



MIKROBIOLOGI PANGAN DAN KESEHATAN: PRINSIP DAN APLIKASI

PENULIS :

Hendri Satria Kamal Uyun

Yuliana Prasetyaningsih

Mamluatul Faizah

Hajrah Hidriya

Kurniawan

Pestariati

Dian Rachma Wijayanti

Anas Fadli Wijaya

Rizki Perdani



MIKROBIOLOGI PANGAN DAN KESEHATAN: PRINSIP DAN APLIKASI

**Hendri Satria Kamal Uyun
Yuliana Prasetyaningsih
Mamluatul Faizah
Hajrah Hidriya
Kurniawan
Pestariati
Dian Rachma Wijayanti
Anas Fadli Wijaya
Rizki Perdani**



GET PRESS INDONESIA

MIKROBIOLOGI PANGAN DAN KESEHATAN: PRINSIP DAN APLIKASI

Penulis :

Hendri Satria Kamal Uyun
Yuliana Prasetyaningsih
Mamluatul Faizah
Hajrah Hidriya
Kurniawan
Pestariati
Dian Rachma Wijayanti
Anas Fadli Wijaya
Rizki Perdani

ISBN : 978-623-125-485-6

Editor : Dr. Oktavianis, M.Biomed.

Penyunting : Tri Putri Wahyuni., S.Pd

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, November 2024

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

KATA PENGANTAR

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

Buku Ini Membahas Peranan Mikroorganisme, Mikrobiologi Pangan, Most Probable Number, Mikrobiologi Susu, Pengendalian Mikroorganisme, Koefisien Fenol, Infeksi Nosokomial, Mikroorganisme Flora Normal, Mikroskop Dan Cara Pengoperasiannya, Pengelolaan Limbah Medis.

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

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

Padang, Oktober 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
BAB 1 PERANAN MIKROORGANISME	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Daur Ulang.....	4
1.3 Penanganan Limbah	5
1.4 Bioremediasi.....	6
1.5 Industri dan pertambangan.....	6
1.6 Pangan.....	7
1.7 Bioteknologi dan rekayasa genetik	7
1.8 Farmasi dan Kesehatan.....	8
DAFTAR PUSTAKA	10
BAB 2 MIKROBIOLOGI PANGAN	11
2.1 Peranan Mikroorganisme	11
2.2 Fermentasi.....	11
2.2.1 Tempe.....	12
2.2.2 Kecap.....	13
2.2.3 Fermentasi susu	14
2.2.4 Wine	16
2.2.5 Beer.....	17
2.2.6 Tape	18
2.2.7 Mandai.....	19
DAFTAR PUSTAKA	21
BAB 3 MOST PROBABLE NUMBER.....	23
3.1 Pendahuluan.....	23
3.2 Bakteri Coliform	23
3.3 Media Uji	24
3.4 Uji kualitas air	25
3.5 Metode MPN (Most Probable Number).....	27
DAFTAR PUSTAKA	39
BAB 4 MIKROBIOLOGI SUSU.....	41
4.1 Pendahuluan.....	41
4.2 Komposisi Susu.....	42

4.3 Mikroorganisme Susu.....	43
4.2.1 Fermentasi Susu.....	45
4.2.2 Pembusukan Susu.....	48
4.2.3 Penyebab Penyakit.....	48
DAFTAR PUSTAKA.....	52
BAB 5 PENGENDALIAN MIKROORGANISME.....	55
5.1 Pendahuluan	55
5.2 Tujuan Pengendalian Mikroorganisme.....	56
5.3 Jenis-jenis Pengendalian Mikroorganisme.....	56
5.3.1 Sterilisasi	57
5.3.2 Cara Sterilisasi.....	57
DAFTAR PUSTAKA.....	66
BAB 6 KOEFISIEN FENOL	67
6.1 Pendahuluan	67
6.2 Disinfektan	68
6.3 Fenol	71
6.4 Koefisien Fenol	72
6.5 Metode Uji Koefisien Fenol.....	73
6.6 Faktor yang Mempengaruhi Uji Koefisien Fenol.....	75
6.3 Keterbatasan Uji Koefisien Fenol.....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	78
BAB 7 INFEKSI NOSOKOMIAL.....	81
7.1 Pendahuluan	81
7.2 Kajian Pustaka.....	83
7.2.1 Definisi dan Urgensi Penanganan Infeksi Nosokomial.....	83
7.2.2 Faktor Risiko Infeksi Nosokomial.....	85
7.2.3 Upaya Penanganan dan Pencegahan Infeksi Nosokomial.....	85
7.3 Kesimpulan	87
7.3.1 Implikasi Praktis	88
7.3.2 Penelitian Selanjutnya.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....	89
BAB 8 MIKROORGANISME FLORA NORMAL.....	93
8.1 Pendahuluan	93
8.2 Flora Normal Berkembang Seiring Usia.....	94
8.3 Flora Normal pada Tubuh Manusia.....	95

8.4 Hubungan Flora Normal dan Inangnya	95
8.5 Flora Normal Sistem Pencernaan.....	97
8.5.1 Flora Normal Rongga Mulut.....	98
8.5.2 Flora Normal Lambung, Usus Halus dan Usus Besar.....	99
8.6 Flora Normal Sistem Pernapasan.....	100
8.7 Flora Normal Sistem Ekskresi	101
8.8 Flora Normal Kulit.....	103
DAFTAR PUSTAKA	105
BAB 9 MIKROSKOP DAN CARA PENGOPERASIANNYA...	107
9.1 Pengertian Mikroskop	107
9.2 Fungsi Mikroskop.....	109
9.3 Prinsip Kerja Mikroskop.....	110
9.4 Jenis-Jenis Mikroskop.....	111
9.5 Bagian-Bagian Mikroskop	115
9.6 Cara Pengoperasian Mikroskop	118
9.7 Pemeliharaan Mikroskop.....	118
DAFTAR PUSTAKA	120
BAB 10 PENGELOLAAN LIMBAH MEDIS	121
10.1 Pendahuluan.....	121
10.2 Dampak Limbah Medis.....	122
10.2.1 Dampak Limbah Medis Bagi Kesehatan	123
10.2.2 Dampak Limbah Medis Bagi Lingkungan	123
10.3 Pengelolaan Limbah Medis Berbasis Wilayah	124
10.3.1 Pengelolaan Limbah Medis Secara Internal	124
10.3.2 Pengelolaan Limbah Medis Secara Eksternal.....	125
10.4 Pengelolaan Limbah Medis Berdasarkan Wujudnya	126
10.4.1 Limbah Medis Padat.....	126
10.4.2 Limbah Medis Cair	131
10.4.3 Limbah Medis Gas	132
DAFTAR PUSTAKA	133
BIODATA PENULIS	

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perbandingan sel prokariotik dan eukariotik	2
Tabel 3.1. Tabel MPN 3 3 3 menurut Formula Thomas .	35
Tabel 3.2. Tabel MPN 5 1 1 menurut Formula Thomas	36
Tabel 3.3. Tabel MPN ragam 555 menurut Formula Thomas.....	37
Tabel 4.1. Komposisi Susu pada Beberapa Spesies Mamalia	42
Tabel 4.2. Produk fermentasi susu dan mikroorganisme	45
Tabel 4.3. Batas maksimum cemaran mikroba pada susu	50
Tabel 5.1. Istilah Pengendalian Mikroorganisme	56
Tabel 5.2. Sifat atau Karakteristik Antiseptik.....	62
Tabel 5.3. Sifat atau Karakteristik Desinfektan	64
Tabel 6.1. Hasil pengamatan koefisien fenol metode <i>Chick Martin</i>	74
Tabel 10.1 Metode Sterilisasi untuk Limbah	128
Tabel 10.2. Jenis Label dan Wadah Limbah Medis Padat	128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Penambatan nitrogen	5
Gambar 2.1. Tempe	13
Gambar 2.2. Kecap	14
Gambar 2.3. Dadih.....	15
Gambar 2.4. Tapai	19
Gambar 2.5. Mandai	20
Gambar 3.1. Hasil uji pendugaan pada media Lactosa broth.....	28
Gambar 3.2. Hasil uji penegasan pada media BGLB.....	32
Gambar 3.3. Hasil pertumbuhan koloni bakteri coliform dalam media EMBA	32
Gambar 3.4. Hasil uji kelengkapan(<i>Pengujian Mikroba Pada Dairy Product</i>	33
Gambar 3.5. Diagram pemeriksaan MPN menggunakan ragam 3:3:3.....	34
Gambar 4.1. Sumber Potensial Mikroorganisme Susu dan Perannya.....	43
Gambar 4.2. Komposisi mikroba dari berbagai jenis susu (sapi, domba, kerbau, dan manusia)	44
Gambar 5.1. Pemijaran ose sampai merah	58
Gambar 5.2. Sterilisasi cawan petri.....	59
Gambar 5.3. Autoklaf.....	60
Gambar 6.1. Skema Klasifikasi Disinfektan	69
Gambar 8.1. Populasi mikroba utama di bagian tubuh manusia.....	95
Gambar 8.2. Simbiosis antara flora normal dan inang, Komensalisme (a), Mutualisme (b), Parasitisme (c).....	97
Gambar 8.3. Saluran pencernaan manusia dan anggota utama mikrobiota.....	100
Gambar 8.4. Keragaman bakteri vagina	103
Gambar 8.5. Hasil analisis keragaman bakteri kulit dari 10 responden sehat	104
Gambar 9.1. Mikroskop buatan Antonie Van Leeuwenhoek.....	108

Gambar 9.1. Jamur <i>Candida albicans</i> penyebab keputihan yang tidak bisa dilihat dengan mata telanjang tetapi bisa dilihat dengan mikroskop.....	109
Gambar 9.2. Prinsip kerja mikroskop.....	110
Gambar 9.3. Hasil pengamatan menggunakan mikroskop TEM.....	114
Gambar 9.4. Hasil pengamatan menggunakan mikroskop SEM.....	115
Gambar 9.5. Bagian-bagian mikroskop	115

BAB 1

PERANAN MIKROORGANISME

Oleh Hendri Satria Kamal uyun

1.1 Pendahuluan

Mikrobiologi merupakan disiplin ilmu yang berfokus pada studi tentang mikroba, atau yang dikenal juga sebagai mikroorganisme. Bidang ini mengungkapkan dunia tak kasatmata yang dipenuhi kehidupan, yang hanya dapat diamati melalui penggunaan mikroskop. Meskipun mikroorganisme merupakan bentuk kehidupan terkecil, mereka berkontribusi pada sebagian besar biomassa Bumi dan berperan penting dalam berbagai reaksi kimia yang mendukung kehidupan organisme yang lebih kompleks. Tanpa mikroorganisme, kehidupan tingkat tinggi tidak akan dapat muncul maupun bertahan (Tortora, Funke and Case, 2010).

Mikroorganisme meliputi bakteri, archaea, fungi, protozoa, alga, dan virus. Virus, bakteri, dan archaea tergolong sel prokariotik, sedangkan fungi, protozoa, dan alga termasuk dalam kelompok sel eukariotik.

Sel prokariotik dan eukariotik memiliki kesamaan secara kimiawi, yaitu keduanya mengandung asam nukleat, protein, lipid, dan karbohidrat. Kedua jenis sel ini juga menjalankan proses kimia serupa untuk metabolisme makanan, sintesis protein, dan penyimpanan energi. Perbedaannya terletak pada struktur dinding sel, membran sel, serta ketiadaan organel pada sel prokariotik, yang merupakan struktur khusus dalam sel eukariotik dengan fungsi-fungsi spesifik.

Sel prokariotik memiliki struktur yang lebih sederhana dan hanya ditemukan pada organisme uniseluler serta berkoloni, seperti bakteri dan archaea. Secara umum, sel prokariotik dapat digambarkan sebagai molekul yang dibungkus oleh membran dan dinding sel. Tidak seperti sel eukariotik, sel prokariotik tidak memiliki organel yang khas, tetapi mereka memiliki sistem membran di dalam dinding selnya.

Tabel 1.1. Perbandingan sel prokariotik dan eukariotik
Sumber (Pratiwi T Sylvia, 2008)

No	Ciri	Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
1	Ukuran	1-100 mm	10-100
2	Tipe Inti	Daerah nukleoid; tanpa inti sejati	Inti sejati dengan membran ganda
3	DNA	Umumnya sirkular	Linear
4	Sintesis RNA Protein	Keduanya berlangsung di sitoplasma	Sintesis RNA berlangsung di dalam inti. Sintesis Protein berlangsung di sitoplasma.
5	Ribosom	50S dan 30S	60S dan 40S
6	Struktur sitoplasma	Sederhana	Sangat tersruktur dengan adanya membran intraseluler dan sitoskeleton
7.	Pergerakan sel	Flagela yang tersusun atas flagelin	Flagela dan silia yang tersusun atas protein tubulin
8	Miktokondria	Tidak ada	Satu sampai beberapa lusin (beberapa ada yang tidak memiliki mitokondria)
9	Kloroplas	Tidak ada	Pada alga dan tanaman
10	Organisasi	Umumnya satu sel	Sel-sel tunggal, koloni, organisme tingkat tinggi
11	Pembelahan sel	Pembelahan biner	Mitosis

No	Ciri	Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
12	Jenis Organisme	Bakteri dan archaea	Protista, fungi, tanaman dan hewan

Kita sering mengaitkan mikroorganisme dengan penyebab penyakit, infeksi, atau ketidaknyamanan seperti makanan yang membusuk. Namun, sebagian besar mikroorganisme memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan biologis dan kimiawi di lingkungan. Manusia serta banyak hewan lainnya mengandalkan mikroorganisme di dalam usus untuk proses pencernaan. Di sektor industri pangan, mikroorganisme digunakan untuk memproduksi berbagai produk seperti cuka, asinan kubis, acar, minuman beralkohol, zaitun hijau, kecap, buttermilk, keju, yogurt, dan roti. Selain itu, melalui rekayasa enzim mikroba, kini kita dapat membuat mikroorganisme menghasilkan senyawa yang sebelumnya tidak bisa mereka buat. Senyawa tersebut meliputi zat terapeutik penting seperti insulin, beberapa vitamin, serta produk lain seperti selulosa dan pembersih saluran air untuk mendukung proses pencernaan.

Sejak Anton van Leeuwenhoek menemukan mikroskop pada abad ke-17, manusia memulai era baru dalam pemahaman kehidupan mikroskopis. Pengetahuan mengenai mikroorganisme terus mengalami kemajuan signifikan, terutama dalam bidang kesehatan, teknologi pangan, dan industri farmasi. Seiring berjalannya waktu, mikrobiologi menjadi landasan bagi berbagai inovasi penting, seperti pembuatan vaksin, penemuan antibiotik, serta perkembangan teknologi rekayasa genetika (Trivedi, Pandey and Bhadauria, 2010).

Signifikansi mikrobiologi terlihat jelas dari kontribusinya dalam memperluas pemahaman kita tentang proses biokimia, ekologi mikroba, serta peran mikroorganisme dalam siklus nutrisi dan degradasi zat organik. Pada zaman modern, penelitian mikrobiologi tidak hanya berfokus pada aspek ilmiah, tetapi juga memainkan peran sentral dalam berbagai inovasi, termasuk di bidang bioteknologi, bioinformatika, dan pengembangan obat (Najmah *et al.*, 2024).

Memahami mikrobiologi memberi kita wawasan lebih dalam tentang bagaimana kehidupan mikroba memengaruhi dunia di sekitar kita. Dengan perkembangan teknik dan pendekatan baru, mikrobiologi terus maju dan berkontribusi signifikan bagi peradaban manusia. Pemahaman tentang mikroba membuka peluang untuk menjelajahi dunia mikroskopis yang, meskipun kecil, memiliki dampak besar, serta mengungkap keajaiban kehidupan tak kasatmata yang menjadi pendorong penting dalam berbagai aspek kehidupan (Najmah *et al.*, 2024).

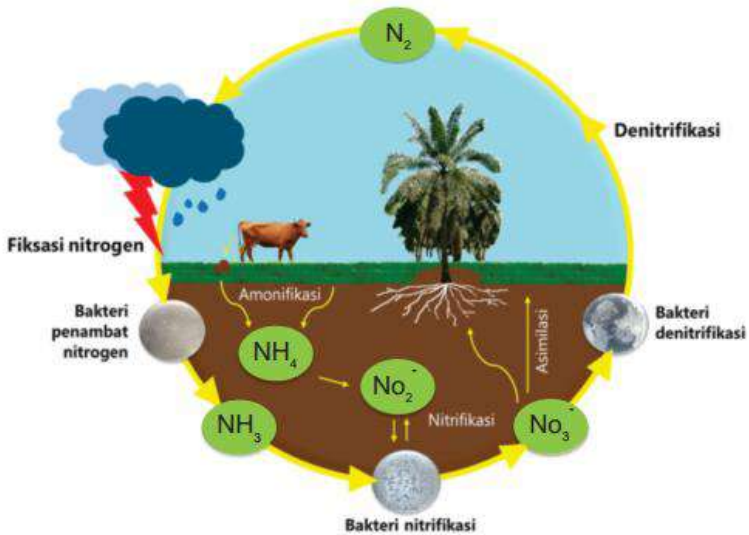
Peranan mikroorganisme yang menguntungkan bagi kesejahteraan umat manusia antara lain adalah dalam bidang - bidang berikut.

1.2 Daur Ulang

Peran mikroorganisme dalam siklus hara dan peningkatan produktivitas lahan sangat krusial secara biokimiawi. Mikroorganisme dapat menyediakan nutrisi penting bagi tanaman melalui simbiosis mutualistik maupun non-simbiosis. Contohnya, *Rhizobium* berperan dalam fiksasi nitrogen secara simbiotik, sementara *Azotobacter* dan *Clostridium* melakukan fiksasi nitrogen secara non-simbiotik. Selain itu, *Frankia* memfiksasi fosfor secara simbiotik pada *Casuarina* sp., dan bakteri pelarut fosfat membantu melarutkan fosfat secara simbiotik. Mikoriza juga berperan dalam fiksasi fosfat serta penyediaan unsur makro dan mikro esensial lainnya. Agus *et al.* (2016) menyatakan bahwa kemampuan mikroorganisme untuk melakukan mineralisasi nitrogen di tanah mencapai 3-5 kali lipat lebih tinggi daripada jumlah nitrogen yang tersedia secara alami.

Mikroorganisme dapat menguraikan bahan organik jika bahan tersebut larut dalam air. Kadar kelembaban optimal untuk metabolisme mikroorganisme berkisar antara 40-60%. Ketika kelembaban turun di bawah 40%, aktivitas mikroorganisme akan menurun, dan semakin drastis pada kelembaban 15%. Di sisi lain, jika kelembaban melebihi 60%, unsur hara bisa tercuci dan volume udara berkurang, yang akan menghambat aktivitas mikroorganisme. Hal ini juga dapat menyebabkan fermentasi

anaerobik, yang seringkali menghasilkan bau yang tidak sedap (Wibowo *et al.*, 2012)



Gambar 1.1. Penambatan nitrogen
Sumber (Sapalina, Ginting and Hidayat, 2022)

1.3 Penanganan Limbah

Pengelolaan limbah melibatkan perpaduan antara proses fisika dan kimia yang didukung oleh peran mikroorganisme. Secara fisik, material padat seperti kayu, kertas, kaca, dan plastik dipisahkan dari limbah organik. Secara kimia, bakteri menguraikan limbah organik menjadi senyawa seperti karbon dioksida, nitrat, fosfat, sulfat, amonia, hidrogen sulfida, dan metana. Proses pengomposan melibatkan mikroorganisme termofilik yang berfungsi menguraikan limbah organik menjadi pupuk alami atau humus (Pratiwi T Sylvia, 2008).

Limbah pertanian seperti insektisida dan herbisida sulit diuraikan oleh mikroorganisme, sehingga cenderung menumpuk di lingkungan dan menyebabkan kerusakan ekologis. Banyak penelitian difokuskan pada pencarian, isolasi, dan pengembangan mikroorganisme yang mampu menguraikan limbah-limbah yang selama ini dianggap sulit untuk dipecah (Pratiwi T Sylvia, 2008)

1.4 Bioremedediasi

Bioremediasi adalah proses pemecahan polutan menjadi zat yang tidak berbahaya dengan bantuan mikroorganisme. Beberapa jenis bakteri mampu memanfaatkan polutan sebagai sumber energi atau menghasilkan enzim spesifik yang dapat mengubah racun menjadi zat yang aman (Pratiwi T Sylvia, 2008)

Salah satu contoh pencemaran kimia adalah tumpahan minyak dari kapal tanker yang mencemari laut. Bioremediasi terhadap pencemaran minyak di laut dapat dilakukan dengan memanfaatkan mikroorganisme spesifik yang mampu tumbuh dan berkembang di lingkungan yang tercemar oleh minyak (Pratiwi T Sylvia, 2008)

Berbagai jenis bakteri memiliki kemampuan untuk mendegradasi minyak bumi. Contoh bakteri yang efektif dalam proses ini meliputi *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Actinomyces*, *Aeromonas*, dan lainnya. Selain itu, beberapa jenis fungi juga dapat berperan dalam biodegradasi minyak bumi, seperti yang berasal dari genus *Debaromyces*, *Fusarium*, *Hansenula*, dan lainnya (Pratiwi T Sylvia, 2008)

Kontrol hama tanaman mengendalikan hama tanaman melalui pemanfaatan musuh alami terus dikembangkan sebagai alternatif untuk mengurangi dampak negatif dari penggunaan pestisida, yang sulit terdegradasi secara alami dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Contohnya, bakteri *Bacillus thuringiensis* digunakan untuk mengendalikan *Crociodomia binotalis*, hama yang menyerang tanaman kubis. Bakteri *Bacillus thuringiensis* menghasilkan kristal protein yang mengandung delta toksin, yang bersifat racun bagi sistem pencernaan serangga (Pratiwi T Sylvia, 2008).

1.5 Industri dan pertambangan

Pemanfaatan mikroorganisme dalam industri mencakup pengembangan polimer terurai untuk menangani masalah pencemaran lingkungan akibat plastik yang sulit terurai. Contohnya, bakteri *Alcaligenes eutrophus* digunakan sebagai penghasil poli-3-hidroksi alkanoat (PHA) dan poli-B-hidroksi butirat (PHB), yang

merupakan bahan baku untuk produksi plastik yang mudah terurai (Pratiwi T Sylvia, 2008)

Dalam industri pertambangan, bakteri *Ferroplasma acidarmanus* memiliki kemampuan untuk mengoksidasi besi. Meskipun bakteri ini berguna dalam ekstraksi bijih besi, keberadaannya juga dapat menyebabkan dampak negatif berupa pencemaran limbah beracun yang dikenal sebagai AMD (acid mine drainage) (Pratiwi T Sylvia, 2008)

1.6 Pangan

Salah satu bakteri yang bermanfaat dalam industri pangan adalah *Lactobacillus bulgaricus*, yang sangat berperan dalam pembuatan yoghurt. Ketika ditambahkan ke dalam susu, bakteri ini dapat memanfaatkan laktosa dan menguraikannya menjadi gula sederhana seperti glukosa. Glukosa kemudian difermentasi menjadi asam laktat, yang menyebabkan penurunan pH susu dan mendenaturasi molekul protein di dalamnya. Proses ini menyebabkan struktur protein saling melekat, sehingga yoghurt menjadi lebih padat (Pratiwi T Sylvia, 2008)

Selain itu, bakteri *Streptococcus lactis* dan *Streptococcus cremoris* juga banyak digunakan dalam produksi keju dan mentega. Fermentasi susu oleh *Streptococcus lactis* mengubah laktosa (gula susu) menjadi asam laktat, yang menurunkan pH susu. Penurunan nilai pH ini menciptakan kondisi optimal bagi enzim rennet (enzim pencernaan yang terdapat dalam lambung hewan penghasil susu) untuk mengkoagulasi susu, membentuk zat padat seperti gel yang disebut curd, yang kemudian akan menghasilkan keju mentah (Pratiwi T Sylvia, 2008).

1.7 Bioteknologi dan rekayasa genetika

Bioteknologi modern dan rekayasa genetika dalam bidang kesehatan sering berfokus pada terapi gen. Terapi gen melibatkan penyisipan gen yang hilang atau penggantian gen yang rusak pada sel manusia, dengan memanfaatkan virus non-patogen sebagai vektor. Virus ini berperan sebagai pembawa gen yang nantinya akan diintegrasikan ke dalam kromosom sel inang (Pratiwi T Sylvia, 2008).

Sejak tahun 1990, terapi gen telah diterapkan dalam pengobatan pasien dengan defisiensi adenosin deaminase (ADA), yang menyebabkan gangguan imun serius yang dikenal sebagai SCID (*severe combined immunodeficiency disease*). Selain itu, terapi gen juga diterapkan pada pasien dengan defisiensi reseptor LDL (*low-density lipoprotein*), yang menghambat masuknya LDL ke dalam sel dan menyebabkan peningkatan kadar LDL dalam darah. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko aterosklerosis serta penyakit jantung koroner (PJK) (Pratiwi T Sylvia, 2008).

Di bidang farmasi, rekayasa genetik dilakukan untuk pengembangan vaksin yang dapat dimakan (*edible vaccine*). Hal ini dicapai dengan merekayasa mikroorganisme dan tanaman tertentu sehingga dihasilkan tanaman yang mengandung vaksin dan dapat dikonsumsi secara langsung (Pratiwi T Sylvia, 2008).

1.8 Farmasi dan Kesehatan

Mikrobiologi dalam bidang kesehatan berfokus pada penemuan senyawa-senyawa yang efektif dalam membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen yang menginfeksi manusia atau hewan. Pengobatan infeksi biasanya melibatkan penggunaan antibiotik (Pratiwi T Sylvia, 2008).

Faktanya, kisah penemuan antibiotik peratama kali dimulai secara kebetulan ketika Alexander Fleming sedang meneliti *Staphylococcus*. Setelah menyelesaikan penelitiannya, ia meninggalkan lab, namun lupa membersihkan cawan petri yang mengandung bakteri tersebut. Ketika Fleming kembali melanjutkan penelitiannya, ia menemukan bahwa cawan petri yang berisi bakteri tersebut telah terkontaminasi jamur sehingga menghambat pertumbuhan bakteri tersebut. Jamur tersebut adalah *Penicillium chrysogenum* (Hairunnisa, 2019).

