BIODATA PENULIS



apt. Nadia Raihana, S.Farm., M.Farm lahir di Jambi, pada tanggal 09 Februari 1987. Menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas MIPA Jurusan Farmasi Universitas Andalas, Profesi Apoteker di Universitas Andalas dan S2 di Fakultas Pascasarjana Bidang Farmasi Klinis di Universitas Andalas. Sampai saat ini penulis bekerja sebagai Dosen di Program Studi Farmasi Program Sarjana di STIKes Keluarga Bunda Jambi.

BAB 16

Penyebaran dan Pengendalian Bakteri

dr. Putu Yuliandari, S.Ked., Ph.D

A. Pendahuluan

Penyebaran bakteri merupakan fenomena yang terjadi secara alami dan dapat mempengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia. Bakteri, sebagai mikroorganisme prokariotik, dapat ditemukan di hampir semua lingkungan, mulai dari tanah, air, hingga dalam tubuh manusia. Bakteri juga memiliki kemampuan adaptasi yang luar biasa, memungkinkan mereka untuk bertahan dalam kondisi ekstrem seperti suhu tinggi, pH yang tidak biasa, dan kekurangan nutrisi. Penelitian menunjukkan bahwa bakteri dapat bertahan di permukaan selama berhari-hari, sehingga meningkatkan risiko penularan. Pemahaman yang mendalam tentang mekanisme penyebaran bakteri berperan penting untuk mencegah wabah penyakit (Madigan et al., 2015).

Metode pengendalian bakteri menjadi krusial dalam upaya menjaga kesehatan masyarakat dan melindungi lingkungan. Pengendalian ini tidak hanya bertujuan untuk mencegah penyebaran infeksi, tetapi juga untuk melindungi bahan dan produk dari kerusakan yang disebabkan oleh mikroba. Dengan meningkatnya resistensi bakteri terhadap antibiotik dan agen antimikroba lainnya, penting untuk terus mengembangkan dan menerapkan metode pengendalian yang efektif. Penelitian dan inovasi dalam pengendalian bakteri sangat diperlukan untuk menghadapi tantangan kesehatan global di masa depan (Ahmed et al., 2024).

B. Penyebaran dan Pengendalian Bakteri

Mekanisme penyebaran bakteri melibatkan berbagai cara yang memungkinkan mikroorganisme ini berpindah dari satu tempat ke tempat lain, serta dari satu inang ke inang lainnya. Bakteri dapat menyebar melalui berbagai rute, antara lain penyebaran melalui udara (inhalasi), makanan dan air, kontak dekat, pertukaran cairan tubuh, luka, vector seperti serangga, serta penyakit hewan yang dapat menular ke manusia ditularkan melalui kontak dengan hewan (*zoonosis*) (Tabel 1). Dengan memahami mekanisme penyebaran ini, langkah-langkah pengendalian bakteri yang lebih efektif dapat dirancang untuk mengurangi risiko infeksi dan wabah penyakit (Mahon et al., 2011).

Tabel 1. Rute Penyebaran Mikroorganisme

Rute	Transmisi
Respirasi/pernafasan	- Inhalasi aerosol, droplet - Hidung atau mulut → tangan atau benda → hidung
Saliva/ludah	- Pertukaran liur secara langsung (misal berciuman) - Gigitan hewan
Saluran pencernaan	- Tinja → tangan → mulut dan/atau tinja → benda → mulut - Tinja → makanan atau air → mulut
Kulit	- <i>Skin discharge</i> → udara → saluran pernafasan - Kontak antar kulit
Darah	- Transfusi atau tertusuk jarum suntik - Gigitan serangga
Cairan kelamin	- Cairan uretra atau serviks - Semen
Urine/kencing	- Urine → tangan → kateter
Mata	- Cairan konjungtiva
Zoonosis	- Gigitan hewan

	- Kontak dengan hewan mati - Arthropoda
--	--

Pengendalian bakteri sangat penting dalam kehidupan sehari-hari kita, mencakup berbagai aspek seperti lingkungan rumah tangga, industri farmasi dan bioteknologi, medis, makanan dan minuman, pertanian, peternakan, dan akuakultur. Pengendalian pertumbuhan mikroba memiliki tujuan untuk menghambat perkembangan bakteri, mencegah penyebaran penyakit infeksi, melindungi bahan dari kerusakan yang disebabkan oleh mikroba, serta mencegah kontaminasi bakteri yang tidak diinginkan pada media pertumbuhan (Doron & Gorbach, 2008).

Dalam usaha mengendalikan pertumbuhan bakteri, penting bagi kita untuk memahami konsep sterilisasi dan desinfeksi. Sterilisasi merupakan proses menghancurkan segala bentuk kehidupan, termasuk spora bakteri. Suatu alat atau bahan dikatakan steril apabila tidak terdapat mikroorganisme hidup di dalam atau dipermukaannya. Desinfeksi merupakan proses menghilangkan mikroorganisme dengan derajat yang berbeda. Hal ini dilakukan dengan menggunakan desinfektan pada benda mati, seperti meja kerja, alat mikrobiologi, pakaian, dsb. Desinfektan dapat menghancurkan sel vegetative bakteri, tetapi tidak dapat menghancurkan spora sepenuhnya (Inggraini, 2023).

Metode yang umumnya diterapkan untuk pengendalian mikroba mencakup pendekatan fisik dan kimia. Pengendalian fisik bertujuan untuk merusak integritas sel hingga menyebabkan lisis. Di sisi lain, pengendalian kimia melibatkan penggunaan bahan-bahan yang dapat mengganggu struktur dan fungsi dinding sel, membran sel, serta proses metabolisme dari tingkat genetik hingga metabolomik. Ini mencakup proses seperti replikasi DNA, transkripsi, translasi, sintesis protein, dan aktivitas enzim, yang semuanya dapat menghambat pertumbuhan mikroba (mikrobiostatik/bakteriostatik) atau bahkan membunuhnya (mikrobiosida/bakteriosida).

Pemilihan metode pengendalian mempertimbangkan banyak hal antara lain jenis organisme, jumlah organisme, konsentrasi agen desinfektan, adanya materi organik (serum, darah), bahan permukaan yang akan dilakukan desinfeksi, waktu kontak, suhu, pH, adanya biofilm, serta kesesuaian antara desinfektan dan sesuatu yang akan dilakukan proses desinfeksi (Mahon et al., 2011).

1. Pengendalian Bakteri Secara Fisik

a. Temperatur

Temperatur memiliki dampak yang signifikan terhadap pertumbuhan bakteri. Ketika temperatur terlalu rendah, metabolisme bakteri akan menurun, yang menyebabkan laju pertumbuhannya melambat. Temperatur yang tinggi dapat membunuh bakteri karena menyebabkan denaturasi protein dan kerusakan enzim. Untuk mengendalikan bakteri melalui suhu, beberapa metode dapat diterapkan, seperti pasteurisasi, *boiling*, pemanasan lembab, pemanasan kering, dan penerapan suhu rendah (Inggraini, 2023).

1). Pasteurisasi merupakan proses membunuh bakteri pathogen dan bakteri penyebab pembusukan menggunakan suhu yang terkendali berdasarkan waktu kematian termal. Pasteurisasi umumnya digunakan untuk susu, rum, anggur, dan makanan asam lainnya dengan suhu 65°C selama 30 menit.

2). *Boiling* merupakan proses pemanasan dengan merebus bahan yang akan disterilkan pada suhu 100°C selama 10-15 menit. Tindakan ini dapat membunuh sel vegetative bakteri, namun spora dan beberapa virus masih dapat hidup.

3). Pemanasan lembab

Pengendalian bakteri melalui teknik pemanasan lembab dapat dilakukan dengan menggunakan autoklaf, sebuah alat yang bekerja berdasarkan prinsip pemanasan tinggi di bawah tekanan. Autoklaf dapat mencapai suhu hingga 121 °C dengan tekanan

mencapai 2 atm. Tekanan yang tinggi ini memungkinkan suhu untuk melebihi titik didih air, sehingga mengurangi kemungkinan penguapan.

4). Pemanasan kering

Pengendalian bakteri melalui pemanasan kering dapat dilakukan dengan memanfaatkan udara panas, seperti yang terdapat dalam oven, serta melalui proses pembakaran. Udara panas digunakan untuk mensterilkan peralatan yang tahan terhadap panas, seperti yang terbuat dari gelas dan keramik. Suhu yang diterapkan untuk proses sterilisasi berkisar antara 60 hingga 180 °C. Sementara itu, pembakaran atau pemijaran digunakan untuk mensterilkan alat-alat yang terbuat dari platina atau nikron, seperti jarum ose.

5). Penerapan suhu rendah

Suhu rendah atau pendinginan dilakukan untuk menghambat pertumbuhan bakteri, pengawet makanan. Suhu rendah tidak dapat digunakan untuk sterilisasi karena bakteri mampu bertahan pada suhu 3 – 7°C selama berbulan-bulan.

b. Penyaringan/filtrasi

Sterilisasi alat dan bahan yang rentan terhadap suhu dan bahan kimia dapat digunakan dengan metode penyaringan. Filtrasi atau penyaringan bakteri dilakukan dengan menggunakan membran filter dengan pori-pori sebesar 0,22 – 0,45 µm. Metode ini umumnya digunakan pada cairan yang sensitif dengan pemanasan, seperti cairan infus, vaksin, dan antibiotik cair. Penyaringan udara juga dapat dilakukan dengan *high-efficiency particulate air* (HEPA) filter (Rini & Rochmah, 2020)).

c. Radiasi

Radiasi mampu membuat kerusakan pada sel bakteri, sehingga dapat digunakan sebagai teknik pengendalian. Radiasi yang biasanya digunakan untuk sterilisasi adalah sinar UV dan sinar X. Panjang gelombang pada sinar UV

yang efektif untuk mematikan bakteri adalah berkisar antara 260 - 270 nm. Sinar UV mampu merusak asam nukleat bakteri. Daya tembus sinar UV sangat rendah, sehingga hanya efektif membunuh bakteri yang berada dipermukaan alat (Mahon et al., 2011).

2. Pengendalian Bakteri Secara Kimia

Pengendalian mikroba melalui pendekatan kimiawi merupakan metode yang penting dalam upaya membunuh atau mengurangi populasi mikroorganisme patogen. Secara khusus, efektivitas pengendalian mikroorganisme secara kimiawi lebih terlihat pada sel vegetatif bakteri, di mana bahan kimia dapat dengan mudah menembus dan merusak struktur sel. Namun, perlu dicatat bahwa metode ini memiliki keterbatasan yang signifikan, terutama ketika berhadapan dengan bakteri yang berada dalam bentuk endospore. Endospore merupakan bentuk dorman yang sangat tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem dan berbagai agen kimia, sehingga pengendalian mikroba dalam bentuk ini menjadi tantangan tersendiri (Rini & Rochmah, 2020).

a. Antibiotik

Berdasarkan mekanisme kerjanya, secara garis besar antibiotik dibedakan menjadi (Mahon et al., 2011):

1). Menghambat sintesis dinding sel bakteri

Antibiotik golongan β -lactam seperti penems, cephems, carbapenems, dan monobactams, bekerja dengan cara mengikat *penicillin-binding proteins* (PBP) yang berperan penting pada pembentukan dinding sel bakteri. Contoh antibiotik kelas penems ini antara lain penicillin G dan penicillin V, methicillin dan oxacillin, amoxicillin dan ampicillin, carbenicillin dan ticarcillin, piperacillin, amoxicillin-clavulanate, dan ampicillin-sulbactam. Yang termasuk kelas cephem adalah cephalosporin golongan I (cephalothin, cefazolin), cephalosporin golongan II (cefonicid, cefuroxime), cephalosporin golongan III (cefoperazone,

ceftazidime), cephalosporin golongan IV (cefepime), cephamycin (cefmetazole, cefoxitin), oxacephem (moxalactam), dan carbacephem (loracarbef). Kelas carbapenems terdiri dari ertapenem, imipenem, dan meropenem. Kelas monobactam meliputi aztreonam. Selain β -lactam, antibiotik glikopeptid, seperti vancomycin, dalbavancin, teicoplanin, serta oritavancin dan telavancin, juga menghambat sintesis dinding sel bakteri dengan mengikat terminal D-ala-D-ala yang ada di peptidoglikan bakteri.

2). Menghambat sintesis asam folat

Jalur asam folat menyediakan molekul precursor penting yang diperlukan untuk sintesis DNA. Contoh antibiotik yang bekerja dengan cara ini adalah trimethoprim-sulfamethoxazole. Antibiotik ini merupakan antibiotik sintesis yang tidak pernah eksis secara alamiah.

3). Menghambat replikasi DNA

Replikasi DNA yang langsung diikuti dengan pembelahan sel merupakan siklus penting dalam kehidupan bakteri. Antibiotik kelas quinolones menghambat replikasi DNA dengan menargetkan enzim topoisomerases II (DNA gyrase) dan IV yang berperan penting dalam mengatur topologi, replikasi, dan dekatenasi (pelepasan) DNA.

4). Menghambat transkripsi DNA

Transkripsi DNA merupakan proses dimana DNA template disalin menjadi sekuens RNA fungsional yaitu mature mRNA atau struktural RNA. Rifampin, obat yang umum digunakan untuk bakteri *Mycobacterium tuberculosis*, bekerja dengan cara ini.

5). Menghambat translasi mRNA

Proses mengubah mRNA menjadi protein fungsional disebut dengan translasi mRNA. Biosintesis protein ini memerlukan ikatan ribosom 30S dan 50S pada mRNA. Antibiotik kelas aminoglycosides, tetracycline, dan

glycylcline (tigecycline) bekerja pada ribosom subunit 30S bakteri, sedangkan antibiotik kelas macrolides (eritromisin, claritromisin, azitromisin), oxazolidinones (linezolid), streptogramins (quinupristin-dalfopristin) bekerja pada ribosom subunit 50S.

b. Antiseptik/Germisida

Antiseptik merupakan senyawa kimia yang berfungsi untuk membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada jaringan hidup, seperti permukaan kulit dan membran mukosa. Penting untuk membedakan antiseptik dari dua kategori lain, yaitu antibiotik dan disinfektan. Antibiotik dirancang untuk membunuh mikroorganisme di dalam tubuh, sedangkan disinfektan digunakan untuk membunuh mikroorganisme pada benda mati. Keunggulan antiseptik terletak pada keamanannya saat diaplikasikan pada jaringan hidup, menjadikannya pilihan yang lebih tepat dibandingkan disinfektan. Efektivitas antiseptik dalam membunuh mikroorganisme dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk konsentrasi dan durasi paparan. Mekanisme kerja antiseptik bervariasi, dan dapat mencakup proses seperti dehidrasi (pengeringan) bakteri, oksidasi sel bakteri, koagulasi (penggumpalan) cairan di sekitar bakteri, atau meracuni sel bakteri. Beberapa contoh antiseptik yang umum digunakan meliputi iodine, etanol, isopropyl alcohol, iodine (povidone-iodine), klorheksidin, triclosan, dan timol (Rutala et al., 2023).

c. Desinfektan

Desinfektan adalah senyawa kimia yang dirancang untuk membunuh mikroorganisme, termasuk bakteri dan virus, namun tidak efektif terhadap spora mikroorganisme. Berbeda dengan antiseptik yang dapat digunakan pada jaringan hidup, desinfektan tidak aman untuk diaplikasikan pada permukaan tubuh manusia atau hewan. Sebaliknya, desinfektan digunakan secara

eksklusif pada benda mati, seperti permukaan meja, lantai, peralatan, dan fasilitas lainnya yang memerlukan sanitasi. Beberapa contoh desinfektan antara lain: klorin, alcohol, fenol, hydrogen peroksidan (H_2O_2), formaldehid, klorheksidin (Rutala & Weber, 2014; Inggraini, 2023).

d. Pengawet

Pengawet adalah senyawa yang berfungsi untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme, sehingga sering kali digunakan dalam industri makanan. Bahan-bahan ini dirancang untuk bersifat statis, artinya mereka tidak aktif dalam mengubah sifat makanan, tetapi efektif dalam menjaga keawetan produk. Salah satu kriteria penting dari pengawet adalah bahwa mereka harus aman untuk dikonsumsi dan tidak beracun bagi tubuh manusia. Dengan demikian, penggunaan pengawet dalam makanan tidak hanya bertujuan untuk memperpanjang umur simpan, tetapi juga untuk memastikan bahwa produk tersebut tetap aman untuk dikonsumsi. Beberapa contoh pengawet yang umum digunakan meliputi: kalsium propionate, natrium benzoate, nitrat, dan belerang dioksida (Inggraini, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S.K., Hussein, S., Qurbani, K., Ibrahim, R.H., Fareeq, A., Mahmood, K.A., Mohamed, M.G. (2024). Antimicrobial resistance: Impacts, challenges, and future prospects. *J Med Surg Public Health*. <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100081>
- Doron, S., & Gorbach, S.L. (2008). Bacterial Infections: Overview. In Heggenhougen, H.K. (1st ed), *International Encyclopedia of Public Health* (pp. 273-282). Massachusetts: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00030-8>
- Inggraini, M. (2023). Penyebaran dan Pengendalian Bakteri. In Apriani. (1st ed). *Bakteriologi untuk Mahasiswa Kesehatan* (pp. 135-147). Sulawesi Selatan: PT. Masagena Mandiri Medica.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., Bender, K.S., Buckley, D.H., Stahl, D.A. (2015). *Brock Biology of Microorganisms*. London: Pearson Education.
- Mahon, C.R., Lehman, D.C., Manuselis, G. (2011). *Textbook of Diagnostic Microbiology*. Missouri: Saunders Elsevier.
- Rini, C.S., & Rochmah, J. (2020). *Bakteriologi Dasar*. Sidoarjo: Umsida Press.
- Rutala, W.A. & Weber, D.J. Disinfection, Sterilization, and Control of Hospital Waste. In Bennett, J.E., Dolin, R., Blaser, M.J. (8th ed), *Mandell, Douglas, and Bennetts's Principles and Practice of Infectious Diseases* (pp. 3294-3309). Philadelphia: Saunders. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-4801-3.00301-5>
- Rutala, W.A., Boyce, J.M., Weber, D.J. (2023). Disinfection, sterilization, and antisepsis: an overview. *Am. J. Infect. Control*. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2023.01.001>

BIODATA PENULIS



dr. Putu Yuliandari, Ph.D lahir di Denpasar, 10 Juli 1988. Menyelesaikan pendidikan S1 dan profesi dokter di Fakultas Kedokteran Universitas Udayana tahun 2012, lalu menyelesaikan S3 di Division of Infectious Disease Control, Center of Infectious Diseases, Graduate School of Medicine, Kobe University, Japan tahun 2022. Saat ini penulis bekerja sebagai Peneliti di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

BAB 17

Pewarnaan Bakteri

Dewinta Nur Alvionita, S.Si., M.Si

A. Pendahuluan

Pewarnaan bakteri merupakan teknik fundamental dalam mikrobiologi yang memungkinkan ilmuwan untuk memvisualisasikan dan membedakan berbagai jenis mikroorganisme di bawah mikroskop. Bakteri, sebagai organisme prokariotik yang umumnya sangat kecil, tidak dapat dilihat dengan jelas tanpa teknik pewarnaan yang tepat. Pewarnaan bakteri adalah salah satu teknik yang sangat penting dalam mikrobiologi, terutama dalam analisis dan identifikasi spesies bakteri. Dengan menggunakan pewarnaan, ilmuwan dapat melihat struktur dan morfologi bakteri secara lebih jelas dan rinci, sehingga memungkinkan mereka untuk melakukan identifikasi, klasifikasi, dan analisis karakteristik bakteri yang lebih akurat.