Selain sebagai sumber antibiotik, mikroorganisme juga dimanfaatkan dalam pengembangan vaksin. Beberapa jenis vaksin dibuat dari strain mikroorganisme nonpatogen yang disuntikkan untuk merangsang sistem kekebalan tubuh terhadap strain mikroorganisme penyebab infeksi (Pratiwi T Sylvia, 2008)

Berbagai mikroorganisme, seperti spesies bakteri dari genus *Pseudomonas* dan *Propionibacterium*, diketahui dapat

memproduksi vitamin B12 (kobalamin). Selain itu, vitamin B2 (riboflavin) dihasilkan melalui proses fermentasi jamur *Aspergillus gossypii*. Vitamin C (asam askorbat) diproduksi oleh spesies *Acetobacter* melalui modifikasi glukosa kompleks (Pratiwi T Sylvia, 2008)

Beberapa enzim juga dihasilkan oleh mikroorganisme. Misalnya, enzim amilase yang banyak digunakan dalam industri deterjen diproduksi oleh *Aspergillus* spp. Enzim selulase yang digunakan dalam industri kertas dihasilkan oleh *Trichoderma viride*. Sementara itu, enzim protease yang berfungsi untuk mengempukkan daging dan digunakan dalam industri penyamakan kulit dihasilkan oleh *Aspergillus oryzae* (Pratiwi T Sylvia, 2008)

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, C. *et al.* (2016) 'Sustainable site productivity and nutrient management in a short rotation plantation of *Gmelina arborea* in East Kalimantan, Indonesia', 34(October 2004). Available at: <https://doi.org/10.1023/B>.
- Hairunnisa, H. (2019) 'Sulitnya Menemukan Obat Baru di Indonesia', *Farmasetika.com (Online)*, 4(1), p. 16. Available at: <https://doi.org/10.24198/farmasetika.v4i1.22517>.
- Najmah *et al.* (2024) *Pengantar Mikrobiologi*. 1st edn, *Zeitschrift für Krebsforschung*. 1st edn. Purbalingga: PENERBIT CV.EUREKA MEDIA AKSARA. Available at: <https://doi.org/10.1007/BF01620495>.
- Pratiwi T Sylvia (2008) *Mikrobiologi Farmasi*. 1st edn. Jakarta: Erlangga.
- Sapalina, F., Ginting, N. and Hidayat, D.F. (2022) 'Gambar 1. Siklus nitrogen di alam', 27(1), pp. 41–50.
- Tortora, G.J., Funke, B.R. and Case, C.L. (2010) *Microbiology: An Introduction*. San Francisco: Benjamin Cummings,.
- Trivedi, P.C., Pandey, S. and Bhadauria, S. (2010) *Text Book of Microbiology*, Aavishkar Publishers, Distributors. Available at: https://rlmc.edu.pk/themes/images/gallery/library/books/Microbiology/Text_Book_of_Microbiology.pdf.
- Wibowo, N.A. *et al.* (2012) 'Peranan mikroorganisme dalam pengelolaan hara terpadu pada perkebunan kakao', *Bunga Rampai: Inovasi Teknologi Bioindustri Kakao*, pp. 91–98. Available

BAB 2

MIKROBIOLOGI PANGAN

Oleh Hendri Satria Kamal Uyun

2.1 Peranan Mikroorganisme

Mikroorganisme ada dimana-mana di alam dan lingkungan, sehingga Produk pangan jarang dan biasanya jarang yang steril. Makanan tidak hanya menjadi sumber nutrisi bagi manusia, tetapi juga bagi mikroorganisme. Pertumbuhan mikroorganisme pada pangan erat kaitannya dengan kehidupan manusia.

Mikroorganisme tersebar luas di alam dan lingkungan, dan sebagai akibatnya produk pangan jarang sekali dan umumnya tercemar oleh mikroorganisme. Bahan makanan selain sumber nutrisi bagi manusia, juga sebagai sumber makanan mikroorganisme. Pertumbuhan mikroorganisme dalam bahan pangan sangat erat hubungannya dengan kehidupan manusia.

Pertumbuhan mikroorganisme pada produk pangan dapat mengakibatkan berbagai perubahan fisik maupun kimiawi yang tidak diinginkan sehingga bahan pangan tersebut tidak layak dikonsumsi.

Bahan pangan juga dapat bertindak sebagai sumber perantara tumbuhnya mikroorganisme yang bersifat patogenik terhadap manusia. Contoh pada penyakit tipus, kolera dan disentri dengan mudah dapat disebarkan melalui bahan pangan.

Dalam beberapa kasus pertumbuhan mikroorganisme dalam pangan dapat menyebabkan perubahan yang menguntungkan seperti perbaikan dari segi mutu dan perbaikan nilai nutrisi dan daya simpan produk pangan. Dalam hal ini contohnya adalah proses fermentasi pada beberapa produk pangan.

2.2 Fermentasi

Fermentasi berasal dari kata *fervere* yang berarti mendidih. Hal ini dikarenakan saat pertama kali istilah ini muncul adalah dari proses fermentasi wine. Karena saat proses fermentasi media

fermentasi seperti air mendidih yang menghasilkan gas CO₂ oleh khamir yang digunakan (Hidayat et al. 2020)

2.2.1 Tempe

Tempe sangat populer di Indonesia dan hampir semua daerah dapat kita jumpai tempe. Saat ini tempe yang banyak dikonsumsi adalah tempe berbahan dasar kedelai. Tapi bahan-bahan non kedelai dapat juga dibuat tempe (Hidayat et al. 2020).

Masyarakat dapat membuat tempe dengan mudah karena prosesnya yang sederhana. Kedelai dicuci dan direndam sebelum direbus selama sekitar satu jam. Setelah dingin, kulit dilepaskan (klecep) sehingga biji kedelai tanpa kulit direndam selama satu malam untuk menciptakan kondisi asam. Untuk membuat kedelai lunak, perebusan diperlukan setelah perendaman. Setelah perendaman dan dingin, ragi tempe dimasukkan ke dalam kedelai (Hidayat et al. 2020).

Rhizopus oligosporus merupakan jamur utama dalam fermentasi tempe. Selain spesies tersebut beberapa spesies digunakan dalam pembuatan tempe seperti *Rhizopus oryzae*, *Rhizopus archizus* dan lain-lain. Dalam pertumbuhan hifa jamur akan menyelubungi seluruh permukaan kedelai sehingga menjadi padatan putih yang kita kenal sebagai tempe. Proses fermentasi tempe berlangsung selama 36-48 jam (Hidayati et al. 2021)

Selama Proses Fermentasi jamur, jamur akan mengeluarkan berbagai macam enzim sehingga tempe menjadi lebih mudah tercerna dibandingkan kedelai tanpa fermentasi. Tempe juga kaya akan vitamin B₁₂, yang diperlukan dalam pembentukan sel darah merah (Hidayati et al. 2021).



Gambar 2.1. Tempe
(Sumber Starzyńska-Janiszewska *et al.*, 2019)

2.2.2 Kecap

Kecap Merupakan produk fermentasi yang dimanfaatkan dalam kuliner sebagai citarasa, termasuk produk berbentuk cairan dan berwarna coklat. Umumnya kecap dibuat dari kacang kedelai dan ada juga yang dibuat dari ikan. Di Indonesia dikenal dengan kecap manis dan kecap asin. Proses pengolahan melalui dua tahap fermentasi. Pertama fermentasi kapang (koji) dan fermentasi larutan garam (moromi).

Fermentasi kapang (Koji) adalah dengan menggunakan jamur *Aspergillus oryzae*. fermentasi akan berjalan dengan pertumbuhan jamur pada kedelai yang menghasilkan enzim yang dapat menghidrolisis biji-bijian. Enzim akan membuat bahan baku padat menjadi produk yang larut.

Koji yang dihasilkan selanjutnya direndam dalam larutan garam dengan konsentrasi 20-30% yang disebut juga fermentasi dalam larutan garam (moromi) Fermentasi moromi berjalan 3-6 bulan dengan suhu 15-25°C. Diawali dengan fermentasi asam laktat oleh *Pediococcus soyae* yang akan mengubah gula sederhana menjadi asam laktat. Selanjutnya terjadi fermentasi etanol oleh khamir osmofilik *Saccharomyces rouxii*.

2.2.3 Fermentasi susu

Susu fermentasi adalah produk makanan yang diolah dengan bahan baku susu sapi. Susu sapi sesuai fermentasi mikroba karena komposisinya mengandung laktosa 5%, 3,3 % prpotein, pH 6,6-6,7. Produk susu fermentasi yaang populer adalah yoghurt, kefir dan keju.

Dari segi gizi, yoghurt tidak jauh berbeda dengan susu, tetapi karena melalui proses fermentasi ada beberapa zat gizi yang kandungannya lebih tinggi dari pada susu (Syainah, Novita, and Yanti 2014).

Umumnya susu fermentasi yang mengandung probiotik yang bermanfaat untuk pencernaan sehingga dikenal sebagai pangan fungsional. Produk yoghurt tergolong produk non fat atau low fat.



Gambar 2.2. Kecap
(Koswara et al. 2019)

1. Dadih

Dadih adalah produk khas sumatera barat yang berasal dari olahan susu kerbau. Produk ini sudah lama dikenal dan disukai oleh masyarakat setempat. Dadih merupakan makanan spesifik yang berwarna putih dan hampir menyerupai tahu, dapat dipotong dan dimakan dengan menggunakan sendok (Taufik 2004).

Secara tradisional dadih dibuat dari susu kerbau yang diperam di dalam tabung bambu dan ditutup dengan daun pisang yang telah dilayukan di atas api, kemudian diinkubasikan pada suhu ruang (sekitar 27-33°C) selama 2 hari (Taufik 2004).

Fermentasi dadih yang dibuat secara tradisional melibatkan berbagai jenis mikroorganisme yang saling berinteraksi. Mikroorganisme yang berperan dalam proses fermentasi ini diduga berasal dari permukaan tabung bambu bagian dalam, permukaan daun penutup, dan dari susu kerbau yang digunakan (Taufik 2004).



Gambar 2.3. Dadih

Sumber (Daffa Sonik, Neldi, and Ramadhani 2023)

2. Yoghurt

Pada dasarnya pengolahan yoghurt melibatkan *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* dengan perbandingan pertumbuhan sinergis. Diawali dengan pertumbuhan *Streptococcus thermophilus* yang menggunakan asam amino dalam susu akan membuat susu menjadi pH rendah sesuai dengan pH *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus* menyebabkan terjadinya denaturasi protein susu sehingga tekstur menjadi kental dan padat.

3. Kefir

Kefir adalah susu fermentasi yang memiliki aroma yang khas dengan perpaduan rasa asam, alkoholik dan karbonat. Kefir tergolong sebagai pangan fungsional karena teruji secara klinis memiliki efek menguntungkan bagi kesehatan dan termasuk dalam makanan probiotik karena mengandung bakteri baik yang dapat memperbaiki sistem mikroflora usus dan menghambat pertumbuhan bakteri patogen di dalam usus

(Julianto, Rossi, and Yusmarini 2016). Kefir diolah dari susu pauterisasi dengan menambahkan stater kefir. Stater kefir terdiri atas beberapa campuran mikroba yang terdiri dari kelompok bakteri asam laktat antaranya *Lactococcus lactis*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus kefir*, *Lactobacillus kefir*, *Lactobacillus kefirgranum* dan *Lactobacillus parakefir* yang berperan dalam perombakan asam laktat dan laktosa (Hidayat et al. 2020).

2.2.4 Wine

Wine adalah minuman hasil fermentasi yang dibuat dari buah-buahan wine yang banyak dibuat dari buah anggur sedang wine yang dibuat selain dari buah anggur disebut fruit wine. Jenis buah anggur yang umum dijadikan bahan baku pembuatan wine adalah *Vitis vinifera* banyak tumbuh di benua Eropa.

Karakteristik dan mutu wine ditentukan oleh.

1. Komposisi bahan baku ditentukan oleh waktu panen dari anggur tingkat kematangan sangat menentukan kualitas anggur sebagai bahan baku wine. Anggur dipanen satu minggu setelah matang. Kondisi demikian menghasilkan must (cairan anggur yang belum fermentasi) dengan komponen utama air dan gula 18-25%. Jenis yang terdapat pada must adalah dekstros dan levulosa.
2. Proses fermentasi
3. Perubahan yang terjadi selama proses fermentasi

Dalam pembuatan wine seringkali digunakan khamir *Saccharomyces cerevisiae* sebanyak 2-5%. Suhu yang digunakan untuk fermentasi adalah 27-30°C. Sering kali dalam proses fermentasi ditambahkan sulfur oksida sebagai antimikroba. Dalam fermentasi wine sering kali tumbuh khamir perusak seperti *Dekkera bruxellensis* dan *Brettanomyces bruxellensis* yang dapat menghasilkan etifenol.

Strain dari *B. anomalus* adalah yang paling sensitif terhadap alkohol selama fermentasi. Khamir ini hanya mampu tumbuh sampai kadar alkohol 8% sedangkan strain dari *Dekkera bruxellensis* mampu tumbuh hingga kadar alkohol 15%. Toleransi yang tinggi

terhadap kadar alkohol ini yang menjadi khamir tersebut dianggap sebagai kontaminan harus dicegah pertumbuhannya.

Terhadap penambahan sulfur yang umumnya ditambahkan sebagai kalium bisulfit menunjukkan bahwa *Saccharomyces cerevisiae* lebih toleran dibandingkan *Dekkera bruxellensis*. Pada kadar bisulfit 100 mg.L^{-1} yang ditambahkan pada red wine maka sudah cukup untuk membunuh 10^6 sel per mL sedangkan untuk strain yang lebih resisten dibutuhkan sebanyak 150 mg.L^{-1} .

Fermentasi yang terjadi pada pembuatan wine dibedakan atas fermentasi primer dan fermentasi sekunder.

1. Fermentasi primer disebut fermentasi aktif yaitu perubahan gula menjadi alkohol berlangsung selama 7-14 hari pada suhu $10-21^{\circ}\text{C}$ (*White wine*) dan 3-5 hari suhu $23-27^{\circ}\text{C}$ (*Red wine*).
2. Fermentasi sekunder disebut sebagai pemeraman. Lamanya bervariasi. Proses penyimpanan untuk mengeluarkan aroma dan rasa (senyawa ester dan alkohol), pada waktu tertentu memungkinkan adanya fermentasi asam oleh bakteri asam laktat. Harus dilakukan secara steril untuk menghindari kerusakan.

2.2.5 Beer

Beer adalah jenis minuman beralkohol yang disajikan dengan proses fermentasi dari pati gandum atau bahan lain seperti beras atau jagung. Minum ini termasuk tertua dan terpoluer didunia. Pada awal abad 17 masyarakat khususnya Eropa mengkonsumsi *Beer* dengan berbagai jenisnya. Dalam proses pembuatannya *Beer* diberi perasa yang berasal dari buah hop atau buah-buahan dan tumbuhan lainnya agar mempunyai aroma *Beer* dan rasa yang pahit. Tidak jarang sebagaian beer ditambahkan pengawet untuk menambah umur simpan. Pada umumnya beer mengandung alkohol. Dalam proses pengolahan beer terdapat komponen-komponen penting di antaranya *malted barley, hops, yeast, water adjuncts*.

Tahapan pembuatan beer meliputi

1. *Malting*
perendaman biji gandum selama 5-7 hari dan dibiarkan berkecambah lalu dikeringkan. Selama proses

perkecambahan menghasilkan beberapa enzim amilase, beta amilase yang berfungsi untuk menghidrolisis pati yang terdapat pada biji-bijian menjadi karbohidrat sederhana (gula). Selanjutnya pegeringan yang bertujuan menghentikan perkecambahan, stabilitas *malted barley*, penyempurnaan warna malt menjadi cerah dan aroma khas yang lebih besar.

2. Browning

Proses pengilingan *malted barley* yang dilakukan secara hati-hati untuk mencegah terjadinya *cracking of malted barley*. Selajutnya ditambahkan air dan diinkubasi pada suhu 65-75°C. Proses ini bertujuan untuk mengaktifasi enzim dan menghasilkan bubur yang dilanjutkan dengan penyaringan dan diperoleh *wort*.

Wort kemudian dicampur dengan hop dan direbus selama 2,5 jam. Perebusan dengan hop bertujuan memekatkan larutan, membunuh mikrobia pembusuk, meninaktifkan enzim dalam mash, menambah flavor serta mengekstrak antiseptik sehingga dapat memperbaiki kualitas *beer*.

3. Fermentasi

Proses fermentasi dengan cara menambahkan khamir *Sachharomyces carlbergensis* ke dalam *wort* (4-5% B/V) pada suhu rendah 3-14°C selama 8-14 hari. Pada tahapan ini, glukosa dari *wort* diubah menjadi etanol dan CO₂. Selain itu, beberapa senyawa lain akan terfermentasi menghasilkan *flavor* khas *beer*.

4. Aging

Wort hasil fermentasi dituakan pada suhu 0°C selama waktu yang bervariasi. Proses ini terjadi pengendapan khamir pada wadah tangki dan terjadi pembentukan *flavor*.

2.2.6 Tape

Tape adalah produk yang dihasilkan dari proses fermentasi terbuat dari umbi atau beras ketan. Yang ditambahkan ragi atau subrat. Jenis ragi untuk fermentasi tape adalah seperti *Saccharomyces cerevisiae*. Dalam proses fermentasi tape dari hasil

fermentasi dengan *Saccharomyces cerevisiae* umumnya berbentuk semi cair agak berasa asam serta mengandung alkohol.

Ragi tape merupakan inokulum yang umum digunakan dalam pembuatan tape. Ragi tape terbuat dari bahan dasar tepung beras yang dibentuk bulat pipih dengan diameter 2-3 cm. Selama fermentasi, tape mengalami perubahan biokimia yang diakibatkan oleh aktivitas mikroorganisme. Semua bahan pangan kaya akan karbohidrat dapat karbohidrat dapat diolah menjadi tape. Dikenal berbagai macam tape yaitu tape ketan, tape singkong, tape beras, tape pisang, tape ubi jalar dan tape sukun, tape sorgum akan tetapi yang paling populer adalah tape singkong dan ketan.

Tape memiliki rasa memiliki rasa spesifik yaitu manis dan sedikit asam. Hal ini terjadi karena perubahan pada bahan dasar menjadi tape. Pati yang ada dalam bahan terdegradasi oleh enzim menjadi dekstrin dan gula-gula sederhana. Selanjutnya dihidrolisis menjadi alkohol, pada fermentasi lebih lanjut alkohol dioksidasi menjadi asam organik di antaranya asam asetat, asam suksinat dan asam malat.



Gambar 2.4. Tapai
Sumber (Marlinda and Dafriani 2022)

2.2.7 Mandai

Mandai adalah makanan fermentasi yang berbahan baku cempedak (*Arthocarpus champeden*) yang ditambahkan garam. Mandai sangat populer di pulau kalimantan khususnya kalimantan timur. Masyarakat umumnya mengkonsumsi sebagai lauk pauk atau dijadikan sayuran. Kebiasaan masyarakat dalam mengolah mandai

yaitu dengan merendam cempedak ke dalam larutan garam yang berkonsentrasi tidak terukur dan difermentasi samapi waktu yang tidak ditentukan. Penambahan garam bertujuan selain bertujuan untuk menambah cita rasa juga sebagai media pertumbuhan bakteri asam laktat (BAL) dan menghambat pertumbuhan bakteri patogen. Fermentasi tersebut termasuk spontan. Secara umum mandai yang diproduksi masyarakat memiliki rasa asin sehingga mempengaruhi organoleptik dan tidak cocok dikonsumsi oleh penderita hipertensi.



Gambar 2.5. Mandai
Sumber (Mulyani and Ulfiana 2017)

Pengolahan mandai telah banyak dimodifikasi dengan menambahkan kultur BAL dan mengurangi konsentrasi garam. Sehingga dapat dihasilkan mandai yang memiliki rasa yang lebih disukai karena rasa yang tidak asin sehingga bisa di aplikasi berbagai lanjutan. Produk yang berbahan baku mandai yang telah dikembangkan adalah es krim dan sambel mandai.

DAFTAR PUSTAKA

- Daffa Sonik, M, Vina Neldi, and Putri Ramadhani. 2023. "REVIEW ARTIKEL: EFEKTIVITAS DADIH (YOGURT KHAS SUMATRA BARAT) SEBAGAI PROBIOTIK." *Jurnal Farmasi Higea* 15 (1). www.jurnalfarmasihigea.org.
- Hidayat, Nur, Sulistyو Prabowo, Anton Rahmadi, Marwati, and Aswita Emmawati. 2020. *Teknologi Fermentasi*. Bogor: Penerbit IPB press.
- Hidayati, Hafildzah, Zharifa Afifi, Helga Reinetha Triandini, Indah Permata Sari, Yuni Ahda, and Resti Fevria. 2021. "Pembuatan Yogurt Sebagai Minuman Probiotik Untuk Menjaga Kesehatan Usus." *Prosiding SEMNAS BIO*, 1265–70.
- Julianto, Budi, Evy Rossi, and Yusmarini. 2016. "Karakteristik Kimiawi Dan Mikrobiologi Kefir Susu Sapi Dengan Penambahan Susu Kedelai." *Jom Faperta* 3 (1): 1–11.
- Koswara, Sutrisno, . Purba Mauizzati, Sulistyorini Aini, Dyah Nur, Anita, Latifa, Yanti Kamayanti, et al. 2019. *Buku Modul Produksi Pangan Untuk Industri Rumah Tangga: Kecap Manis*. Jakarta: DIREKTORAT SURVEILAN DAN PENYULUHAN KEAMANAN PANGAN DEPUTI BIDANG PENGAWASAN KEAMANAN PANGAN DAN BAHAN BERBAHAYA BADAN PENGAWAS OBAT DAN MAKANAN.
- Marlinda, Roza, and Putri Dafriani. 2022. "Tapai Sebagai Salah Satu Kandidat Pangan Fungsional." *Jurnal Kesehatan Sainatika Meditory* 2 (4657): 62–72. <https://jurnal.syedzasaintika.ac.id>.
- Mulyani, Yogiana, and Dewi N Ulfiana. 2017. "Pemanfaatan Olahan Kulit Buah Cempedak (Mandai) Menjadi Serundeng." *Prosiding Seminar Nasional Ke 1 Tahun 2017 Balai Riset Dan Standardisasi Industri Samarinda*, 143–48.
- Starzyńska-Janiszewska, Anna, Bożena Stodolak, Robert Socha, Barbara Mickowska, and Anna Wywrocka-Gurgul. 2019. "Spelt Wheat Tempe as a Value-Added Whole-Grain Food Product." *LWT* 113 (October). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108250>.

- Syainah, Ermina, Sari Novita, and Rusmini Yanti. 2014. "KAJIAN PEMBUATAN YOGHURT DARI BERBAGAI JENIS SUSU DAN INKUBASI YANG BERBEDA TERHADAP MUTU DAN DAYA TERIMA." *Jurnal Skala Kesehatan*. Vol. 5.
- Taufik, E. 2004. "Dadih Susu Sapi Hasil Fermentasi Berbagai Starter Bakteri Probiotik Yang Disimpan Pada Suhu Rendah: Karakteristik Kimiawi."

BAB 3

MOST PROBABLE NUMBER

Oleh Yuliana Prasetyaningsih

3.1 Pendahuluan

Kontaminasi mikrobiologis pada air dan makanan merupakan masalah kesehatan masyarakat yang serius. Bakteri patogen seperti *Escherichia coli*, *Salmonella*, dan *Vibrio cholerae* dapat menyebabkan penyakit yang serius dan bahkan mematikan. Oleh karena itu, penting untuk memantau dan mengukur keberadaan bakteri ini secara akurat. Metode *Most Probable Number* (MPN) adalah metode penghitungan tidak langsung yang didasarkan pada prinsip pengenceran bertingkat. Metode ini memperkirakan jumlah bakteri dengan menggunakan serangkaian pengenceran sampel dan mengamati hasil pertumbuhan bakteri dalam media kultur selektif.

MPN sering digunakan dalam analisis kualitas air minum, air limbah, produk susu, dan berbagai produk makanan lainnya. Ini adalah metode yang disarankan oleh banyak standar internasional seperti EPA (*Environmental Protection Agency*) dan WHO (*World Health Organization*) untuk pengujian kualitas mikrobiologis. Dengan memahami metode MPN, laboratorium dapat melakukan pengujian yang lebih akurat dan memastikan bahwa produk air dan makanan yang dikonsumsi oleh masyarakat aman dari kontaminasi bakteri.

3.2 Bakteri Coliform

Coliform merupakan kelompok bakteri Gram-negatif, berbentuk batang, aerob sampai anaerob fakultatif, tidak membentuk spora, mampu tumbuh secara aerobik pada media agar yang mengandung garam empedu, dan memfermentasikan laktosa dengan membentuk gas serta asam pada suhu 37°C selama 48 jam (Aulia, 2018). Jumlah Coliform yang diperoleh dari inkubasi pada

suhu 37°C tersebut biasanya dinyatakan sebagai total Coliform (Divya dan Solomon, 2016).

Berdasarkan jenisnya bakteri Coliform dibedakan menjadi dua tipe yaitu faecalcoliform dan nonfaecalcoliform. Faecalcoliform hanya terdiri satu spesies saja yaitu; *Escherichia coli* (*E.coli*). Sedangkan nonfaecalcoliform terdiri dari beberapa species yaitu; *Enterobacter sp*, *Klebsiella sp*, *Aeromonas sp*, *Serratia sp*, *Citrobacter sp*, *Legionella sp* dan *Hafnia sp*.

Bakteri faecalcoliform adalah sub kelompok bakteri Coliform total yaitu bakteri yang berada di usus dan kotoran manusia dan hewan (Depth Health, 2016). Sebagian besar uji kualitas air minum, mendeteksi bakteri coliform, oleh karena itu bakteri fecalcoliform dapat digunakan sebagai petunjuk adanya kontaminasi pada air terutama air minum.

3.3 Media Uji

Media yang digunakan untuk uji MPN dipilih berdasarkan jenis mikroorganisme yang ingin dideteksi. Media ini harus selektif dan memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme target sambil menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain. Media untuk Uji Mikrobiologis MPN antara lain:

1. Total Coliform dan *E. coli*

Menggunakan media *Lauryl Tryptose Broth* (LTB). Media ini digunakan untuk pendeteksian awal coliform. LTB mengandung komponen yang mendukung pertumbuhan coliform, seperti pepton dan laktosa. Hasil positif untuk coliform ditunjukkan dengan pembentukan gas dalam tabung durham.

Media *Brilliant Green Lactose Bile Broth* (BGLB) digunakan sebagai konfirmasi untuk coliform. Media ini mengandung brilliant green dan empedu yang menghambat pertumbuhan non-coliform. Hasil positif untuk coliform ditunjukkan dengan pembentukan gas dalam tabung durham.

Media *EC Broth* digunakan untuk konfirmasi *E. coli*. Media ini selektif untuk *E. coli* karena suhu inkubasi yang tinggi (44.5°C) dan komponen yang mendukung

- pertumbuhan *E. coli*. Hasil positif untuk *E. coli* ditunjukkan dengan pembentukan gas dalam tabung durham.
2. Fecal Coliform
Media M-FC Broth digunakan untuk pendeteksian fecal coliform. Media ini mengandung komponen selektif seperti empedu dan fuchsin yang menghambat pertumbuhan non-fecal coliform. Warna biru pada koloni menunjukkan kehadiran fecal coliform.
 3. Enterococcus
Menggunakan media Azide Dextrose Broth. Media ini digunakan untuk pendeteksian Enterococcus. Media ini mengandung sodium azide yang menghambat pertumbuhan bakteri gram-negatif. Hasil positif untuk Enterococcus ditunjukkan dengan perubahan warna media.
Media *Enterococcosel Broth* digunakan untuk konfirmasi enterococcus. Media ini mengandung eskulin dan ferrous citrate, yang mendukung pertumbuhan enterococcus. Warna hitam pada koloni menunjukkan kehadiran enterococcus.
 2. *Clostridium perfringens* (*C. perfringens*)
Deteksi bakteri ini menggunakan media *Tryptose Sulfite Cycloserine* (TSC). Media ini selektif karena mengandung cycloserine yang menghambat bakteri non-clostridia. Koloni *C. perfringens* akan berwarna hitam karena reduksi sulfite menjadi sulfida.

3.4 Uji kualitas air

Kualitas suatu perairan dapat ditentukan oleh keberadaan dan jumlah bakteri yang terkandung didalamnya. Bakteri Coliform digunakan sebagai parameter uji kualitas air, sedangkan bakteri *E. coli* digunakan sebagai indikator cemaran tinja ((Utami & Miranti, 2020). *E. coli* digunakan sebagai indikator pemeriksaan kualitas bakteriologis secara universal dalam analisis dengan alasan:

1. *E. coli* ditemukan sebagai flora normal di saluran pencernaan manusia/hewan mamalia, atau bahan yang telah terkontaminasi dengan tinja; jarang sekali ditemukan dalam air dengan kualitas kebersihan yang tinggi,

2. Pemeriksaan *E. coli* di laboratorium, mudah dilakukan serta memiliki sensitivitas yang tinggi apabila dilakukan dengan *Standar Operasional Precedure* yang benar.
3. Sampel air dianggap berbahaya untuk penggunaan domestic jika ditemukan *E. coli*
4. Terdapat kemungkinan bakteri enterik patogen yang lain ditemukan bersama-sama dengan *E. coli* dalam air tersebut.

Bakteri coliform merupakan parameter mikrobiologis terpenting untuk penentuan kualitas air minum. Meskipun jenis bakteri ini tidak menimbulkan penyakit tertentu secara langsung, keberadaannya di dalam air minum menunjukkan tingkat sanitasi rendah. Oleh karena itu, air minum harus bebas dari semua jenis coliform.

Semakin tinggi tingkat kontaminasi bakteri coliform, maka semakin tinggi pula risiko adanya bakteri-bakteri patogen lain yang biasa hidup dalam kotoran manusia dan hewan. Salah satu contoh bakteri pathogen yang kemungkinan terdapat dalam air terkontaminasi kotoran manusia atau hewan adalah *Shigella*, mikroba penyebab diare, demam, kram perut, dan muntah-muntah.

Uji kualitas air minum sangat penting untuk memastikan bahwa air yang dikonsumsi aman dan bebas dari kontaminan yang berbahaya bagi kesehatan. *WHO Guidelines for Drinking-water Quality* menyediakan pedoman dan standar global untuk memastikan air minum aman dan bebas dari kontaminan yang berbahaya bagi kesehatan. Pedoman ini mencakup berbagai parameter fisik, kimia, mikrobiologis, dan radiologis yang harus dipantau dan dipertahankan dalam batas yang aman.

Parameter Utama dalam *WHO Guidelines for Drinking-water Quality* secara mikrobiologis yaitu dalam 100 mL air minum tidak boleh ada (Nol) bakteri *E. coli* dan *Enterococcus*. Sedangkan **Coliform Total** digunakan sebagai indikator kontaminasi umum, tetapi tidak boleh digunakan untuk penilaian kesehatan langsung. Beberapa metode uji hitung jumlah bakteri adalah: Metode Plate Count, Penentuan volume total, Metode turbidometri, Metode MPN, Metode perhitungan cawan (Pratiwi, Sylvia T. 2008).

MPN adalah salah satu metode yang digunakan untuk memperkirakan jumlah bakteri dalam sampel air. Metode MPN menggunakan medium cair di dalam tabung reaksi. Pengamatan tabung yang positif dapat dilihat dengan mengamati timbulnya kekeruhan, atau terbentuknya gas di dalam tabung durham untuk bakteri pembentuk gas. Perhitungan dilakukan berdasarkan jumlah tabung positif. Umumnya untuk setiap pengenceran digunakan 3 atau 5 seri tabung. Makin banyak tabung yang digunakan dalam perhitungan nilai MPN, akan menunjukkan tingkat ketelitian yang lebih tinggi. Metode MPN biasanya dilakukan untuk menghitung jumlah bakteri di dalam contoh berbentuk cair, meskipun dapat pula digunakan untuk contoh berbentuk padat dengan terlebih dahulu disuspensikan dengan perbandingan 1:10 dari contoh tersebut dalam buffer.

Prinsip kerja metode MPN yaitu mengencerkan sampel sampai tingkat tertentu sehingga diperoleh konsentrasi mikroorganisme yang sesuai dan jika ditanam dalam tabung menghasilkan frekuensi pertumbuhan tabung positif “kadang-kadang tetapi tidak selalu”.

Semakin besar jumlah sampel yang dimasukkan maka semakin banyak tabung positif yang muncul. Semakin kecil jumlah sampel yang dimasukkan maka semakin sedikit tabung positif yang muncul. Jumlah sampel/pengenceran yang baik adalah yang menghasilkan tabung positif “kadang-kadang tetapi tidak selalu”. Semua tabung positif yang dihasilkan sangat tergantung dengan probabilitas sel yang terambil oleh pipet saat memasukkannya ke dalam media. Oleh karena itu homogenisasi sangat mempengaruhi metode ini. Frekuensi positif (ya) atau negatif (tidak) ini menggambarkan konsentrasi mikroorganisme pada sampel sebelum diencerkan. Kelompok bakteri yang dapat dihitung dengan metode MPN juga bervariasi bergantung pada media yang digunakan untuk pertumbuhannya.

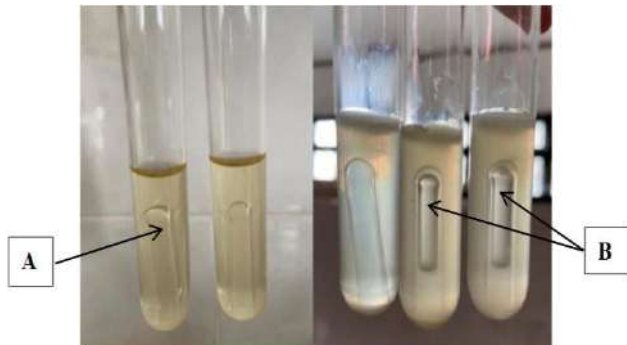
3.5 Metode MPN (Most Probable Number)

Uji MPN terdiri dari tiga tahap, yaitu uji pendugaan (*presumptive test*), uji konfirmasi (*confirmed test*), dan uji

kelengkapan (*completed test*) (Jiwintarum et al., 2018). Adapun bagan pemeriksaan MPN secara lengkap terdapat pada Lampiran 1.

1. Uji pendugaan (*presumptive test*)

Uji pendugaan berfungsi untuk mendeteksi bakteri Coliform yang jumlahnya sangat sedikit dalam air terutama untuk air minum kemasan maupun bahan pangan lainnya.



Gambar 3.1. Hasil uji pendugaan pada media Lactosa broth. Panah A menunjukkan hasil negative, panah B menunjukkan hasil positif terdapat gas pada tabung durham dan media menjadi keruh(Jufri & Rahman, 2022).

Nilai MPN dalam kombinasi tabung positif dan negatif tidak menunjukkan konsentrasi yang sebenarnya, namun berlaku sebagai penunjuk angka bakteri Coliform dengan derajat kepercayaan (*leel of significant*) dalam statistic sebesar 94%. Media perbenihan yang gunakan adalah *lactose broth single strength* (LBSS) dan *lactose broth Triple Strength* (LBTS). LBTS digunakan untuk pengenceran yang lebih besar (10 ml) sedangkan LBSS digunakan untuk pengenceran yang lebih kecil (1 ml dan 0,1 ml). Uji pendugaan terdiri dari 3 ragam pengenceran yaitu:

- a. Ragam I (5:1:1) untuk sampel air minum, terdiri dari 5 tabung berisi media LBTS 5 ml. Pada masing – masing tabung dimasukkan 10 ml sampel air. 1 tabung berisi media LBSS 10 ml dimasukkan 1 ml sampel air. Disiapkan 1 tabung berisi media LBSS 10 ml dimasukkan 0,1 ml sampel air. Selanjutnya

dihomogenkan dan diinkubasi pada suhu 37°C, selama 24 Jam.

- b. Ragam II (5:5:5) untuk sampel air gali/bor disiapkan 5 tabung berisi media LBTS masing-masing sebanyak 5 ml dan dimasukkan sebanyak 10 ml sampel air. Selanjutnya disiapkan 5 tabung masing-masing berisi media LBSS 10 ml, kemudian dimasukkan sebanyak 1 ml sampel air. Disiapkan 5 tabung berisi media LBSS masing-masing sebanyak 10 ml dan dimasukkan 0,1 ml sampel air. Selanjutnya diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 Jam.
- c. Ragam III (3:3:3) untuk sampel air bersih
Disiapkan 3 tabung berisi media LBTS 5 ml , lalu dimasukkan pada masing – masing tabung sebanyak 10 ml sampel air. Disiapkan 3 tabung berisi media LBSS 10 ml kemudian masukkan sebanyak 1 ml sampel air. Disiapkan 3 tabung berisi media LBSS 10 ml lalu dimasukkan sebanyak 0,1 ml sampel air. Selanjutnya diinkubasi pada inkubator dengan suhu 37°C selama 24 Jam.

Pembacaan hasil pada Uji pendugaan ini melihat terbentuknya asam yaitu terjadi kekeruhan pada media laktosa dan gas yang dihasilkan terlihat dalam tabung durham berupa gelembung udara. Tabung dinyatakan positif jika terbentuk gas di dalam tabung durham . Apabila tidak menghasilkan gas maka diinkubasi lagi selama 48 jam pada suhu 37°C (Dhafin, 2017). Jika tetap tidak terbentuk gas maka dinyatakan negative.

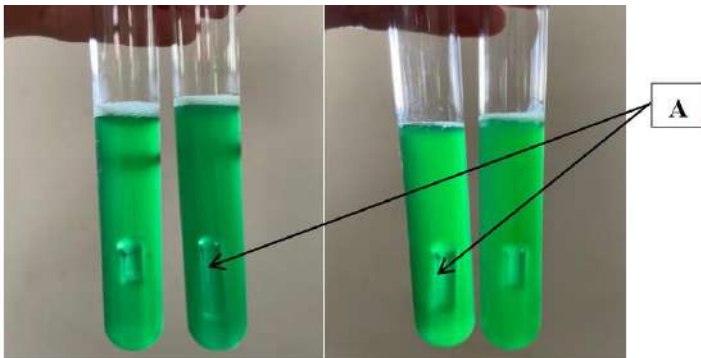
Dalam Uji ini, media LB berfungsi sebagai penyedia sumber karbohidrat yang dapat difermentasikan oleh coliform dan colifecal. Jika hasil ditemukan positif makaterbentuk gelembung gas pada tabung durham, maka pengujian dilanjutkan dengan uji penegasan ((Dewi & Putriani, 2022).

2. Uji penegasan (*confirmed test*)

Dalam Uji penegasan digunakan media BGLB. Media BGLB berfungsi untuk mendeteksi adanya Coliform dan dapat menghambat pertumbuhan bakteri golongan kolon. Uji penegasan dilakukan apabila terdapat tabung positif pada uji pendugaan.

Tabung LB yang positif diambil sebanyak 1 ose kemudian dimasukkan ke dalam tabung media BGLB, selanjutnya diinkubasi pada suhu 37° C selama 24 jam lalu diamati. Uji penegasan ini dinyatakan positif apabila terjadinya gelembung gas pada tabung durham.

Fungsi tabung durham yang diletakan pada media BGLB dengan posisi terbalik adalah untuk mengetahui terbentuknya gas yang ditimbulkan akibat fermentasi laktosa menjadi asam dan gas. Gas yang tertampung dalam tabung durham tersebut kemungkinan bisa berasal dari sel-sel ragi atau dari mikroorganisme yang lain ((Dewi & Putriani, 2022).



Gambar 3.2. Hasil uji penegasan pada media BGLB. Panah B menunjukkan hasil positif terdapat gas pada tabung durham dan media menjadi keruh(Jufri & Rahman, 2022).

Komposisi media BGLB mengandung garam empedu dan laktosa yang mampu membuat bakteri Coliform tumbuh dengan optimal, selain itu BGLB juga mengandung garam ox bile, yang berfungsi sebagai inhibitor untuk menghambat pertumbuhan bakteri gram positif, sehingga bakteri yang tumbuh hanya berupa bakteri gram negatif. Laktosa pada media

BGLB hanya dapat difermentasikan oleh bakteri Coliform menjadi asam suksinat dan fumarate diikuti pembentukan O_2 oleh bakteri Coliform fakultatif anaerob dan CO_2 oleh bakteri Coliform aerob.

Pembentukan gas O_2 dan CO_2 tersebut dijadikan parameter (tolok ukur) ada tidaknya bakteri Coliform dalam sampel (Jufri & Rahman, 2022). Hasil uji penegasan di baca sesuai jumlah tabung yang positif kemudian ditentukan nilai MPN berdasarkan tabel formula Thomas (Lampiran 2) untuk memperkirakan jumlah angka bakteri coliform per 100 ml sampel. Hasil tersebut di cocokkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang batas cemaran pada sampel untuk mengetahui jumlah coliform dalam sampel memenuhi persyaratan atau tidak.

3. Uji kelengkapan (*Completed test*)

Uji penegasan hanya mengetahui jumlah perkiraan bakteri coliform, belum diketahui species bakterinya. Oleh karena itu test dilanjutkan dengan uji kelengkapan untuk memastikan spesies bakteri yang tumbuh dalam sampel. Tahapan Uji ini adalah mengambil 1 ose bakteri dari medium BGLB yang positif dan dilakukan goresan pada media *Eosin Metilen Blue Agar* (EMBA), selanjutnya diinkubasi $37^\circ C$ selama 24 jam.

Media EMBA berfungsi untuk menguji kualitas air dengan membedakan bakteri non fecal coliform dan fecal coliform. Adanya *E. coli* di sungai/sampel air menunjukkan kemungkinan kontaminasi tinja. Bakteri gram negatif yang memfermentasi laktosa, dapat menghasilkan asam. Dalam kondisi asam bakteri tersebut akan menghasilkan warna kompleks berwarna ungu gelap atau warna hijau metalik (Andi Tri Atmojo, 2019).

Warna hijau metalik merupakan indikator dari bakteri yang dapat memfermentasi laktosa dengan kuat dan atau bakteri yang dapat memfermentasi sukrosa, dimana ini merupakan ciri khas bakteri fecal coliform. Bakteri yang memfermentasi laktosa dengan lambat akan menghasilkan

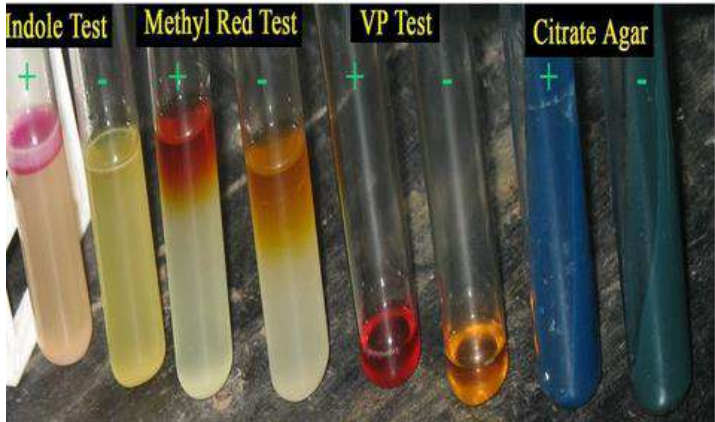
asam dengan jumlah yang sedikit, sehingga koloni akan berwarna coklat atau merah muda. Pada bakteri yang tidak dapat memfermentasi laktosa koloni akan berwarna merah muda atau transparan(Andi Tri Atmojo, 2019).



Gambar 3.3. Hasil pertumbuhan koloni bakteri coliform dalam media EMBA(Kurniawati, 2017).

Selain itu koloni yang terpisah dilanjutkan dengan uji biokimia. Media Uji yang digunakan yaitu medium simon sitrat, medium air pepton, methyl red dan Voges Proskauer (VP). Medium tersebut kemudian diinkubasi dengan suhu 30° C selama 24 jam.

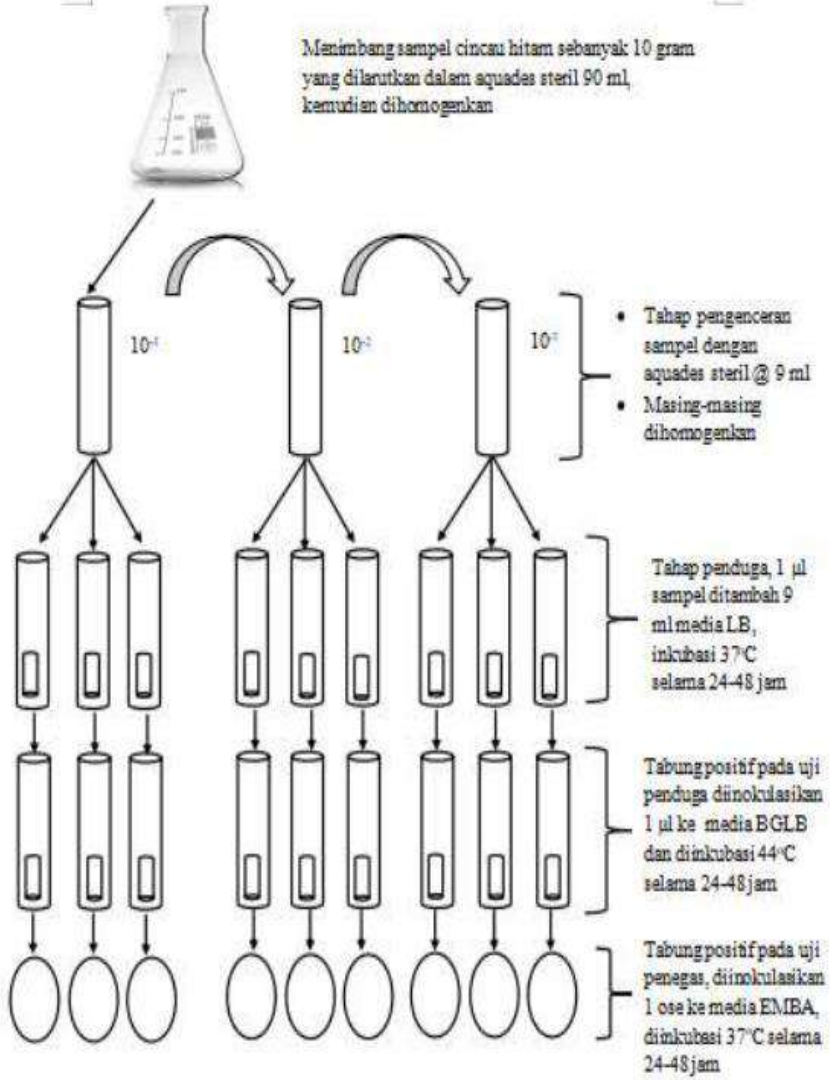
Hasil positif terlihat perubahan warna pada sitrat menjadi biru terang, terbentuk cincin merah bata pada VP dan indol serta terjadi warna merah pada methyl red. Hasil Uji kelengkapan menunjukkan jenis bakteri coliform hingga ke tingkat spesiesnya berdasarkan pengamatan koloni bakteri serta hasil uji biokimia.



Gambar 3.4. Hasil uji kelengkapan((*Pengujian Mikroba Pada Dairy Product (Produk Olahan Susu)*, n.d.).

Uji kelengkapan/pelengkap merupakan uji terakhir yang digunakan untuk membuktikan adanya kontaminasi tinja manusia pada sampel air. Analisis bakteri Coliform tinja (bakteri fecal) melalui Most Probable Number (MPN) membuktikan bahwa semakin kecil nilai MPN maka air tersebut semakin tinggi kualitasnya, tidak terjadi kontaminasi dan layak untuk diminum (Praxis, 2022).

Lampiran 1. Bagan pemeriksaan metode MPN ragam 333 pada pengujian sampel cincau hitam



Gambar 3.5. Diagram pemeriksaan MPN menggunakan ragam 3:3:3 ((Hadiatun et al., 2023))

Lampiran 2. Tabel Uji Penegasan menurut Formula Thomas

Tabel 3.1. Tabel MPN 3 3 3 menurut Formula Thomas

Tabel MPN ragam 333			
Number of positive tubes			MPN Index per mL 100
3x10mL	3x1mL	3x0,1mL	
0	0	0	0
0	0	1	3
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15
2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	>2400

Tabel 3.2. Tabel MPN 5 1 1 menurut Formula Thomas

Tabel MPN ragam 511 Formula Thomas			
Number of positive tubes			MPN Index per 100 mL
5x10mL	1x1mL	1x0,1mL	
0	0	0	0
0	0	1	2
0	1	0	2
0	1	1	4
1	0	0	2
1	0	1	4
1	1	0	4
1	1	1	7
2	0	0	5
2	0	1	8
2	1	0	8
2	1	1	10
3	0	0	9
3	0	1	12
3	1	0	12
3	1	1	16
4	0	0	17
4	0	1	21
4	1	0	22
4	1	1	27
5	0	0	67
5	0	1	84
5	1	0	265
5	1	1	≥979

Tabel 3.3. Tabel MPN ragam 555 menurut Formula Thomas

Tabel MPN ragam 555			
Number of positive tubes			MPN Index per 100 mL
5x10mL	5x1mL	5x0,1mL	
0	0	0	< 2
0	0	1	2
0	1	0	2
0	2	0	4
1	0	0	2
1	0	1	4
1	1	0	4
1	1	1	6
1	2	0	6
2	0	0	4
2	0	1	7
2	1	0	7
2	1	1	9
2	2	0	9
2	3	0	12
3	0	0	8
3	0	1	11
3	1	0	11
3	1	1	14
3	2	0	14
3	2	1	17
4	0	0	13
4	0	1	17
4	1	0	17
4	1	1	21
4	1	2	26
4	2	0	22
4	2	1	26
4	3	0	27

Tabel MPN ragam 555			
Number of positive tubes			MPN Index per 100 mL
5x10mL	5x1mL	5x0,1mL	
4	3	1	33
4	4	0	34
5	0	0	23
5	0	1	30
5	0	2	40
5	1	0	30
5	1	1	50
5	1	2	60
5	2	0	50
5	2	1	70
5	2	2	90
5	3	0	80
5	3	1	110
5	3	2	140
5	3	3	170
5	4	0	130
5	4	1	170
5	4	2	220
5	4	3	280
5	4	4	350
5	5	0	240
5	5	1	300
5	5	2	500
5	5	3	900
5	5	4	1600
5	5	5	≥1600

DAFTAR PUSTAKA

- ISO 7218: 2007(E) Microbiology of food and animal feeding stuffs – general requirements and guidance for microbiological examinations”, ISO, 2007, hal. 60
- Andi Tri Atmojo. (2019). *Media EMB Agar - Indonesian Medical Laboratory*. <https://medlab.id/media-emb-agar/>
- Dewi, A. P., & Putriani, K. (2022). Analysis of Coliform and Colifecal Contamination on Sanjai Chip Using MPN Method. *JPK: Jurnal Proteksi Kesehatan*, 11(1), 52–56. <https://doi.org/10.36929/jpk.v11i1.433>
- Hadiatun, N., Anisa, Y. Y., & Hijriani, B. I. (2023). Gambaran Bakteri Eschericia Coli Pada Cincau Hitam Dengan Metode Mpn Di Pasar Kota Malang. *JSN: Jurnal Sains Natural*, 1(2), 36–40. <https://doi.org/10.35746/jsn.v1i2.343>
- Jiwintarum, Y., Agrijanti, A., & Septiana, B. L. (2018). Coliform Most Probable Number (Mpn) With Varieties of Media Volume Lactose Broth Single Strength (Lbss) and Lactose Broth Double Strength (Lbds). *Jurnal Kesehatan Prima*, 11(1), 11. <https://doi.org/10.32807/jkp.v11i1.17>
- Jufri, E. S., & Rahman, I. (2022). Analisis Cemaran Bakteri Coliform Pada Minuman Jajanan Dengan Metode MPN (Most Probable Number). *Journal Syifa Sciences and Clinical Research*, 4(1), 162–172. <https://doi.org/10.37311/jsscr.v4i1.13595>
- Kurniawati, putri. (2017). Bakteri Coliform. *Universitas Nusantara PGRI Kediri*, 01, 1–7.
- Pengujian Mikroba pada Dairy Product (Produk Olahan Susu)*. (n.d.).
- Praxis. (2022). MPN Coliform. *Journal of Economic Perspectives*, 2(1), 1–4. <http://www.ifpri.org/themes/gssp/gssp.htm%0Ahttp://files/171/Cardon-2008-Coaching-d%eacute;quipe.pdf%0Ahttp://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203%0Ahttp://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/%0Ahttps://doi.org/10.1080/23322039.2017>
- Utami, F. T., & Miranti, M. (2020). Metode Most Probable Number (MPN) Sebagai Dasar Uji Kualitas Air Sungai Rengganis dan

Pantai timur Pangandaran Dari Cemarkan Coliform dan Escherichia coli. *Jurnal Kesehatan Bakti Tunas Husada : Jurnal Ilmu Ilmu Keperawatan, Analisis Kesehatan Dan Farmasi*, 20(1), 21-30. https://ejurnal.stikes-bth.ac.id/index.php/P3M_JKBTH/article/download/550/482

BAB 4

MIKROBIOLOGI SUSU

Oleh Mamluatul Faizah

4.1 Pendahuluan

Susu merupakan salah satu sumber protein hewani yang gemar dikonsumsi oleh masyarakat. Susu berupa cairan berwarna putih yang dihasilkan dari ambing atau kelenjar susu mamalia betina (Putri *et al.*, 2024). Susu adalah cairan yang disekresikan oleh mamalia betina untuk tujuan memberi nutrisi pada keturunannya. Susu dianggap sebagai makanan manusia yang hampir lengkap yang secara umum dapat dikonsumsi tanpa pengolahan lebih lanjut (Cheung and Mehta, 2015). Susu mengandung nilai gizi yang tinggi, nutrisi lengkap, dan memiliki banyak manfaat baik bagi pertumbuhan dan perkembangan manusia. Kandungan nutrisi pada susu antara lain protein, asam lemak esensial, vitamin, dan mineral (Maharani *et al.*, 2020). Selain kandungan protein, vitamin, dan mineralnya yang kaya, susu juga memiliki ekosistem mikroba yang kompleks dari berbagai mikroorganisme yang memainkan peran penting dalam komposisi, rasa, dan keamanannya.

Studi mikrobiologi susu memberikan wawasan tentang interaksi antara mikroba dan komponen susu, yang menjelaskan pentingnya mikroorganisme ini dalam produksi susu tradisional maupun modern. Susu berfungsi sebagai habitat unik bagi komunitas mikroorganisme yang beragam, terutama bakteri, ragi (*yeast*), dan jamur. Mikroorganisme ini berasal dari berbagai sumber, termasuk ambing hewan yang sedang menyusui, lingkungan tempat hewan tersebut tinggal, dan peralatan serta perkakas yang digunakan selama pengumpulan dan pemrosesan susu (Sace, 2023). Mikroorganisme susu dapat memberikan manfaat dan kerugian. Manfaat yang diperoleh misalnya dalam produk fermentasi susu seperti yogurt, kefir, keju, mentega, dan lain-lain. Kerugian keberadaan mikroorganisme patogen pada susu dapat memicu bahaya kesehatan jika mengkonsumsinya.

4.2 Komposisi Susu

Susu merupakan campuran heterogen yang dapat didefinisikan sebagai zat kimia kompleks terdiri dari lemak yang teremulsi menjadi gumpalan, protein susu utama berupa kasein, beberapa bahan mineral dalam bentuk koloid, laktosa serta beberapa mineral dan protein whey yang larut dalam bentuk larutan sejati. Kondisi pH susu normal bervariasi dari 6,5 hingga 6,7 (Cheung and Mehta, 2015). Komposisi utama susu yaitu 87,9 % air, 3,5 % protein, 3,5-4,2 % lemak, 0,85 % vitamin dan mineral (Estiasih & Ahmadi, 2016). Komposisi susu dapat berbeda tergantung pada spesies mamalia (Tabel 4.1) dan beberapa faktor yang mempengaruhinya.