Salah satu metode pewarnaan yang paling terkenal adalah pewarnaan Gram, yang membedakan bakteri menjadi dua kelompok besar: Gram positif dan Gram negatif, berdasarkan ketebalan dinding sel mereka. Metode ini memiliki relevansi klinis yang tinggi, karena mengarahkan pilihan pengobatan antibiotik yang tepat untuk infeksi bakteri. Selain pewarnaan gram, terdapat juga teknik lain seperti pewarnaan asam (*acid-fast staining*) dan pewarnaan endospora, masing-masing memiliki tujuan dan aplikasi spesifik dalam studi mikrobiologi. Bab ini akan menguraikan teknik-teknik pewarnaan utama, prinsip kerja di baliknya, serta aplikasi praktis dalam dunia mikrobiologi, yang pada akhirnya

memperkaya pengetahuan kita tentang dunia mikroskopis yang kompleks ini.

B. Pewarnaan Bakteri

1. Pengertian Bakteri

Bakteri merupakan mikroorganisme yang termasuk dalam kelompok prokariotik, yaitu organisme yang sel-selnya tidak memiliki inti sel yang terbungkus membran (Lodish *et al.*, 2021). Ciri khas utama dari bakteri sebagai makhluk hidup prokariotik adalah struktur selnya yang lebih sederhana dibandingkan dengan sel eukariotik. Sel bakteri umumnya terdiri dari dinding sel, membran sel, sitoplasma, dan materi genetik yang tidak terorganisir dalam nukleus (Berg *et al.*, 2020).

Bakteri terbagi menjadi dua domain utama, yaitu Bacteria dan Archaea. Walaupun Archaea memiliki beberapa kesamaan dengan bakteri, mereka memiliki perbedaan signifikan dalam aspek genetik dan metabolisme (Woese *et al.*, 1990). Bakteri dapat ditemukan di berbagai habitat, mulai dari tanah, air, hingga di dalam tubuh organisme lain. Kemampuan adaptasi ini sering kali membuat mereka menjadi salah satu kelompok organisme paling beragam di Bumi.

Dalam hal klasifikasi, bakteri dapat dikelompokkan berdasarkan bentuk morfologinya menjadi tiga kategori utama: kokus (bulat), basil (batang), dan spiral (heliks) (Madigan *et al.*, 2020). Selain itu, bakteri juga dapat dikategorikan berdasarkan cara mendapatkan energinya, seperti fototrof (menggunakan cahaya), kemoheterotrof (mendapat energi dari senyawa organik), ataupun kemoautotrof (memanfaatkan senyawa anorganik). Selain itu berdasarkan Gram, bakteri dibedakan menjadi Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif yang dibedakan berdasarkan penyusun dinding selnya.

Bakteri juga mempunyai peranan penting dalam ekosistem, baik sebagai pengurai yang membantu daur ulang materi organik maupun sebagai penghasil berbagai

senyawa penting seperti antibiotik. Meskipun sering kali dianggap sebagai patogen, banyak bakteri yang memiliki fungsi menguntungkan baik bagi kesehatan manusia maupun lingkungan (Falkow, 2004).

2. Sejarah Pewarnaan Bakteri

Pewarnaan bakteri merupakan teknik yang penting dalam mikroskopi sel dan mikrobiologi, yang memungkinkan para ilmuwan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan mempelajari mikorganisme ini dengan lebih jelas. Dalam bab ini, kita akan mengeksplorasi sejarah pewarnaan bakteri, dari awal penemuan sampai teknik-teknik modern yang digunakan saat ini. Konsep tentang bakteri dimulai dengan penemuan mikroskop oleh Antoni van Leeuwenhoek pada akhir abad ke-17. Ia adalah orang pertama yang mengamati mikroskopis organisme hidup, termasuk bakteri, dan melaporkan temuannya ini ke Royal Society di London (Leeuwenhoek, 1676). Namun, pada masa itu, bakteri tidak dapat dibedakan secara jelas tanpa teknik pewarnaan. Pada akhir abad ke-19, ketika mikrobiologi mulai berkembang sebagai disiplin ilmu, para ilmuwan menyadari pentingnya pewarnaan untuk mengamati bakteri. Pada tahun 1884, Hans Christian Gram, seorang dokter Denmark, mengembangkan metode pewarnaan yang dikenal dengan pewarnaan Gram. Teknik ini melibatkan dua langkah pewarnaan dan membagi bakteri menjadi dua kategori: Gram positif dan Gram negatif, berdasarkan sifat dinding sel mereka (Gram, 1884). Metode ini menjadi fondasi untuk banyak penelitian mikrobiologi dan klinis hingga saat ini. Setelah penemuan metode Gram, berbagai teknik pewarnaan lainnya dikembangkan. Misalnya, pada tahun 1886, Arthur Klebsiella memperkenalkan metode pewarnaan Ziehl-Neelsen untuk mendeteksi *Mycobacterium tuberculosis*, bakteri penyebab tuberkulosis (Klebsiella, 1886). Teknik-teknik ini menunjukkan bagaimana pewarnaan dapat membantu dalam mengidentifikasi patogen yang sulit terlihat. Seiring

dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, teknik pewarnaan bakteri terus berkembang. Pada abad ke-20, teknik pewarnaan fluoresensi diperkenalkan, yang memungkinkan peneliti untuk melihat bakteri dalam kondisi hidup dan mengamati interaksi mereka dengan lingkungan. Metode ini mengandalkan penggunaan pewarna fluoresen yang berikatan dengan struktur sel bakteri tertentu (Zhao *et al.*, 2020).

3. Jenis Pewarnaan Bakteri

Pewarnaan bakteri adalah salah satu teknik yang digunakan dalam mikrobiologi untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan memvisualisasikan bakteri di bawah mikroskop. Teknik ini bertujuan untuk menyoroti fitur-fitur khusus bakteri, seperti dinding sel, kapsul, atau struktur lainnya, yang memungkinkan pengklasifikasian bakteri menjadi kelompok yang berbeda berdasarkan sifat morfologinya (Alcamo, 2010).

a. Pewarnaan Gram

Pewarnaan Gram, yang ditemukan oleh Hans Christian Gram pada tahun 1884, adalah metode yang paling umum digunakan dalam mikrobiologi untuk membedakan bakteri berdasarkan sifat dinding selnya (Gram, 1884). Pewarnaan ini membagi bakteri menjadi dua kelompok besar: Gram-positif dan Gram-negatif. Pewarnaan Gram sangat penting dalam diagnostik mikrobiologi karena membantu menentukan jenis antibiotik yang tepat berdasarkan tipe dinding sel bakteri (Janssen *et al.*, 2010).

b. Pewarnaan Ziehl-Neelsen (Asam-Resisten)

Pewarnaan Ziehl-Neelsen digunakan untuk mendeteksi bakteri yang resisten terhadap alkohol-asam, seperti *Mycobacterium tuberculosis* (tuberkulosis). Teknik ini memanfaatkan pewarna karbol fuksin yang dapat menembus dinding sel bakteri asam-resisten. Setelah proses pemanasan, bakteri yang asam-resisten tetap mempertahankan warna merah cerah, sementara

bakteri lain akan terwarnai biru setelah perlakuan dengan pewarna methylene blue (Zhao *et al.*, 2015). Pewarnaan ini sangat bermanfaat dalam diagnosis penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium*, seperti tuberkulosis, leprosy, dan beberapa infeksi lainnya (Cohen *et al.*, 2012).

c. Pewarnaan Endospora

Beberapa bakteri, seperti *Bacillus* dan *Clostridium*, dapat membentuk endospora, yaitu bentuk dorman yang sangat tahan terhadap kondisi lingkungan yang ekstrem. Pewarnaan endospora dilakukan menggunakan teknik Schaeffer-Fulton yang mengandung pewarna malachite green yang akan mengikat endospora, sementara sel vegetatif bakteri akan terwarnai merah dengan pewarna safranin (Schaeffer *et al.*, 1933). Endospora memiliki ketahanan luar biasa terhadap panas, kekeringan, dan bahan kimia, yang membuatnya sulit dihilangkan dari lingkungan (Gillis *et al.*, 2009). Teknik pewarnaan ini sangat penting untuk identifikasi dan pengelolaan infeksi yang disebabkan oleh bakteri pembentuk endospora.

d. Pewarnaan Kapsul

Pewarnaan kapsul digunakan untuk mendeteksi kapsul yang melapisi beberapa bakteri. Kapsul ini dapat memberikan perlindungan terhadap fagositosis dan meningkatkan virulensi bakteri. Salah satu teknik yang umum digunakan adalah pewarnaan negatif dengan India ink, di mana tinta India memberikan latar belakang gelap, sementara kapsul bakteri tetap tampak sebagai area terang di sekitarnya (Hancock, 1997).

Pewarnaan kapsul ini sangat penting dalam identifikasi bakteri patogen seperti *Streptococcus pneumoniae* dan *Klebsiella pneumoniae*, yang keduanya dapat menyebabkan penyakit pada manusia (Doi *et al.*, 2013).

4. Struktur Dinding Sel Bakteri

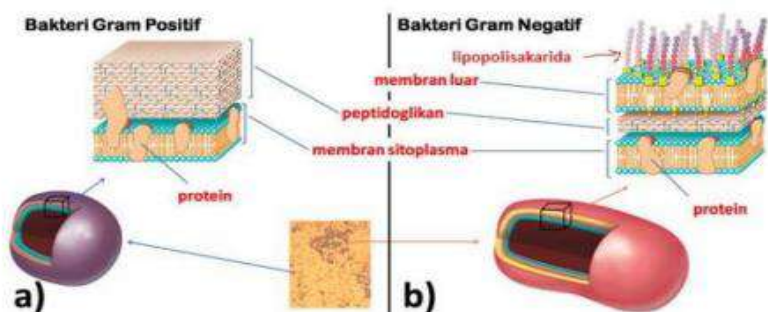
Berdasarkan struktur dinding selnya bakteri dibedakan menjadi dua yaitu bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Untuk mengetahui perbedaannya dapat dilihat dengan pewarnaan dan diamati dibawah mikroskop. Teknik pewarnaan yang digunakan yaitu pewarnaan Gram sesuai dengan nama penemunya yaitu Hans Christian Gram (1884). Bakteri yang diwarnai dengan zat warna violet dan yodium, dicuci dengan alkohol, diwarnai dengan safranin. Bila dalam pengamatan secara mikroskopis bakteri menunjukkan warna ungu maka dikelompokkan pada jenis bakteri Gram positif, bila pengamatan secara mikroskopis bakteri menunjukkan warna merah maka dikelompokkan pada jenis bakteri Gram negatif. Dinding sel bakteri memiliki struktur yang kompleks dan agak kaku. Dinding sel bakteri menentukan bentuk bentuk sel. Meskipun tidak mengandung enzim dan tidak bersifat semipermeabel, namun dinding sel diperlukan agar sel bakteri dapat berfungsi secara normal (Moat, 1979). Dinding sel yang kaku memungkinkan bakteri dapat mengatasi konsentrasi osmosis yang berbeda-beda dan sitoplasma tidak mengembang melampaui batas dinding yang kaku itu. Sejauh ini diketahui bahwa ketebalan dinding sel bakteri berkisar 10-35 nm. — Komposisi kimiawi dinding sel bakteri Susunan dan struktur dinding sel prokariot sangat unik dan khas, serta tidak ditemukan pada sel eukariotik. Penyebab kaku dinding sel bakteri karena kandungan peptidoglikan (PG). Peptidoglikan tersusun oleh: (1) N-asetilglukosamin (NAG), (2) Asam N-Asetilmuramic (NAM), (3) Peptida yang terdiri dari asam amino: alanin, glutamat, diaminopimelat, atau lisin dan alanin. Letak NAG (N-asetil glukosamin) dan NAM (N-asetil muramic) berselang-seling membentuk tulang punggung dinding sel, Pada NAM terdapat 4 asam amino. Asam amino ini membentuk ikatan silang dengan asam amino NAM lainnya (Pelczar and Chan, 2014).

Peptidoglikan disebut juga mukopeptida, glikopeptida, muropeptida atau murein peptidoglikan. Serat-serat peptidoglikan membentuk anyaman yang kuat namun tidak padat (tidak solid) sehingga tidak menghalangi masuknya air, zat-zat makanan, seperti mineral, glukosa, asam amino atau bahkan molekul organik. Berdasarkan perbedaan kandungan dari dinding sel, bakteri dapat digolongkan menjadi dua yaitu bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Bakteri Gram positif dinding selnya tersusun atas PG (petidoglikan) sehingga dinding selnya kaku. Pada bagian luar PG (petidoglikan) terdapat senyawa yang disebut asam teikhoat. Bakteri Gram negatif mengandung PG (petidoglikan) dalam jumlah yang jauh lebih sedikit, akan tetapi di bagian luar PG terdapat membran luar yang tersusun atas lipoprotein dan fosfolipid serta mengandung lipopolisakarida. Karena perbedaan komposisi dinding sel ini, bakteri Gram positif dan negatif memiliki ketahanan yang berbeda. Bakteri Gram positif lebih rentan terhadap antibiotika penisilin karena antibiotika ini dapat merusak PG. Sebaliknya karena jumlah PG yang lebih banyak, bakteri Gram positif biasanya lebih tahan terhadap kerusakan mekanis (Moat, 1979). Perbedaan tersebut di atas dapat pula dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan Dinding Sel Bakteri Gram Positif dan Gram Negatif

No	Gram Positif	Gram Negatif
1	Komponen terbesar adalah peptidoglikan (terdiri 40 lapis rangka dasar murein, meliputi 30-70 % berat kering dinding sel bakteri)	Terdiri dari : 1. Lapisan dalam adalah lapis rangka dasar murein (diaminopemelat, dan tidak mengandung lisin), dan hanya meliputi + 10% dari berat kering dinding sel

		2.Lapisan lipopolisakarida, lipoprotein	luar dan
2	Pada beberapa bakteri terdapat asam teikoat	Tidak ada asam teikoat	
3	Peptidoglikan mengalami lisis oleh lisozim	Lisozim melunakkan dinding sel, deterjen mengadakan disorganisasi dinding itu dengan merusak lapisan lipida	
4	Dinding sel tebal, 25-30 nm	Dinding sel tipis, 10-15 nm	
5	Lebih rentan terhadap Penicilin	Kurang rentan	
6	Menyerap pewarna dasar (ex: kristal violet) sehingga berwarna ungu saat diwarnai	Tidak begitu menyerap pewarna dasar, namu dengan pewarnaan safranin (merah)	



Gambar 1. Perbedaan Dinding Sel Bakteri: a. Bakteri Gram Positif ; b. Bakteri Gram Negatif

5. Persamaan dan Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif

Persamaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif yaitu (Madigan *et al.* 2020):

- Bakteri Gram Positif dan Gram Negatif memiliki organisasi seluler yang serupa merupakan mikroorganisme uniseluler prokariotik yang memiliki kapsul.
- Memiliki kromosom Tunggal
- Mengandung plasmid sebagai DNA ekstraseluler.
- Bereproduksi secara aseksual dengan pembelahan biner
- Bereproduksi juga dengan transformasi, transduksi dan konjugasi
- Dapat dihambat oleh antibiotik.
- Dinding sel mengandung peptidoglikan.
- Dapat merespons prosedur pewarnaan gram
- Dapat menyebabkan penyakit pada manusia, tumbuhan dan hewan.

Perbedaan Bakteri Gram Negatif dan Gram Positif dapat dilihat pada tabel berikut (Waluyo, 2007):

Tabel 2. Perbedaan Bakteri Gram Positif dan Bakteri Gram Negatif

Perbedaan	Bakteri Gram Positif	Bakteri Gram Negatif
Lapisan peptidoglikan	Lebih tebal 1-4%	Lebih tipis 11- 22%
Toksin yang dibentuk	Eksotoksin	Endotoksin
Bentuk sel	Bulat, batang, filamen	Bulat, oval, koma
Metabolisme	Kemoorganotrof	fototrof
Motilitas	Non motil bila motil tipe flagella adalah petritikus	Motil dan non motil, flagella bervariasi
Endospore	Beberapa kelompok membentuk endospora	Tidak membentuk endospore

DAFTAR PUSTAKA

- Alcamo, I. E. (2010). *Fundamentals of Microbiology*. 9th Edition. San Francisco: Pearson Education.
- Berg, J.M., Tymoczko, J.L., & Stryer L. (2020). *Biochemistry*. W.H. Freeman and Company.
- Cohen, D. A., et al. (2012). "Ziehl-Neelsen Staining for Detection of *Mycobacterium tuberculosis* in Clinical Specimens". *Journal of Clinical Microbiology*, 50(3), 978-984.
- Doi, Y., et al. (2013). "The Role of Capsule in the Pathogenesis of *Klebsiella pneumoniae*". *Clinical Microbiology Reviews*, 26(3), 452-480.
- Falkow, S. (2004). Molecular microbial pathogenesis. *Nature Reviews Microbiology*, 2(3), 270-276.
- Gram, C. (1884). "Die Stellung der Mikroorganismen in der systematischen Biologie." *Lehrbuch der mikroskopischen Technik*.
- Gillis, M. A., et al. (2009). "Endospore Forming Bacteria: Detection and Classification". *Microbial Pathogenesis*, 47(1), 12-25.
- Hancock, R. E. W. (1997). "Mechanisms of Bacterial Resistance to Antibiotics". *Clinical Microbiology Reviews*, 10(2), 347-357
- Janssen, P., et al. (2010). "Gram Staining and Its Importance in the Detection of Bacterial Infections". *Clinical Infectious Diseases*, 50(2), 234-241.
- Klebsiella, A. (1886). "Zur Lehre von den Tuberculosen." *Archiv für wissenschaftliche und praktische Chemie*.
- Leeuwenhoek, A. van. (1676). "Observations on the little animals." *Philosophical Transactions of the Royal Society*.
- Lodish, H., Berk, A., Zipursky, S. L., Matsudaira, P., & Baltimore, D. (2021). *Molecular Cell Biology*. W. H. Freeman and Company.
- Madigan, M. T., Martinko, J. M., & Parker, J. (2020). *Brock Biology of Microorganisms*. Pearson.
- Moat, A.G. & Foster, J.W. (1979). *Microbial Physiology*. John Wiley & Sons
- Pelczar and Chan. (2014). *Dasar-dasar Mikrobiologi Jilid 1*. UIP: Jakarta

- Schaeffer, A. B., et al. (1933). "The Staining of Endospores". *Journal of Bacteriology*, 25(3), 441-442.
- Waluyo, Lud. (2007). Mikrobiologi Umum. UMM. Malang.
- Woese, C. R., Kandler, O., & Wheelis, M. L. (1990). Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87(12), 4576-4579.
- Zhao, Y., et al. (2020). "Developments in fluorescence microscopy: A decade of imaging." *Nature Reviews Methods Primers*, 1(1), 1-22.