Tabel 4.1. Komposisi Susu pada Beberapa Spesies Mamalia

Spesies	Komposisi rata-rata (%)				
	Air	Lemak	Protein	Laktosa	Abu
Kerbau	84,20	6,6	3,9	5,0	0,7
Sapi	86,30	4,9	3,4	4,2	0,7
Domba	83,70	6,0	4,8	4,9	0,8
Kambing	86,50	4,5	3,5	4,7	0,8
Unta	87,61	5,38	2,98	3,20	0,70
Manusia	87,43	3,75	1,63	6,98	0,21

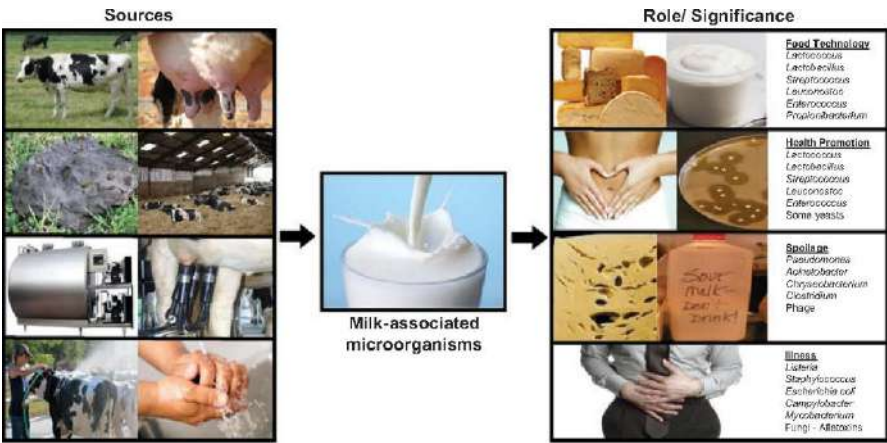
Sumber: Cheung and Mehta, 2015

Lemak susu berperan penting dalam menentukan rasa yang diinginkan atau tidak diinginkan dalam produk susu serta memberikan kualitas rasa yang lembut, dan halus. Protein tersusun dari asam amino, lebih tepatnya, asam L- α -aminokarboksilat. Protein susu digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu protein kasein (80 %) dan protein whey (20 %). Laktosa merupakan gula utama dalam susu dengan rasa manis 25 % dari sukrosa. Laktosa adalah disakarida yang terdiri

dari α -D-glukosa (atau β -D-glukosa) dan β -D-galaktosa. Laktosa memberikan kontribusi besar terhadap sifat koligatif susu: penurunan titik beku tekanan osmotik dan peningkatan titik didih. Susu kaya akan kandungan vitamin: larut dalam lemak seperti A, D, E, dan K; larut dalam air seperti B1, B2, B6, B12, asam pantotenat, niasin, biotin, asam folat, dan vitamin C (Cheung and Mehta, 2015). Kandungan nutrisi yang kaya pada susu menjadikannya sebagai lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan mikroorganisme yang beragam.

4.3 Mikroorganisme Susu

Komunitas mikroba dalam susu itu kompleks. Mikroorganisme dominan dan subdominan yang ada dalam susu dapat memiliki berbagai pengaruh pada rasa, aroma, dan tekstur produk yang berasal dari susu (Gambar 4.1). Mikroorganisme tersebut dapat berasal dari berbagai sumber seperti kelenjar susu hewan, lingkungan hewan, atau peralatan selama pemrosesan susu.

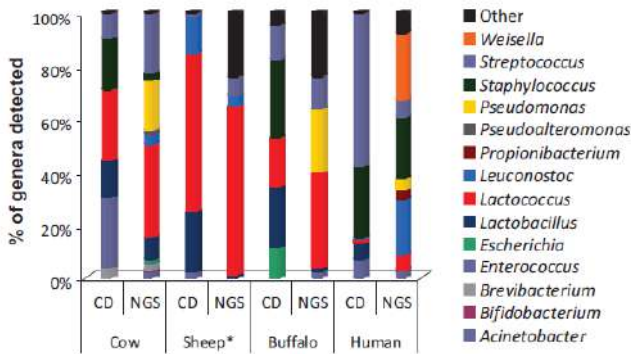


Gambar 4.1. Sumber Potensial Mikroorganisme Susu dan Perannya
(Sumber : Quigley *et al.*, 2013)

Mikroorganisme dapat masuk ke dalam susu melalui kontak dengan hewan, termasuk puting susu, kulit, kotoran, dan juga dari kandang, alas tidur, pakan, udara, serta air. Kontak dengan peralatan peternakan dan peralatan pemerahan susu serta kebersihan

peternakan atau personel yang tidak memadai dapat memengaruhi kandungan mikroba dalam susu. Saat berada di dalam susu, mikroorganisme ini dapat memainkan peran penting dalam pembuatan produk susu; mereka dapat berkontribusi untuk meningkatkan kesehatan manusia atau meningkatkan keamanan pangan. Di sisi lain, mikroorganisme ini dapat menyebabkan pembusukan susu dan produk susu atau dapat menyebabkan penyakit dan gangguan kesehatan pada manusia (Quigley *et al.*, 2013).

Produksi terbesar susu yang dikonsumsi manusia di dunia berasal dari sapi. Namun, terdapat beberapa jenis mamalia lain seperti kambing, domba, kerbau, unta, dan juga manusia. Perbedaan jenis tersebut juga dapat mempengaruhi komposisi mikroorganisme di dalam susu (Gambar 4.2). Susu manusia yang dikenal sebagai air susu ibu (ASI) berpotensi melindungi bayi baru lahir dari penyakit menular melalui penyediaan komponen aktif, termasuk imunoglobulin, sel imunokompeten, asam lemak, oligosakarida, dan glikoprotein. Selain itu, ASI juga merupakan sumber mikroorganisme dan faktor pertumbuhan yang berkontribusi terhadap pertumbuhannya di dalam usus. Awalnya, mikroorganisme ini dianggap ditularkan dari kulit ibu. Namun, penelitian terkini menunjukkan bahwa bakteri di dalam usus ibu dapat mencapai kelenjar susu melalui penularan vertikal (Albesharat *et al.*, 2011).



Gambar 4.2. Komposisi mikroba dari berbagai jenis susu (sapi, domba, kerbau, dan manusia)
(Sumber : Quigley *et al.*, 2013)

Keberadaan mikroorganisme tersebut dapat memfasilitasi fermentasi susu (misalnya *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Propionibacterium*, dan populasi jamur), menyebabkan pembusukan (misalnya *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Bacillus*, dan mikroorganisme pembentuk spora atau termodurik lainnya), meningkatkan kesehatan (misalnya *Lactobacilli* dan *Bifidobacteria*), atau menyebabkan penyakit (misalnya *Listeria*, *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Campylobacter*, dan jamur penghasil mikotoksin) (Mishra *et al.*, 2023; Quigley *et al.*, 2013). Berikut pengelompokan mikroorganisme susu berdasarkan perannya.

4.2.1 Fermentasi Susu

Mikroorganisme yang mampu memfermentasi susu yang paling umum dikenal dengan Bakteri Asam Laktat (BAL). Bakteri merupakan anggota mikrobiota susu yang paling menonjol. Kehadiran kelompok BAL sangat penting, karena mereka memainkan peran penting dalam mengubah laktosa (gula susu) menjadi asam laktat melalui fermentasi. Proses ini tidak hanya berkontribusi pada rasa asam khas produk susu, tetapi juga bertindak sebagai mekanisme pengawetan alami dengan menurunkan pH dan menghambat pertumbuhan patogen berbahaya. Beberapa genus BAL yang umum ditemukan dalam susu antar lain *Streptococcus*, *Lactobacillus*, dan *Lactococcus* (Sace, 2023). Bakteri tersebut biasanya terdapat dalam susu dan juga digunakan sebagai kultur starter dalam produksi produk olahan susu seperti yogurt, mentega, keju, kefir, koumis, dan lainnya (Tabel 4.2).

Tabel 4.2. Produk fermentasi susu dan mikroorganisme

Produk Susu	Mikroorganisme
Yogurt	<i>Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus</i> , <i>Streptococcus salivarius subsp. Thermophilus</i> ; <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacteria</i>
Keju	<i>Lactococcus lactis</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus</i> sp
Mentega	<i>Streptococcus lactis</i> , <i>Streptococcus diacetylactis</i>

Produk Susu	Mikroorganisme
Kefir	BAL: <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus kefir</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>Lactobacillus parakefiri</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> and <i>Lactococcus lactis</i> ; BAA: <i>Acetobacter aceti</i> and <i>Acetobacter</i> ; Yeast: <i>Candida lambica</i> , <i>Kluyveromyces marxianus</i> , <i>Saccharomyces exiguous</i> and <i>Torula kefir</i>
Koumis	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus rhamnosus</i> ; <i>L. Acidophilus</i> , <i>L. Plantarum</i> , <i>L. Casei</i> , <i>L. fermentum</i> ; <i>Streptococcus thermophilus</i> and <i>Streptococcus cremoris</i>

Keterangan: BAL = Bakteri Asam Laktat; BAA = Bakteri Asam Asetat

Sumber: Modifikasi penulis dari Kumar (2017)

1. *Lactobacillus*

Genus *Lactobacillus* sangat beragam dan menurut perkiraan terbaru terdiri dari 174 spesies berbeda dan 27 subspecies (www.bacterio.cict.fr). *Lactobacillus* dapat ditemukan di tanaman, hewan, silase, dan susu mentah yang kaya akan karbohidrat (Bernardeau *et al.*, 2008). Perkembangan ilmu biologi telah mengarah pada penggunaan galur *Lactobacillus* untuk berbagai aplikasi industri susu. Secara khusus, aktivitas proteolitik dan kemampuannya untuk menghasilkan senyawa aroma dan eksopolisakarida dapat berkontribusi pada kualitas dan nilai gizi produk susu (Leroy and De Vuyst, 2004). Spesies *Lactobacillus* yang sangat penting dalam industri susu adalah *L. helveticus*, *L. delbrueckii ssp. bulgaricus*, dan *L. delbrueckii ssp. lactis* (dua spesies terakhir juga disebut sebagai *L. bulgaricus* dan *Lactobacillus lactis*) (Quigley *et al.*, 2013).

2. *Lactococcus*

Lactococcus terdiri dari tujuh spesies, dua subspecies, dan satu biovar. Dari spesies-spesies tersebut, *Lactococcus lactis ssp. lactis* dan *Lactococcus lactis ssp. cremoris* dapat mendominasi

susu mentah, keju, dan produk susu (yang tidak dipanaskan) lainnya. Dalam makanan olahan susu, *Lactococcus lactis* khususnya *Lactococcus lactis ssp. lactis* dan *Lactococcus lactis ssp. cremoris* dikenal sebagai kultur starter untuk industri keju. Biovar *Lactococcus lactis ssp. lactis diacetylactis* juga dikenal karena produksinya yang menghasilkan senyawa-senyawa pengembang rasa. Bakteri ini dibedakan satu sama lain berdasarkan pemanfaatan arginin dan sitrat, suhu pertumbuhan, serta toleransi garam (Kahala *et al.*, 2008). Meskipun secara alami terdapat dalam susu mentah dan keju yang diproduksi secara artisanal, bakteri ini sering ditambahkan ke susu yang dipasteurisasi untuk memudahkan pembuatan keju secara komersial (Smit, Smit and Engels, 2005). Peran utama *Lactococcus* selama produksi keju adalah pengasaman melalui produksi L-laktat dan juga berkontribusi terhadap proteolisis, konversi asam amino menjadi senyawa perasa (alkohol, keton, aldehida), pemanfaatan sitrat, dan/atau metabolisme lemak (Quigley *et al.*, 2013).

3. ***Streptococcus***

Streptococcus terdiri dari 97 spesies dan 17 subspesies (www.bacterio.cict.fr). Meskipun banyak genus *Streptococcus* bersifat patogen, *S. thermophilus* memiliki status aman dan sering diisolasi dari lingkungan peternakan susu, termasuk susu mentah, kultur starter alami, dan dadih keju. Strain *S. thermophilus* juga telah terdeteksi di ambing sapi, kandang sapi, dan fasilitas peternakan susu (Vacheyrou *et al.*, 2011; Braem *et al.*, 2012). *Streptococcus thermophilus* adalah BAL termofilik yang banyak digunakan sebagai kultur starter dalam pembuatan produk susu. Bakteri ini sering dianggap sebagai starter susu skala industri terpenting kedua setelah *Lactococcus lactis*. Kepentingannya dalam produk susu adalah karena kemampuannya untuk mengubah laktosa menjadi laktat dengan cepat, menyebabkan penurunan pH yang cepat, dan produksi metabolit penting termasuk kadar format, asetoin, diasetil, asetaldehida, dan asetat yang rendah (Ott *et al.*, 2000). Banyak galur *S. thermophilus* menghasilkan eksopolisakarida yang berkontribusi pada tekstur kental dan sifat reologi yang

diinginkan dari produk susu fermentasi, terutama yoghurt. Dalam keju, *S. thermophilus* digunakan sendiri atau dalam kombinasi dengan beberapa *Lactobacillus* dan starter mesofilik, tetapi dalam pembuatan yoghurt, bakteri ini selalu digunakan dengan *L. bulgaricus* (Quigley *et al.*, 2013).

4.2.2 Pembusukan Susu

Kualitas mikroba susu sangat penting untuk produksi produk olahan susu yang berkualitas. Pembusukan adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan penurunan tekstur, warna, bau, atau rasa makanan hingga tidak menggugah selera atau tidak layak untuk dikonsumsi manusia. Pembusukan makanan oleh mikroba sering kali melibatkan degradasi protein, karbohidrat, dan lemak oleh mikroorganisme atau enzimnya. Dalam susu, mikroorganisme utama yang terlibat dalam pembusukan adalah organisme psikrotrof (tumbuh optimum pada suhu rendah).

Sebagian besar psikrotrof dihancurkan oleh suhu pasteurisasi. Namun, beberapa bakteri seperti *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas fragi* mampu menghasilkan enzim ekstraseluler proteolitik dan lipolitik yang stabil terhadap suhu panas dan mampu menyebabkan pembusukan. Beberapa kelompok bakteri yang bertanggung jawab pada proses pembusukan susu antara lain : *Bacillus*, *Clostridium*, *Cornebacterium*, *Arthrobacter*, *Lactobacillus*, *Microbacterium*, *Micrococcus*, dan *Streptococcus*. Bakteri tersebut dapat bertahan hidup setelah pasteurisasi dan tumbuh pada suhu pendinginan yang dapat menyebabkan masalah pembusukan.

4.2.3 Penyebab Penyakit

Penyakit yang dapat ditularkan melalui susu diantaranya tuberkulosis, brucellosis, listeriosis, dan demam tifoid. Beberapa cara telah dilakukan untuk mengurangi ancaman penyakit akibat konsumsi susu atau produk olahannya yaitu dengan cara produksi susu yang higienis, penanganan dan penyimpanan susu yang tepat, serta pasteurisasi. Namun, masih ada sejumlah penyakit yang ditularkan melalui makanan akibat konsumsi susu mentah, atau produk susu yang dibuat dari susu yang tidak dipasteurisasi dengan benar atau tidak ditangani dengan baik yang menyebabkan

kontaminasi pasca-pemrosesan. Bakteri patogen yang ditemukan dalam susu mentah dan produk susu lainnya, antara lain : *Bacillus cereus*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella spp.*, *Escherichia coli* O157:H7, *Vibrio cholera*, dan *Campylobacter jejuni* (Hickey *et al.*, 2015).

Bakteri koliform juga sebagai organisme indikator keamanan makanan dan minuman. Bakteri ini sangat erat kaitannya dengan keberadaan patogen tetapi tidak selalu bersifat patogenik. Bakteri koliform adalah bakteri anaerob fakultatif dengan pertumbuhan optimum pada suhu 37° C. Kelompok ini juga dapat menyebabkan pembusukan susu dengan cepat karena mereka dapat memfermentasi laktosa dengan produksi asam dan gas, dan dapat mendegradasi protein susu. Koliform dapat dibunuh oleh perlakuan *High Temperature Short Time* (HTST); pemanasan suhu 80 C selama 1 menit. Oleh karena itu, keberadaan koliform setelah perlakuan merupakan indikasi kontaminasi. *Escherichia coli* adalah contoh yang termasuk dalam kelompok ini. *E. coli* adalah bakteri gram negatif yang secara alami terdapat di usus bagian bawah, tetapi beberapa strain dapat menyebabkan gastroenteritis dan infeksi saluran kemih. *E. coli* dalam produk susu seperti yogurt merupakan hasil dari kontaminasi pasca-pasteurisasi. *E. coli* O157 telah terbukti mampu bertahan dalam kondisi asam yang terkait dengan pembuatan yogurt, sehingga menimbulkan risiko kesehatan yang serius bagi konsumen (Hickey *et al.*, 2015).

Batas maksimum cemaran mikroba susu berdasarkan Standar Nasional Indonesia (2009) memiliki beberapa kategori berdasarkan jenis susu sebagaimana pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3. Batas maksimum cemaran mikroba pada susu

Jenis susu	Jenis cemaran mikroba	Batas maksimum
Susu segar (proses lanjut)	ALT (30 C, 72 jam)	1x10 ⁶ koloni/mL
	Koliform	2x10 ¹ koloni/mL
	APM <i>Escherichia coli</i>	< 3/mL
	<i>Salmonella sp.</i>	Negatif/25 mL
	<i>Staphylococcus aureus</i>	1x10 ² koloni/mL
Susu segar (konsumsi langsung)	ALT (30 C, 72 jam)	5x10 ⁴ koloni/mL
	Koliform	2x10 ¹ koloni/mL
	APM <i>Escherichia coli</i>	<3/mL
	<i>Salmonella sp.</i>	Negatif/25 mL
	<i>Staphylococcus aureus</i>	1x10 ² koloni/mL
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Negatif/25 mL
	<i>Campylobacter sp</i>	Negatif/25 mL
Susu pasteurisasi	ALT (30 C, 72 jam)	5x10 ⁴ koloni/mL
	APM Koliform	10/mL
	APM <i>Escherichia coli</i>	<3/mL
	<i>Salmonella sp.</i>	Negatif/25 mL
	<i>Staphylococcus aureus</i>	1x10 ² koloni/mL
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Negatif/25 mL
Susu UHT	ALT (30 C, 72 jam, 15 hari)	<10 koloni/0,1 mL
Yogurt	APM Koliform	10/mL
	<i>Salmonella sp.</i>	Negatif/25 mL
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Negatif/25 mL
Keju	APM <i>Escherichia coli</i>	10/g
	<i>Salmonella sp.</i>	Negatif/25 g
	<i>Staphylococcus aureus</i>	1x10 ² koloni/g
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Negatif/25 g
Mentega	ALT (30 C, 72 jam)	1x10 ⁵ koloni/g
	Koliform	1x10 ¹ koloni/g
	<i>Salmonella sp.</i>	Negatif/25 g
	<i>Staphylococcus aureus</i>	1x10 ² koloni/g
	<i>Listeria monocytogenes</i>	Negatif/25 g

Keterangan: ALT= Angka Lempeng Total; APM= Angka Paling
Mungkin

Sumber: (Standar Nasional Indonesia, 2009)

Kontaminasi jamur juga memungkinkan, terutama spesies *Aspergillus*, *Fusarium*, dan *Penicillium* dapat tumbuh dalam susu dan produk susu. Jika kondisinya memungkinkan, jamur ini dapat menghasilkan mikotoksin yang dapat membahayakan kesehatan. Oleh karena itu, perlu memastikan proses pengolahan dan penyimpanan susu secara steril dan tepat agar susu ataupun produk olahan susu terhindar dari kontaminasi patogen berbahaya sehingga memberikan manfaat gizi yang baik bagi kesehatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Albesharat, R. *et al.* (2011) 'Phenotypic and genotypic analyses of lactic acid bacteria in local fermented food, breast milk and faeces of mothers and their babies', *Syst Appl Microbiol*, 34, pp. 148–155.
- Bernardeau, M. *et al.* (2008) 'Safety assessment of dairy microorganisms: the *Lactobacillus* genus.', *Int J Food Microbiol*, 126, pp. 278–285.
- Braem, G. *et al.* (2012) 'Culture-independent exploration of the teat apex microbiota of dairy cows reveals a wide bacterial species diversity', *Vet Microbiol*, 157, pp. 383–390.
- Cheung, P.C.K. and Mehta, B.M. (2015) *Handbook of food chemistry, Handbook of Food Chemistry*. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36605-5>.
- Estiasih, T. and Ahmadi, K. (2016) *Teknologi Pengolahan Pangan*. Jakarta: Rajawali Press.
- Hickey, C.D. *et al.* (2015) 'Growth and location of bacterial colonies within dairy foods using microscopy techniques: A review', *Frontiers in Microbiology*, 6(FEB), pp. 1–8. Available at: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00099>.
- Kahala, M. *et al.* (2008) 'Characterization of starter lactic acid bacteria from the Finnish fermented milk product viili', *J Appl Microbiol*, 105, pp. 1929–1938.
- Kumar, A. (2017) 'Role of Microbes in Dairy Industry', *Nutrition & Food Science International Journal*, 3(3), pp. 1–3. Available at: <https://doi.org/10.19080/nfsij.2017.03.555612>.
- Leroy, F. and De Vuyst, L. (2004) 'Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry', *Trends Food Sci Technol*, 15, pp. 67–78.
- Maharani *et al.* (2020) 'Inspection of Milk Quality from Milk Shops in The Student Settlement Areas of', *Jurnal Kajian Veteriner*, 8(1), pp. 24–33.
- Mishra, O. *et al.* (2023) 'Isolation and Identification of Complex Microbiota from Milk and Milk Products and Anti-Microbial Activity of Fruit Peels Against Isolated Bacteria', *International Journal For Multidisciplinary Research*, 5(4), pp.

- 1-7. Available at:
<https://doi.org/10.36948/ijfmr.2023.v05i04.4507>.
- Ott, A., Germond, J. and Chaintreau, A. (2000) 'Origin of acetaldehyde during milk fermentation using (13)C-labeled precursors', *J Agric Food Chem*, 48, pp. 1512–1517.
- Putri, S.A. *et al.* (2024) 'Susu Sebagai Pilihan Utama: Manfaat Kesehatan dan Tips Konsumsi yang Bijak', *Karimah Tauhid*, 3(3), pp. 3025–3031. Available at:
<https://doi.org/10.30997/karimahtauhid.v3i3.12349>.
- Quigley, L. *et al.* (2013) 'The complex microbiota of raw milk', *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), pp. 664–698. Available at:
<https://doi.org/10.1111/1574-6976.12030>.
- Sace, L. (2023) 'The Microbiology of Milk and its Functional Significance Journal of Food : Microbiology , Safety &', pp. 1–2. Available at: <https://doi.org/10.35248/2476-2059.23.8.220>.Citation.
- Smit, G., Smit, B. and Engels, W. (2005) 'Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products', *FEMS Microbiol Rev*, (29), pp. 591–610.
- Standar Nasional Indonesia (2009) *Batas Maksimum Cemaran Mikroba Dalam Pangan SNI 7388:2009*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Vacheyrou, M. *et al.* (2011) 'Cultivable microbial communities in raw cow milk and potential transfers from stables of sixteen French farms', *Int J Food Microbiol*, 146, pp. 253–262.

BAB 5

PENGENDALIAN MIKROORGANISME

Oleh Hajrah Hidriya

5.1 Pendahuluan

Bakteri adalah makhluk hidup berukuran kecil, mikroorganisme ini bersel tunggal uniseluler. Organisme lain yang termasuk dalam mikroorganisme adalah fungi uniseluler, alga uniseluler dan protozoa (Boleng, 2015).

Saat menganalisis bakteri di laboratorium, prinsip-prinsip pengendalian mikroorganisme lain harus diperhatikan. Hal ini dilakukan untuk menghindari kontaminasi pertumbuhan sel bakteri dengan mikroorganisme lain. Dengan selalu memperhatikan sterilitas pada seluruh analisis bakteri di laboratorium, maka dapat tercapai tidak adanya kehidupan pada berbagai instrumen dan bahan yang digunakan di laboratorium. Dengan cara ini, bakteri atau kelompok bakteri yang diinginkan dapat dianalisis secara lengkap tanpa adanya kontaminasi oleh bakteri atau mikroorganisme lain (Boleng, 2015).

Prinsip pengendalian mikroorganisme merupakan aspek penting dalam proses analisis bakteri di laboratorium. Hal ini untuk memastikan bahwa analisis bakteriologis di laboratorium dilakukan tanpa adanya mikroorganisme pencemar dan sesuai dengan kondisi peralatan dan bahan yang digunakan. Hal ini juga untuk mencegah proses analisis bakteriologis di laboratorium dipengaruhi oleh berbagai mikroorganisme, dan diperlukan pengendalian yang tepat dalam menangani kontaminasi peralatan dan bahan laboratorium. menangani kontaminasi pada alat dan bahan di laboratorium (Boleng, 2015). Pengendalian mikroorganisme diperlukan untuk meminimalkan atau bahkan menghilangkan efek berbahayanya (Noer, 2021). Bab ini nantinya akan menjelaskan berbagai cara pemberantasan mikroorganisme.

5.2 Tujuan Pengendalian Mikroorganisme

Menurut Asrianto (2021), Terdapat beberapa tujuan pengendalian mikroorganisme, yaitu :

- 1. Mencegah penyebaran penyakit dan infeksi;
- 2. Membunuh mikroorganisme dalam inang yang terinfeksi;
- 3. Mencegah mikroorganisme merusak dan menghancurkan bahan;
- 4. Mensterilkan peralatan yang digunakan dalam proses aseptik.

5.3 Jenis-jenis Pengendalian Mikroorganisme

Terdapat 2 jenis pengendalian mikroorganisme, yaitu :

- 1. Metode fisika, yaitu pemanasan, filtrasi, pendinginan, pengeringan atau desikasi, tekanan osmotic, dan radiasi.
- 2. Metode kimia, yaitu sekelompok zat yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme pada benda hidup atau benda mati (Harti, 2014).

Terdapat beberapa istilah yang merujuk pada pengendalian mikroorganisme, yaitu sterilisasi, sterilisasi komersial, desinfeksi, antiseptis, degerminasi dan sanitasi. Berikut tabel terminologi istilah dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 5.1. Istilah Pengendalian Mikroorganisme

No	Istilah	Definisi	Keterangan
1	Sterilisasi	Destruksi semua bentuk mikroorganisme, termasuk endospora	Biasanya dengan uap bertekanan atau sterilisasi gas seperti etilen dioksida
2	Sterilisasi Komersial	Pemanasan yang cukup untuk membunuh endospora Clostridium botulinum pada	Endospora bakteri termofil mampu survive tetapi tidak germinasi dan tumbuh pada kondisi simpan

No	Istilah	Definisi	Keterangan
		makanan kaleng	yang normal
3	Desinfeksi	Destruksi patogen vegetatif	Penggunaan metode fisika atau kimia
4	Antisepsis	Destruksi patogen vegetatif pada jaringan hidup	Penggunaan antimikrobia atau kimia
5	Degerminasi	Penghilangan mikroorganisme pada daerah terbatas, seperti kulit di sekitar area injeksi	Umumnya penghilangan secara mekanis dengan kapas beralkohol
6	Sanitasi	Penekanan jumlah mikroorganisme sampai batas yang aman atau diperbolehkan suatu lembaga	Dilakukan dengan pemanasan suhu tinggi, pencucian atau perendaman pada desinfektan

Sumber:Harti, 2015

5.3.1 Sterilisasi

Sterilisasi adalah proses menghilangkan seluruh mikroorganisme, baik yang berbentuk vegetatif maupun spora, dari suatu benda. Sterilisasi juga dapat dikatakan sebagai proses yang mematikan seluruh organisme hidup (Boleng, 2015).

5.3.2 Cara Sterilisasi

Secara umum ada dua cara sterilisasi, yaitu:

1. Sterilisasi secara fisik

Sterilisasi secara fisik, terdiri atas beberapa macam, yaitu sterilisasi yang menggunakan cahaya matahari, sterilisasi kering dan sterilisasi panas.

- Sterilisasi yang menggunakan cahaya matahari, biasanya memanfaatkan sinar ultraviolet.

- b. Sterilisasi dengan cara pengeringan digunakan untuk membunuh bakteri, terutama membunuh sel vegetatif pada mikroorganisme. Namun dalam hal ini tidak efektif untuk membunuh spora bakteri/bakteri.
- c. Sterilisasi dengan cara pemanasan, tergantung pada jenis pemanasan, suhu dan waktu pemanasan, angka atau jumlah sel mikroorganisme, keberadaan spora di dalam sel mikroorganisme, dan jenis bahan yang mengandung mikroorganisme. Sterilisasi dengan cara pemanasan terbagi menjadi 2, yakni pemanasan kering, pemanasan basah atau pemanasan basah dengan bertekanan tinggi menggunakan autoklaf.