PROFIL PENULIS



Penulis dilahirkan di Bulukumba, pada tanggal 20 September 1995 dari pasangan Bapak Nur Arwan dan Ibu Nurhayati. Penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara. Pada tahun 2013 penulis diterima di Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin dan lulus pada tahun 2017. Pada tahun yang sama, penulis diterima di Program Magister program studi Mikrobiologi, FMIPA, Sekolah Pascasarjana IPB. Penulis menyelesaikan studi Program Magister pada Maret 2020 dengan judul tesis “Isolasi, Karakterisasi, dan Identifikasi Bakteri Endofit *Hoya multiflora* Blume.” dan. Kemudian, penulis diterima sebagai Analis Laboratorium di Laboratorium Pusat Virologi dan Kanker Patobiologi, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia yang berkerja sama dengan PT. ACR Invesment dan PT. UI Corpora selama kurang lebih 2 Tahun. Pengalaman mengajar penulis bekerja sebagai Dosen Tetap di Program Studi D IV – Teknologi Laboratorium Medis, Fakultas Teknologi Kesehatan, Universitas Megarezky Makassar 2023-2024. Saat ini Penulis bekerja sebagai Dosen Tetap di Fakultas Kedokteran, Universitas Halu Oleo.

Email : alvionitadewinta@gmail.com

BAB 18

Uji Biokimia Bakteri

apt. Lidia Klorida Br Barus, S.Farm., M.Farm

A. Pendahuluan

Bakteri merupakan mikroorganisme yang memiliki peran penting dalam berbagai aspek kehidupan, baik yang bersifat menguntungkan maupun merugikan. Untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi bakteri, diperlukan berbagai metode, salah satunya adalah uji biokimia. Uji biokimia merupakan serangkaian pengujian yang digunakan untuk menentukan karakteristik metabolisme suatu bakteri berdasarkan aktivitas enzimatisnya. Dengan uji ini, dapat diketahui kemampuan bakteri dalam memfermentasi berbagai substrat, menghasilkan enzim tertentu, serta memecah senyawa kompleks.

Metode uji biokimia memiliki peran penting dalam bidang mikrobiologi klinis, industri, dan lingkungan. Dalam bidang klinis, uji ini digunakan untuk mengidentifikasi bakteri patogen yang menyebabkan penyakit. Dalam industri, uji biokimia digunakan untuk menentukan jenis bakteri yang digunakan dalam fermentasi atau pengolahan limbah. Di bidang lingkungan, metode ini berguna dalam penelitian bioremediasi serta identifikasi mikroba yang berperan dalam siklus biogeokimia.

B. Prinsip Uji Biokimia

Uji biokimia didasarkan pada aktivitas metabolisme mikroba yang melibatkan enzim-enzim spesifik. Setiap bakteri memiliki pola metabolisme yang berbeda, sehingga uji ini dapat digunakan sebagai dasar identifikasi. Beberapa uji

biokimia yang umum dilakukan antara lain uji fermentasi gula, uji katalase, uji oksidase, uji indol, uji sitrat, uji hidrolisis gelatin, dan uji motilitas (Madigan, M.T., dkk 2020). Identifikasi mikroba menggabungkan disiplin ilmu mikrobiologi dengan studi penyakit menular. Metode identifikasi mikroba yang andal dan akurat sangat berharga bagi berbagai bidang ilmiah, beberapa di antaranya berkaitan dengan situasi kesehatan yang mengancam jiwa. Oleh karena itu, teknik analisis yang digunakan untuk melakukan identifikasi mikroba menjadi penting bagi sejumlah aplikasi. Berbagai platform telah dikembangkan untuk melakukan identifikasi mikroba. Reaksi biokimia dapat mengungkapkan informasi penting yang diperlukan untuk mengidentifikasi secara akurat genus berbagai bakteri dalam sampel. Berdasarkan sifatnya, bakteri menghasilkan enzim dalam jumlah besar, dan enzim inilah yang memungkinkan identifikasinya melalui metode biokimia. Jenis enzim yang diproduksi oleh bakteri biasanya dapat digunakan untuk mengklasifikasikan spesiesnya mengingat bakteri memiliki profil enzimatik yang berbeda. Setiap spesies bakteri memiliki kebutuhan metabolisme yang spesifik dan bergantung pada enzim yang berbeda untuk memenuhi kebutuhan unik tersebut. Kehadiran katalase, gelatinase, oksidase, urease, misalnya, dapat digunakan untuk mengidentifikasi spesies bakteri. Reaksi biokimia yang digunakan dalam uji biokimia bergantung pada keberadaan bakteri tersebut. Uji biokimia tersebut telah dirancang untuk mengukur kadar enzim bakteri yang dapat diinterpretasikan untuk mengidentifikasi secara akurat spesies bakteri yang menghasilkannya.

Uji biokimia ini telah menjadi hal yang umum di bidang perawatan kesehatan, yang diandalkan untuk membantu diagnosis penyakit; epidemiologi, untuk pelacakan dan penelusuran wabah penyakit; farmasi, untuk analisis mikroba lingkungan yang mungkin memiliki implikasi kesehatan; dan ilmu forensik, yang mana investigasi mikroba dapat membantu dalam investigasi ancaman bioterorisme. Uji

saat ini untuk identifikasi mikroba dapat dibagi menjadi metode tradisional dan metode modern. Uji biokimia sederhana seperti uji katalase, uji oksidase, dan uji pemanfaatan substrat termasuk dalam kategori uji tradisional, di samping metode pewarnaan dan mikroskopi seperti pewarnaan gram, pewarnaan endospora, dan pewarnaan Ziehl-Neelsen. Aktivitas katalase khusus untuk strain bakteri tertentu seperti *Staphylococci*, *Micrococci*, *E. coli* dan *Enterobacteriaceae* lainnya, dan *Salmonella* spp. Yang lain diketahui tidak menyebabkan aktivitas ini, seperti bakteri *Streptococcus* dan *Enterococcus*. Pengujian katalase melibatkan penginduksian aktivitas katalase dengan menambahkan hidrogen peroksida ke kerokan bakteri yang diletakkan pada slide mikroskop. Gelembung yang muncul pada slide menunjukkan aktivitas katalase dan menunjukkan adanya bakteri positif katalase.

Bakteri dengan aktivitas oksidase sitokrom c (CCO) dapat diidentifikasi dengan pengujian oksidase. Bila ada, enzim COO, yang merupakan bagian dari rantai transpor elektron bakteri, mengoksidasi tetrametil-p-fenilendiamin (digunakan sebagai reagen). Reaksi oksidasi ini menyebabkan reagen berubah warna menjadi ungu, oleh karena itu, keberadaan enzim ini dapat dipastikan secara visual, karena bila enzim tidak ada, reagen tidak berubah warna. Keterbatasan uji oksidasi adalah rentan terhadap hasil yang tidak akurat mengingat meskipun bakteri positif oksidase bersifat aerobik, beberapa juga mampu melakukan respirasi anaerobik. Selain itu, hasil negatif palsu dapat terjadi jika spesies bakteri yang diteliti memiliki oksidase yang tidak bereaksi dengan reagen. Akhirnya, serangkaian uji pemanfaatan substrat tersedia secara komersial untuk identifikasi mikroba. Uji ini melibatkan penambahan spesies bakteri yang tidak diketahui ke panel substrat. Ilmuwan kemudian dapat mengidentifikasi bakteri berdasarkan perubahan warna yang diinduksi pada panel terpisah, yang menunjukkan pola unik yang terkait dengan spesies bakteri

tertentu. Uji ini sering dilakukan bersamaan dengan uji katalase dan/atau oksidase untuk meningkatkan akurasi dan keandalan.

Selain metode tradisional, beberapa tahun terakhir telah muncul metode baru dan modern yang telah diadaptasi untuk identifikasi mikroba. Reaksi berantai polimerase (PCR), dan uji imunologi seperti ELISA termasuk di antara metode modern ini. Uji biokimia baru yang telah muncul meliputi profil asam lemak dan profil metabolik/kemo. Asam lemak sangat penting untuk konstruksi membran sel bakteri. Seperti halnya enzim, profil asam lemak bersifat unik untuk spesies bakteri tertentu. Oleh karena itu, asam lemak yang diperoleh dari spesies bakteri yang tidak diketahui dapat digunakan untuk mengidentifikasinya. Metode kromatografi gas dan spektrometri massa paling umum digunakan untuk melakukan profil asam lemak. Terakhir, profil metabolik/kemo digunakan untuk mendeteksi profil metabolik sekunder bakteri yang unik. Semua mikroba menghasilkan metabolit, metabolit primer seperti ATP yang dikaitkan dengan fungsi dasar, dan metabolit sekunder, seperti antibiotik dan senyawa immunosupresif yang lebih spesifik untuk spesies bakteri. Profil sekunder ini dapat diukur dengan metode seperti kromatografi cair kinerja tinggi (HPLC) dan spektrometri massa untuk mengidentifikasi spesies bakteri yang terkait dengannya.

1. Jenis-Jenis Uji Biokimia

a. Uji H₂S

Sebanyak 4,55 gram media Triple Sugar Iron Agar (**TSIA**) ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam labu Erlenmeyer dan dilarutkan dalam 70 mL aquades. Setelah itu, media disterilisasi pada suhu 121°C selama 15 menit. Media yang telah disterilkan kemudian dituangkan ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 7 mL, lalu dimiringkan hingga memadat dengan sudut kemiringan 30°. Setelah memadat, isolat bakteri diinokulasikan secara aseptik menggunakan

jarum ose dengan cara menusuk bagian tengah media hingga mencapai kedalaman $\frac{3}{4}$ dari permukaan, kemudian digores pada bagian miring media. Selanjutnya, tabung diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam. Hasil positif ditunjukkan dengan terbentuknya endapan berwarna hitam di bagian bawah media, yang menandakan bahwa bakteri mampu membentuk **H₂S** (Lay, 1994).

b. Uji Fermentasi Karbohidrat

Media **TSIA** dibuat dengan metode yang sama seperti pada uji **H₂S**. Media kemudian disterilisasi pada suhu 121°C selama **15 menit**. Setelah sterilisasi, media dituangkan ke dalam masing-masing tabung reaksi sebanyak **7 mL**, lalu dimiringkan hingga memadat. Setelah media memadat, isolat bakteri diinokulasikan secara aseptik menggunakan jarum ose dengan cara menusukkan jarum pada bagian tengah media hingga mencapai kedalaman $\frac{3}{4}$ **bagian** dari permukaan, kemudian digores pada bagian miring media. Tabung kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama **24 jam**. Hasil positif ditunjukkan dengan pembentukan asam dan gas. Pembentukan asam ditandai dengan perubahan warna substrat karbohidrat dari merah menjadi kuning, sedangkan pembentukan gas terlihat dari adanya ruang kosong di dasar media (Cappuccino dan Sherman, 1992).

Pada pengujian fermentasi karbohidrat menggunakan media **Triple Sugar Iron Agar (TSIA)**, media ini mengandung tiga jenis gula, yaitu **glukosa, laktosa, dan sukrosa**. Dalam uji ini, isolat dengan kode tertentu mengalami perubahan warna menjadi **merah**, yang menunjukkan bahwa isolat tersebut hanya mampu memfermentasikan **glukosa**. Sementara itu, isolat lainnya mengalami perubahan warna menjadi **kuning**, menandakan bahwa isolat tersebut mampu memfermentasikan laktosa dan sukrosa.

Menurut Sudarsono (2008), uji **TSIA** bertujuan untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam memfermentasikan gula guna menghasilkan asam atau gas. Warna merah pada media menunjukkan **reaksi basa**, sedangkan warna **kuning** menunjukkan reaksi asam. Jika warna merah hanya muncul di permukaan agar, berarti terjadi fermentasi glukosa. Sementara itu, perubahan warna menjadi kuning pada seluruh bagian media, baik di permukaan maupun dasar tabung, menunjukkan fermentasi laktosa dan sukrosa.

c. Uji Sitrat

Media Simmons's citrate agar ditimbang sebanyak 0,50gram kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan dilarutkan bersama dengan aquades sebanyak 21 mL. Media disterilisasi pada suhu 121°C selama 15 menit. Selanjutnya media dituangkan pada masing-masing tabung reaksi sebanyak 7 mL dan dimiringkan sampai memadat pada kemiringan 30°. Setelah media memadat, secara aseptik isolat bakteri diinokulasikan dengan jarum ose dengan cara ditusuk pada bagian tengah sampai kedalaman $\frac{3}{4}$ bagian dari permukaan media dan kemudian digores pada bagian miring dari media. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 1x24 jam. Hasil positif bila terjadi perubahan warna dari warna hijau tua menjadi warna biru (Cappuccino dan Sherman, 1992).

d. Uji Lisin

Media lysine iron agar ditimbang sebanyak 0,72 gram kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan dilarutkan bersama dengan aquades sebanyak 21 mL. Media disterilisasi pada suhu 121°C selama 15 menit. Selanjutnya media dituangkan pada masing-masing tabung reaksi sebanyak 7 mL dan dimiringkan sampai memadat pada kemiringan 30°. Setelah media memadat, secara aseptik isolat

bakteri diinokulasikan dengan jarum ose dengan cara ditusuk pada bagian tengah sampai kedalaman $\frac{3}{4}$ bagian dari permukaan media dan kemudian digores pada bagian miring dari media. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 1×24 jam. Hasil positif bila terjadi perubahan warna pada media menjadi warna lembayung (violet) (Cappuccino dan Sherman, 1992).

e. Uji Indol

Media dibuat dengan menimbang NA sebanyak 0,59 g dan dilarutkan dalam 21 mL aquadest. Media yang telah homogenidisterilkan di dalam autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit, kemudian dibiarkan untuk mendinginkan pada suhu ruangan sampai beberapa saat. Media kemudian dituang ke dalam tabung reaksi masing-masing sebanyak 7 mL. Isolat diinokulasikan dengan koloni biakan yang berasal dari masing-masing agar miring dengan cara ditusukkan jarum sedalam $\frac{3}{4}$ bagian. Diinkubasi pada suhu 37°C selama 1×24 jam, dengan menambahkan 0,2-0,3 mL reagen covac's. Hasil positif apabila kultur bewarna merah pada saat penambahan reagen (Lay, 1994). Uji indol merupakan uji untuk menentukan kemampuan mikroorganisme dari sampel untuk menghasilkan indol dari triptofan. Asam amino triptofan merupakan komponen asam amino yang lazim terdapat dalam protein, sehingga asam amino dengan mudah dapat digunakan oleh mikroorganisme akibat penguraian protein.

f. Uji Katalase

Media nutrient broth ditimbang sebanyak 0,17 gram kemudian dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan dilarutkan bersama dengan aquades sebanyak 21 mL. Media disterilisasi pada suhu 121°C selama 15 menit. Selanjutnya media dituangkan pada masing-masing tabung reaksi sebanyak 7 mL. Kemudian secara

aseptik isolat bakteri diinokulasi ke dalam media. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 1x24 jam. Kedalam tabung reaksi ditambahkan 5 tetes H₂O₂. Hasil positif bila terjadi pembentukan gelembung udara (Cappuccino dan Sherman, 1992).

g. Uji Morfologi

Uji morfologi dilakukan dengan pewarnaan Gram. Biakan bakteri pada media miring diambil dengan menggunakan jarum ose, kemudian ditotol pada bagian tengah kaca objek sampai merata. Preparat selanjutnya difiksasi diatas lampu bunsen. Selanjutnya preparat diwarnai dengan kristal violet selama 1 menit. Kristal violet dicuci pada air mengalir. Preparat kembali diwarnai dengan larutan lugol dan didiamkan selama 1 menit. Larutan lugol dicuci dengan alkohol 96% dan dicuci pada air mengalir. Selanjutnya preparat diwarnai dengan safranin dan didiamkan selama 1 menit. Preparat dicuci pada air mengalir, dikeringkan dan diperiksa dengan mikroskop dengan menambahkan minyak imersi (Macfaddin, 2000).

Pengujian motilitas isolat bakteri dilakukan menggunakan media **Nutrient Agar (NA)**. Motilitas bakteri merupakan pergerakan yang terjadi akibat gerakan **aktif atau pasif**. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui kemampuan bakteri dalam bergerak pada media yang ditusuk. Dalam pengujian ini, tiga isolat bakteri yang diperoleh dari sampel **Turbinaria ornata** menunjukkan hasil **negatif**. Menurut penelitian **Sarah et al. (2014)**, hasil negatif ditandai dengan **pertumbuhan bakteri yang tidak menyebar** dan hanya terbatas pada **daerah tusukan**. Sebaliknya, hasil positif ditunjukkan oleh **pertumbuhan bakteri yang menyebar**, baik di sekitar daerah tusukan maupun hingga ke permukaan media (Kosasi dkk, 2019).

2. Aplikasi Uji Biokimia dalam Identifikasi Bakteri

Berbagai jenis uji biokimia, seperti uji katalase, oksidase, fermentasi gula, dan TSIA, digunakan untuk mengkarakterisasi bakteri dengan lebih akurat. Namun, metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan yang perlu diperhatikan dalam aplikasinya. Salah satu kelebihan utama dari uji biokimia adalah spesifisitas yang tinggi, karena metode ini memungkinkan identifikasi spesifik terhadap bakteri berdasarkan reaksi enzimatik dan metabolisme yang unik (Bergey, dkk 2000). Selain itu, uji biokimia relatif murah dibandingkan dengan metode molekuler seperti PCR atau sequencing, sehingga dapat diterapkan di laboratorium dengan sumber daya terbatas (Cowan, dkk 2004). Kemudahan pelaksanaannya juga menjadi nilai tambah, karena prosedurnya cukup sederhana, tidak memerlukan peralatan canggih, dan dapat dilakukan oleh tenaga laboratorium dengan keterampilan dasar (Cappuccino, J.G., Sherman, N. 2014). Metode ini juga memiliki cakupan yang luas, karena dapat digunakan untuk mengidentifikasi berbagai jenis mikroorganisme, baik yang bersifat patogen maupun non-patogen (Macfaddin, 2000).

Namun, uji biokimia juga memiliki beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Salah satu kelemahannya adalah waktu yang relatif lama, karena beberapa uji memerlukan inkubasi 24 jam atau lebih sebelum hasil dapat diamati, seperti uji TSIA. Selain itu, sensitivitas metode ini juga terbatas karena hasilnya dapat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan, komposisi media, dan interpretasi pengguna. Hasil uji biokimia juga bisa kurang akurat apabila terdapat kesalahan dalam prosedur inokulasi, media yang kurang optimal, atau adanya kontaminasi. Kelemahan lainnya adalah ketidakmampuan metode ini dalam mendeteksi perbedaan genetik antar bakteri, karena hanya mengandalkan aktivitas metabolik, sehingga bakteri dengan sifat biokimia serupa

mungkin sulit dibedakan (Tortora, dkk 2016). Secara keseluruhan, uji biokimia tetap menjadi alat penting dalam identifikasi bakteri karena sifatnya yang sederhana, murah, dan cukup akurat dalam banyak kasus. Namun, untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, metode ini sebaiknya dikombinasikan dengan teknik lain seperti uji molekuler atau mikroskopi.

Uji biokimia sering digunakan dalam taksonomi dan diagnostik mikrobiologi. Bakteri patogen seperti *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, dan *Pseudomonas aeruginosa* dapat diidentifikasi melalui uji ini. Selain itu, metode uji biokimia juga mendukung penelitian dalam bidang bioteknologi dan farmasi (Talaro, K.P., & Chess, B. 2021). Dalam industri makanan, uji biokimia digunakan untuk mendeteksi keberadaan bakteri patogen yang dapat menyebabkan keracunan makanan. Contohnya adalah identifikasi ***Listeria monocytogenes*** melalui uji katalase positif dan fermentasi karbohidrat spesifik. Uji biokimia juga digunakan dalam penelitian bioteknologi untuk mengidentifikasi bakteri yang memiliki kemampuan produksi enzim industri, seperti ***Bacillus subtilis*** yang menghasilkan enzim protease dan amilase untuk aplikasi dalam deterjen dan industri makanan. Dalam bidang ekologi dan lingkungan, uji biokimia membantu mengidentifikasi bakteri yang dapat digunakan dalam bioremediasi, seperti ***Pseudomonas aeruginosa***, yang memiliki kemampuan mendegradasi hidrokarbon dalam tanah dan air yang tercemar minyak bumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bergey, D.H., Holt, J.G. (2000). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Cappuccino, J.G., Sherman, N. (2014). *Microbiology: A Laboratory Manual*. Pearson Education.
- Cappucino, J. G., Sherman, N. 1998. *Microbiology: A laboratory Manual 5th Edition*. California: Benjamin/cummings Science Publishing. P.94
- Cowan, S.T., Steel, K.J. (2004). *Manual for the Identification of Medical Bacteria*. Cambridge University Press.
- Kosasi, C., Lolo, W. A., & Sudewi, S. (2019). Isolasi dan uji aktivitas antibakteri dari bakteri yang berasosiasi dengan alga *Turbinaria ornata* (Turner) J. Agardh serta identifikasi secara biokimia. *Pharmacon*, 8(2), 351-359.
- Lay, B. W. 1994. *Analisis Mikroba di laboratorium*. Edisi 1. Raja Grafindo Persada, Jakarta
- MacFaddin, J.F. (2019). *Biochemical Tests for Identification of Medical Bacteria*. Lippincott Williams & Wilkins
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., & Parker, J. (2020). *Brock Biology of Microorganisms*. Pearson.
- Sarah M.P., Fatimawali., Aaltje M. 2014. Identifikasi Bakteri Resistensi Merkuri Pada Urine Feses dan Kalkulus Gigi Pada Individu Di Kecamatan Malalayang, Manado, Sulawesi Utara. *Jurnal e-Biomedik*. 2(2): 532-540.
- Sudarsono A. 2008. Isolasi dan karakterisasi Bakteri pada ikan laut dalam Spesies ikan Gindara (*Lepidocibium Flavobronneum*). Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Talaro, K.P., & Chess, B. (2021). *Foundations in Microbiology*. McGraw-Hill.
- Tortora, G.J., Funke, B.R., Case, C.L. (2016). *Microbiology: An Introduction*. Pearson Education.

BIODATA PENULIS



apt. Lidia Klorida Br Barus, S.Farm., M.Farm lahir di Deli Serdang, pada 22 Januari 1997. Menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Farmasi Universitas Bhakti Kencana Bandung dan S2 di Universitas Sumatera Utara. Sampai saat ini penulis sebagai dosen di Fakultas Farmasi Institut Kesehatan Deli Husada Deli Tua.

BAB 19

Uji Sensitivitas Bakteri

apt.Nina Irmayanti Hrp,S.Si., M.Si

A. Pendahuluan

Bakteri adalah organisme bersel tunggal dan sederhana yang tidak terlihat dengan mata telanjang. Bakteri ditemukan hampir disemua ekosistem di bumi ini baik pada tanah, air dan makanan. Bakteri juga bisa hidup didalam dan diluar mikro organisme seperti pada manusia bahkan bakteri-bakteri yang terdapat dalam tubuh ada yang tidak berbahaya, dan beberapa bahkan yang bermanfaat bahkan ada beberapa spesies bakteri yang dapat menyebabkan penyakit infeksi seperti penyakit diare, demam tifoid, infeksi saluran pernapasan atas (influenza, radang amandel, radang tenggorokan), radang paru-paru, dan demam yang belum diketahui penyebabnya (observasi febris) merupakan penyakit infeksi yang termasuk ke dalam 10 penyakit terbanyak rumah sakit di Indonesia.

Antibiotik adalah obat yang digunakan untuk mencegah, mengobati, membunuh atau menghambat pertumbuhan bakteri penyebab penyakit infeksi. Penggunaan antibiotik yang tepat akan sangat bermanfaat dan menguntungkan. Akan tetapi, jika tidak digunakan secara tepat maka sebaliknya dapat menimbulkan berbagai masalah salah satunya resistansi antibiotik. Resistansi antibiotik adalah isu kesehatan yang sampai saat ini mengancam dunia sebab resistansi antibiotik dapat menyebabkan bakteri tidak lagi memberikan reaksi seperti menghambat pertumbuhan ataupun membunuhnya. Hal ini berdampak pada penurunan efektivitas antibiotik dalam mengobati infeksi pada manusia, tumbuhan, dan hewan. Selain itu, akan terjadi peningkatan angka infeksi, kematian, biaya, dan

lama perawatan menjadi lebih tinggi, serta risiko efek samping obat dengan dosis tinggi dan pengobatan ganda lebih besar.

B. Sensitivitas Bakteri

Pemberian antibiotika harus diberikan secara tepat sesuai diagnosa penyebab penyakit infeksi. Untuk menentukan penyebab suatu penyakit, maka secara ideal diperlukan diagnosa bakteriologik dan tes sensitivitas bakteri terhadap antibiotika. Uji sensitivitas bakteri merupakan prosedur laboratorium yang dilakukan oleh Ahli Teknologi Laboratoirum Medis (ATLM) untuk mengidentifikasi jenis antimikroba mana yang secara khusus efektif untuk masing-masing pasien. Pada skala yang lebih luas, uji ini dapat membantu mengevaluasi layanan pengobatan yang diberikan oleh rumah sakit, klinik, dan program nasional untuk pengendalian dan pencegahan penyakit menular.

Uji sensitivitas pada bakteri adalah suatu teknik untuk menetapkan sensitivitas suatu antibiotika dengan mengukur efek senyawa tersebut pada pertumbuhan suatu mikroorganisme. Hal ini dilakukan untuk melihat sejauh mana efektifnya suatu antibiotika yang sering diresepkan untuk penderita infeksi, dengan melakukan pengujian secara ilmiah menggunakan metode pengujian mikrobiologis.

Antibiotik adalah sebuah senyawa yang menargetkan bakteri yang digunakan untuk mengobati dan mencegah terjadinya infeksi penyakit akibat bakteri. Antibiotik awalnya dihasilkan dari alam yaitu dari beberapa hewan dan tanaman tinggi seperti jamur atau mikroorganisme, seiring perkembangan teknologi beberapa antibiotik dihasilkan dari proses sintesis senyawa kimia. Menurut Mutschler, (1991) antibiotik memiliki sifat baik dan berguna adalah antibiotika yang mempunyai kadar hambatan minimum (KHM) in vitro lebih kecil dari kadar zat yang dicapai dalam tubuh dan tidak toksik. Berdasarkan hal tersebut penggunaan antibiotika harus sesuai petunjuk yang diresepkan oleh dokter, sebab bila tidak sesuai, dapat menimbulkan efek resistansi terhadap satu atau

lebih antibiotik, peningkatan efek terapi, biaya perawatan bahkan kematian.

Resistensi antibiotik adalah melemahnya daya kerja dan menurunnya efektivitas sebuah antibiotik dalam melawan infeksi bakteri akibat keberadaan bakteri yang telah kebal (resistan) terhadap antibiotik. (Kementerian Kesehatan, 2015). Resistansi terhadap antibiotik sangat mungkin terjadi dan menjadi ancaman kesehatan global, seperti terjadinya peningkatan *multidrug resistant organism* (MDRO) yaitu mikroorganisme yang resistan terhadap dua atau lebih golongan antibiotik. Infeksi yang disebabkan oleh MDRO cenderung lebih sulit bahkan tidak dapat diobati oleh banyak antibiotik sehingga dapat mengancam jiwa karena keterbatasan pilihan terapi. Beberapa bakteri yang termasuk MDRO: Extended-spectrum beta-lactamase producing Enterobacteriaceae (ESBLs), methicilin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, Vancomycin-resistant Enterococci (VRE), dan Carbapenem-resistant enterobacteriaceae (CRE). Penyebab terjadinya resistansi dapat berasal dari berbagai faktor. Beberapa faktor pemicu penyebab resistansi, di antaranya:

- a. Salah indikasi: penggunaan antibiotik yang tidak sesuai dengan kondisi klinik pasien.
- b. Tidak patuh: penggunaan antibiotik tidak sesuai durasi yang dianjurkan.
- c. Penggunaan tidak terkendali: kemudahan dalam memperoleh antibiotik tanpa resep dokter.
- d. Dosis tidak sesuai: dosis antibiotik terlalu rendah.

Menurut Jawetz, (2005) antibiotika yang ideal sebagai obat harus memenuhi syarat-syarat :

1. Mempunyai kemampuan untuk mematikan atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme yang luas (broad spectrum antibiotic)
2. Tidak menimbulkan terjadinya resistensi dari mikroorganisme pathogen.

3. Tidak menimbulkan efek samping (side effect) yang buruk pada host, seperti reaksi alergi, kerusakan syaraf, iritasi lambung, dan sebagainya.
4. Tidak mengganggu keseimbangan flora yang normal dari *host* seperti flora usus atau flora kulit.

Pada saat menentukan antibiotik untuk terapi, terlebih dahulu harus mengetahui mekanisme kerja antibiotik tersebut, efek samping dan spektrum aktivitas antimikroba dimana setiap antibiotik memiliki mekanisme kerja khusus yang berlainan, dan beberapa antibiotik dapat menimbulkan efek samping sistemik pada inang.

Berdasarkan mekanisme kerjanya antibiotika dibagi dalam beberapa kelompok:

1. Menghambat biosintesis dinding sel.
Obat yang termasuk dalam kelompok ini adalah penisilin, sefalosporin, basitrasin, vankomisin, dan sikloserin. Dinding sel bakteri terdiri dari peptidoglikan yaitu suatu kompleks polimer mukopetiptida (glikopeptida). Oleh karena itu, tekanan osmotik dalam sel kuman lebih tinggi daripada di luar sel kuman, akan menyebabkan terjadinya lisis yang merupakan efek dari bakterisida pada kuman yang peka. Contohnya : Ampicilin, Amoxicilin dan Cefadroxil.
2. Menghambat metabolisme sel :
Yang termasuk dalam kelompok ini adalah kelompok sulfonamide, trimetoprim, asam p-aminosalisilat (PAS) dan sulfon. Dengan mekanisme kerja ini diperoleh efek bakteriostatik. Contohnya : Sulfametaxazol dan Cotrimoxazol.
3. Mengganggu membran sel :
obat yang termasuk dalam kelompok ini adalah polomiksin, golongan polien serta berbagai antimikroba kemoterapeutik, misalnya antiseptic *surface active agents*. Contohnya: Polimiksin B, Daptomisin.
4. Menghambat sintesis protein :
Obat yang termasuk dalam kelompok ini adalah golongan aminoglikosida, makrolida, linkomisin, tetrasiklin,

kloramfenikol. Untuk kehidupannya, sel mikroba perlu mensintesis berbagai protein. Sintesis protein berlangsung di ribosom dengan bantuan m-RNA dan t-RNA. Pada bakteri, ribosom terdiri dari dua sub unit, yang berdasarkan konstanta sedimentasi dinyatakan sebagai ribosom 30S dan 50S. Contoh : Tetrasiklin, Kloramfenikol, Tiamfenikol, Gentamicyn dan Streptomisin.

5. Menghambat sintesis asam nukleat : Antimikroba yang termasuk golongan ini adalah rifampisin, dan golongan kuinolon. Contohnya : Rifampicin, Siprofloksasin dan Ofloksasin.

Berdasarkan aktivitasnya dalam mengobati infeksi bakteri, antibiotik dapat diklasifikasikan menjadi :

1. Antibiotik bakteriostatik.

Antibiotik dengan aktivitas bakteriostatik bekerja dengan menghambat pertumbuhan bakteri pada *minimum inhibitory concentration* (MIC) tanpa benar-benar membunuh bakteri tersebut. Dengan kata lain, apabila pemakaian antibiotik ini dihentikan, bakteri ini dapat tumbuh kembali. Antibiotik bakteriostatik dapat berhasil mengobati infeksi dengan cara membiarkan sistem imun untuk menangkap dan membunuh bakteri. Sehingga jika antibiotik ini diberikan kepada pasien dengan sistem imun yang cukup kuat, antibiotik bakteriostatik tidak hanya menghambat pertumbuhan bakteri, namun pada konsentrasi yang lebih besar antibiotik ini dapat membunuh sel bakteri.

2. Antibiotik bakteriosidal.

Antibiotik yang memiliki aktivitas bakterisidal bekerja dengan membunuh bakteri tanpa bantuan dari sistem imun. Antibiotik bakterisidal dapat bersifat bakteriostatik apabila digunakan pada konsentrasi yang lebih rendah.

Pengujian sensitivitas bakteri dilakukan untuk mengetahui bakteri tersebut telah resisten terhadap berbagai sediaan antibiotika. Tes sensitivitas dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain : pendekatan yang lebih kuantitatif untuk menguji sensitivitas bakteri terhadap suatu antibiotika atau mencari nilai MIC atau

disebut juga kadar hambatan minimum (KHM). MIC atau KHM adalah konsentrasi terendah yang masih dapat menghambat pertumbuhan mikroba. Antimikroba dapat meningkatkan aktivitasnya dari bakteriostatik menjadi bakteriosid, apabila kadar anti mikrobanya ditingkatkan lebih besar dari MIC tersebut. Aktivitas anti bakteri ditentukan oleh spektrum kerja, cara kerja, MIC, serta potensi pada MIC. Suatu bakteri dikatakan mempunyai aktivitas yang tinggi bila MIC terjadi pada kadar rendah tetapi mempunyai daya bunuh atau daya hambat yang besar. Pada dasarnya antibiotika diencerkan sampai didapatkan beberapa konsentrasi. Pada dilusi cair, masing-masing konsentrasi obat ditambah suspensi kuman dalam media cair, sedangkan pada dilusi padat, tiap konsentrasi obat dicampur dengan media agar lalu ditanam kuman dalam media cair. Ada beberapa metode dilusi, yaitu Broth macrodilution, Microdilution, dan Agar Dilution Test.

a. *Metode Difusi Kirby-Bauer*

Cara Kirby Bauer (diambil dari nama ahli mikrobiologi W. Kirby dan A. W. Bauer di tahun 1966), atau disebut filter paper disk agar diffusion method, juga dikenal sebagai NCCLS/ National Committee For Clinical Laboratory Standards. Prinsip utama uji sensitivitas bakteri adalah mengukur kemampuan zat antimikroba untuk menghambat pertumbuhan bakteri secara in vitro. WHO sendiri merekomendasikan metode modifikasi difusi cakram Kirby-Bauer, dengan mempertimbangkan kesederhanaan teknik dan ketelitiannya. Metode difusi cakram Kirby-Bauer cocok digunakan untuk bakteri famili Enterobacteriaceae, tetapi metode ini juga dapat digunakan untuk semua patogen yang dapat tumbuh cepat. Metode difusi cakram Kirby-Bauer telah disesuaikan juga untuk bakteri-bakteri penting secara klinis yang sulit tumbuh, tetapi tidak untuk mikobakteria dan bakteri anaerob obligat.

1) Prinsip:

Metode Kirby – Bauer merupakan uji sensitivitas bakteri dengan metode difusi cakram. Suspensi standar bakteri yang akan diuji diinokulasi pada permukaan pelat agar Mueller Hinton. Kertas saring cakram yang mengandung konsentrasi

antibiotik tertentu ditekan ke permukaan pelat agar Mueller Hinton dan diinkubasi pada 35°C semalaman (18-24 jam). Setelah inkubasi, zona hambat pertumbuhan bakteri di sekitar setiap cakram diukur dan ditentukan kerentanannya.