1) Pemanasan kering

Berikut beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam sterilisasi panas kering, yaitu:

- a) Denaturasi protein
- b) Kerusakan oksidatif
- c) Efek toksik kadar elektrolit

Berikut beberapa macam pemanasan kering, yaitu:

(1) Pemanasan langsung sampai pijar (merah)

Pemanasan seperti ini digunakan untuk alat yang berbahan logam, Cara pemanasannya adalah dengan membakar benda yang akan disterilkan dengan api hingga menyala merah (pijar)



Gambar 5.1. Pemijaran ose sampai merah
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- (2) Melayangkan diatas nyala api
Pada pemanasan jenis ini, alat ataubahan yang akan disterilkan diletakkan atau dilayangkan di atas nyala api tanpa harus pijar. Contoh: sterilisasi pada mulut tabung biakan, perbenihan, dll.
- (3) Pemanasan dengan udara panas
Pemanasan dengan metode ini memerlukan pemanasan selama 1 jam pada suhu 160°C - 180°C . Contoh: sterilisasi menggunakan oven seperti cawan petri dan tabung reaksi.



Gambar 5.2. Sterilisasi cawan petri
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- 2) Pemanasan basah
Berikut beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam sterilisasi dengan cara pemanasan basah, yaitu:
 - a) Pemanasan pada suhu dibawah 100°C , seperti inokulan yang dimaksudkan untuk membunuh bakteri yang tidak membentuk spora yang terkandung dalam vaksin, pemanasan tersebut berlangsung selama 1 jam.
 - b) Pemanasan dengan menggunakan suhu 100°C , seperti pemanasan dengan cara mendidihkan yang bertujuan untuk sterilisasi alat dalam air

mendidih selama 10-30 menit. Selain itu pemanasan dengan bertekanan tinggi menggunakan autoklaf. Dalam hal ini bahan-bahan yang disterilkan dipanaskan hingga mencapai suhu 121°C selama 15-20 menit pada tekanan 1,5 atm.



Gambar 5.3. Autoklaf
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

d. Sterilisasi dengan cara radiasi

Sterilisasi dengan cara radiasi meliputi :

- 1) Sterilisasi dengan sinar ultraviolet (UV), sterilisasi tersebut menyebabkan kerusakan protein, kerusakan DNA dan menghambat proses penggandaan DNA.
 - 2) Sterilisasi dengan sinar X, sterilisasi tersebut menyebabkan kerusakan atau kematian DNA.
- Menurut Ariyadi & Dewi (2011), efektifitas sinar ultra violet terhadap daya bunuh bakteri dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya : luas ruangan, Intensitas cahaya yang digunakan, jarak sumber cahaya terhadap bakteri, lama waktu penyinaran, jenis bakteri itu sendiri.

e. Pasteurisasi

Menurut Asrianto (2021) Pasteriusasi adalah pengendalian mikroorganisme patogen dalam produk

susu atau produk serupa untuk membunuh mikroorganisme tertentu namun bukan untuk mematikan mikroorganisme yang lain.

2. Sterilisasi secara kimia

Sterilisasi kimia dilakukan untuk bahan-bahan yang rusak bila disterilkan pada suhu tinggi. Sterilisasi kimia dapat dilakukan dengan menggunakan gas dengan cara fumigasi atau pengasapan. Bahan kimia yang digunakan untuk kegiatan dimaksud, misal etilen oksida, gas formaldehida, asam parasetat, dan glutaraldehid alkalin. Sterilisasi kimia dengan menggunakan cairan disinfektan berupa hipoklorit, aldehid, alkohol dan fenol.

Menurut Asrianto (2021) Mikroorganisme bervariasi dalam kerentanannya terhadap teknik penghilangan mikroba. Beberapa faktor sangat mempengaruhi penghilangan mikroorganisme, yaitu diantaranya:

- a. Mikroorganisme
- b. Karakteristik mikroorganisme
- c. Jumlah mikroorganisme
- d. Lama waktu paparan
- e. Lingkungan

Menurut Rini dan Rochmah (2020), Beberapa hal yang dapat diperhatikan dalam memilih ataupun menggunakan bahan-bahan kimia untuk tujuan tertentu, yakni:

- a. Kelarutan bahan kimia
- b. Sifat bahan kimia
- c. Tidak bersifat toksik
- d. Homogenitas
- e. Karakteristik mikroorganisme

Pengendalian mikroorganisme secara kimia identik dengan antiseptik dan disinfektan.

a. Antiseptik

Antiseptik merupakan penggunaan senyawa yang mempunyai efek antiseptik pada tubuh untuk melawan infeksi atau mencegah pertumbuhan mikroorganisme dengan menghancurkan atau menghambat aktivitasnya.

Komponen antiseptik yang digunakan tidak membahayakan inangnya dan tidak bersifat racun seperti disinfektan. Penggunaan bahan antiseptik ditujukan pada organisme hidup (Asrianto, 2021).

Tujuan penggunaan antiseptik antara lain:

- 1) Pengobatan kulit, mulut atau tenggorokan
- 2) Pembersihan luka yang terkontaminasi
- 3) Pencegahan infeksi selama perawatan luka
- 4) Pembersihan alat dan bahan sebelum kegiatan operasi
- 5) Mencuci tangan sebelum operasi untuk mencegah infeksi silang

Menurut Darmadi (2008), Umumnya antiseptik yang digunakan ada beberapa golongan, antara lain:

- 1) Alkohol,
- 2) Halogen dan senyawanya (yodium, povidone-iodine, iodoform, chlorhexidine),
- 3) Asam: (asam borat),
- 4) Fenol dan turunannya: (trinitrofenol/asam pikrat, heksaklorofen atau,
- 5) Basa amonium kuartar (Quats): Ethacridine/ Rivanol.

Berikut beberapa sifat dari antiseptik dapat dilihat pada tabel 5.2

Tabel 5.2. Sifat atau Karakteristik Antiseptik

No	Senyawa Antiseptik	Sifat/Karakteristik
1	Alkohol	• Konsentrasi optimum 70-95% • Bekerja cepat • Mudah menguap dan cepat kering • Bakterisidal kuat terhadap bakteri gram positif dan gram negative namun bukan untuk mematikan spora
2	Iodium	• Antiseptik sangat kuat dan bekerja cepat • Spectrum luas

No	Senyawa Antiseptik	Sifat/Karakteristik
		•Menimbulkan iritasi
3	Povidon iodine	• Jauh lebih efektif dibandingkan iodium • Spectrum luas • Tidak menimbulkan iritasi
4	Klorheksidin	• Bakterisid dan fungisid, sangat efektif untuk <i>Staphylococcus aureus</i>, <i>Pseudomonas</i> dan <i>proteus</i> • Tidak merangsang kulit dan mukosa
5	Heksaklorofen	• Kerjanya lambat • Bakterisid terhadap bakteri gram positif

Sumber: (Darmadi, 2008)

b. Desinfektan

Desinfektan merupakan bahan kimia yang digunakan pada benda mati. Proses desinfeksi dilakukan pada benda dan hanya membunuh sel vegetatif, bukan spora. Menurut Asrianto (2021) Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam penggunaan senyawa atau bahan kimia desinfektan, yakni:

- 1) Spektrum luas terhadap mikroorganisme
- 2) Daya serap rendah terhadap karet, bahan sintesis dan bahan lainnya
- 3) Tidak korosif terhadap perkakas logam
- 4) Toksisitas rendah
- 5) Bau tidak menyengat

Menurut Darmadi (2008), Umumnya desinfektan yang digunakan ada beberapa golongan, antara lain:

- 1) Alkohol,
- 2) Klorin dan turunannya,
- 3) Formaldehida dan turunannya

- 4) Fenol dan turunannya
- 5) Senyawa logam berat
- 6) Surfaktan
- 7) Aldehida
- 8) Gasoeous chemosterilizer
- 9) Peroxygene
- 10) Anitbiotik

Berikut beberapa sifat dari desinfektan dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3. Sifat atau Karakteristik Desinfektan

No	Senyawa Desinfektan	Sifat/Karakteristik
1	Alkohol	• Cukup efektif membunuh semua mikroorganisme patogen • Tidak menimbulkan korosi pada logam • Cepat menguap • Dapat merusak bahan karet dan plastik • Ex : Etanol 60-95% membunuh kuman sangat cepat
2	Klorin	• Kemampuan mengaktifkan mikroorganisme patogen sangat luas • Efek kerja relatif cepat • Berguna untuk mendekontaminasi alat kesehatan, termasuk alat non medis • Konsentrasi <0,5 dan waktu pemaparan lebih dari 20 menit dapat menyebabkan korosi
3	Formaldehida	• Kemampuan mengaktifkan mikroorganisme patogen sangat luas • Dapat menyebabkan iritasi pada mata, kulit, dan saluran pernafasan • Diinaktivasi oleh adanya senyawa organik

No	Senyawa Desinfektan	Sifat/Karakteristik
4	Fenol	• Umumnya digunakan untuk disinfeksi lantai, dinding serta permukaan meja dan sebagainya • Menyebabkan rusaknya membrane plasma yang mengandung komponen lipid, seperti Mycobacterium
5	Senyawa logam berat	• Kemampuan rendah dalam antimikrobal
6	Surfaktan	• Ex: Sabun dan detergent, yang dapat mengurangi tegangan permukaan molekul dalam cairan
7	Aldehida	• Efektif dalam membunuh mikroba • Ex: Formalin, yang digunakan untuk mengawetkan spesimen biologi, menginaktifkan kuman dan virus dalam vaksin
8	Gasoeus chemosterilizer	• Ex: Etilen oksida • Membunuh semua mikroba dan endospora • Menyebabkan terjadinya denaturasi protein
9	Peroxygen	• Ex: Benzoi peroksida, yang digunakan sebagai pengobatan infeksi mikroorganisme patogen anaerob
10	Antibiotik	• Sebagai pengobatan kemoterapi

Sumber: (Harti, 2014)

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyadi, T. Dewi, S.S. (2011) 'Pengaruh Sinar Ultra Violet Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Bacillus* sp. Sebagai Bakteri Kontaminan', *Jurnal Kesehatan*, 10, pp. 98–107.
- Asrianto (2021) *Mikrobiologi*. Jayapura: CV Amerta Media.
- Boleng (2015) *Bakteriologi Konsep-konsep Dasar*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Darmadi (2008) *Infeksi Nosokomial Problematika dan Pengendaliannya*. Jakarta: Salemba Medika.
- Harti, A.S. (2014) *Mikrobiologi Kesehatan*. Yogyakarta: ANDI.
- Mansyur, A.R. (2020) 'Dampak COVID-19 Terhadap Dinamika Pembelajaran Di Indonesia', *Education and Learning Journal*, Vol. 1, No, pp. 113–123.
- Noer, S. dkk (2021) *Dasar-dasar Mikrobiologi dan Penerapannya*. Bandung: WIDINA BHAKTI PERSADA BANDUNG.
- Rini, Chylen Setiyo & Rochmah, J. (2020) *Bakteriologi Dasar*. Sidoarjo: UMSIDA.

BAB 6

KOEFISIEN FENOL

Oleh Kurniawan

6.1 Pendahuluan

Salah satu jenis bahan/senyawa antimikroba yang banyak digunakan adalah disinfektan. Setiap disinfektan ideal harus memiliki aktivitas antimikroba dengan spektrum yang luas meskipun dengan konsentrasi yang rendah. Selain itu, disinfektan juga harus dapat larut dalam air atau pelarut lainnya sampai konsentrasi yang diperlukan untuk dapat digunakan secara efektif. Disinfektan juga harus memiliki sifat yang stabil, aman, tidak beracun, aktif pada suhu kamar, tidak menimbulkan karat dan warna, mampu menghilangkan bau, berperan sebagai deterjen atau pembersih, dan tersedia dalam jumlah yang memadai dan harganya terjangkau.

Untuk mengetahui kekuatan atau daya hambat/bunuh mikroba dari suatu disinfektan, maka perlu dilakukan pengukuran dengan cara dibandingkan dengan bahan atau senyawa kimia standar yang telah diketahui secara pasti kekuatan/dayanya. Hal ini didasarkan pada pemahaman bahwa setiap disinfektan memiliki kandungan senyawa aktif yang berbeda-beda sehingga kekuatannya pasti juga akan berbeda-beda dalam menghambat atau membunuh mikroba. Selain itu, setiap disinfektan memiliki mekanisme kerja dan sel target yang spesifik, hal ini akan berpengaruh terhadap kekuatan (daya) kerja dari disinfektan tersebut dalam melawan, menghambat atau membunuh mikroba-mikroba (patogen) yang ada di setiap tempat.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur kekuatan (daya) hambat/bunuh dari suatu disinfektan seperti uji waktu permukaan, uji suspensi kualitatif dan kuantitatif, uji *Kelsey Sykes*, uji pengenceran, dan uji *American Association of Official Analytical Chemist*. Selain itu, masih ada uji lain yang dapat

digunakan untuk mengetahui seberapa efektif disinfektan yang kita gunakan, yaitu uji koefisien fenol.

6.2 Disinfektan

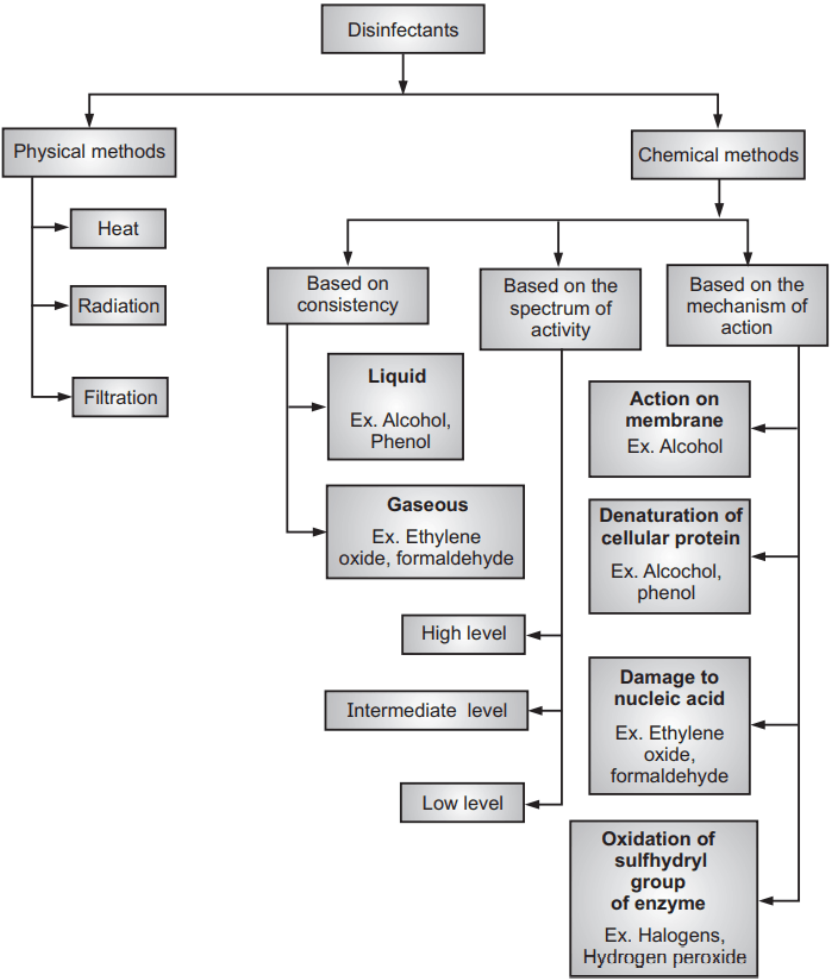
Disinfektan adalah bahan atau senyawa kimia aktif (biosida) yang digunakan untuk melawan, menghilangkan, mengurangi, menghambat, mengendalikan, dan membunuh mikroba (patogen) pada permukaan benda mati dan kulit manusia. Telah dipahami bahwa di alam, mikroba (patogen) terdiri dari banyak jenis seperti virus, bakteri, dan jamur, yang kesemuanya itu tersebar dan terdistribusi di hampir semua *niche* atau habitat sehingga perlu untuk dikendalikan atau dibunuh. Dengan adanya disinfektan ini, maka proses infeksi penyakit yang disebabkan oleh mikroba (patogen) dapat dicegah dan dikendalikan.

Terdapat beberapa jenis disinfektan yang umum digunakan dalam upaya mencegah dan mengendalikan terjadinya penyakit infeksi. Disinfektan tersebut memiliki kandungan senyawa spesifik yang bersifat antimikroba dengan kekuatan (daya) hambat atau daya bunuh yang bervariasi dari yang rendah sampai yang tinggi. Berikut adalah beberapa golongan disinfektan yang telah diketahui (gambar 7.1.).

Disinfektan kimia berdasarkan konsistensi atau bentuknya dapat dibedakan menjadi dua (2) yaitu disinfektan cair dan disinfektan gas. Disinfektan cair contohnya adalah alkohol (etanol dan isopropanol) dan fenol (asam karbolik, kresol, para kloro kresol dan para kloro xilenol).

1. Alkohol dijadikan sebagai disinfektan dengan konsentrasi 50-70% untuk mendisinfeksi permukaan benda dan memiliki kemampuan yang rendah dalam menghilangkan spora (endospora).
2. Senyawa kimia fenol mengandung cincin benzena dan gugus hidroksil (OH) yang umum digunakan sebagai disinfektan permukaan lingkungan. Kresol, salah satu jenis fenol memiliki daya antimikroba yang lebih kuat daripada fenol. Dalam aplikasinya, kresol diencerkan menggunakan akuades dengan

rentang nilai pengenceran (1:128 – 1:256) sehingga memiliki aktivitas bakterisida terhadap mikroba.



Gambar 6.1. Skema Klasifikasi Disinfektan
Sumber: Mistry, 2021

Disinfektan kimia berbentuk gas dapat berupa senyawa etilen oksida dan aldehida yang dapat digunakan sebagai agen disinfektan. Etilen oksida banyak dimanfaatkan sebagai *sterilant* cair yang dapat menghasilkan senyawa antimikroba. Aldehid (formaldehida dan glutaraldehida) dapat digunakan sebagai

disinfektan yang kuat. Glutaraldehida merupakan bahan kimia dasar yang digunakan sebagai bahan penyusun *Cidex*, atau *Sonacide*, *Sporocidin*, atau *Glutacide*. Senyawa ini digunakan untuk membersihkan beberapa jenis instrumen, pipet, dan termometer klinis.

Disinfektan berdasarkan spektrum aktivitasnya dapat diklasifikasikan menjadi tiga (3) yaitu disinfektan berspektrum tinggi, sedang, dan rendah. Disinfektan berspektrum tinggi seperti glutaraldehida 2%, hidrogen peroksida 6%, dan asam perasetat. Beberapa contoh disinfektan tingkat sedang adalah alkohol dan iodofor, yang digunakan untuk mendisinfeksi laringoskop. Selanjutnya, disinfektan tingkat rendah seperti senyawa amonium kuarternier. Senyawa ini juga dikenal sebagai *quat* yang mengikat fosfolipid dan protein membran secara ireversibel.

Berdasarkan mekanisme kerja dari disinfektan, terdapat empat (4) golongan disinfektan yaitu:

1. Disinfektan yang bekerja pada membran: Alkohol seperti etanol, isopropanol, dan metanol digunakan untuk tujuan ini. Alkohol bekerja pada membran mikroba dan menghancurkan membran sel. Alkohol sangat aktif jika dikombinasikan dengan air. Larutan etanol dan isopropanol 70% digunakan sebagai disinfektan tangan dalam bidang farmasi.
2. Disinfektan yang mendenaturasi protein seluler: Alkohol juga mendenaturasi protein dinding sel. Fenol seperti klorokresol dan kloroksilenol digunakan sebagai desinfektan. Fenol juga mengubah sifat protein dan enzim sel.
3. Disinfektan yang merusak asam nukleat: Etilen oksida adalah gas tak berwarna yang larut dalam air. Etilen oksida memiliki aksi alkilasi pada protein dan merusak asam nukleat. Penghambatan yang dihasilkannya bersifat ireversibel, sehingga mengakibatkan penghambatan aktivitas enzim. Gas formaldehida bekerja pada protein melalui denaturasi dan pada asam nukleat melalui alkilasi asam amino dan gugus sulfhidril protein dan atom nitrogen cincin basa purin. Reaksinya bersifat ireversibel. 5'dGMP (deoksiganosin

monofosfat) berinteraksi lebih cepat dengan formaldehida daripada 5'GMP.

4. Disinfektan yang mengoksidasi gugus sulfhidril enzim: Hidrogen peroksida bekerja dengan menghasilkan radikal bebas hidroksil yang merusak dan menyerang membran lipid, DNA, dan komponen sel lainnya. Senyawa halogen seperti klorin dan senyawa terklorinasi serta senyawa iodine bertindak sebagai disinfektan. Inaktivasi mikroba dengan senyawa klor bergantung pada berbagai mekanisme seperti oksidasi enzim sulfhidril, klorinasi cincin asam amino; hilangnya isi intraseluler; penurunan penyerapan nutrisi; penghambatan sintesis protein; penurunan penyerapan oksigen; oksidasi komponen pernapasan; penurunan produksi adenosin trifosfat dan penekanan sintesis DNA. Dengan cara lain, senyawa iodine dapat menembus dinding sel mikroba dengan cepat dan mengakibatkan gangguan struktur protein dan asam nukleat serta sintesis mikroba. Senyawa iodine menghambat sintesis protein dan mengoksidasi gugus -SH asam amino.

6.3 Fenol

Fenol (C_6H_5OH) merupakan zat yang telah lama digunakan sebagai standar atau acuan untuk mengukur daya disinfeksi/antiseptik dari suatu bahan/senyawa kimia sehingga metode pengujiannya dikenal dengan nama koefisien fenol.

Fenol merupakan salah satu larutan yang bersifat germisidal kuat dan terdiri atas golongan fenol dan fenol terhalogenasi seperti fenol (asam karbolik), kresol, para kloro kresol dan para kloro xilenol. Golongan fenol ini bekerja dengan cara mendenaturasi komponen sel-sel mikroba dalam rentang waktu 10-30 menit.

Sebagai suatu larutan kimia, fenol memiliki beberapa keunggulan dan juga kekurangan. Adapun keunggulan dari golongan fenol dan fenol terhalogenasi adalah sifatnya yang stabil, persisten, dan ramah terhadap beberapa jenis material. Sebaliknya, kekurangan atau kerugiannya antara lain susah terbiodegradasi, bersifat racun, dan korosif.

Fenol adalah standar kekuatan disinfektan. Mekanisme kerja fenol sebagai disinfektan dan bakteristatik adalah dengan berinteraksi antara senyawa fenolik dan komponen sel bakteri melalui proses absorpsi yang melibatkan ikatan hidrogen. Pada konsentrasi rendah, fenol akan membentuk kompleks protein dengan ikatan lemah dan segera mengalami dekomposisi, diikuti penetrasi fenol ke dalam sel bakteri dan menyebabkan pengendapan dan denaturasi protein. Pada konsentrasi tinggi, fenol dapat menyebabkan protein koagulasi sel bakteri dan lisis membran sitoplasma.

6.4 Koefisien Fenol

Koefisien fenol didefinisikan sebagai suatu bilangan yang dihitung melalui proses perbandingan antara aktivitas dari bahan atau senyawa kimia tertentu dengan aktivitas dari larutan fenol yang telah diketahui konsentrasi dan nilainya. Definisi lainnya menyatakan bahwa koefisien fenol merupakan suatu nilai dari aktivitas bahan/senyawa germisidal tertentu yang dibandingkan dengan efektivitas germisidal dari larutan fenol. Aktivitas germisidal sendiri didefinisikan sebagai kemampuan suatu senyawa disinfektan/antiseptik untuk membunuh mikroba dalam jangka waktu tertentu.

Efektivitas bahan/senyawa disinfektan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dan durasi paparannya. Semakin tinggi konsentrasi dan lama waktu pemaparan disinfektannya, maka akan semakin tinggi efektivitas dari disinfektan tersebut. Nilai koefisien fenol kurang dari 1 menunjukkan bahwa senyawa disinfektan tersebut tidak/kurang efektif dibanding dengan larutan fenol. Sebaliknya, jika nilai koefisien fenol lebih dari 1, maka senyawa disinfektan tersebut lebih efektif dibandingkan dengan larutan fenol.

Nilai koefisien fenol itu sendiri adalah hasil bagi dari faktor pengenceran tertinggi disinfektan dengan faktor pengenceran tertinggi baku fenol yang masing-masing dapat membunuh mikroba uji dalam jangka waktu 10 menit, tetapi tidak membunuh dalam jangka waktu 5 menit. Rumus perhitungan dari koefisien fenol adalah sebagai berikut:

$$\text{Koefisien Fenol} = \frac{\text{Pengenceran tertinggi disinfektan pada 10 menit tetapi tidak pada 5 menit}}{\text{Pengenceran tertinggi fenol 10 menit tetapi tidak pada 5 menit}}$$

Proses produksi dan juga komposisi dari disinfektan yang diproduksi oleh setiap produsen dapat berbeda-beda sehingga berpotensi memberikan pengaruh yang berbeda-beda pula terhadap mikroba yang diuji. Disamping itu, kondisi penyimpanan disinfektan juga dapat mempengaruhi stabilitas dari disinfektan tersebut.

Keefektifan suatu disinfektan dalam menghambat pertumbuhan mikroba dapat diukur dengan uji koefisien fenol. Isolasi mikroba standar laboratorium yang dapat digunakan dalam uji koefisien fenol termasuk *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi*, dan *Candida albicans*.

Pengujian koefisien fenol juga relevan untuk sediaan herbal dengan aktivitas antibakteri. Uji perlakuan kombinasi infus bunga *Cananga odorata* dan buah *Averrhoa bilimbi* terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Salmonella typhi* menghasilkan pengambatan dan nilai koefisien fenol yang berbeda.

6.5 Metode Uji Koefisien Fenol

6.5.1 Metode Rideal Walker

Rideal Walker mengembangkan suatu metode uji menggunakan larutan fenol dan disinfektan yang akan diuji pada beberapa konsentrasi yang berbeda. Misalkan untuk larutan fenol dibuat seri pengenceran fenol (fenol : akuades) dengan perbandingan 1/95, 1/100, 1/105, 1/110, 1/115. Kemudian dibuat pula seri pengenceran dari disinfektan yang akan diuji dengan konsentrasi 1/1000, 1/1100, 1/1200, 1/1300 dan 1/1400 pada tabung reaksi dengan volume tiap tabung adalah 5 ml.

Ke setiap tabung reaksi yang berisi fenol dan disinfektan tersebut ditambahkan kultur bakteri uji standar (*S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. typhi*, atau *C. albicans*) sebanyak 0,2 ml

untuk kemudian tabung reaksi dikocok-kocok secara perlahan agar bakteri uji mengalami kontak langsung dengan fenol atau disinfektan yang diujikan. Setelah terjadi kontak selama 5, 10 dan 15 menit dengan fenol atau disinfektan, diambil sebanyak 1 ose kultur bakteri uji untuk diinokulasikan pada media cair NB atau TSB dan diinkubasi pada suhu 37 °C selama 48 jam.

Setelah itu dilakukan pengamatan dan pencatatan ada tidaknya pertumbuhan bakteri (kekeruhan) pada media kultur dari kedua perlakuan dan semua seri pengenceran dari tiap-tiap durasi waktu pemaparan pada larutan fenol dan disinfektan. Beri tanda (+) apabila ada pertumbuhan (kekeruhan) dan tanda (-) jika tidak ada pertumbuhan (kekeruhan). Lakukan perhitungan menggunakan formula uji koefisien fenol yang telah disebutkan sebelumnya di atas.