2) Alat:

Inkubator, dispenser cakram atau pinset, pembakar bunsen, pensil penanda alat gelas, dan penggaris millimeter.

3) Bahan:

Larutan standar 0,5 McFarland, plate agar Mueller Hinton (pH 7,2- 7,4), air pepton, cakram kertas saring yang diresapi antibiotik dengan konsentrasi yang tepat, dan kapas bertangkai steril. Persiapan larutan standar 0,5 McFarland: Larutan A adalah dibuat dengan menambahkan barium klorida ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) menjadi 100 mL akuadest. Larutan B disiapkan dengan menambahkan 1 mL asam sulfat (H_2SO_4 (0,36N) ke 100 mL akuadest. Kemudian 0,5 mL larutan A ditambahkan ke 99,5 mL larutan B, diaduk rata dan didistribusikan dalam tabung reaksi dengan tutup ulir. Tutupnya tertutup rapat untuk menghindari penguapan. Campuran disimpan dalam gelap. Larutan dikocok dengan kuat sebelum digunakan.

4) Spesimen:

Persiapan suspensi bakteri: kira-kira, 4-5 koloni yang terisolasi dengan baik dari strain bakteri yang akan diuji diinokulasi ke dalam 5 mL air pepton, dan diinkubasi pada suhu 37 °C selama 3-4 jam. Kekakuan suspensi disesuaikan dengan cocok dengan standar 0,5 McFarland. Jika kepadatan lebih dari itu dapat diencerkan dengan larutan saline steril. Perbandingan dilakukan terhadap latar belakang putih dengan garis hitam kontras atau dengan spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm.

5) Prosedur:

a) Setelah standarisasi suspensi bakteri, rendam kapas steril di dalamnya dan putar kapas beberapa kali dengan tekanan kuat pada dinding bagian dalam tabung untuk melepaskan kelebihan cairan.

- b) Siapkan pelat agar Mueller Hinton (MH) (pH 7,2-7,4) dengan ketebalan 4mm.
- c) Inokulasi permukaan kering pelat agar MH dengan menggores swab tiga kali di seluruh permukaan agar. digoreskan dalam tiga arah dengan memutar pelat 60° setelah setiap goresan.
- d) Tempatkan cakram antibiotik yang sesuai pada permukaan agar- agar dengan menggunakan pinset steril, lalu tekan dengan lembut setiap cakram ke agar-agar. Jangan pindahkan cakram antibiotik setelah menyentuh agar karena beberapa antibiotik segera menyebar atau dengan menggunakan dispenser cakram, letakkan cakram- cakram antibiotik dengan meletakkan dispenser di atas permukaan agar dan menekan pompa dispenser sehingga cakram- cakram dikeluarkan secara bersamaan ke atas permukaan agar.. Cakram antibiotik harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga setidaknya dengan jarak 20 mm satu sama lainnya.
Catatan: 6 cakram antibiotik dapat dimasukkan ke dalam pelat 85 mm.
- e) Balikkan pelat dan inkubasi pada suhu 35°C - 37°C selama 16-18 jam.
- f) Observasi:
 - (1) Periksa plate agar MH untuk mengamati keberadaan dan ukuran zona penghambatan.
 - (2) Diameter zona hambat termasuk diameter cakram antibiotik diukur dengan menggunakan skala milimeter.
 - (3) Semua pengukuran dilakukan dengan mata telanjang, untuk menghindari pantulan cahaya bagian belakang cawan petri menggunakan latar belakang warna hitam.
 - (4) Ukur zona hambat untuk setiap antibiotik, selanjutnya bandingkan dengan Tabel 2 standar Kirby-Bauer dan interpretasikan zona hambat sebagai sensitif, intermediet atau resisten.

g) Interpretasi Hasil:

Setiap antibiotik menghasilkan ukuran zona spesifik (Gambar 1) untuk setiap bakteri uji, tergantung pada ukuran zona hambat, bakteri diklasifikasikan sebagai berikut:

- (1) Sensitif (S) : Infeksi dapat diobati dengan dosis normal antibiotik.
- (2) Intermediet(I) : Infeksi dapat merespon terapi dengan lebih\ dosis tinggi
- (3) Resisten (R) : Tidak merespons antibiotik seperti dosis biasanya.

b. Strain Kontrol:

S. aureus ATCC 25923, *E. coli* ATCC 25922, *E. faecalis* ATCC 29212, dan *P. aeruginosa* ATCC 27853 harus diuji secara berkala.

Tabel 1. Standar Kirby-Bauer

Standar Interpretasi Diameter Zona Hambat Untuk Bakteri Selain <i>Haemophilus</i> dan <i>Neisseria Gonorrhoeae</i>				
Sampel dan Mekanisme	Diameter Zona Hambat, Diukur dalam (mm)			
	Kandungan Cairan	Resisten	Intermediet	Sensitif
Amikasin				
Bila diuji dengan organisme aerobik Gram-negatif	10 µg	≤13	-	≥17
Bila diuji dengan <i>Staphylococcus</i>	10 µg	≤28	-	≥29
Bila diuji dengan <i>Enterococcus</i>	10 µg	≤16	-	-
Bila diuji dengan <i>Stenotrophomonas</i>	10 µg	≤21	-	≥30
Bila diuji dengan <i>Listeria monocytogenes</i>	10 µg	≤19	-	≥20
Karbamsilur				
Bila diuji dengan <i>Pseudomonas</i>	100 µg	≤13	-	≥17
Bila diuji dengan organisme Gram-negatif lain	100 µg	≤19	-	≥23
Sefoksitin	30 µg	≤14	-	≥18
Sefalotin	30 µg	≤14	-	≥18
Kloramfenikol	30 µg	≤12	15-17	≥18
Klindamisin	2 µg	≤14	15-20	≥21
Eritromisin	15 µg	≤13	14-22	≥23
Gentamisin	10 µg	≤12	15-14	≥15
Kanamisin	30 µg	≤13	14-17	≥18
Mertensin bila diuji dengan <i>Staphylococcus</i>	5 µg	≤9	10-13	≥14
Netilmisin	30 µg	≤17	18-21	≥22
Penisilin G	-	-	-	-
Bila diuji dengan <i>Staphylococcus</i>	10 unit	≤28	-	≥29

Bila diuji dengan <i>Enterococcus</i> ^a	10 unit	≤14	-	-
Bila diuji dengan <i>L. monocytogenes</i>	10 unit	≤19	-	≥20
Bila diuji dengan <i>Nonenterococcal streptococcus</i>	10 unit	≤19	-	≥28
Rifampin	5 µg	≤16	17-19	≥20
Streptomisin	10 µg	≤11	12-14	≥15
Tetrasiklin ^b	30 µg	≤14	15-18	≥19
Tobramisin ^c	10 µg	≤12	13-14	≥15
Trimetoprim/sulfametoksazol ^d	1,25/23,75 µg	≤10	-	≥16
Vankomisin				
Bila diuji dengan <i>Enterococcus</i>	30 µg	≤9	10-11	-
Bila diuji dengan organisme Gram-positif lain	30 µg	≤9	10-11	≥12
Senyawa anti mikroba khusus saluran kemih ^e				
Sulfonamida ^f	250 atau 300 µg	≤12	-	≥17
Trimetoprim ^g	5 µg	≤10	-	≥16



Gambar 1. Hasil Uji Sensitivitas Bakteri Metode Kirby Bauer.

c. Metode Joan- Stokes

yaitu dengan cara membandingkan radius zona hambatan yang terjadi antara bakteri kontrol yang sudah diketahui kepekaannya terhadap obat tersebut dengan isolat bakteri yang diuji. Pada cara ini, prosedur tes sensitivitas untuk bakteri

kontrol dan bakteri uji dilakukan bersama-sama dalam satu piring agar.

1) Prinsip:

Metode Stokes merupakan uji sensitivitas bakteri metode difusi cakram, serta metode lain yang digunakan untuk pengujian sensitivitas antibiotik rutin strain bakteri. Metode ini memanfaatkan kontrol bawaan terhadap banyak variabel dan karena itu memberikan hasil yang dapat diandalkan. Satu set strain standar digunakan sebagai strain kontrol tergantung pada bakteri yang akan diuji. Strain kontrol adalah *Escherichia coli* NCTC 10414 untuk menguji basil coliform dari saluran kemih. *Pseudomonas aeruginosa* NCTC 10662 melawan aminoglikosida. Dalam tes ini cakram antibiotik diterapkan antara standar dan uji inokulan, sehingga terbentuk zona hambat di sekitar masing-masing cakram terdiri dari bakteri standar dan uji. Difusi dari antibiotik terjadi dan dengan demikian kerentanan bakteri terhadap antibiotik diketahui dengan mengukur ukuran zona hambatan.

2) Alat:

Inkubator, dispenser cakram atau pinset, pembakar bunsen, pensil penanda alat gelas, dan penggaris millimeter.

3) Bahan:

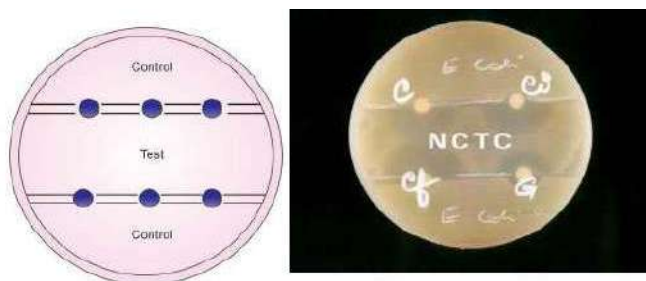
Larutan standar 0,5 McFarland, plate agar Mueller Hinton (pH 7,2- 7,4), air pepton, cakram kertas saring yang diserap antibiotik dengan konsentrasi yang tepat, dan kapas bertangkai steril.

4) Spesimen:

Persiapan suspensi bakteri: Kira-kira, 4-5 koloni yang diisolasi dengan baik dari strain bakteri yang akan diuji, selanjutnya dipindahkan ke kaldu Tryptic soy broth atau kaldu BHI. Kekeruhan suspensi disesuaikan agar sesuai dengan standar 0,5 McFarland.

5) Prosedur:

- a) Agar MH dikeringkan dengan tutup terbuka sehingga ada tidak ada tetesan uap air di permukaan. Tarik garis pada plate agar MH seperti Gambar 2.
- b) Kultur kontrol diinokulasi dalam di dua sisi dengan bantuan swab steril (Gambar 2).
- c) Organisme uji diinokulasi di bagian tengah tanpa menyentuh kedua sisi.
- d) Cakram antibiotik dipasang dengan forsep pada garis di antaranya organisme uji dan kontrol dan ditekan dengan lembut untuk memastikan antibiotik kontak dengan media. Jarak antara dua cakram minimum 2 cm. Empat disk bisa digunakan pada pelat bundar 85 mm.
- e) Untuk inokulasi, metode pelapisan berputar juga dapat digunakan dimana regangan kontrol diterapkan pada pinggiran luar dan regangan uji diterapkan di bagian tengah. Enam cakram dapat diletakkan di atas pelat bundar 85 mm.
- f) Pelat kemudian diinkubasi semalaman pada suhu 35°C – 37°C.
- g) Observasi:
Ukuran zona diukur dari tepi cakram ke tepi dari zona. Perbandingan zona hambat antara bakteri standar dan uji menunjukkan sensitivitas uji bakteri. Jika zona uji jelas lebih besar dari kontrol atau tidak memberikan zona hambatan sama sekali, tidak perlu melakukan pengukuran dengan skala milimeter.
- h) Interpretasi Hasil:
Setiap ukuran zona ditafsirkan sebagai berikut:
 - (1) Sensitif : Ukuran zona hambat sama dengan lebih lebar dari atau tidak lebih dari 3 mm lebih kecil dari kontrol.
 - (2) Intermediet : Ukuran zona lebih besar dari 2 mm, tetapi lebih kecil dari kontrol 3 mm.
 - (3) Resisten : Ukuran zona 2 mm atau kurang.



Gambar 2. Hasil Uji Sensitivitas Bakteri Metode Stokes.
Strain Kontrol: *S. aureus* NCTC 6571, *E. coli* NCTC 10414
dan *P. aeruginosa* NCTC 10662.

d. Metode Dilusi Cair Uji Sensitivitas Antibiotik

Uji sensitivitas bakteri metode dilusi merupakan metode kuantitatif untuk menentukan konsentrasi hambat minimum dari antibiotik terhadap bakteri yang akan diuji.

1) Prinsip

Uji sensitivitas antibiotik dilusi cair dikenal sebagai metode pengenceran tabung. Dalam metode ini, pengenceran serial dari antibiotik diambil dalam tabung reaksi dan suspensi standar bakteri diinokulasi. Setelah diinkubasi semalaman, MIC antibiotik ditentukan dengan mengamati konsentrasi terendah dari antibiotik yang menghambat pertumbuhan bakteri. *Minimum Bactericidal Concentration* (MBC) juga bisa diperkirakan dengan metode ini dengan subkultur dari yang konsentrasi antibiotic terendah yang dapat membunuh bakteri. . Media yang diinokulasi diinokulasi pada suhu 35-37°C selama 18-24 jam. dan diperiksa pertumbuhannya. MIC diambil sebagai yang terendah konsentrasi agen antimikroba yang benar-benar menghambat pertumbuhan.

2) Alat:

Water bath, tabung reaksi steril. pipet steril ukuran 10 mL, 5 mL, 2 mL dan 1 mL, tabung tertutup steril dan rak tabung reaksi.

3) Bahan:

Larutan standar 0,5 McFarland, Mueller Hinton cair steril, dan antibiotik bubuk.

4) Persiapan larutan stok antibiotik:

Pengenceran antibiotik dibuat menggunakan rumus sbb :

$$W = (1000 \times V \times C) / P$$

Dimana:

P = Potensi yang diberikan oleh pabrikan
V = Volume (mL) yang dibutuhkan

C = Konsentrasi akhir larutan (per mL)

W = Berat antimikroba yang akan dilarutkan

Mempersiapkan larutan stok yang mengandung 2000 µg/mL antibiotik yang akan diuji. Misalnya menimbang 200 mg bubuk antibiotik dilarutkan dalam 5 mL aquadest/pelarut yang sesuai. Campurkan 0,5 mL larutan tersebut dengan 9,5 mL aquadest (larutan stok mengandung antibiotik dengan kandungan 200 µg/mL-larutan A)

5) Prosedur:

a) Pengenceran serial antibiotik dalam Mueller Hinton cair steril dan disimpan dalam tabung reaksi.

b) Tabung terakhir dijaga bebas dari antibiotik dan berfungsi sebagai kontrol pertumbuhan.

c) Susun tabung reaksi di rak.

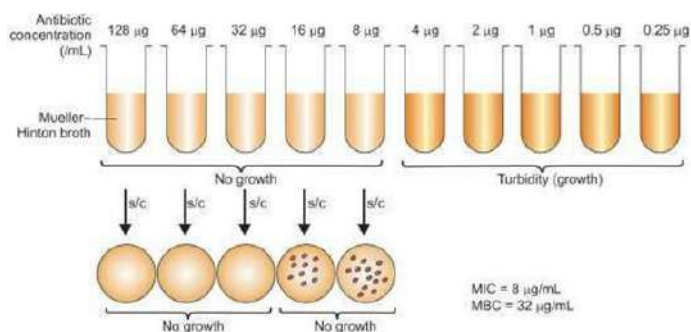
d) Suspensi standar dari mikroorganisme yang akan diuji diinokulasikan ke dalam tabung.

e) Tabung diinkubasi pada suhu 35-37°C selama 18 jam.

6) Observasi:

Pada akhir masa inkubasi, tabung diperiksa kekeruhannya. Kekeruhan menunjukkan bahwa

pertumbuhan bakteri belum dihambat oleh konsentrasi antibiotik yang ada dalam medium.



Gambar 3. Uji Sensitivitas Antibiotik metode *Dilution Cair*

7) Interpretasi Hasil:

MIC didefinisikan sebagai pengenceran tertinggi yang menghambat pertumbuhan dinilai dengan kurangnya kekeruhan di dalam tabung. Keuntungan utama dari pengenceran kaldu metode untuk penentuan MIC adalah bahwa hal itu dapat dengan mudah dikonversi untuk menentukan konsentrasi MBC juga. Pengenceran tertinggi menunjukkan setidaknya 99% penghambatan adalah diambil sebagai MBC. Tabung yang tidak menunjukkan pertumbuhan yang terlihat di subkultur media padat dan diinkubasi pada suhu 37°C semalam.

8) Strain Kontrol:

Staphylococcus aureus ATCC 25923, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853.

e. Antimicrobial Gradient

Cara ini dengan menggunakan satu jenis antibiotika dengan beberapa derajat konsentrasi yang diletakkan pada strip plastic, sering disebut *E-test*.

1) Prinsipnya

Hampir sama dengan cara Kirby Bauer, yaitu meletakkan strip pada Muller Hinton, kemudian diinkubasi

selama 12 jam dan dilakukan pengamatan adanya zona hambat E-test. Sebuah zona elips penghambatan pertumbuhan terlihat sekitar strip setelah inkubasi. MIC dibaca dari skala di persimpangan zona dengan strip yang sangat mudah untuk menafsirkan hasil MIC. Uji-E didasarkan pada prinsip difusi cakram di mana antibiotik berdifusi ke dalam media ketika strip ditempatkan media.

E-test adalah strip plastik (5 x 50 mm; pembawa antibiotik) dengan gradien berkelanjutan dari antibiotik yang diimobilisasi pada satu sisi dan skala interpretatif MIC sesuai dengan dua kali lipat pengenceran MIC di sisi lain. Antibiotik yang telah ditentukan sebelumnya gradien diimobilisasi pada permukaan yang berlawanan dengan skala MIC. Saat dipindahkan ke agar, gradien antibiotik terus menerus diberdirikan di bawah strip sehingga tetap stabil selama periode tertentu meliputi waktu kritis sebagian besar mikroorganisme yang terkena untuk uji kepekaan.

2) Alat:

Inkubator, dan pinset.

3) Bahan:

Strip E-test yang tersedia secara komersial, larutan standar 0,5 McFarland, swab steril, larutan saline 0,85% dan agar Mueller Hinton steril (150 atau 90 mm dengan kedalaman 4mm). Dalam pelat 90 mm, satu strip antibiotik dapat diuji dalam pelat 150 mm, setidaknya 4 strip antibiotik dapat diuji.

4) Spesimen

Persiapan suspensi bakteri: Inokulasi air pepton dengan bakteri uji dan inkubasi pada suhu 37 °C selama 3-4 jam. Kekeruhan suspensi disesuaikan dengan standar 0,5 McFarland.

5) Prosedur: Membuka paket E-test

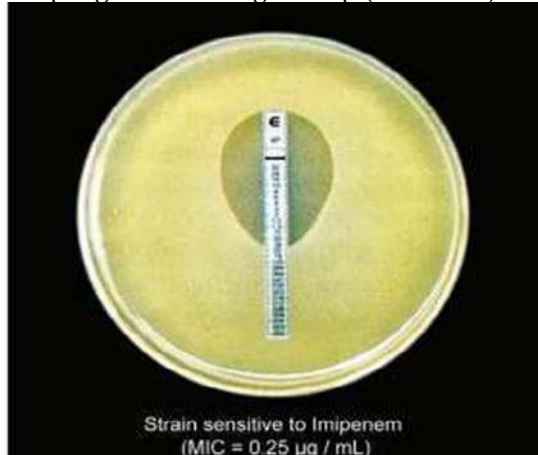
- a) Keluarkan kemasan yang disimpan pada suhu -20°C atau -70°C.
- b) Simpan pada suhu kamar, membutuhkan waktu sekitar 30 menit jika disimpan pada -20° C dan kira-kira satu jam

jika disimpan pada -70°C dan pastikan semua uap air telah menguap sebelum dibuka.

- c) Periksa kemasan apakah ada lubang atau retakan. Jangan gunakan jika rusak.
 - d) Potong sepanjang garis putus-putus di bagian atas.
 - e) Keluarkan strip sedikit dari bukaan dan keluarkan dengan pinset.
 - f) Jika setrip saling menempel, pelintir dengan jari.
 - g) Sentuh hanya gagangnya, yaitu area berlabel E.
 - h) Tempatkan strip yang akan digunakan ke dalam cawan petri yang bersih dan kering.
- 6) Pemeriksaan
- a) Gunakan strip E-test dengan pinset. Pastikan skala MIC menghadap ke atas yaitu ke arah bukaan plate.
 - b) Pastikan permukaan agar kering sebelum menginokulasi bakteri dengan swab. Celupkan swab di inokulum, buang kelebihan cairan dan swab seluruh permukaan agar secara merata dalam 3 arah.
 - c) Biarkan permukaan agar mengering selama 10 menit sampai 15 menit di meja kerja atau di inkubator.
 - d) Buka paket E-test dan letakkan strip di cawan petri kering.
 - e) Oleskan strip ke permukaan agar-agar dengan pinset. Selalu menerapkan strip dengan skala MIC menghadap pembukaan plate. Jangan menerapkannya terbalik.
 - f) Catatan: Bersikaplah tegas saat mengaplikasikan strip. Setelah diterapkan, jangan memindahkan strip.
 - g) Gunakan cetakan untuk memposisikan 4 hingga 6 strip pada pelat 150 mm atau satu hingga dua strip pada pelat 90 mm.
 - h) Tempatkan pegangan setrip paling dekat dengan tepi plate. Catatan: Selalu simpan strip yang tidak digunakan dalam wadah kedap udara di -20°C atau -70°C .
 - i) Inkubasi pada suhu 37°C selama 18-24 jam.

7) Observasi:

Setelah inkubasi zona elips penghambatan pertumbuhan terlihat di sekitar strip. MIC dibaca dari skala di persimpangan zona dengan strip (Gambar 4).



Gambar 4. *E-test*

8) Interpretasi Hasil:

Baca pelat setelah masa inkubasi yang disarankan hanya jika pertumbuhan yang cukup terlihat dan zona penghambatan jelas bisa dilihat. Baca MIC di mana elips memotong skala. Selalu baca titik akhir pada penghambatan lengkap semua pertumbuhan termasuk kabut dan koloni terisolasi. Karena E-test terdiri dari gradien kontinu, nilai MIC di antara pengenceran dua kali lipat dapat diperoleh. Selalu bulatkan nilai ini ke pengenceran dua kali lipat berikutnya sebelum interpretasi. Misalnya: Jika breakpoint ampicilin adalah diberikan sebagai S=1, I = 2, R=4 µg/mL, kemudian MIC uji-E sebesar 1,5 µg/mL dibulatkan menjadi 2 µg/mL dan kategorinya dilaporkan sebagai Intermediet (I)

9) Strain Kontrol:

Label kemasan untuk setiap antibiotik akan mencantumkan kinerja dan data reproduktibilitas.

- f. Short Automated Instrument Systems (SIAIA) FDA (Food and Drugs Administration).

Memperkenalkan dua sistem untuk tes sensitivitas yang lebih cepat dan akurat, yaitu MicroScan walk away dan Vitek systems utilize similar techniques. Sebuah penampang *microdilution* diberi bakteri dengan jumlah yang telah diketahui sebelumnya, kemudian beberapa antibiotika dapat diberikan pada penampang *microdilution*. Dalam 3 sampai 10 jam akan muncul pada software informasi mengenai reaksi, identifikasi bakteri dan pola resistensi antibiotika. Cara ini merupakan cara terbaru dan menggunakan teknologi tercepat. Berdasarkan metode Kirby Bauer, beberapa antibiotika menunjukkan diameter daerah hambatannya dengan menggunakan disk sensitivitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aniq,N.M.Ahmad, Dkk (2015). "Sistem Pakar Untuk Mendiagnosis Penyakit Infeksi Menggunakan Forward Chaining" Jurnal Itsmart Vol 4. No 1. Issn : 2301-7201 43
- Davis, W.W. & Stout, T.R. 1971. Disc Plate Methods of Microbiological Antibiotic Assay. Microbiology. 22(4):659-665. DOI: 0.1128/am.22.4.659-665.1971
- Dwijoseputro. (1990). Dasar-dasar mikrobiologi (Ed. Ke-11). Jakarta: Djambtan.
- <https://www.healthline.com/health/bacteria#types>
- Jawetz, E., Melnick, J. L., and Adelberg, E. A. (2000). Mikrobiologi Kedokteran, Buku 1 & Buku 2, Bagian Mikrobiologi Fakultas Kedokteran. Universitas Airlangga, Penerbit Salemba Medika. Jakarta.
- Kementerian Kesehatan, (2015), Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 8 Tahun 2015 tentang Program Pengendalian Resistansi Antimikroba Di Rumah Sakit, <https://peraturan.bpk.go.id/Details/114886/permenkes-no-8-tahun-2015>.
- Kementerian Kesehatan, (2021), Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2021 tentang Pedoman Penggunaan Antibiotik, Kementerian Kesehatan, 2021, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2021 tentang Pedoman Penggunaan Antibiotik, https://yankes.kemkes.go.id/unduh/fileunduh_1658480966_921055
- Mutschler Ernst. (1999). Dinamika Obat. ITB, Bandung.
- Ompusunggu, H. E. S, (2020), Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Perilaku Penggunaan Antibiotik Tanpa Resep Pada Mahasiswa/i Universitas HKBP Nommensen Medan, NJM, 5(2):48-52.
- Parija, S.C. (2006). *Textbook of Practical Microbiology*. New Delhi: Ahuja Publishers

- Patel, P. H., dan Hashmi, M. F., (2023), *Macrolides*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551495>
- Rozaldi, N.A. et al. (2024). Hubungan Pengetahuan terhadap Sikap terkait Penggunaan Antibiotik pada Mahasiswa Universitas Gadjah Mada. Universitas Gadjah Mada,. <http://etd.repository.ugm.ac.id>
- Setiawan Doni.(2023). Bakteriologi Untuk Mahasiswa Kesehatan. Penerbit. Masagena Mandiri Medica. Makasar
- Tietjen, Linda. (2004). Panduan Pencegahan Infeksi untuk Fasilitas Pelayanan Kesehatan Dengan Sumber Daya Terbatas. Yayasan Bina Pustaka Sarwono. Jakarta.
- Ullah, A., Kamal, Z., Ullah, G., dan Hussain, H., (2013), To Determine the Rational Use of Antibiotics: a Case Study Conducted at Medical Unit of Hayatabad Medical Complex, Peshawar, *International Journal of Research in Applied, Natural, and Social Sciences*, 1(2):61-68.
- Wahyutomo Ridha. (2009). Tes Sensitivitas Untuk Menentukan Resistensi Antibiotika. <http://www.tributememories.com>. Diakses 5 April 2012
- Wulandari, A., dan Rahmawardany, C. Y., (2022), Perilaku Penggunaan Antibiotik di Masyarakat, *Sainstech Farma Jurnal Ilmu Kefarmasian*, 15(1):9-16.

BIODATA PENULIS



Apt. Nina Irmayanti Harahap, S.Si, M.Si., lahir di Medan, pada tahun 1981. Menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Farmasi kemudian melanjutkan Pendidikan Program studi Profesi Apoteker dan studi Magister pada fakultas Farmasi di di Universitas Sumatera Utara. Sampai saat ini penulis bekerja sebagai Dosen di program studi sarjana farmasi dan institute Kesehatan Delihusada Delitua provinsi Sumatera Utara.

BAB 20

Bakteriologi Air

Apt, Fathul Jannah, S.Si., SpFRS

A. Pendahuluan

Kebutuhan air bersih dari waktu ke waktu semakin meningkat dengan pesat, sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk dan semakin meningkatnya kegiatan manusia sesuai dengan tuntutan kehidupan yang terus berkembang. Akibatnya pemenuhan kebutuhan air yang mutunya baik dan dalam jumlah yang mencukupi untuk berbagai keperluan dari waktu ke waktu dihadapkan pada permasalahan yang sangat mendasar yaitu belum dapat terpenuhinya kebutuhan air bersih khususnya air minum bagi masyarakat, yang memenuhi syarat – syarat kesehatan. Air menjadi masalah yang perlu mendapat perhatian yang seksama dan cermat. Untuk mendapatkan air yang baik, sesuai dengan standar tertentu, saat ini menjadi barang yang mahal karena air sudah banyak tercemar oleh bermacam – macam limbah hasil kegiatan manusia, baik limbah dari kegiatan rumah tangga, limbah kegiatan industri dan kegiatan lainnya (Wardhana, 1995).

Air sangat diperlukan oleh tubuh manusia seperti halnya udara dan makanan. Air di dalam tubuh manusia, berkisar antara 50-70% dari berat badannya. Untuk orang dewasa memerlukan air 1,5 liter setiap hari. Pentingnya air bagi kesehatan dapat dilihat dari jumlah air yang ada dalam organ, seperti 80% dari darah adalah air, kehilangan 15% dari berat badan dapat mengakibatkan kematian (Irianto, 2006).

Hampir setengah penduduk dunia yang seluruhnya tinggal di negara berkembang menderita penyakit yang

diakibatkan oleh kekurangan air atau oleh air tercemar. Menurut WHO (Nuryahya 2011) 2 (dua) miliar penduduk dunia saat ini menyandang resiko menderita penyakit diare yang disebabkan oleh air dan makanan. Penyakit ini merupakan penyebab utama kematian lebih dari 5 (lima) juta anak-anak setiap tahun.

Di Indonesia penduduk pedesaan yang menggunakan air bersih baru mencapai 67,3%. Dari angka tersebut hanya separuhnya (51,4 %) yang memenuhi syarat bakteriologis, sedangkan penduduk yang menggunakan jamban sehat hanya 54 %. Itulah sebabnya penyakit diare sebagai salah satu penyakit yang ditularkan melalui air masih merupakan masalah kesehatan dengan angka kesakitan 374 per 1000 penduduk. Selain itu diare merupakan penyebab kematian nomor 2 pada balita dan nomor 3 bagi bayi serta nomor 5 bagi semua golongan umur. Penyakit diare merupakan penyakit yang menempati urutan ke – 3 dari 10 penyakit menonjol di Indonesia (Sutrisno dkk, 2004).

Air merupakan kebutuhan dasar yang keberadaanya dijamin oleh konstitusi yaitu pasal 33 UUD 1945 ayat 3, yang berbunyi “Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung didalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar- besarnya untuk kemakmuran rakyat”. Oleh karena itu, sumber daya air harus di lindungi agar dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia dan mahluk hidup lainnya. Disamping itu juga air menjadi perantara penular penyakit (Razif, 1985).

B. Air

Air merupakan zat yang penting dalam kehidupan setelah udara. Sekitar tiga per empat bagian dari tubuh kita terdiri dari air dan tidak seorang pun dapat bertahan hidup lebih dari 4-5 hari tanpa minum air. Selain itu, air juga dipergunakan untuk memasak, mencuci, mandi dan membersihkan kotoran yang ada di sekitar rumah. Air juga digunakan untuk keperluan industri, pertanian, pemadam kebakaran, tempat rekreasi, transportasi, dan lain-lain.

Penyakit-penyakit yang menyerang manusia dapat juga ditularkan dan disebarkan melalui air. Kondisi tersebut tentunya dapat menimbulkan wabah penyakit dimana-mana (Chandra, 2006).

1. Sumber Air

Untuk memenuhi kebutuhan manusia, air dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti air hujan (*rain water*), air permukaan (*surface water*), air tanah (*ground water*), dan air laut (*sea water*). Air tersebut tidak dapat langsung dimanfaatkan karena tercampur dengan pengotor- pengotor tertentu yang berasal dari bermacam-macam sumber pengotor misalnya industri, rumah tangga, pertanian, dan lain-lain.

Air yang diperuntukkan bagi konsumsi manusia harus berasal dari sumber yang bersih dan aman. Batasan-batasan sumber air yang bersih dan aman tersebut, antara lain:

- a. Tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau
- b. Bebas dari substansi kimia yang berbahaya dan beracun
- c. Bebas dari kontaminasi kuman atau bibit penyakit.
- d. Dapat dipergunakan untuk mencukupi kebutuhan domestic dan rumah tangga.
- e. Memenuhi standar minimal yang ditentukan oleh WHO dan Departemen Kesehatan RI.

Air dinyatakan tercemar bila mengandung bibit penyakit, parasit, bahan-bahan kimia yang berbahaya, dan sampah atau limbah industri (Suri, 2019).

a. Air Minum

1) Pengertian Air Minum

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum. Air minum aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi dan radioaktif yang dimuat dalam parameter wajib dan parameter tambahan. Air

minum diperoleh melalui sistem jaringan perpipaan; jaringan nonperpipaan yaitu air minum yang berasal dari sumur dangkal, sumur pompa tangan, bak penampungan air hujan, terminal air, mobil tanki air, atau bangunan/perlindungan mata air; air minum dalam kemasan (AMDK) maupun air minum isi ulang (Cecillia Sri R, dkk 2013).

2) Syarat - Syarat Air Minum

Air yang memenuhi persyaratan kualitas air minum berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/ MENKES/PER/IV/2010, secara garis besar dapat digolongkan dengan empat syarat :

a) Syarat Fisik

Air minum yang dikonsumsi sebaiknya tidak berasa, tidak berbau, tidak berwarna (maksimal 15 TCU), tidak keruh (maksimal 5 NTU), dan suhu udara maksimal $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dari udara sekitar.

b) Syarat Kimia

Air minum yang akan dikonsumsi tidak mengandung zat - zat organik dan anorganik melebihi standar yang ditetapkan, pH pada batas maksimum dan minimum (6,5 – 8,5) dan tidak mengandung zat kimia beracun sehingga menimbulkan gangguan kesehatan.

c) Syarat Bakteriologis

Air minum yang aman harus terhindar dari kemungkinan kontaminasi bakteri *coliform* dan *Escherichia coli* tinja dengan standar 0 dalam 100 ml air minum. Keberadaan *coliform* dan *E. coli* dalam air minum merupakan indikasi telah terjadinya kontaminasi tinja manusia. *Coliform* adalah jenis bakteri anaerob yang tumbuh dengan optimal pada suhu 37°C (Widowati, 2006). *Escherichia coli* adalah bakteri yang banyak ditemukan di dalam usus besar

manusia dan hewan sebagai flora normal. Sifatnya unik karena dapat menyebabkan infeksi primer pada usus manusia, seperti juga kemampuannya menimbulkan infeksi pada jaringan tubuh lain diluar usus. *Escherichia coli* tumbuh baik pada hampir semua media yang biasanya dipakai di laboratorium mikrobiologi untuk isolasi kuman enteric *Escherichia coli* digunakan sebagai indikator layak tidaknya air minum (Deepesh, et al. 2013). Contoh bakteri patogen yang mungkin saja hadir dalam minuman yang terkontaminasi kotoran manusia dan hewan berdarah panas adalah *E. coli*.

E. coli merupakan mikroba yang menyebabkan gejala diare, demam, kram perut dan muntah (Nisaa, 2020).

d) Syarat Radioaktif

Air minum yang akan dikonsumsi hendaknya terhindar dari kemungkinan terkontaminasi radiasi radioaktif melebihi batas maksimal yang diperkenankan.

Berdasarkan Arthur (2009), salah satu pendekatan untuk numerasi bakteri hidup adalah dengan metode *Most Probable Number* (MPN). MPN didasarkan pada metode statistik (teori kemungkinan). Menurut Rizki dkk (2013), prinsip pengujian MPN yakni pengenceran sampel hingga tingkat tertentu sehingga mendapatkan konsentrasi mikroorganisme yang sesuai. Apabila mikroorganisme ditumbuhkan dalam tabung Durham akan menunjukkan hasil positif dengan pembentukan gas.

b. Pemeriksaan Bakteriologi Air Metode MPN (Most Probable Number)

Most Probable Number (MPN) adalah suatu metode numerasi mikroorganisme yang menggunakan data dari hasil pertumbuhan mikroorganisme pada medium spesifik cair. Prinsip utama dari metode ini adalah mengencerkan sampel sampai tingkat tertentu sehingga memperoleh konsentrasi mikroorganisme yang pas atau sesuai, dan jika ditanam dalam tabung menghasilkan frekuensi pertumbuhan tabung positif, kadang-kadang tapi tidak selalu. Semakin besar jumlah sampel yang dimasukkan (semakin rendah pengenceran yang dilakukan) maka semakin sering muncul tabung positif. Semakin kecil jumlah sampel yang dimasukkan (semakin tinggi pengenceran yang dilakukan) maka semakin jarang tabung positif yang akan muncul.