5.5.2 Metode Chick Martin

Uji ini dilakukan dengan menggunakan larutan *yeast* atau 3-4% feses manusia yang telah dikeringkan sehingga keberadaan bahan organik dapat ditentukan. Untuk menentukan efisiensi disinfektan, dapat digunakan kultur bakteri *S. aureus* dan *S. typhi* berumur 30 menit.

Tabel 6.1. Hasil pengamatan koefisien fenol metode *Chick Martin*

No	Bahan/Senyawa	Konsentrasi (%)	Sub-kultur 1	Sub-kultur 2
1	Desinfektan	1	–	–
		0.9	–	–
		0.81	–	–
		0.73	+	+
		0.66	+	+
2	<u>Fenol</u>	2	–	–
		1.8	–	–
		1.62	–	–
		1.46	+	+
		1.31	+	+

Sumber: the pharmapedia.com, 2024

Berdasarkan data yang tercantum pada tabel 7.1., diketahui bahwa pada konsentrasi disinfektan 1%, 0,9%, dan 0,81% tidak ada pertumbuhan bakteri uji (-), sedangkan pada konsentrasi 0,73% dan 0,66% ada pertumbuhan bakteri uji sehingga diketahui bahwa nilai Koefisien Chick-Martin adalah 2.

Koefisien fenol dari metode ini dihitung dengan cara membagi konsentrasi fenol tertinggi yang tidak ada pertumbuhan bakterinya dengan konsentrasi tertinggi dari disinfektan yang tidak ada pertumbuhan bakterinya sehingga diperoleh nilai koefisien fenol sebagai berikut:

$$\text{Koefisien Fenol Chick-Martin} = 1,62/0,81 = 2$$

6.6 Faktor yang Mempengaruhi Uji Koefisien Fenol

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil uji koefisien fenol. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah adanya zat pengganggu, adanya aktivitas permukaan, suhu, dan pH. Selain itu, terkait dengan prosedur pengujian, konsentrasi disinfektan dan durasi waktu pemaparan senyawa aktif dari disinfektan yang diuji terhadap mikroba uji juga ikut berpengaruh terhadap hasil pengujian.

1. Adanya zat pengganggu

Adanya zat-zat seperti garam dapat menjadi zat pengganggu yang akan memengaruhi aktivitas dari disinfektan yang diuji

2. Adanya aktivitas permukaan

Daya disinfektan akan semakin meningkat jika senyawa aktif permukaan hadir dalam jumlah yang kecil

3. Suhu

Peningkatan suhu umumnya akan meningkatkan aktivitas dari senyawa antimikroba. Suhu yang lebih tinggi akan meningkatkan laju reaksi kimia dan difusi agen antimikroba secara lebih cepat. Selain itu, beberapa jenis disinfektan mungkin kurang stabil pada suhu yang lebih tinggi (hidrogen peroksida rusak)

4. Nilai pH

Rentang nilai pH yang baik untuk uji koefisien fenol berkisar antara pH 6-8, dengan pH optimal terjadi pada nilai

pH 7,5. Hal ini sesuai dengan nilai pH lingkungan dari mikroba standar yang digunakan (*S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. typhi*, atau *C. albicans*)

5. Konsentrasi disinfektan

Konsentrasi disinfektan yang lebih tinggi umumnya akan menghasilkan efek antimikroba yang lebih besar. Konsentrasi hambat minimum (MIC) adalah konsentrasi terendah disinfektan yang dapat mencegah pertumbuhan mikroba uji secara kasat mata. Konsentrasi bakterisida minimum (MBC) adalah konsentrasi terendah disinfektan yang dapat membunuh 99,9% mikroba uji.

6. Durasi waktu paparan

Waktu paparan yang lebih lama akan menghasilkan efek antimikroba yang lebih besar. Waktu paparan minimum untuk desinfeksi yang efektif bervariasi berdasarkan disinfektan spesifik dan mikroba target (bakteri, virus, spora). Meningkatkan waktu paparan dapat mengimbangi konsentrasi atau suhu yang lebih rendah (waktu kontak yang lebih lama pada konsentrasi yang lebih rendah)

7. Pembentukan biofilm dapat secara signifikan mengurangi efektivitas dan mekanisme kerja dari disinfektan.

6.3 Keterbatasan Uji Koefisien Fenol

Sebagai suatu metode uji yang dilakukan di laboratorium, pada uji koefisien fenol masih dapat ditemukan beberapa keterbatasan atau kekurangan sebagai berikut:

1. Uji ini hanya baik digunakan untuk disinfektan yang memiliki kandungan senyawa aktif berupa senyawa fenolik saja.
2. Koefisien fenol tidak dapat digunakan pada antiseptik, karena antiseptik tidak mampu membunuh bakteri *Bacillus typhosus* yang digunakan dalam uji fenol.
3. Hanya pengujian terhadap sejumlah kecil spesies bakteri (*S. aureus*, *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. typhi*, atau *C. albicans*)
4. Tidak memperhitungkan keberadaan bahan organik yang dapat menurunkan efektivitas disinfektan (misalnya darah atau saliva)

5. Tidak cocok untuk disinfektan tertentu yang sangat reaktif atau mudah menguap (misalnya hidrogen peroksida atau klorin)
6. Kurangnya informasi tentang kecepatan desinfeksi dan faktor lingkungan yang mempengaruhi kemanjuran (misalnya suhu dan pH)
7. Tidak memperhitungkan resistensi mikroba terhadap disinfektan tertentu

DAFTAR PUSTAKA

- Al Mamari, H.H., 2021. Phenolic compounds: Classification, chemistry, and updated techniques of analysis and synthesis. Phenolic compounds-chemistry, synthesis, diversity, non-conventional industrial, pharmaceutical and therapeutic applications, 10.
- Budiarti, L.Y., Wydiamala, E. and Ulfa, N., 2021. Phenol Coefficient Test Combination Infusion of *Cananga odorata*-*Averrhoa bilimbi* L. Against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella typhi* in Vitro. *Bioinformatics and Biomedical Research Journal*, 4(1), pp.19-26.
- Budiarti, L.Y., Khatimah, H., Wydiamata, E. and Salsabila, G., 2022, December. Uji Koefisien Fenol Kombinasi Ekstrak Daun Dan Kulit Buah *Citrus hystrix* Sebagai Kandidat Antiseptik In Vitro. In *Lambung Mangkurat Medical Seminar* (Vol. 3, No. 1, pp. 99-109).
- Christian, D.K., Syamsuri, Pradana, M.S., Ngibad, K. 2020. Uji Koefisien Fenol Benzalkonium Klorida Dan Pine Oil Terhadap *Staphylococcus Epidermidis*. *Journal of Pharmaceutical Science and Medical Research*. 3(1), pp.29-34.
- Fajriputri, H., 2014. Uji koefisien fenol produk antiseptik dan disinfektan yang mengandung senyawa aktif benzalkonium klorida.
- Febri, A.M.R., 2018. Uji koefisien fenol 1, 3-dimethylol-5, 5 dimethylhydantoin sebagai disinfektan dalam deterjen cair. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Fiveable Inc. 2024. Testing The Effectiveness Of Antiseptics And Disinfectants. <https://library.fiveable.me/microbio/unit-13/4-testing-effectiveness-antiseptics-disinfectants/study-guide/b4Z1Zkq27KT6Vtlt>. Diakses 18 September 2024
- Ismail, I. 2020. Phenol Coefficient Test. <https://biokimicroki.com/to-determine-phenol-co-efficient-of-test-disinfectant/>. Diakses 18 September 2024

- Mistry, S. 2021. Disinfectants. <https://solutionpharmacy.in/disinfectants/>. Diakses 18 September 2024
- Notesbard.com. 2021. Phenol Coefficient: Definition, Test, & Examples. <https://notesbard.com/phenol-coefficient-definition-test-examples/>. Diakses 18 September 2024
- Ononugbo, C., Reward, E. and Ike, A., 2018. The Effect of pH and Temperature on Phenol Coefficients of Two Common Disinfectants Using Clinical Isolates of Escherichia coli and Staphylococcus aureus. Journal of Advances in Microbiology, 10(2), pp.1-7.
- Priamsari, M.R., Solichah, A.I., Sawal, R.A.H., dan Bulu, A.T.I. Koefisien Fenol Rideal Walker Method. <https://sismiba.stifera.ac.id/index.php?page=koefisienfenol>. Diakses 18 September 2024
- Salsabila, G., Budiarti, L.Y. and Khatimah, H., 2023. Nilai Koefisien Fenol Dan Jumlah Koloni Bakteri Escherichia coli Pada Perlakuan Ekstrak Kombinasi Kulit Buah Citrus aurantifolia Swingle Dan Citrus hystrix DC. Homeostasis, 6(1), pp.245-256.
- Shufyani, F., Pratiwi, A. and Siringoringo, W.P., 2018. Koefisien fenol produk desinfektan yang beredar di salah satu supermarket Kota Lubuk Pakam. Jurnal Penelitian Farmasi Herbal, 1(1), pp.11-16.
- Singh, M., Sharma, R., Gupta, P.K., Rana, J.K., Sharma, M. and Taneja, N., 2012. Comparative efficacy evaluation of disinfectants routinely used in hospital practice: India. Indian journal of critical care medicine: peer-reviewed, official publication of Indian Society of Critical Care Medicine, 16(3), p.123.
- Thepharmapedia.com. Rideal Walker Test & Chick-Martin Test: Phenol Coefficient Test | GPAT Drug Inspector. <https://thepharmapedia.com/rideal-walker-test-chick-martin-test-phenol-coefficient-test-gpat-drug-inspector/pharmacy-notes/>. Diakses 18 September 2024

BAB 7

INFEKSI NOSOKOMIAL

Oleh Pestariati

7.1 Pendahuluan

Infeksi terkait layanan kesehatan, atau infeksi nosokomial, didefinisikan sebagai infeksi yang terjadi baik sebagai akibat langsung dari intervensi layanan kesehatan atau akibat kontak dengan lingkungan layanan kesehatan (Bridgen et al., 2024). Infeksi nosokomial merupakan masalah kesehatan masyarakat yang diakui di seluruh dunia dengan tingkat prevalensi masing-masing sebesar 3,0%–20,7% dan 5%–10% (Isigi et al., 2023). Infeksi nosokomial adalah tantangan signifikan dalam dunia pengobatan modern, terjadi sebagai efek samping yang terkait dengan pemberian layanan kesehatan (Giraldi et al., 2019). Infeksi nosokomial adalah infeksi atau penyakit yang didapat seseorang setelah dirawat di rumah sakit 48 jam setelah masuk rumah sakit. Ini juga dikenal sebagai infeksi yang didapat di rumah sakit, artinya seseorang mendapat infeksi ini setelah berada di rumah sakit. Pasien dan petugas kesehatan membawa kuman ke dalam rumah sakit dan terkadang terjadi pertukaran kuman yang mematikan tanpa mereka sadari (Hamukonda, Emvula and Mbapaha, 2024). Masalah ini tidak hanya mencakup aspek terapeutik dan epidemiologi, tetapi juga berdampak secara ekonomi, terutama karena biaya yang tinggi terkait dengan perpanjangan masa rawat inap pasien. Rumah sakit menjadi lingkungan yang rentan bagi terjadinya dan penyebaran infeksi, baik di kalangan pasien maupun tenaga medis (Martel et al., 2021). Literatur menggarisbawahi bahwa infeksi nosokomial adalah bagian yang tidak terpisahkan dari proses pengobatan, dengan tangan tenaga medis menjadi vektor utama penularan mikroorganisme pada pasien rawat inap. Sejak tahun 1990-an, Pusat Pengendalian dan Pencegahan Penyakit (CDC) menegaskan bahwa menjaga kebersihan tangan adalah cara paling efektif, sederhana, dan murah untuk mencegah infeksi nosocomial

(Lemiech-Mirowska et al., 2021). Infeksi nosokomial dapat terjadi pada pasien yang dirawat di bangsal konservatif maupun bedah. Sering kali, infeksi ini melemahkan hasil pengobatan penyakit yang mendasarinya dan memperpanjang masa rawat inap, sehingga berisiko menyebabkan kehilangan pekerjaan dan berdampak negatif pada kesehatan mental pasien. Selain itu, infeksi nosokomial dapat berujung pada kematian, yang dapat menimbulkan implikasi hukum yang serius . Dampak infeksi nosokomial tidak hanya dirasakan oleh pasien secara individu, tetapi juga mempengaruhi masyarakat luas melalui peningkatan biaya premi kesehatan (Alrubaiee et al., 2021). Gejala utama infeksi nosokomial adalah batuk produktif, nyeri perut, sesak napas, perubahan mental, sering sensitif, jantung berdebar, nyeri suprapubik, nyeri perut, poliuria, dan nyeri tekan pada sudut posterior (Lobdell, Stamou and Sanchez, 2012). Faktor risiko yang terkait dengan infeksi di rumah sakit bergantung pada metode pengendalian infeksi di pusat tersebut, keberadaan patogen di masyarakat dan status penyakit pasien (Isigi et al., 2023). Faktor risiko yang diketahui berdasarkan penelitian antara lain immunosupresi, usia, lama rawat inap, penyakit yang mendasari, frekuensi kunjungan ke rumah sakit, dukungan ventilasi mekanis, prosedur invasif, unit rawat inap, lama rawat inap di unit perawatan intensif (ICU), kurangnya prosedur pengendalian infeksi dan kebersihan lingkungan. Risiko infeksi nosokomial lebih tinggi pada pasien usia lanjut karena kelemahan, penurunan imunitas, dan kondisi yang sudah ada sebelumnya (Isigi et al., 2023; Takahashi et al., 2024). Faktor risiko lainnya yang perlu dipertimbangkan antara lain faktor-faktor terpenting yang berdampak negatif pada sistem layanan kesehatan antara lain, kekurangan staf, kebijakan rumah sakit yang tidak konsisten mengenai pemantauan infeksi di rumah sakit, ketidakpatuhan terhadap kebersihan dan disinfeksi tangan oleh staf medis, penyalahgunaan antibiotik, terutama di klinik rawat jalan, juga transfer gen horizontal. antara spesies yang tidak berkerabat dan penyebaran strain yang resisten terhadap beberapa obat di lingkungan rumah sakit (Lemiech-Mirowska et al., 2021). Hal ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan holistik terhadap pencegahan infeksi, tidak hanya karena dampak langsungnya

terhadap morbiditas dan mortalitas tetapi juga karena konsekuensi dan kesejahteraan pasien secara keseluruhan (Batra et al., 2024).

7.2 Kajian Pustaka

7.2.1 Definisi dan Urgensi Penanganan Infeksi Nosokomial

Definisi Infeksi Nosokomial: Menjelaskan pengertian infeksi nosokomial, termasuk sejarah dan perkembangan istilah ini. Menurut definisi infeksi nosokomial yang dikeluarkan oleh American Center for Disease Control and Prevention (Li et al., 2022), infeksi nosokomial didefinisikan sebagai infeksi yang didapat pasien di rumah sakit berdasarkan manifestasi klinis dan pemeriksaan laboratorium, termasuk infeksi baru yang terjadi setelah masuk rumah sakit, atau dalam waktu 30 hari setelah menerima perawatan medis, atau dalam waktu 90 hari setelah operasi.

Infeksi nosokomial atau infeksi terkait layanan kesehatan adalah infeksi yang didapat pasien sehubungan dengan paparannya terhadap fasilitas layanan kesehatan. Menurut WHO, infeksi nosokomial didefinisikan sebagai infeksi yang didapat di rumah sakit oleh pasien yang dirawat di rumah sakit karena alasan lain selain dari infeksi yang terjadi di rumah sakit pasien atau fasilitas pelayanan kesehatan lainnya dimana infeksi tersebut tidak ada di rumah sakit. waktu masuk. Istilah ini juga mencakup penyakit yang terjadi setelah keluar dari rumah sakit, termasuk infeksi akibat kerja pada staf fasilitas (WHO, 2017). Dalam hal waktu, ini adalah infeksi yang terjadi lebih dari 48-72 jam setelah masuk ke fasilitas, atau dalam waktu 48 jam setelah keluar dari rumah sakit, atau infeksi terjadi pada saat masuk ke fasilitas, namun terdapat kaitan epidemiologis dengan rawat inap sebelumnya. Oleh karena itu, penting untuk menentukan tempat penularan infeksi, bukan tempat di mana infeksi terdeteksi, untuk menentukan definisi infeksi nosokomial.(Keceroová, 2023).

Riwayat infeksi nosokomial umumnya terkait erat dengan riwayat intervensi bedah. Bukti paling awal tentang intervensi bedah berasal dari sekitar 4600 SM, ketika metode paling umum untuk menjaga kebersihan instrumen adalah memanaskannya di atas api dan menghentikan pendarahan dari luka dengan menggunakan setrika panas (Keceroová, 2023). Pada abad ke-18,

bidang bedah berkembang pesat. Rumah sakit pada saat itu kotor, penuh dengan hewan pengerat, dan tidak terawat karena kurangnya informasi tentang kemungkinan infeksi luka, kemungkinan infeksi rumah sakit. Pasien meninggal karena infeksi sepele. Operasi yang dilakukan di rumah sakit lima kali lebih mungkin menimbulkan komplikasi daripada operasi yang dilakukan di rumah pribadi pasien. Sejak abad ke-19 dan seterusnya, upaya aktif mulai terbentuk untuk meminimalkan infeksi yang timbul di fasilitas medis. Salah satu tokoh terpenting dalam sejarah yang "mempelopori" pencegahan infeksi nosokomial adalah Ignaz F. Semmelweis. Dialah yang memiliki teori bahwa infeksi ditularkan oleh para dokter sendiri ketika mereka melewati ruang otopsi, antara pasien dan bangsal lain tanpa mencuci tangan mereka di tengah-tengahnya. Dia berhasil mengurangi kejadian infeksi secara drastis dengan memperkenalkan kewajiban mencuci tangan bagi staf medis dengan kapur sirih (Nield, 2020). Louis Pasteur kemudian mengusulkan tiga metode untuk memerangi patogen: penyaringan, sterilisasi suhu tinggi, atau penghancuran dengan bahan kimia. Tonggak sejarah yang sangat penting dalam infeksi nosokomial tidak diragukan lagi adalah penemuan antibiotik, yang membawa kemungkinan yang sama sekali baru untuk pengobatan dan pencegahan kemungkinan komplikasi. Pada tahun 1941, antibiotik penisilin digunakan untuk pertama kalinya. Dengan ditemukannya penisilin, sebagian besar ahli percaya bahwa masalah infeksi yang didapat di rumah sakit telah terpecahkan. Namun, sejarah kedokteran modern telah menyaksikan perjuangan dengan masalah penggunaan antibiotik yang tidak tepat dan berlebihan sehingga muncullah mikroorganisme yang ditakuti dan resistan terhadap hampir semua antibiotik, yaitu mikroorganisme yang resistan terhadap banyak obat. Mereka menimbulkan risiko yang mengancam jiwa pasien, pengobatannya mungkin tidak berhasil dan dalam kasus yang paling serius dapat menyebabkan kematian pasien. Dengan demikian, risiko infeksi nosokomial tidak berkurang tetapi meningkat (Cavaillon and Chrétien, 2019).

7.2.2 Faktor Risiko Infeksi Nosokomial

Faktor Risiko Pasien: Menganalisis faktor-faktor pada pasien yang meningkatkan risiko infeksi nosokomial, seperti usia, kondisi imun, dan durasi rawat inap. Terdapat hubungan yang signifikan antara peningkatan usia dan predisposisi terhadap infeksi nosokomial. Usia diatas 65 tahun. Predisposisi terhadap infeksi pada kelompok usia ini merupakan hasil dari gangguan pertahanan tubuh, penyakit kronis yang mendasarinya, rawat inap jangka panjang, steroid dan terapi immunosupresif dan malnutrisi (Ozdemir and Dizbay, 2015; Takahashi et al., 2024). Dibandingkan dengan populasi yang lebih muda, infeksi pada lansia lebih sering terjadi dan parah, serta memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal gejala klinis (non-)spesifik, hasil laboratorium dan mikroba, serta pengobatan. Alasan meningkatnya kerentanan terhadap infeksi pada lansia ada banyak, termasuk disfungsi atau penurunan sistem imun, perubahan fisiologis dan anatomi terkait usia, perubahan epidemiologi, penyakit kronis yang semakin parah, dan malnutrisi (Reunes et al., 2011). Ada beberapa faktor risiko independen yang diketahui untuk peningkatan angka kematian, termasuk bertambahnya usia dan lamanya tinggal di rumah sakit (Isigi et al., 2023), gangguan tingkat kesadaran, penyakit penyerta, infeksi nosokomial, kondisi immunosupresif seperti malnutrisi, keganasan, ventilasi mekanis dan/atau penggunaan kateter vena sentral. Akibatnya, infeksi nosokomial merupakan faktor risiko penting dan sebagian dapat dicegah untuk kematian di antara pasien yang dirawat di unit perawatan intensif. Ventilasi mekanis, kateterisasi vena sentral dan/atau urin merupakan intervensi invasif yang dapat menyebabkan tingkat infeksi nosokomial yang lebih tinggi. Selain itu, faktor lain yang perlu diperhatikan terkait dengan pentingnya pendekatan holistik terhadap pencegahan infeksi, tidak hanya karena dampak langsungnya terhadap morbiditas dan mortalitas tetapi juga karena konsekuensi dan kesejahteraan pasien secara keseluruhan (Batra et al., 2024).

7.2.3 Upaya Penanganan dan Pencegahan Infeksi Nosokomial

Strategi Pencegahan Primer: Diskusi mengenai tindakan pencegahan yang dapat dilakukan sebelum terjadi infeksi, seperti

sterilisasi alat medis dan kebijakan kontrol infeksi. Pentingnya pencegahan infeksi nosokomial di rumah sakit semakin diakui. Oleh karena itu, staf perlu mengikuti prosedur secara ketat saat mengatur dan mendisinfeksi persediaan medis untuk memastikan keamanan dan keandalan persediaan medis (Wu, Wang and Cheng, 2022). Peningkatan kualitas layanan penting untuk memberikan dukungan yang kuat bagi pencegahan infeksi rumah sakit dengan menstandarisasi prosedur operasional, memperkuat pelatihan dan pembelajaran, membangun mekanisme evaluasi layanan, di antara tindakan lainnya

Strategi Pencegahan Sekunder: Membahas langkah-langkah yang diambil setelah infeksi terdeteksi, termasuk penggunaan antibiotik dan isolasi pasien. **Penggunaan Antibiotik:** Setelah infeksi nosokomial terdeteksi, penggunaan antibiotik yang tepat menjadi salah satu langkah krusial dalam pencegahan sekunder. Antibiotik dipilih berdasarkan hasil uji sensitivitas mikroba untuk memastikan bahwa terapi yang diberikan efektif dalam mengatasi infeksi yang sedang berlangsung. Proses ini tidak hanya bertujuan untuk menghilangkan patogen penyebab infeksi, tetapi juga untuk menjaga keseimbangan mikrobiota tubuh yang normal, yang penting untuk kesehatan jangka panjang pasien (Trudic et al., 2022).

Pemilihan antibiotik yang tepat juga sangat penting dalam mengurangi risiko resistensi antibiotik, sebuah masalah yang semakin mendesak di dunia medis saat ini (Food and Administration, 2023; Alamri, Alshadfan and Zubair, 2024). Resistensi antibiotik dapat menyebabkan patogen menjadi kebal terhadap pengobatan, sehingga infeksi menjadi lebih sulit diatasi dan memerlukan penggunaan antibiotik yang lebih kuat atau berisiko lebih tinggi (Centers for Disease Control and Prevention (CDC), 2024; Cleveland Clinic, 2024). Selain itu, resistensi ini dapat menyebar di lingkungan rumah sakit, menciptakan tantangan tambahan dalam mengelola infeksi nosokomial yang dapat mempengaruhi banyak pasien.

Pemberian antibiotik yang sesuai dan didukung oleh bukti laboratorium memungkinkan penanganan infeksi yang lebih efisien, mengurangi komplikasi, serta mempercepat pemulihan pasien (Weinstein, 2001; Trusts, 2018). Oleh karena itu, penggunaan

antibiotik yang bijak dan berbasis bukti menjadi pilar utama dalam strategi pencegahan sekunder infeksi nosokomial.

Isolasi Pasien: Isolasi pasien yang terinfeksi adalah tindakan penting untuk mencegah penyebaran patogen ke pasien lain, staf medis, atau pengunjung (Centers for Disease Control and Prevention et al., 2020). Isolasi ini tidak hanya melibatkan pemisahan fisik pasien dari orang lain, tetapi juga penerapan langkah-langkah pengendalian infeksi tambahan seperti penggunaan alat pelindung diri (APD) yang tepat oleh tenaga medis, desinfeksi rutin (Centers for Disease Control and Prevention et al., 2020) terhadap peralatan dan lingkungan sekitar pasien, serta pembatasan akses ke area isolasi (Drew and Williams, 2013; Sukmawati et al., 2021). Langkah ini secara signifikan dapat mengurangi risiko penularan patogen, terutama di lingkungan rumah sakit di mana pasien seringkali memiliki sistem kekebalan tubuh yang lemah atau berisiko tinggi mengalami komplikasi serius akibat infeksi.

7.3 Kesimpulan

Penelitian ini mengidentifikasi dan merangkum berbagai aspek penting terkait infeksi nosokomial, mulai dari definisi hingga strategi pencegahannya. Infeksi nosokomial merupakan salah satu tantangan terbesar dalam pelayanan kesehatan modern, yang berkontribusi signifikan terhadap morbiditas, mortalitas, dan biaya perawatan yang lebih tinggi. Poin utama yang diidentifikasi meliputi urgensi penanganan infeksi nosokomial, yang menjadi perhatian global mengingat dampaknya yang serius pada pasien, tenaga medis, dan sistem kesehatan secara keseluruhan. Faktor risiko utama yang sering kali dikaitkan dengan infeksi nosokomial termasuk penggunaan alat kesehatan yang invasif, lingkungan rumah sakit yang tidak optimal, serta praktik higiene dan sanitasi yang tidak memadai. Selain itu, kajian ini menyoroti strategi pencegahan yang efektif, seperti pengendalian kebersihan tangan, penggunaan alat pelindung diri (APD) yang tepat, serta implementasi kebijakan dan protokol yang ketat untuk pengendalian infeksi.

7.3.1 Implikasi Praktis

Temuan dari kajian pustaka ini memiliki implikasi praktis yang signifikan untuk diterapkan dalam praktik klinis. Salah satu langkah krusial adalah peningkatan kesadaran dan pelatihan berkelanjutan bagi tenaga kesehatan mengenai pentingnya pencegahan infeksi nosokomial. Implementasi protokol yang lebih ketat terkait kebersihan tangan dan penggunaan APD dapat secara drastis mengurangi risiko penularan infeksi di fasilitas kesehatan. Selain itu, evaluasi berkala terhadap praktik klinis dan lingkungan rumah sakit dapat membantu mengidentifikasi potensi risiko dan mengambil tindakan korektif sebelum infeksi terjadi. Dengan menerapkan temuan ini, institusi kesehatan dapat mengurangi prevalensi infeksi nosokomial, meningkatkan keselamatan pasien, dan menurunkan biaya terkait perawatan pasien yang terkena infeksi.

7.3.2 Penelitian Selanjutnya

Kajian ini juga membuka jalan bagi penelitian lebih lanjut untuk memperdalam pemahaman tentang infeksi nosokomial. Salah satu area yang perlu diteliti lebih lanjut adalah efektivitas berbagai intervensi pencegahan di berbagai setting klinis, terutama di negara-negara dengan sumber daya terbatas. Penelitian tentang inovasi teknologi dalam deteksi dini dan pengendalian infeksi juga merupakan area yang menjanjikan. Selain itu, studi longitudinal yang mengamati dampak jangka panjang dari infeksi nosokomial pada pasien, baik dari segi klinis maupun kualitas hidup, dapat memberikan wawasan yang lebih mendalam mengenai dampak keseluruhan infeksi ini. Penelitian di masa depan juga bisa mengeksplorasi hubungan antara resistensi antimikroba dan infeksi nosokomial, serta strategi untuk mengelola resistensi ini secara lebih efektif di lingkungan rumah sakit.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamri, M., Alshadfan, H. and Zubair, M. (2024) 'Antibiotic Resistance & Extended-Spectrum β -Lactamase Production in Clinical and Non-Clinical Isolates in Tabuk', *Medical Sciences*, 12(3), p. 42. doi: 10.3390/medsci12030042.
- Alrubaiee, G. G. et al. (2021) 'Implementation of an educational module on nosocomial infection control measures: a randomised hospital-based trial', *BMC Nursing*, 20(1), pp. 1–10. doi: 10.1186/s12912-021-00551-0.
- Batra, N. et al. (2024) 'Guarding Health: A Comprehensive Review of Nosocomial Infections in Sickle Cell Anemia, a Multifaceted Approach to Prevention', *Cureus*, 16(1), pp. 1–12. doi: 10.7759/cureus.53224.
- Bridgen, J. R. E. et al. (2024) 'A Bayesian approach to identifying the role of hospital structure and staff interactions in nosocomial transmission of SARS-CoV-2', *Journal of the Royal Society Interface*, 21(212). doi: 10.1098/rsif.2023.0525.
- Cavaillon, J. M. and Chrétien, F. (2019) 'From septicemia to sepsis 3.0 – from Ignaz Semmelweis to Louis Pasteur', *Microbes and Infection*, 21(5–6), pp. 213–221. doi: 10.1016/j.micinf.2019.06.005.
- Centers for Disease Control and Prevention et al. (2020) 'Infection prevention and control during health care when COVID-19 is suspected: interim guidance, 19 March 2020', *Centers for Disease Control and Prevention*, 8(4), pp. 473–481. doi: 10.2217/fmb.13.13.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2024) 'Antimicrobial Resistance: Causes and How It Spreads'. Available at: <https://www.cdc.gov/drugresistance/about/how-resistance-happens.html>.
- Cleveland Clinic (2024) 'Antibiotic Resistance: What Is It, Complications & Treatment'. Available at: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/21161-antibiotic-resistance>.

- Drew, R. J. and Williams, J. (2013) 'Reducing the risk of healthcare-associated infections: a systems approach', *Future Microbiology*, 8(4), pp. 473–481. doi: 10.2217/fmb.13.13.
- Food, U. S. and Administration, D. (2023) 'Combating Antibiotic Resistance'. Available at: <https://www.fda.gov>.
- Giraldi, G. et al. (2019) 'Excess length of hospital stay due to healthcare acquired infections: Methodologies evaluation', *Annali di Igiene Medicina Preventiva e di Comunita*, 31(5), pp. 507–516. doi: 10.7416/ai.2019.2311.
- Hamukonda, M. S., Emvula, O. and Mbapaha, M. C. (2024) 'Undergraduate Nursing Students Knowledge and Practices Towards the Prevention of Nosocomial Infections I NTRODUCTION AND'.
- Isigi, S. S. et al. (2023) 'Predisposing Factors of Nosocomial Infections in Hospitalized Patients in the United Kingdom: Systematic Review', *JMIR Public Health and Surveillance*, 9(1). doi: 10.2196/43743.
- KecEROVÁ, Z. M. B. (2023) 'Safety risk for patient due to nosocomial infection', 7(2), pp. 51–55. doi: 10.5281/zenodo.8332248.
- Lemiech-Mirowska, E. et al. (2021) 'Nosocomial infections as one of the most important problems of the healthcare system', *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 28(3), pp. 361–366. doi: 10.26444/aaem/122629.
- Li, X. et al. (2022) 'Outcome and Clinical Characteristics of Nosocomial Infection in Adult Patients Undergoing Extracorporeal Membrane Oxygenation: A Systematic Review and Meta-Analysis', *Frontiers in Public Health*, 10(June), pp. 1–11. doi: 10.3389/fpubh.2022.857873.
- Lobdell, K. W., Stamou, S. and Sanchez, J. A. (2012) 'Hospital-Acquired Infections', *Surgical Clinics of North America*, 92(1), pp. 65–77. doi: 10.1016/j.suc.2011.11.003.
- Martel, J. A. et al. (2021) 'Capturing portable medical equipment disinfection data via an automated novel disinfection tracking system', *American Journal of Infection Control*, 49(10), pp. 1287–1291. doi: 10.1016/j.ajic.2021.05.008.
- Nield, H. (2020) 'A short history of infection control in dentistry', *BDJ Team*, 7(8), pp. 12–15. doi: 10.1038/s41407-020-0402-1.

- Ozdemir, K. and Dizbay, M. (2015) 'Nosocomial infection and risk factors in elderly patients in intensive care units', *Journal of Microbiology and Infectious Diseases*, 5(01), pp. 38–43. doi: 10.5799/ahinjs.02.2015.01.0174.
- Reunes, S. et al. (2011) 'Risk factors and mortality for nosocomial bloodstream infections in elderly patients', *European Journal of Internal Medicine*, 22(5), pp. e39–e44. doi: 10.1016/j.ejim.2011.02.004.
- Sukmawati, S. et al. (2021) 'Stunting prevention with education and nutrition in pregnant women: A review of literature', *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*. doi: 10.3889/oamjms.2021.7314.
- Takahashi, N. et al. (2024) 'Incidence and mortality of community-acquired and nosocomial infections in Japan: a nationwide medical claims database study', *BMC Infectious Diseases*, 24(1), pp. 1–9. doi: 10.1186/s12879-024-09353-6.
- Trudic, A. et al. (2022) 'Antimicrobial Susceptibility Testing: A Comprehensive Review of Currently Used Methods', *Antibiotics*, 11(4), p. 427. doi: 10.3390/antibiotics11040427.
- Trusts, P. C. (2018) 'Health Experts Establish Targets to Improve Hospital Antibiotic Prescribing', The Pew Charitable Trusts. Available at: <https://www.pewtrusts.org/en/research-and-analysis/articles/2018/10/16/health-experts-establish-targets-to-improve-hospital-antibiotic-prescribing>.
- Weinstein, R. A. (2001) 'Controlling Antimicrobial Resistance in Hospitals: Infection Control and Use of Antibiotics', *Emerging Infectious Diseases*, 7(2), pp. 188–192. doi: 10.3201/eid0702.010204.
- Wu, M., Wang, Q. and Cheng, Z. (2022) 'Cleaning Quality Control Management of Medical Equipment in Hospital Disinfection Supply Room Based on Smart Medicine', *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022. doi: 10.1155/2022/4380735.

BAB 8

MIKROORGANISME FLORA NORMAL

Oleh Dian Rachma Wijayanti

8.1 Pendahuluan

Mikroorganisme flora normal merupakan mikroorganisme yang ada pada tubuh sehat manusia. Mikroorganisme flora normal juga dikenal dengan "flora mikroba normal" dan "mikrobiota normal". Tubuh manusia mengandung sejumlah besar mikroorganisme flora normal yang sangat bergantung pada keberadaan kita. Genom simbiosis mikroorganisme flora normal ini secara kolektif didefinisikan sebagai mikrobioma. Penelitian menunjukkan flora normal menyediakan pertahanan pertama terhadap patogen mikroba, membantu pencernaan, berperan dalam degradasi toksin, dan berkontribusi pada pematangan sistem kekebalan tubuh. Perubahan mikrobiota normal atau stimulasi peradangan oleh flora normal dapat menyebabkan penyakit seperti vaginosis bakterial, periodontitis, dan penyakit radang usus (Carroll, Butel and Morse, 2019; Sunarti, 2022).

Area tubuh yang bersentuhan dengan lingkungan luar sebagian besar mengandung flora normal. Permukaan mukosa menyediakan permukaan untuk perlekatan. Sebagian besar bagian tubuh lainnya, termasuk organ dalam, jaringan, dan cairan yang dikandungnya, umumnya bebas mikroba. Umumnya, keberadaan mikroba di area ini biasanya merupakan indikasi infeksi. Sebagian besar mikroba yang bersentuhan dengan tubuh disingkirkan atau dihancurkan oleh pertahanan tubuh jauh sebelum mereka dapat menginfeksi area tertentu. Organisme yang menempati tubuh hanya untuk waktu yang singkat dikenal sebagai mikroba transien. Mikroba yang tersisa yang menetap lebih permanen dianggap sebagai mikroba penghuni atau mikroba residen (flora normal). Salah satu adaptasi terpenting mereka adalah menghindari perhatian pertahanan tubuh. Organisme residen telah berevolusi bersama dengan tubuh manusia mereka memiliki hubungan

kompleks di mana flora normal umumnya tidak berbahaya bagi inang (tubuh manusia) dan sebaliknya (Talaro and Chess, 2009).

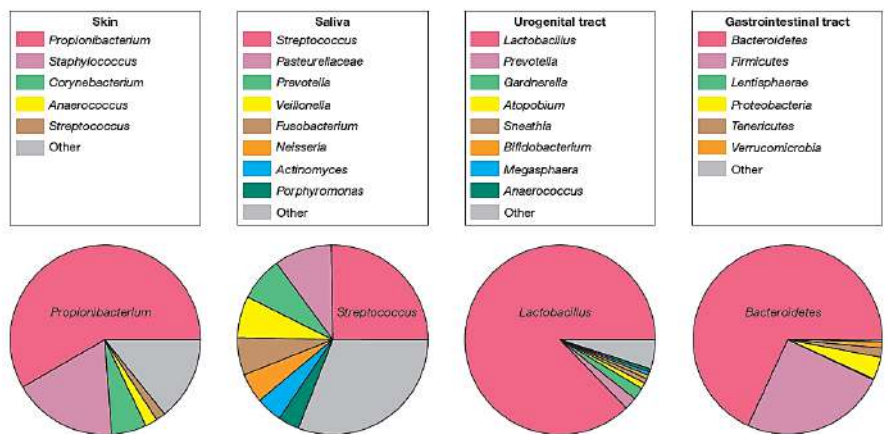
8.2 Flora Normal Berkembang Seiring Usia

Bayi baru lahir memperoleh mikroba dari lingkungan sekitar. Bayi lahir normal melalui vagina memperoleh sebagian besar mikroba dari jalan lahir ibu, sedangkan bayi yang lahir melalui operasi caesar memperoleh mikroba dari kulit pengasuh disekitar mereka (dokter, bidan, perawat, orang tua, dll). Pentingnya kolonisasi mikroba bayi baru lahir kini dipahami sebagai tahapan penting sehingga beberapa penyedia layanan kesehatan menyeka mulut bayi baru lahir dengan cairan vagina ibu setelah operasi caesar. Kolonisasi awal saluran usus bayi oleh *Escherihia coli* dan streptokokus tampaknya menciptakan lingkungan yang mengurangi pertumbuhan anaerob seperti bifidobacteria dan bacterioidetes. Selain itu, ASI bertindak sebagai media selektif untuk bakteri nonpatogen, karena bayi yang diberi susu botol memiliki proporsi bifidobacteria usus yang jauh lebih kecil. Fermentasi gula ini menghasilkan asetat dan laktat, yang menyediakan kalori untuk bayi yang sedang tumbuh, dan menurunkan pH usus, membantu membatasi pertumbuhan patogen tertentu. Respon imun yang kuat terhadap vaksinasi ternyata terkait dengan keberadaan Bifidobacteria di saluran pencernaan bayi. Peralihan minuman bayi ke susu sapi atau makanan padat juga mengakibatkan hilangnya dominasi bifidobacteria; proteobacteria, firmicutes, dan bacterioidetes (Willey, Sandman and Wood, 2020).

Umumnya flora normal manusia dewasa relatif stabil dari waktu ke waktu Flora normal tersebut sangat bervariasi dari orang ke orang dan di tempat yang berbeda dalam orang yang sama. setiap manusia memiliki mikrobiota yang relatif unik. Data metagenomik 16S rRNA melaporkan bahwa bakteri yang umumnya ditemukan pada kulit manusia, saluran usus, dan permukaan mukosa lainnya mencakup lima filum utama: Actinobacteria, Bacterioidetes, Firmicutes, Fusobacteria, dan Proteobacteria. Sejumlah archaea (*eurarchaeotes*), jamur, dan virus juga ditemukan. Usus orang dewasa rata-rata menjadi tempat tinggal bagi 500 hingga 1.000 spesies mikroba yang berbeda (Willey, Sandman and Wood, 2020).

8.3 Flora Normal pada Tubuh Manusia

Flora normal pada tubuh manusia dapat ditemukan pada mulut, rongga hidung, tenggorokan, lambung, usus, saluran urogenital, dan kulit. Jumlah mikroba dalam mikrobioma manusia diperkirakan berjumlah sekitar 10^{13} sel, yang hampir sama dengan jumlah sel manusia dalam satu orang. Bersama-sama, tubuh manusia sebagai inang dan mikroba terkaitnya membentuk supraorganisme inang-mikrobioma (Todar, 2020; Madigan *et al.*, 2021). Populasi mikroba utama di bagian tubuh yang diambil sampelnya pada proyek penelitian mikrobioma manusia terlihat pada Gambar 8.1. Keragaman di antara bagian tubuh dievaluasi dengan analisis urutan gen 16S rRNA. Setiap bagian tubuh cenderung didominasi oleh satu jenis populasi: kulit oleh spesies *Propionibacterium*; oral oleh spesies *Streptococcus*; urogenital oleh spesies *Lactobacillus*; dan gastrointestinal oleh spesies *Bacteroides* (Madigan *et al.*, 2021).



Gambar 8.1. Populasi mikroba utama di bagian tubuh manusia (Sumber: Madigan *et al.*, 2021).

8.4 Hubungan Flora Normal dan Inangnya

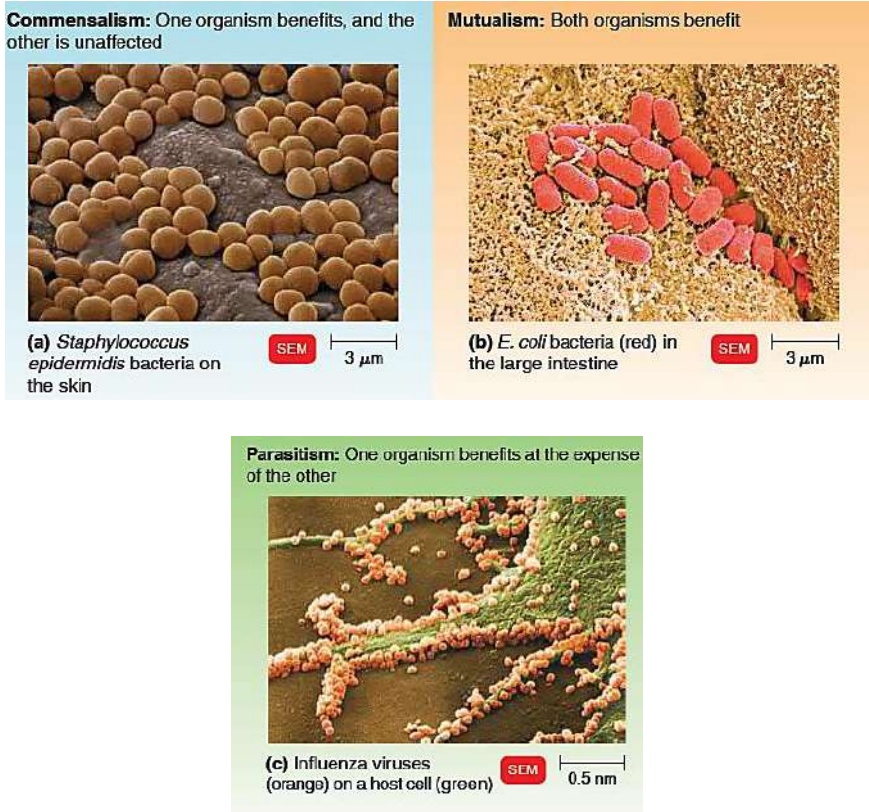
Flora normal dapat menguntungkan inang dengan mencegah pertumbuhan berlebih mikroorganisme berbahaya. Fenomena ini disebut antagonisme mikroba, atau pengecualian kompetitif.

Antagonisme mikroba merupakan persaingan di antara mikroba. Salah satu dampak dari persaingan ini flora normal melindungi inang dari kolonisasi oleh mikroba yang berpotensi patogen dengan bersaing untuk mendapatkan nutrisi, menghasilkan zat yang berbahaya bagi mikroba yang menginfeksi tubuh inang, dan memengaruhi kondisi seperti pH dan oksigen yang tersedia. Ketika keseimbangan jumlah antara flora normal dan mikroba patogen terganggu, penyakit dapat terjadi. Misalnya, flora normal bakteri vagina manusia dewasa mempertahankan pH lokal sekitar 4. Kehadiran flora normal bakteri menghambat pertumbuhan berlebih ragi *Candida albicans*, yang dapat tumbuh ketika pH diubah. Jika populasi bakteri dihilangkan dengan antibiotik, pencucian vagina yang berlebihan, atau deodoran, pH vagina akan kembali mendekati netral, dan *C. albicans* dapat berkembang biak dan menjadi mikroorganisme yang dominan di sana. Kondisi ini dapat menyebabkan suatu bentuk vaginitis (infeksi vagina)(Tortora, Funke and Case, 2019; Sunarti, 2022).

Contoh berikutnya antagonisme mikroba dapat terjadi di usus besar. *Escherichia coli* menghasilkan bakteriosin, protein yang menghambat pertumbuhan bakteri lain dari spesies yang sama atau berkerabat dekat, seperti *Salmonella* dan *Shigella* patogenik. Bakteri penghasil bakteriosin tertentu tidak dibunuh oleh bakteriosin tersebut, tetapi dapat dibunuh oleh bakteriosin lain. Bakteriosin sedang diselidiki untuk digunakan dalam mengobati infeksi dan mencegah pembusukan makanan(Tortora, Funke and Case, 2019).

Contoh terakhir yaitu pada kasus *Clostridium difficile*, yang juga ada di usus besar. Flora normal pada usus besar secara efektif menghambat *C. Difficile*. Mekanisme penghambatan dengan membuat reseptor inang tidak tersedia, bersaing untuk mendapatkan nutrisi yang tersedia, atau memproduksi bakteriosin. Namun, jika flora normal dihilangkan (dengan konsumsi antibiotik), *C. difficile* dapat menjadi masalah. Mikroba ini bertanggung jawab atas hampir semua infeksi gastrointestinal yang mengikuti terapi antibiotik, mulai dari diare ringan hingga kolitis (radang usus besar) yang parah atau bahkan fatal. Tahun 2013, seorang spesialis penyakit menular Kanada berhasil mengobati infeksi *C. difficile* dengan pil yang mengandung flora normal bakteri usus. Mikrobiota

normal diperoleh dari kerabat pasien. Hubungan antara flora normal dan inang pada Gambar 8.2 menggambarkan simbiosis, hubungan antara dua organisme di mana setidaknya satu organisme bergantung pada yang lain (Tortora, Funke and Case, 2019).



Gambar 8.2. Simbiosis antara flora normal dan inang, Komensalisme (a), Mutualisme (b), Parasitisme (c) (Sumber: Tortora, Funke and Case, 2019)

8.5 Flora Normal Sistem Pencernaan

Saluran pencernaan manusia terdiri dari lambung, usus halus, dan usus besar, dan bertanggung jawab atas pencernaan makanan dan penyerapan nutrisi; banyak nutrisi penting juga diproduksi oleh mikrobiota asli. Saluran pencernaan manusia berbentuk tabung panjang yang terlipat berisi nutrisi yang

dicampur dengan mikroba, terutama spesies bakteri. Manusia dan mikroorganisme yang tinggal di ususnya berbagi nutrisi yang mudah dicerna. Nutrisi untuk tubuh disebarkan melalui saluran pencernaan. Nutrisi ini akan diteruskan ke komunitas dan kelimpahan mikroba yang terus berubah sepanjang hidup manusia (Madigan *et al.*, 2021).

Saluran pencernaan manusia memiliki luas permukaan sekitar 400 m² dan merupakan rumah bagi total sekitar 10¹³ sel mikroba. Makanan dicerna dari lambung kemudian akan dicampur dengan cairan empedu, bikarbonat, dan enzim pencernaan pada usus duodenum. Sekitar 1–4 jam setelah pencernaan, makanan mencapai usus besar, dengan pH hampir netral. Jumlah total bakteri meningkat dari sekitar 10⁴>g, di lambung menjadi 10⁸>g, di usus halus menjadi 10¹¹-10¹² per g, di usus besar (Madigan *et al.*, 2021).

8.5.1 Flora Normal Rongga Mulut

Rongga mulut merupakan lokasi pada tubuh manusia yang memiliki flora normal unik, paling beragam dan melimpah di dalam tubuh. Mikrohabitat pada rongga mulut termasuk epitel pipi, gingiva, lidah, dasar mulut, dan email gigi memiliki banyak relung adaptif. Jumlah flora normal diperkirakan lebih dari 600 spesies yang tinggal di rongga mulut. Penghuni yang paling umum adalah spesies *Streptococcus aerobik* diantaranya *S. sanguis*, *S. salivarius*, dan *S. mitis*, bakteri-baktri ini mengkolonisasi permukaan epitel superfisial yang halus. Dua spesies, *S. mutans* dan *S. sanguis*, berkontribusi besar terhadap karies gigi, keduanya membentuk lapisan lendir dekstran yang lengket ketika ada gula sederhana. Adhesi dekstran ke permukaan gigi membentuk dasar untuk biofilm yang menarik bakteri lain. Erupsi gigi membentuk habitat anaerobik di celah gingiva yang mendukung kolonisasi oleh bakteri anaerob yang dapat terlibat dalam karies gigi dan infeksi periodontal. Saat air liur dikeluarkan dari saluran ke rongga mulut, air liur akan dipenuhi bakteri. Air liur biasanya mengandung jumlah bakteri yang tinggi (hingga 5 × 10⁹ sel per mililiter), hal ini membuat obat kumur tidak efektif (Talaro and Chess, 2009).

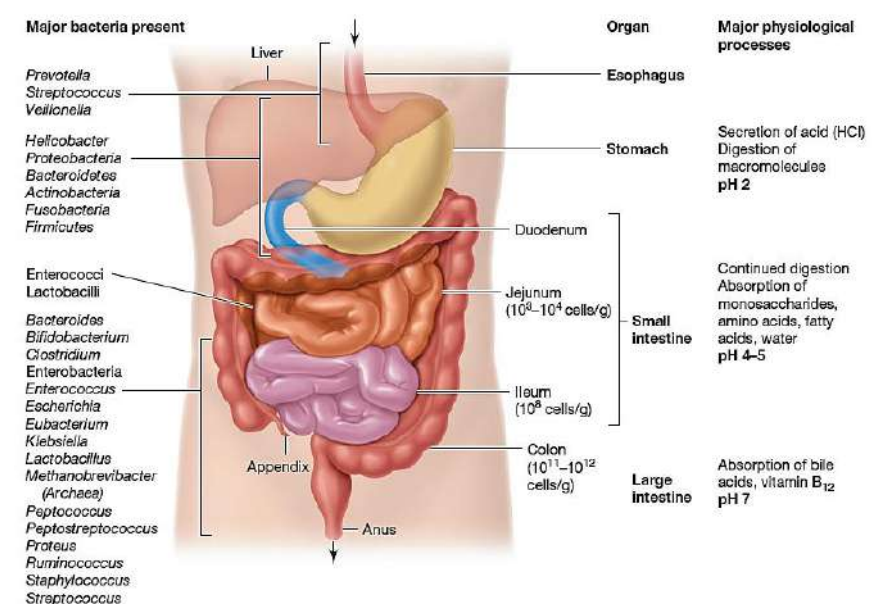
8.5.2 Flora Normal Lambung, Usus Halus dan Usus Besar

Lambung manusia sering dianggap steril atau hanya memiliki sedikit flora normal hingga pada tahun 1983 ditemukan bahwa bakteri *Helicobacter pylori* yang sangat toleran terhadap asam mengkolonisasi lambung sekitar 50% dari semua manusia. Penemuan ini mendorong dilakukannya pemeriksaan lebih cermat terhadap flora normal lambung manusia melalui analisis kultur dan sekuens 16S rRNA. Lambung saat ini diketahui menjadi rumah bagi komunitas bakteri yang aktif dengan ratusan phylotype yang tersebar di antara lumen lambung (pH 1–2) dan lapisan lendir dinding (pH 6–7). Meskipun pH rendah mencegah pertumbuhan bakteri yang berlebihan, lambung manusia yang sehat memiliki mikrobioma inti yang berbeda dari populasi oral yang masuk melalui saluran pencernaan dan didominasi oleh Bacteroidetes (*Prevotella*), Firmicutes (*Streptococcus*, *Veillonella*, *Lactobacillus*), Actinobacteria (*Rothia*, *Propionibacterium*), Fusobacteria, dan Proteobacteria (*Haemophilus*, *Methylobacterium*). Kelompok bakteri utama pada sistem pencernaan terlihat pada Gambar 11.3 Kelompok bakteri ini merupakan mikroba yang ditemukan pada orang dewasa yang sehat. Tetapi tidak setiap manusia memiliki semua mikroba tersebut (Madigan *et al.*, 2021).

Usus halus memiliki tiga bagian berbeda, duodenum, ileum dihubungkan oleh jejunum. Duodenum, yang berdekatan dengan lambung, sehingga cukup asam dan mikrobiota-nya biasanya menyerupai lambung. Duodenum menuju ke ileum, pH secara bertahap menjadi kurang asam dan jumlah bakteri meningkat. Umumnya pada ileum bagian bawah, jumlah sel bakteri sekitar 10^5 - 10^7 per Gram isi usus, meskipun lingkungan menjadi semakin anoksik. Bakteri anaerob fusiform (berbentuk gelendong) biasanya ada, dengan satu ujung menempel pada dinding usus. Penghuni mikroba usus halus harus bersaing dengan inang untuk penyerapan karbohidrat kecil yang cepat olehkarenanya sering kali terdiri dari bakteri yang beradaptasi dengan kondisi "pesta atau kelaparan" (Madigan *et al.*, 2021).

Usus besar manusia mengandung bakteri aerob fakultatif seperti *Escherichia coli* hadir tetapi dalam jumlah yang jauh lebih sedikit daripada bakteri lain; sebaliknya, bakteri anaerob obligat

mendominasi. Bakteri aerob fakultatif mengonsumsi jejak oksigen yang masuk ke usus besar, sehingga membuat usus besar benar-benar anoksik. Kondisi anoksia mendukung pertumbuhan bakteri anaerob obligat seperti spesies *Clostridium* dan *Bacteroides*. Jumlah total bakteri anaerob obligat di usus besar sangat besar. Sel bakteri dapat berjumlah 10^{10} hingga 10^{11} per Gram isi tinja merupakan hal yang umum. Selama pencernaan, air diserap dari bahan yang dicerna, yang secara bertahap menjadi lebih pekat dan diubah menjadi tinja. Bakteri menyusun sekitar sepertiga dari berat bahan tinja (Madigan *et al.*, 2021).



Gambar 8.3. Saluran pencernaan manusia dan anggota utama mikrobiota (Sumber: Madigan et al., 2021).

8.6 Flora Normal Sistem Pernapasan

Sebagian besar flora normal dapat ditemukan pada saluran pernapasan atas yaitu pada bagian nasofaring. Hidung pada bagian lubangnya seringkali dikolonisasi terutama oleh *Staphylococcus epidermidis* dan *corynebacteria* serta seringkali oleh *Staphylococcus aureus*. Sinus yang sehat bersifat steril. Faring (tenggorokan) biasanya dikolonisasi oleh streptokokus dan berbagai kokus Gram-

negatif. Terkadang patogen seperti *Streptococcus pneumoniae*, *Streptococcus pyogenes*, *Haemophilus influenzae*, dan *Neisseria meningitidis* mengkolonisasi faring (Todar, 2020).