Metode MPN terbagi menjadi Ragam 1 dan Ragam 2. Dimana ragam 2 terdiri atas 9 tabung dan 15 tabung, sementara ragam 1 terdiri atas 7 tabung. Pemilihan ragam ini tergantung pada jenis sampel yang akan diuji berdasarkan tingkat kerapatan bakteri dalam sampel tersebut. Untuk sampel air yang sudah diolah seperti air minum menggunakan ragam 1 karena diperkirakan kerapatan bakterinya rendah. Sedangkan untuk sampel air yang belum diolah seperti air sungai atau kolam air menggunakan ragam 2 dengan 9 tabung atau 15 tabung karena perkiraan kerapatan bakterinya tinggi.

Dalam metode MPN untuk air minum ada tiga tahap pemeriksaan

1) Uji Pendahuluan (*Presumptive Test*)

Pemeriksaan pada uji pendahuluan dengan menginokulasi pada media Lactose Broth dilihat tidak ada pembentukan gas dalam tabung durham setelah di inkubasi selama 24 – 48 jam pada suhu 35°C – 37°C. Bila terdapat pembentukan tabung gas durham maka tes air minum dilanjutkan uji penegasan sesuai Keputusan Menteri Kesehatan RI

No. : 907/MenKes/SK/VII /2002. Bila setelah 48 jam tidak terbentuk gas, hasil dinyatakan negatif dan tidak perlu melakukan penegasan.

2) Uji Penegasan (Confirmatif Tes)

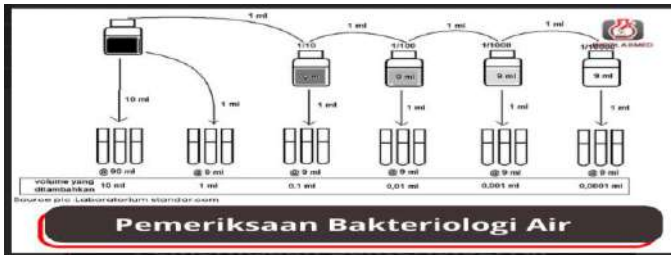
Tabung positif yang didapatkan dari uji penduga dilanjutkan dengan uji penegas. Sampel positif yang menunjukkan gas diinokulasi pada media *Brilian Green Lactose Broth*, kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 48 jam. Media ini dapat menghambat pertumbuhan bakteri Gram positif dan menggiatkan pertumbuhan bakteri gram negatif termasuk *Coliform* karena komposisi media yang mengandung laktosa dan garam empedu inilah yang dapat mengedarkan dan mendorong bakteri-bakteri *Coliform* untuk tumbuh secara optimal. Ada atau tidaknya bakteri *Coliform* ditandai dengan terbentuknya asam dan gas yang disebabkan karena alergi laktosa oleh bakteri golongan *coli*. *Coliform* merupakan suatu kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya polusi kotoran dan kondisi yang tidak baik terhadap udara. Adanya bakteri *Coliform* di dalam makanan dan minuman menunjukkan adanya mikroba yang bersifat enteropatogenik atau toksigenik yang berbahaya bagi kesehatan.

3) Uji Pelengkap (Tes Lengkap)

Uji pelengkap dilakukan dengan menginokulasikan koloni bakteri pada medium agar dengan cara digoreskan dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 35°C. agar yang digunakan adalah endo agar dan Eosin Metil Blue (EMB). Pembenihan pada media agar ini mengakibatkan media agar menjadi berwarna ungu tua dengan kemilau tembaga metalik dan membentuk koloni dengan pusat gelap

Interpretasi Hasil

- a) Positif (+) : Jika kekeruhan pada media dan terbentuk gas pada tabung durham
- b) Negatif (-) : hanya terjadi kekeruhan dan tanpa gas.



c. Penyakit Akibat Bakteriologi Air Minum

1) Infeksi saluran kemih

E. coli merupakan penyebab infeksi saluran kemih pada kira-kira 90% wanita muda. Gejala dan tanda-tandanya antara lain sering kencing, disuria, hematuria, dan piuria. Nyeri pinggang berhubungan dengan infeksi saluran kemih bagian atas

2) Diare

E. coli yang menyebabkan diare banyak ditemukan di seluruh dunia. *E. coli* diklasifikasikan oleh ciri khas sifat-sifat virulensinya, dan setiap kelompok menimbulkan penyakit melalui mekanisme yang berbeda.

Escherichia coli hubungkan dengan tipe penyakit usus (diare) pada manusia, dapat dikelompokkan menjadi (Melliawati, 2009)

a) *E. coli* Enteropatogenik (EPEC)

EPEC penyebab penting diare pada bayi, khususnya di negara berkembang. *EPEC* sebelumnya dikaitkan dengan wabah diare pada anak-anak di negara maju. *EPEC* melekat pada sel mukosa usus kecil.

b) *E. coli* Enterotoksigenik (ETEC)

ETEC penyebab yang sering dari “diare wisatawan” dan penyebab diare pada bayi di negara berkembang. Faktor kolonisasi ETEC yang spesifik untuk manusia menimbulkan pelekatan ETEC pada sel epitel usus kecil.

c) *E. coli* Enteroinvasif (EIEC)

EIEC menimbulkan penyakit yang sangat mirip dengan shigelosis. Penyakit yang paling sering pada anak-anak di negara berkembang dan para wisatawan yang menuju negara tersebut. Galur EIEC bersifat non-laktosa atau melakukan fermentasi laktosa dengan lambat serta bersifat tidak dapat bergerak. EIEC menimbulkan penyakit melalui invasinya ke sel epitel mukosa usus.

d) *E. coli* Enterohemoragik (EHEC)

EHEC menghasilkan erotoksin, dinamai sesuai efek sitotoksiknya pada sel Vero, suatu ginjal dari monyet hijau Afrika.

e) *E. coli* Enteroagregatif (EAEC)

EAEC menyebabkan diare akut dan kronik pada masyarakat di negara berkembang.

3) Sepsis

Bila pertahanan inang normal tidak mencukupi, *E. coli* dapat memasuki aliran darah dan menyebabkan sepsis.

4) Meningitis

E. coli dan *Streptokokus* adalah penyebab utama meningitis pada bayi. *E. coli* merupakan penyebab pada sekitar 40% kasus meningitis neonatal.

DAFTAR PUSTAKA

- Arthur, Sutikno. 2009. Cara Menghitung Nilai MPN Uji *Coliform*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Cecillia Sri R, dkk. Faktor Resiko Pencemaran Mikrobiologi pada Air Minum Isi Ulang di Kabupaten Tegal. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, Vol 12 No.1 / April 2013.
- Chandra, Budiman. 2006. Pengantar Kesehatan Lingkungan. Jakarta: EGC
- Deepesh, K., Shurutikirti, M., & Madan, M. 2013. Bacteriological Analysis of Drinking Water by MPN Method in a Tertiary Care Hospital and Adjoining Area Western Up, India. *Journal of Environmental Science, Toxicology And Food Technology*, Vol 4(3): 17-22.
- <https://laboratoriumstandard.com/2019/04/19/pemilihan-jumlah-seri-tabung-mpn/>
- Irianrto, K. 2006. Mikrobiologi Menguak Dunia Mikroorganisme. Edisi pertama
- Melliawati. 2009. *Escherichia coli* Di Dalam Kehidupan manusia. *Skripsi*, Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Nisaa, R. Khairun, L. Soedjoto, dan B. Kunsah. 2020. Calculation of Coliform Number Using Most Probable Number (MPN) Methods On Soy Milk Sold in Pogot Area of Surabaya. *Journal of SCRTE*, Vol. 4(1)
- Nuryahya, A. 2011. Sumber Daya Air Dan Kesejahteraan Publik. PT Penerbit IPB Press Taman Kencana Bogor.
- Peraturan Menteri Kesehatan R.I No: 416/MENKES/PER/IX/1990, Syarat-syarat Dan Pengawasan Kualitas Air, Menteri Kesehatan RI, Jakarta, 1990
- Permenkes RI, 2010. Peraturan Menteri Kesehatan No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air minum. Jakarta : Departemen Kesehatan RI
- Razif, M. (1985). Perencanaan bangunan dan Sistem Pengolahan Air Minum. Diktat PBSPAM Jilid I Surabaya.
- Rizki, Zuriani, Mudatsir, dan Samingan. 2013. Perbandingan Metode Tabung Ganda dan Membran Filter Terhadap

- Kandungan *Escherichia coli* pada Air Minum Isi Ulang. Jurnal Kedokteran Syiah Kuala Vol. 13 (1).
- Sunarti Rn. Uji Kualitas Air Minum Isi Ulang Disekitar Kampus Uin Raden Fatah Palembang. *Bioilmi J Pendidik*. 2016;2(1):40-50. Doi:10.19109/Bioilmi.V2i1.1116
- SURI, P. M. (2019). Analisa Kadar Klorin pada Air Kolam Renang Deli di Kota Medan. *Skripsi*, 11(1), 1-14.
- <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484>
- _SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTAR I
- Sutrisno, C.T & Sucianti, E. (2004). Teknologi Penyediaan Air bersih. PT Rineka Cipta Jakarta.
- Wardhana, A.W. (1995). Dampak Pencemaran Lingkungan. Andi Jokjakarta
- Widowati, 2006. Ekstraksi Karakterisasi Prebiotik Insulin. *Jurnal Teknologi Mutu Pangan*. Vol 3(1):58-63

BIODATA PENULIS



Apt. Fathul Jannah, S.Si, SpFRS. lahir di Medan, pada 9 Desember 1974. Menyelesaikan pendidikan S1 dan profesi Apoteker di FMIPA Universitas Sumatera Utara dan Spesialis Farmasi Rumah Sakit (SpFRS) di Fakultas Farmasi Universitas Airlangga, Surabaya. Sampai saat ini penulis sebagai Dosen di Prodi Farmasi, Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas Sains Cut Nyak Dien, Langsa, Aceh.

BAB 21

Bakteriologi Makanan dan Minuman

drh. Ade Meliala, M.Si

A. Pendahuluan

Keberadaan bakteri dalam makanan dan minuman tidak hanya memengaruhi kualitas pangan, tetapi juga mencerminkan hubungan kompleks antara manusia, mikroba, dan lingkungan. Peran bakteri dalam ekosistem pangan meliputi proses biologis yang menguntungkan seperti fermentasi, tetapi juga mencakup risiko sebagai agen kontaminasi dan patogen. Dengan kemajuan di bidang bioteknologi, ekologi mikroba, dan ilmu sosial, pendekatan terhadap bakteriologi makanan dan minuman kini mencakup faktor sosial seperti perilaku manusia dan kebijakan pangan, yang memengaruhi pengelolaan mikroba secara keseluruhan (Marco et al., 2017).

Tantangan global seperti perubahan iklim, urbanisasi, dan globalisasi rantai pasok pangan semakin mempersulit pengelolaan keamanan pangan. Perubahan iklim mengubah distribusi bakteri patogen, menciptakan kondisi baru yang mendukung pertumbuhan mikroba berbahaya. Urbanisasi meningkatkan konsumsi makanan olahan, sedangkan globalisasi memfasilitasi penyebaran patogen lintas wilayah. Dengan latar belakang tersebut kebijakan pangan yang efektif dan edukasi masyarakat tentang risiko serta mitigasi menjadi kebijakan kunci untuk menjaga keamanan pangan secara global (Kirk et al., 2015).

Penyelesaian masalah ini membutuhkan pendekatan dari berbagai disiplin ilmu untuk mengatasi tantangan ini.

Bioteknologi menawarkan solusi seperti deteksi patogen berbasis molekuler dan teknologi fermentasi terkini. Ekologi mikroba membantu memahami interaksi mikroorganisme dalam sistem pangan, sedangkan ilmu sosial memberikan wawasan tentang bagaimana perilaku manusia dan kebijakan membentuk pola pengelolaan pangan. Dengan menggabungkan pendekatan ini, sistem pangan yang lebih aman dan berkelanjutan dapat tercapai (FAO, 2021).

B. Keamanan Pangan dan Kesehatan Masyarakat

Keamanan pangan adalah isu global yang sangat memengaruhi kesehatan masyarakat karena makanan dan minuman merupakan kebutuhan dasar yang dikonsumsi setiap hari. Kontaminasi makanan oleh bakteri patogen seperti *Salmonella*, *Escherichia coli*, dan *Listeria monocytogenes* dapat menyebabkan penyakit bawaan makanan yang serius, terutama pada kelompok rentan seperti anak-anak dan lansia (Scallan et al., 2011). Sebagai akibatnya, keamanan pangan menjadi tanggung jawab bersama yang mendukung kesehatan masyarakat di tingkat lokal dan global.



Gambar 1. Ilustrasi Produksi Makanan yang tidak higienis berpotensi menimbulkan foodborne disease.

Kontaminasi dapat terjadi pada berbagai tahap rantai pasok makanan, mulai dari produksi hingga konsumsi. Faktor seperti bahan baku yang tercemar, distribusi yang tidak higienis, atau praktik pengolahan makanan yang buruk dapat

meningkatkan risiko infeksi. Gejala yang diakibatkan, seperti diare, demam, hingga komplikasi serius seperti gagal ginjal, menekankan pentingnya pengelolaan yang baik terhadap risiko ini (Gould et al., 2013).

Langkah efektif dalam menurunkan risiko penyakit bawaan makanan adalah melalui kombinasi pengawasan yang optimal dan edukasi kepada masyarakat. Pengawasan ketat pada setiap tahap rantai pasok, penerapan standar kebersihan, serta pemantauan mikrobiologi diperlukan untuk mengidentifikasi dan mencegah kontaminasi sejak dini. Edukasi masyarakat tentang praktik pengolahan makanan yang aman, seperti mencuci tangan dan memasak hingga matang, juga sangat penting untuk meningkatkan kesadaran akan keamanan pangan (CDC, 2018).

C. Keseimbangan Manfaat dan Risiko Bakteri dalam Sistem Pangan

Bakteri dalam sistem pangan memiliki peran ganda sebagai ancaman dan agen yang bermanfaat. Bakteri patogen seperti *Salmonella*, *Escherichia coli*, dan *Listeria monocytogenes* dapat mencemari makanan dan menyebabkan penyakit serius pada manusia (Scallan et al., 2011). Namun, bakteri juga memainkan peran penting dalam fermentasi pangan, seperti pada pembuatan yoghurt dan keju, yang tidak hanya meningkatkan cita rasa tetapi juga memberikan manfaat kesehatan seperti mendukung fungsi saluran pencernaan (Marco et al., 2017).

Mekanisme kerja bakteri patogen melibatkan kemampuan menempel pada makanan atau peralatan, berkembang biak, dan menghasilkan toksin yang berbahaya. Misalnya, *E. coli* dapat menghasilkan toksin Shiga yang memicu komplikasi serius seperti sindrom hemolitik-uremik. Teknologi modern, seperti analisis molekuler, membantu mendeteksi patogen lebih cepat, sehingga risiko infeksi dapat diminimalkan melalui pengelolaan yang lebih efektif (Scallan et al., 2011).

Sebaliknya, pemanfaatan bakteri bermanfaat menawarkan peluang untuk menciptakan pangan yang lebih

aman dan berkelanjutan. Probiotik dapat meningkatkan kesehatan manusia, sementara bioteknologi memungkinkan pengembangan mikroba untuk menghambat pertumbuhan patogen. Meski demikian, tantangan seperti resistensi bakteri terhadap antimikroba tetap harus diatasi melalui pendekatan yang berkelanjutan dan kolaborasi antarbidang ilmu (Marco et al., 2017).

D. Bakteri Patogen dalam Bahan Makanan Asal Hewan, Tumbuhan, dan Minuman

Makanan asal hewan merupakan sumber utama bakteri patogen seperti *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* O157:H7, dan *Listeria monocytogenes*, yang sering ditemukan pada daging mentah, unggas, dan produk susu. Kontaminasi dapat terjadi selama penyembelihan, pengolahan, atau pada produk susu yang tidak dipasteurisasi. Bakteri ini dapat bertahan pada suhu rendah, sehingga produk hewani tetap rentan selama penyimpanan dingin. Ikan dan produk laut juga berisiko, terutama jika terkontaminasi oleh *Vibrio parahaemolyticus* atau *Clostridium botulinum* (Jay et al., 2005).

Bahan makanan asal tumbuhan, seperti sayuran hijau dan buah-buahan mentah, juga rentan terhadap patogen seperti *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella spp.*, dan *Shigella spp.* Kontaminasi biasanya disebabkan oleh air irigasi yang tercemar atau penggunaan pupuk organik yang tidak matang. Beberapa produk seperti melon, bayam, dan tomat telah dilaporkan menjadi sumber wabah. Selain itu, *Clostridium botulinum* dapat berkembang dalam kondisi anaerob, seperti pada sayuran kalengan yang diproses buruk. Minuman seperti air yang tidak diolah dan jus buah mentah juga rentan terhadap kontaminasi mikroba, termasuk *Listeria monocytogenes* dan *Mycobacterium bovis* (Franz & van Bruggen, 2008).



Gambar 2. Ilustrasi cemaran bakteri pada makanan kaleng

Keberadaan bakteri patogen dalam makanan dan minuman berdampak besar pada kesehatan masyarakat, menyebabkan gejala mulai dari diare hingga komplikasi serius seperti sindrom uremik hemolitik (HUS) (Scallan et al., 2011). Pencegahan kontaminasi memerlukan pengendalian mikrobiologi yang ketat, termasuk pasteurisasi, sanitasi, penerapan rantai dingin, dan edukasi konsumen tentang kebersihan. Dengan pengelolaan yang tepat, risiko kesehatan akibat bakteri patogen dalam makanan dan minuman dapat diminimalkan.

Tabel 1. Bakteri Patogen Berdasarkan Kategori Makanan Segar dan Olahan

Kategori Makanan/Minuman	Bakteri Patogen	Contoh Makanan/Minuman	Gejala Yang ditimbulkan
Makanan Asal Hewan (Segar)	Salmonell, spp	Daging unggas	Diare, demam, kram perut
Makanan asal hewan (segar)	E. coli O157:H7	Daging sapi mentah	Diare berdarah, HUS
Makanan asal hewan (olahan)	Listeria monocytogenes	Sosis, daging kalengan, susu pasteurisasi	Meningitis, sepsis
Makanan asal tumbuhan (segar)	E. coli O157:H7	Bayam, Tomat	Diare berdarah, HUS
Makanan asal tumbuhan (segar)	Salmonella, spp	Melon, sayuran mentah	Diare, demam

Makanan asal tumbuhan (olahan)	Clostridium botulinum	Sayuran kalengan	Keracunan saraf, kelumpuhan
Minuman segar	Vibrio cholerae	Air tercemar	Diare berat, dehidrasi
Minuman olahan	Listeria monocytogenes	Jus buah pasteurisasi	Meningitis, sepsis

E. Sumber Kontaminasi Bakteri Pada Makanan dan Minuman

Sumber kontaminasi mikroorganisme dalam rantai produksi makanan menjadi isu utama dalam keamanan pangan. Salah satu faktor penting adalah pembentukan biofilm, yaitu komunitas mikroorganisme yang melekat pada permukaan dan dilindungi oleh matriks ekstraseluler. Biofilm sering ditemukan pada peralatan produksi makanan, saluran air, dan permukaan kerja, membuatnya lebih sulit dibersihkan. Mikroorganisme seperti *Listeria monocytogenes* dan *Salmonella spp.* dalam biofilm memiliki ketahanan tinggi terhadap desinfeksi dan mampu mentransfer gen resistansi, meningkatkan risiko penyakit bawaan makanan (Bridier et al., 2015).



Gambar 3. Ilustrasi Potensi Cemar Bakteri Pada Produksi Makanan dan Minuman

Interaksi mikroorganisme dengan bahan pengemasan juga menjadi perhatian. Plastik seperti polietilena dapat

mendukung pembentukan biofilm, terutama jika terdapat residu makanan. Untuk mengatasi ini, teknologi pengemasan aktif seperti kemasan berbasis nano dan senyawa antimikroba alami, seperti minyak esensial, mulai dikembangkan. Pendekatan ini terbukti efektif dalam mengurangi pertumbuhan patogen pada produk makanan segar (Silva et al., 2018).

Produk pangan organik dan non-organik memiliki risiko kontaminasi yang berbeda. Produk organik lebih rentan terhadap mikroorganisme seperti *E. coli* O157:H7 dan *Salmonella* akibat penggunaan pupuk kandang, sementara residu pestisida pada produk non-organik dapat memengaruhi mikrobiota alami. Pengawasan yang ketat, penerapan sanitasi yang lebih baik, dan teknologi baru diperlukan untuk memastikan keamanan pangan yang berkelanjutan (Franz & van Bruggen, 2008).

F. Penyakit Bawaan Makanan (*Foodborne Diseases*)

Penyakit bawaan makanan (*foodborne diseases*) adalah masalah kesehatan global yang memengaruhi jutaan orang setiap tahun. Mikrobioma usus, kumpulan mikroorganisme di saluran pencernaan, memainkan peran penting dalam mengurangi risiko infeksi patogen seperti *Salmonella*, *Escherichia coli*, dan *Listeria monocytogenes*. Mikrobiota yang sehat dapat melindungi tubuh melalui mekanisme seperti kompetisi nutrisi, penguatan penghalang mukosa, dan produksi asam lemak rantai pendek (SCFAs) yang bersifat antimikroba. Namun, ketidakseimbangan mikrobiota (disbiosis) sering dikaitkan dengan peningkatan kerentanan terhadap infeksi (Pickard et al., 2017).

Prevalensi penyakit bawaan makanan bervariasi secara geografis, dengan angka lebih tinggi di negara berkembang karena kurangnya akses air bersih, sanitasi buruk, dan lemahnya pengawasan keamanan pangan (WHO, 2015). Di Afrika sub-Sahara, misalnya, *Salmonella* sering menyebabkan infeksi akibat suhu tinggi dan minimnya fasilitas pendinginan. Di negara maju, tantangan utama adalah wabah dari makanan

segar seperti insiden *E. coli* O157:H7 di Amerika Serikat yang disebabkan oleh konsumsi sayuran hijau terkontaminasi (Kirk et al., 2015; CDC, 2020).

Penelitian terbaru menunjukkan mekanisme baru patogenisitas mikroorganisme makanan. *Listeria monocytogenes* dapat melintasi penghalang darah-otak dan plasenta melalui interaksi protein internalin, sementara *Salmonella enterica* menggunakan sistem sekresi tipe III (T3SS) untuk memanipulasi fungsi sel inang. Pemahaman ini penting untuk mengembangkan strategi pencegahan dan pengobatan yang lebih efektif. Tantangan global seperti perubahan iklim dan urbanisasi memerlukan pendekatan multidisiplin, teknologi diagnostik berbasis molekuler, dan penguatan pengawasan keamanan pangan untuk mengurangi beban penyakit ini di masa depan (Jennings et al., 2017).

G. Fermentasi dan Aplikasinya

Fermentasi telah menjadi bagian penting dari produksi makanan selama ribuan tahun untuk meningkatkan cita rasa, tekstur, dan masa simpan. Inovasi terbaru mencakup penggunaan kultur mikroba adaptif, mikroorganisme yang dimodifikasi untuk meningkatkan efisiensi dan konsistensi produk. Sebagai contoh, *Lactobacillus plantarum* yang direkayasa mampu beradaptasi dalam kadar garam rendah, menghasilkan metabolit seperti asam laktat yang memperkuat rasa, sekaligus mencegah kontaminasi mikroorganisme yang tidak diinginkan (Li et al., 2020).



Gambar 4. Ilustrasi Proses Fermentasi Dadih secara tradisional

Fermentasi sinbiotik, yang menggabungkan probiotik dan prebiotik, menjadi inovasi lain yang menarik. Kombinasi ini tidak hanya meningkatkan nilai gizi tetapi juga mendukung kesehatan usus dan fungsi imun. Probiotik seperti *Bifidobacterium* dan *Lactobacillus* bersama prebiotik seperti inulin mampu meningkatkan senyawa bioaktif seperti SCFA (short-chain fatty acids), yang bermanfaat dalam mengendalikan inflamasi dan metabolisme lipid. Produk seperti yogurt sinbiotik dan minuman berbasis tanaman semakin populer karena manfaat kesehatannya (Markowiak & Ślizewska, 2017).

Fermentasi juga memainkan peran penting dalam pengembangan makanan berbasis protein alternatif, seperti daging nabati. Mikroorganisme seperti *Rhizopus oligosporus* pada tempe mampu meningkatkan kandungan protein, mengurangi antinutrien seperti fitat, dan menciptakan rasa yang kompleks. Teknologi fermentasi ini juga memungkinkan pengembangan daging nabati dari protein kedelai atau kacang polong yang difermentasi, menghasilkan rasa dan tekstur menyerupai daging, menjadikannya solusi inovatif untuk mendukung kesehatan manusia dan keberlanjutan lingkungan (Berk, 2020).



Gambar 5. Ilustrasi proses fermentasi tempe

H. Mikrobiologi Air untuk Minuman

Air merupakan komponen utama dalam industri minuman, sehingga kualitas mikrobiologisnya sangat penting bagi kesehatan masyarakat dan keberlanjutan industri. Tantangan utama adalah keberadaan mikroorganisme resisten antibiotik (ARM) dalam sumber air, yang dapat menyebarkan resistensi melalui transfer gen horizontal. Mikroorganisme seperti *Escherichia coli* yang resisten terhadap multiple-drug telah ditemukan dalam sumber air dan berpotensi menyebabkan wabah penyakit yang sulit diobati. Pemantauan dan pengelolaan ARM menjadi prioritas untuk mencegah risiko kesehatan yang lebih besar (Ashbolt et al., 2013).

Pemurnian air kini semakin efektif berkat solusi yang ditawarkan oleh bioteknologi. Teknologi seperti biofilm reaktor membran dirancang untuk menyaring mikroorganisme patogen dan polutan, menggunakan bakteri rekayasa yang memetabolisme senyawa berbahaya tanpa merusak ekosistem air. Selain itu, pengolahan berbasis enzim seperti lisozim efektif mengurangi jumlah bakteri patogen tanpa memengaruhi kualitas sensorik air, menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan kimia sintetis seperti klorin (Wang et al., 2019).

Kemajuan teknologi juga memungkinkan pengembangan metode pemantauan otomatis untuk memastikan kualitas air. Sistem berbasis sensor dan Internet of Things (IoT) dapat mendeteksi mikroorganisme patogen secara real-time. Teknologi biosensor berbasis DNA, misalnya, mendeteksi gen patogen seperti *Salmonella* dengan cepat, sedangkan perangkat optik memantau perubahan fisik air seperti kekeruhan. Pendekatan ini meningkatkan efisiensi deteksi dan memungkinkan tindakan cepat untuk mengatasi kontaminasi, memastikan pasokan air minuman yang aman dan berkelanjutan bagi masyarakat global (Zhang et al., 2020).

I. Penanganan dan Penyimpanan Makanan

Manajemen penanganan dan penyimpanan makanan yang efektif sangat penting untuk menjaga kualitas dan

keamanan produk hingga sampai ke konsumen. Teknologi Internet of Things (IoT) telah menjadi inovasi signifikan dalam sistem penyimpanan makanan, memungkinkan pemantauan real-time terhadap parameter seperti suhu dan kelembapan. Sensor yang terintegrasi dalam rantai penyimpanan dan transportasi dapat mendeteksi penyimpangan yang berpotensi menurunkan kualitas makanan. Contohnya, penerapan IoT dalam rantai dingin membantu menjaga suhu optimal selama distribusi, mengurangi risiko pertumbuhan bakteri patogen seperti *Listeria monocytogenes* (Ben-Daya et al., 2019).

Pengangkutan jarak jauh memberikan tantangan tambahan bagi stabilitas mikrobiologi produk segar seperti buah, sayuran, dan daging. Perubahan suhu atau kelembapan yang tidak terkontrol dapat memicu pertumbuhan patogen seperti *Salmonella* dan *Escherichia coli*. Penyesuaian kelembapan dan penggunaan bahan tambahan alami seperti asam organik menjadi strategi penting untuk menjaga stabilitas mikrobiologi selama perjalanan, terutama pada distribusi yang melebihi 24 jam (Ben-Daya et al., 2019).

Teknologi pengemasan aktif menjadi solusi inovatif lainnya dalam menjaga keamanan makanan. Pengemasan ini menggunakan senyawa antimikroba alami seperti minyak esensial atau bahan kimia aman seperti oksigen aktif, yang tidak hanya memperpanjang umur simpan tetapi juga mempertahankan kualitas sensorik produk. Beberapa pengemasan cerdas bahkan dilengkapi dengan indikator perubahan warna untuk mendeteksi keberadaan mikroorganisme patogen, memberikan peringatan dini bagi konsumen atau distributor. Kombinasi teknologi IoT, distribusi yang dikelola dengan baik, dan pengemasan aktif menciptakan sistem penyimpanan makanan yang lebih aman, efisien, dan berkelanjutan (Yousuf et al., 2021).

J. Tren dan Inovasi dalam Bakteriologi Makanan

Perkembangan kecerdasan buatan (AI) telah menghasilkan dampak besar dalam bakteriologi makanan, memperkuat kemampuan analisis data besar dengan efisiensi

dan keakuratan tinggi. AI digunakan untuk mendeteksi pola dan memprediksi risiko mikrobiologi pada makanan berdasarkan data historis seperti suhu penyimpanan dan kondisi lingkungan. Teknologi pembelajaran mesin juga memungkinkan identifikasi mikroorganisme patogen secara otomatis melalui citra mikroskopis atau profil genomik, mempercepat proses dibandingkan metode konvensional, sehingga pengelolaan risiko keamanan pangan menjadi lebih efisien (de Santana et al., 2020).

Selain itu, mikroorganisme memainkan peran penting dalam pengembangan makanan fungsional yang semakin diminati, seperti *Lactobacillus* dan *Bifidobacterium*, yang mendukung kesehatan pencernaan, imunitas, dan pencegahan penyakit metabolik. Mikroorganisme juga digunakan untuk memperkaya makanan dengan kandungan bioaktif seperti peptida antimikroba dan omega-3. Produk fermentasi berbasis tanaman, seperti yogurt almond dan kefir kacang-kacangan, mengintegrasikan mikroorganisme dengan bahan inovatif, menghasilkan makanan yang sehat dan ramah lingkungan (Marco et al., 2021).

Keberdayaan lingkungan semakin diperkuat dengan penerapan konsep ekonomi sirkular (ekonomi berbasis daur ulang) yang fokus pada bakteriologi makanan. Limbah industri makanan, seperti dari pengolahan susu atau bir, dapat diolah dengan mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* untuk menghasilkan probiotik atau enzim bernilai tinggi. Teknologi biofermentasi juga memungkinkan pengolahan limbah menjadi protein dan bioplastik, mendukung pengurangan jejak karbon dalam industri pangan. Kombinasi teknologi canggih dan pendekatan keberlanjutan membuka peluang besar untuk menciptakan sistem pangan yang efisien dan ramah lingkungan (Zhao et al., 2020).

DAFTAR PUSTAKA

- Ashbolt, N. J., et al. (2013). Waterborne pathogens: Surveillance and risk management. *Water Research*, 47(15), 4953-4967.
- Ben-Daya, M., et al. (2019). Internet of Things in supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(15-16), 4719-4742.
- Berk, Z. (2020). *Food Process Engineering and Technology* (4th ed.). Academic Press.
- Bridier, A., et al. (2015). Biofilm resistance to disinfectants. *Biofouling*, 27(9), 1017-1032.
- CDC. (2018). Foodborne diseases: Surveillance and response. Retrieved from <https://www.cdc.gov/foodborne>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Hari Pangan Sedunia 2020 - Tumbuhkan, Pelihara dan Lestarkan. Bersama. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/ca9893id/>
- Franz, E., & van Bruggen, A. H. C. (2008). Ecology of foodborne pathogens. *Critical Reviews in Microbiology*, 34(3), 143-161.
- Gould, L. H., Walsh, K. A., Vieira, A. R., Herman, K., Williams, I. T., Hall, A. J., & Cole, D. (2013). Surveillance for foodborne disease outbreaks—United States, 1998–2008. *Morbidity and Mortality Weekly Report: Surveillance Summaries*, 62(2), 1–34. <https://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/ss6202a1.htm>
- Jay, J. M., et al. (2005). *Modern Food Microbiology*. Springer.
- Jennings, E., Thurston, T. L., & Holden, D. W. (2017). Salmonella SPI-2 type III secretion system effectors: Molecular mechanisms and physiological consequences. *Cell Host & Microbe*, 22(2), 217–231. <https://doi.org/10.1016/j.chom.2017.07.009>
- Kirk, M. D., Pires, S. M., Black, R. E., Caipo, M., Crump, J. A., Devleesschauwer, B., ... & Angulo, F. J. (2015). World Health Organization estimates of the global and regional

- disease burden of 22 foodborne bacterial, protozoal, and viral diseases, 2010: a data synthesis. *PLoS Medicine*, 12(12), e1001921.
- Li, X., Li, W., Luo, Q., Cheng, D., Wang, Y., & Zhang, C. (2020). Enhanced salt tolerance of *Lactobacillus plantarum* by adaptive laboratory evolution and its application in low-salt fermented vegetables. *Food Research International*, 137, 109456. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109456>
- Marco, M. L., et al. (2017). Fermented foods: Probiotic benefits. *Nature Reviews Gastroenterology*, 18(3), 196-208.
- Markowiak, P., & Śliżewska, K. (2017). Effects of probiotics, prebiotics, and synbiotics on human health. *Nutrients*, 9(9), 1021. <https://doi.org/10.3390/nu9091021>
- Newell, D. G., et al. (2010). Foodborne diseases and new challenges. *International Journal of Food Microbiology*, 139, S3-S15.
- Pickard, J. M., Zeng, M. Y., Caruso, R., & Núñez, G. (2017). Gut microbiota: Role in pathogen colonization, immune responses, and inflammatory disease. *Immunological Reviews*, 279(1), 70-89. <https://doi.org/10.1111/imr.12567>.
- de Santana, F. B., de Souza, V. B., & de Oliveira, T. L. (2020). Application of artificial intelligence in food safety: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 57(12), 4402-4410. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04412-7>.
- Scallan, E., Hoekstra, R. M., Angulo, F. J., Tauxe, R. V., Widdowson, M.-A., Roy, S. L., Jones, J. L., & Griffin, P. M. (2011). Foodborne illness acquired in the United States—major pathogens. *Emerging Infectious Diseases*, 17(1), 7-15. <https://doi.org/10.3201/eid1701.p11101>
- Silva, N. C. C., & Fernandes Júnior, A. (2010). Biological properties of medicinal plants: a review of their antimicrobial activity. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 16(3), 402-413. <https://doi.org/10.1590/S1678-91992010000300006>.

- Wang, R., Zeng, X., Wang, Y., Yu, T., & Lewandowski, Z. (2019). Two-step startup improves pollutant removal in membrane-aerated biofilm reactors treating high-strength nitrogenous wastewater. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 5(1), 39–48. <https://doi.org/10.1039/C8EW00668G>.
- WHO. (2015). Foodborne diseases global estimates. World Health Organization.
- Yousuf, B., Qadri, O. S., & Srivastava, A. K. (2021). Recent developments in active packaging of food products: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 58(12), 4121–4136. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04847-x>
- Zhang, D., Yan, T., & Zhang, L. (2020). Electrochemical DNA biosensor for rapid detection of Salmonella using single primer isothermal amplification. *Food Analytical Methods*, 13(8), 1606–1615. <https://doi.org/10.1007/s12161-020-01764-2>.
- Zhao, X., Li, B., & Liu, Z. (2020). Utilization of food waste-derived proteins to produce biodegradable thermoplastic bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122895. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122895>

BIODATA PENULIS



drh. Ade Meliala, M.Si, lahir di Payakumbuh pada 3 Desember 1973. Ia menyelesaikan gelar Sarjana Kedokteran Hewan dan pendidikan Dokter Hewan di Universitas Gadjah Mada pada tahun 1996 dan 1998. Selanjutnya, ia memperoleh gelar Magister Sains dengan fokus pada Kesehatan Masyarakat Veteriner dari Institut Pertanian Bogor pada tahun 2005.

Kariernya dimulai pada tahun 2000 sebagai CPNSD di Propinsi Sumatera Barat, Ia kemudian ditempatkan di Kabupaten Sijunjung hingga 31 Agustus 2024. Ia kemudian beralih menjadi dosen di Program Studi Kedokteran Hewan Fakultas Kedokteran Universitas Negeri Padang terhitung mulai tanggal 1 September 2024.

Selain sebagai dosen juga sebagai Praktisi Dokter Hewan di Kabupaten Sijunjung dan Rumah Sakit Hewan Pendidikan UNP Bukittinggi.



PT MEDIA PUSTAKA INDO
Jl. Merdeka RT4/RW2
Binangun, Kab. Cilacap, Provinsi Jawa Tengah
No hp. 0838 6333 3823
Website: www.mediapustakaindo.com
E-mail: mediapustakaindo@gmail.com