Bagian saluran pernapasan bawah (trakea, bronkus, dan jaringan paru-paru) merupakan habitat yang tidak menguntungkan bagi flora normal, sehingga hampir bebas dari mikroorganisme, hal ini dapat terjadi karena tindakan pembersihan efisien dari epitel bersilia yang melapisi saluran tersebut. Bakteri apa pun yang mencapai saluran pernapasan bawah akan disapu ke atas oleh aksi lapisan mukosiliar yang melapisi bronkus, untuk kemudian disingkirkan melalui batuk, bersin, menelan, dll. Epitel saluran pernapasan yang rusak, seperti pada bronkitis atau pneumonia virus, memungkinkan terjadinya infeksi oleh patogen seperti *H. influenzae* atau *S. pneumoniae* yang turun dari nasofaring (Todar, 2020).

8.7 Flora Normal Sistem Ekskresi

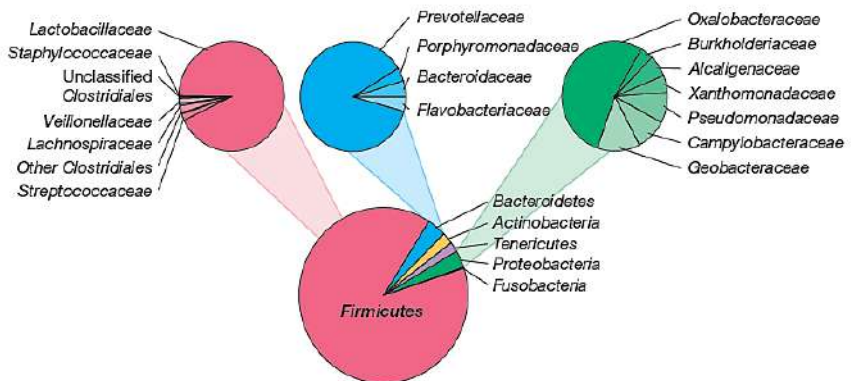
Saluran urogenital orang dewasa sehat, ginjal dan kandung kemih dianggap steril akan tetapi, bahkan pada individu yang sehat bakteri Gram negatif aerobik fakultatif mengkolonisasi sel epitel yang melapisi uretra distal dan kandung kemih. Patogen potensial *Escherichia coli* dan *Proteus mirabilis*, biasanya terdapat dalam jumlah kecil di dalam tubuh atau di lingkungan lokal, dapat berkembang biak di uretra dan menyebabkan penyakit jika terjadi kondisi seperti perubahan pH. Organisme tersebut merupakan patogen penyebab infeksi saluran kemih, terutama pada wanita. *Proteus* sangat terkenal sebagai patogen saluran kemih. Bakteri ini merupakan penghasil urease kuat, menghasilkan amonia dari urea dan menggunakan amonia sebagai sumber nitrogen. Amonia juga menyebabkan pH urin menjadi sangat basa, hal ini dapat memicu kondisi saluran kemih lainnya seperti pembentukan batu ginjal.

Vagina wanita dewasa bersifat asam lemah (pH 5) dan mengandung sejumlah besar glikogen. *Lactobacillus acidophilus*, organisme yang hidup di vagina, memfermentasi glikogen polisakarida, menghasilkan asam laktat yang mempertahankan lingkungan asam lokal. Organisme lain, seperti spesies ragi *Torulopsis* dan *Candida*, *Streptococcus*, dan *Escherichia. coli*, mungkin

dapat ditemukan. Sebelum pubertas, *Lactobacillus acidophilus* tidak ada, vagina wanita memiliki pH netral dan tidak menghasilkan glikogen, dan mikrobiota sebagian besar terdiri dari stafilocokus, streptokokus, corynebacteria, dan *Escherichia coli*. Setelah menopause, produksi glikogen berhenti, pH meningkat, flora normal kembali seperti pada saat sebelum pubertas (Madigan *et al.*, 2021).

Wanita dewasa yang sehat, diperkirakan memiliki mikrobiota vagina terdiri dari lebih dari 100 genus bakteri yang dikelompokkan menjadi beberapa famili bakteri Gram positif (Gambar 8.4). Setidaknya terdapat "komunitas vagina normal" yang mengandung komposisi *Lactobacillus* spp. yang berbeda, organisme Gram positif yang dominan di vagina. Empat jenis ini merupakan salah satu dari *L. crispatus*, *L. iners*, *L. reuteri*, atau *L. jensenii*. Anggota kelima adalah jenis bakteri yang lebih heterogen, hal ini dicirikan oleh keragaman keseluruhan yang lebih tinggi, proporsi anaerob ketat lainnya dan lebih besar dibandingkan dengan laktobasilus. Semua tipe komunitas vagina dikaitkan dengan pH asam, pH bervariasi menurut tipe komunitas. Tipe *L. crispatus* menunjukkan pH rata-rata terendah (4,0), sedangkan tipe heterogen menunjukkan pH rata-rata tertinggi (5,3).

Studi tentang mikrobiota penis lebih sedikit, tetapi gambaran umum menunjukkan bahwa keragaman bakteri pada penis mirip dengan yang ada di vagina, polanya terutama terjadi pada pasangan seksual. Spesies *Lactobacillus*, *Streptococcus*, dan *Sneathia* umumnya ditemukan di uretra pria dan wanita. Mikrobiota pada penis yang disunat dibandingkan dengan yang tidak disunat bisa sangat berbeda, dan kelimpahan bakteri pada penis yang tidak disunat biasanya juga jauh lebih besar (Madigan *et al.*, 2021).



Gambar 8.4. Keragaman bakteri vagina (Madigan *et al.*, 2021)

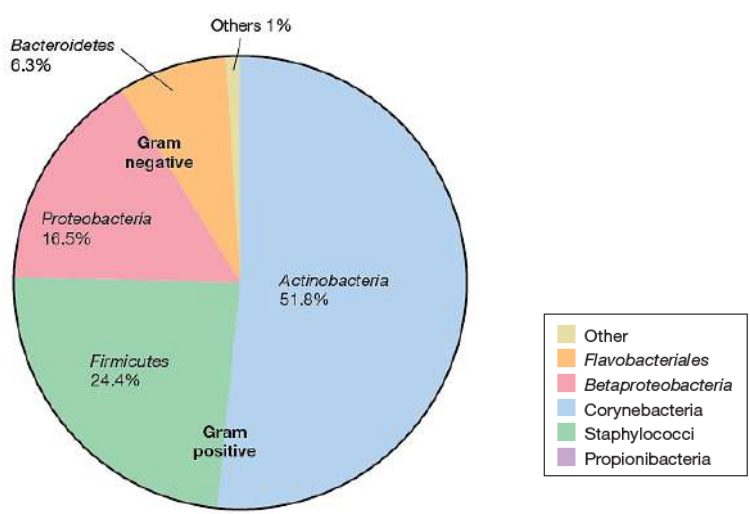
8.8 Flora Normal Kulit

Kulit manusia sangat kompleks, berfungsi untuk mencegah hilangnya kelembapan dan membatasi masuknya patogen. Setiap orang dewasa rata-rata memiliki permukaan kulit sekitar dua meter persegi yang sangat bervariasi dalam komposisi kimia dan kadar kelembapan. Kulit menyediakan lingkungan bagi sebagian flora normal manusia. Flora normal kulit terdiri dari komunitas mikroorganisme yang beraneka ragam, berasosiasi erat dengan sistem hormonal, saraf, dan imunologi inang. Ada sekitar satu juta bakteri penghuni per cm² kulit, dengan total sekitar 10^{10} mikroorganisme kulit yang menutupi rata-rata orang dewasa. Meskipun angka-angka ini jauh lebih rendah daripada komunitas mulut dan usus, analisis molekuler telah menunjukkan bahwa kulit mengandung komunitas mikroba bakteri dan jamur yang beragam (terutama ragi) yang bervariasi secara signifikan dengan lokasi pada tubuh sebagai fungsi dari keragaman habitat.

Hasil perbandingan sekuensing 16S rRNA dari 10 responden sehat dengan 20 lokasi kulit yang berbeda, kategori lembap, kering, atau berminyak menunjukkan keragaman dan variasi yang luar biasa di antara lokasi dan individu, serta menunjukkan beberapa pola umum (Gambar 8.5). Secara kolektif, hampir 20 filum bakteri terdeteksi, tetapi sebagian besar phylotype berafiliasi dengan salah satu dari empat

kelompok: Actinobacteria (52%), Firmicutes (24%), Proteobacteria (16%), dan Bacteroidetes (6%). Lebih dari 200 genera yang berbeda diidentifikasi, tetapi spesies dari tiga genera, *Corynebacterium* dan *Propionibacterium* (keduanya Actinobacteria) dan *Staphylococcus* (Firmicutes) biasanya mendominasi phylotype yang diamati.

Setiap lingkungan mikro kulit menunjukkan mikrobiota yang unik. Daerah kulit yang lebih lembap didominasi oleh corynebacteria dan staphylococci, sedangkan daerah kulit yang lebih kering mendukung populasi campuran yang didominasi oleh Betaproteobacteria, corynebacteria, dan Flavobacteriales. Spesies *Propionibacterium* mendominasi di daerah sebacea. Misalnya, kolonisasi sistem kelenjar sebacea folikular oleh *Propionibacterium acnes* dengan kemampuannya untuk menghidrolisis trigliserida yang terdapat dalam sebum, mengakibatkan pelepasan asam lemak bebas yang mendorong perlekatan bakteri ini, hal inilah yang terkadang menyebabkan penyakit seperti jerawat (Madigan *et al.*, 2019).



Gambar 8.5. Hasil analisis keragaman bakteri kulit dari 10 responden sehat (Madigan *et al.*, 2021)

DAFTAR PUSTAKA

- Carroll, K.C., Butel, J. and Morse, S. (2019) *Jawetz Melnick & Adelbergs Medical Microbiology 27 E*. Available at: <https://books.google.com/books?id=PumOCgAAQBAJ>.
- Madigan, M. *et al.* (2019) *Brock Biology of Microorganisms Fifteenth Edition*. 15th edn. Pearson Education Limited.
- Madigan, M.T. *et al.* (2021) *Brock Biology of Microorganisms, 16th Edition*. 16th edn. Pearson Education.
- Sunarti, L.S. (2022) 'Microbial Normal Flora: Its Existence And Their Contribution To Homeostasis', *Journal of Advances in Microbiology*, pp. 1–15. Available at: <https://doi.org/10.9734/jamb/2022/v22i930483>.
- Talaro, K.P. and Chess, B. (2009) *Foundation in Microbiology*. 10th edn. Edited by L. Breithaup. United States of America: McGraw Hill Education.
- Todar, K. (2020) *The Normal Bacterial Flora of Humans, Web Review of Todar's Online Textbook of Bacteriology*. 'The Good, the Bad, and the Deadly'. Available at: https://textbookofbacteriology.net/normalflora_3.html (Accessed: 12 September 2024).
- Tortora, G.J., Funke, B.R. and Case, C.L. (2019) *Microbiology an Introduction*. 13th edn. Pearson Education. Available at: <https://doi.org/LCCN 2017044147>.
- Willey, J.M., Sandman, K.M. and Wood, D.H. (2020) *Prescott Microbiology Eleventh Edition*. Eleventh. Newyork: McGraw Hill.

BAB 9

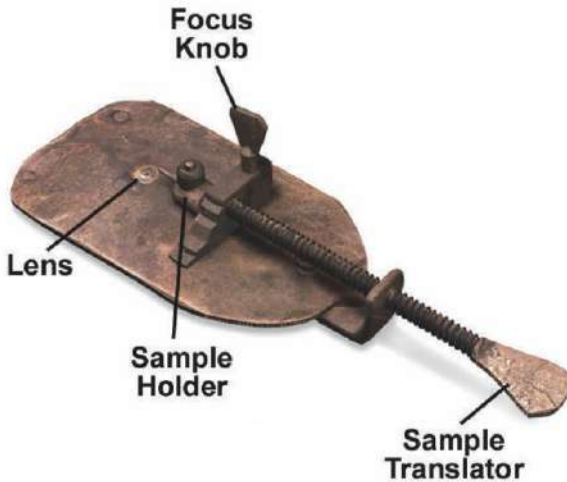
MIKROSKOP DAN CARA PENGOPERASIANNYA

Oleh Anas Fadli Wijaya

9.1 Pengertian Mikroskop

Mikroskop berasal dari bahasa Yunani Kuno, di mana "μικρός" (mikrós) bermakna "kecil" dan "σκοπεῖν" (skopeîn) berarti "melihat." Dengan demikian, mikroskop merupakan alat laboratorium yang berfungsi untuk mengamati objek berukuran sangat kecil yang tidak dapat dilihat langsung dengan mata telanjang (Ramadhani, 2020).

Mikroskop pertama kali ditemukan oleh Zacharias Janssen dan ayahnya, Hans Janssen, pada akhir abad ke-16 (sekitar tahun 1590) di Belanda. Mereka adalah pembuat kacamata yang secara tidak sengaja menemukan prinsip perbesaran dengan menggunakan dua lensa cembung. Beberapa tahun kemudian, Antonie van Leeuwenhoek dari Belanda menciptakan mikroskop dengan satu lensa yang mampu memperbesar objek yang diamati hingga 300 kali. Mikroskop yang dibuat oleh Leeuwenhoek terdiri dari bola kaca kecil yang dipasang dalam bingkai logam, dan ia menjadi terkenal karena menggunakan mikroskop tersebut untuk mengamati mikroorganisme bersel tunggal di air tawar yang disebut "animalcules." Leeuwenhoek dikenal sebagai "Bapak Mikrobiologi" karena berhasil mengamati dan mendokumentasikan mikroorganisme seperti bakteri dan protozoa dengan mikroskop yang ia buat sendiri. Sekitar tahun 1600, Hans dan Z. Jansen menemukan mikroskop ganda yang lebih canggih dibandingkan mikroskop buatan Leeuwenhoek (Subaer et al., 2023).



Gambar 9.1. Mikroskop buatan Antonie Van Leeuwenhoek
(Sumber : Abramowitz, 2003)

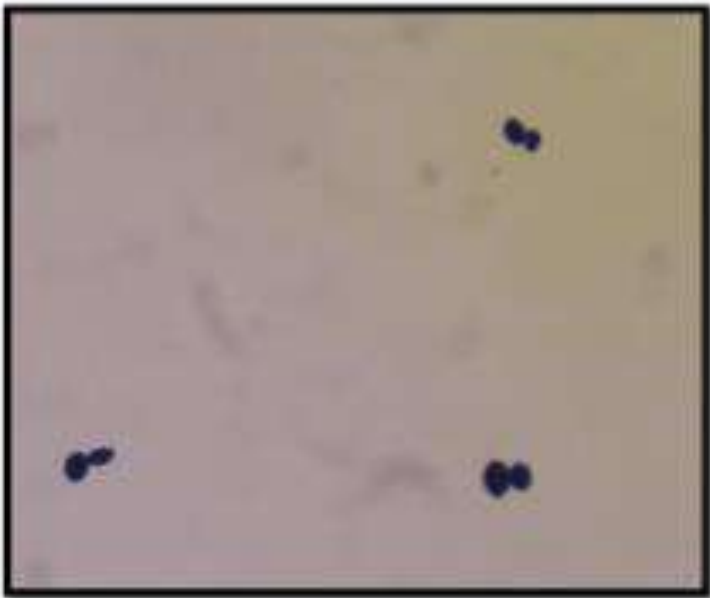
Mikroskop pada dasarnya tersusun atas dua lensa cembung, yaitu lensa okuler yang terletak dekat dengan mata pengguna dan lensa objektif yang berada di dekat objek yang diamati. Lensa okuler ditempatkan di bagian atas mikroskop dan umumnya memiliki perbesaran 5x, 10x, 12,5x dan 15x, yang artinya jika pengguna menggunakan lensa okuler dengan perbesaran 10x, maka bayangan yang dihasilkan oleh lensa objektif akan diperbesar sepuluh kali ketika dilihat melalui lensa okuler. Lensa okuler terdiri dari lensa plankonveks yang berfungsi sebagai lensa kolektif dan lensa mata. Sedangkan, lensa objektif biasanya memiliki perbesaran 4x, 10x, 40x, dan 100x (lensa 100x biasanya digunakan bersama minyak imersi untuk meningkatkan resolusi). Setiap lensa objektif dapat diputar untuk menyesuaikan dengan perbesaran yang dibutuhkan. Sistem lensa objektif menghasilkan perbesaran awal dan membentuk bayangan nyata, yang kemudian diperbesar oleh lensa okuler menjadi bayangan maya yang dapat kita lihat. Total perbesaran mikroskop diperoleh dengan mengalikan perbesaran lensa objektif dan lensa okuler. Sebagai contoh, jika digunakan lensa

objektif 40x, maka total perbesarannya adalah $40x$ (lensa objektif) $\times$ $10x$ (lensa okuler) = $400x$ (Ramadhani, 2020).

9.2 Fungsi Mikroskop

Mikroskop memiliki beragam kegunaan, antara lain:

1. Kegunaan utamanya adalah untuk mengamati objek berukuran sangat kecil yang tidak dapat dilihat dengan mata biasa.
2. Kegunaan lainnya masih berkaitan dengan fungsi utamanya, namun beberapa jenis mikroskop didesain untuk tujuan lebih khusus. Sebagai contoh, terdapat mikroskop yang dirancang khusus untuk mengamati objek mikroskopis yang telah diberi pewarna fluoresen, di mana zat tersebut akan mengeluarkan cahaya fluoresen ketika terpapar cahaya dengan panjang gelombang tertentu.

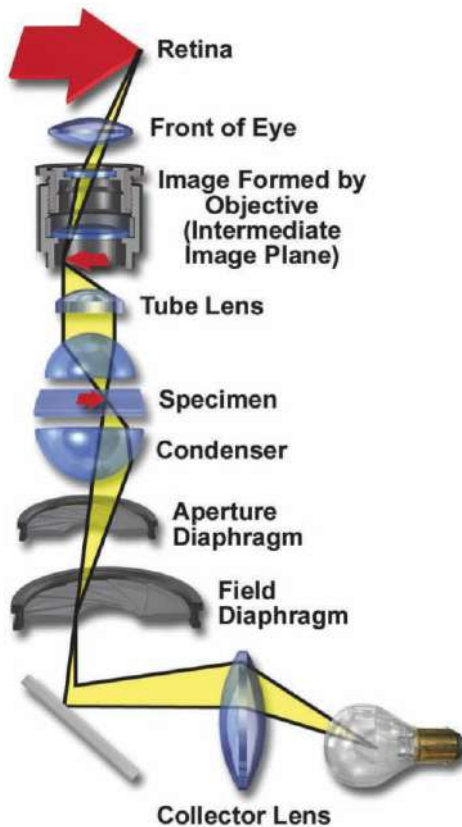


Gambar 9.1. Jamur *Candida albicans* penyebab keputihan yang tidak bisa dilihat dengan mata telanjang tetapi bisa dilihat dengan mikroskop

(Sumber : dokumentasi pribadi)

9.3 Prinsip Kerja Mikroskop

Prinsip kerja mikroskop secara umum dimulai ketika cahaya dari sumber lampu dibelokkan oleh lensa kondensor. Setelah melewati kondensor, cahaya tersebut mengenai spesimen dan diteruskan ke lensa objektif yang menghasilkan gambar objek dengan karakteristik nyata, terbalik, dan diperbesar. Gambar yang dihasilkan oleh lensa objektif ini kemudian diteruskan ke lensa okuler, yang membentuk gambar maya, tegak, dan juga diperbesar sebelum akhirnya diarahkan ke mata pengguna atau kamera.



Gambar 9.2. Prinsip kerja mikroskop
(Sumber : Abramowitz, 2003)

9.4 Jenis-Jenis Mikroskop

Secara umum, mikroskop dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu:

1. Mikroskop Cahaya (Optik)

Mikroskop cahaya merupakan mikroskop yang menggunakan cahaya sebagai sumber penerangan untuk mengamati objek. Cahaya yang dipakai bisa berupa cahaya alami seperti matahari atau cahaya buatan dari lampu. Mikroskop cahaya biasanya dilengkapi dengan 4 lensa objektif, yaitu 4x dan 10x (perbesaran lemah), 40x (perbesaran sedang), dan 100x (perbesaran kuat). Lensa okulernya umumnya memiliki perbesaran 10x. Dengan demikian, mikroskop cahaya memiliki perbesaran minimum 40-100 kali dan maksimum 1000 kali. Mikroskop cahaya juga bisa diklasifikasikan lebih lanjut berdasarkan jumlah lensa okulernya serta penggunaannya. Berdasarkan jumlah lensa okuler, mikroskop cahaya dibagi menjadi tiga kategori:

a. Mikroskop Monokuler

Mikroskop monokuler merupakan mikroskop cahaya yang hanya memiliki satu lensa okuler, sehingga pengguna hanya dapat mengamati objek dengan satu mata. Mikroskop monokuler umumnya digunakan untuk keperluan dasar dan pemula karena desainnya lebih sederhana dan lebih mudah digunakan.

b. Mikroskop Binokuler

Mikroskop binokuler merupakan mikroskop cahaya yang memiliki dua lensa okuler, memungkinkan pengguna untuk melihat objek dengan kedua mata. Jenis mikroskop ini memberikan kenyamanan lebih, terutama saat digunakan dalam waktu lama, karena memberikan tampilan tiga dimensi yang lebih jelas dan mengurangi kelelahan mata.

c. Mikroskop Trinokuler

Mikroskop trinokuler memiliki tiga lensa okuler, dua di antaranya digunakan untuk pengamatan dengan kedua mata kedua mata (seperti pada mikroskop binokuler), dan satu tambahan untuk menghubungkan kamera atau perangkat lain. Fungsi utama dari lensa okuler ketiga adalah untuk dokumentasi visual, seperti mengambil gambar atau merekam

video objek yang sedang diamati tanpa mengganggu pengamatan melalui dua lensa lainnya.

Berdasarkan pengaplikasiannya, mikroskop cahaya dapat dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

a. Mikroskop Medan Terang

Jenis mikroskop ini merupakan yang paling umum digunakan. Objek diterangi oleh cahaya yang langsung menuju ke spesimen, dan bayangan terlihat dengan latar belakang cerah. Mikroskop ini biasanya digunakan untuk mengamati spesimen yang diwarnai atau berkontras tinggi.

b. Mikroskop Medan Gelap

Mikroskop ini menggunakan teknik pencahayaan khusus di mana cahaya tidak langsung melewati objek, melainkan cahaya datang dari samping. Spesimen tampak terang di atas latar belakang gelap, sehingga cocok untuk mengamati objek yang transparan atau tidak diwarnai, seperti bakteri hidup.

c. Mikroskop Fase Kontras

Digunakan untuk mengamati spesimen yang tidak diwarnai dan memiliki perbedaan indeks bias yang sangat kecil, seperti sel hidup. Mikroskop ini memperkuat perbedaan fasa cahaya yang melewati objek, sehingga struktur internal sel dapat terlihat lebih jelas tanpa perlu pewarnaan.

d. Mikroskop Fluoresensi

Mikroskop ini memanfaatkan fluoresensi alami atau zat pewarna fluoresen yang diserap oleh spesimen. Ketika spesimen terkena cahaya dengan panjang gelombang tertentu, ia akan memancarkan cahaya yang dapat dideteksi. Mikroskop fluoresensi sering digunakan dalam penelitian biologi molekuler, imunologi, dan mikroskopi seluler.

e. Mikroskop Konfokal

Mikroskop ini menggunakan laser untuk memindai spesimen pada berbagai kedalaman dan menghasilkan gambar tiga dimensi. Mikroskop konfokal umumnya

digunakan dalam penelitian biologi untuk melihat struktur jaringan atau sel dengan resolusi tinggi.

f. Mikroskop Polarisasi

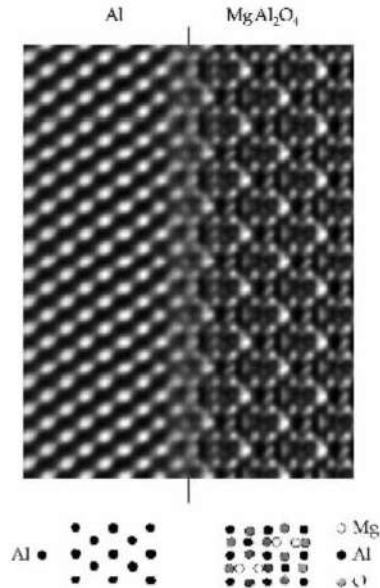
Mikroskop ini digunakan untuk mengamati bahan yang memiliki sifat optik anisotropik, seperti kristal dan serat. Dengan menggunakan cahaya terpolarisasi, mikroskop ini mampu memperlihatkan struktur spesimen yang tidak terlihat dengan mikroskop cahaya biasa.

2. Mikroskop Elektron

Mikroskop elektron memanfaatkan pancaran elektron sebagai pengganti cahaya untuk menghasilkan gambar spesimen dengan tingkat resolusi yang jauh lebih tinggi. Mikroskop jenis ini memanfaatkan medan magnet, bukan lensa, untuk memfokuskan energi pada objek yang diamati. Jika mikroskop cahaya hanya mampu memperbesar bayangan objek hingga 100 kali, mikroskop elektron dapat memperbesar bayangan objek hingga 2 juta kali, baik melalui metode elektromagnetik maupun elektrostatik (Respati, 2008). Terdapat dua jenis utama mikroskop elektron:

a. Mikroskop Elektron Transmisi/*Transmission Electron Microscope* (TEM)

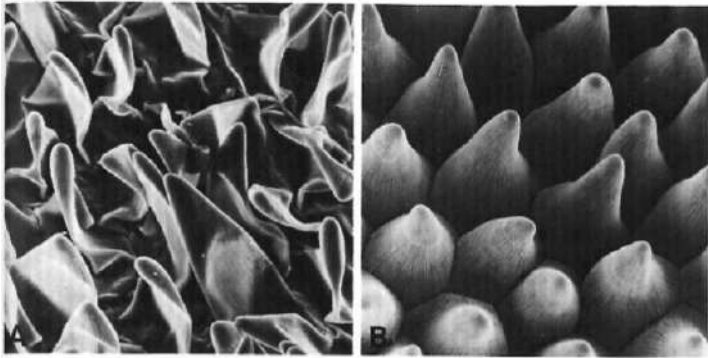
Mikroskop TEM digunakan untuk mengamati struktur internal spesimen dengan detail yang sangat tinggi. Cara kerja mikroskop TEM diawali dengan penembakan elektron dari *electron gun*, yang kemudian melewati dua lensa kondensor yang fungsinya untuk memperkuat elektron yang ditembakkan. Setelah melewati lensa kondensor, elektron mengenai spesimen yang sangat tipis dan berinteraksi dengan materialnya. Karena spesimen sangat tipis, elektron yang berinteraksi diteruskan melalui tiga lensa, yaitu lensa objektif, lensa intermediet, dan lensa proyektor. Lensa objektif merupakan lensa utama dalam TEM, karena batas penyimpangannya menentukan resolusi mikroskop. Lensa intermediet berfungsi memperkuat citra yang dihasilkan lensa objektif, sementara lensa proyektor bertugas memproyeksikan gambar pada layar fluoresen, yang kemudian ditangkap oleh kamera CCD atau film fotografi (Respati, 2008; Setianingsih, 2017).



Gambar 9.3. Hasil pengamatan menggunakan mikroskop TEM
(Sumber : Respati, 2008)

b. Mikroskop Elektron Pindai/*Scannning Electron Microscope* (SEM)

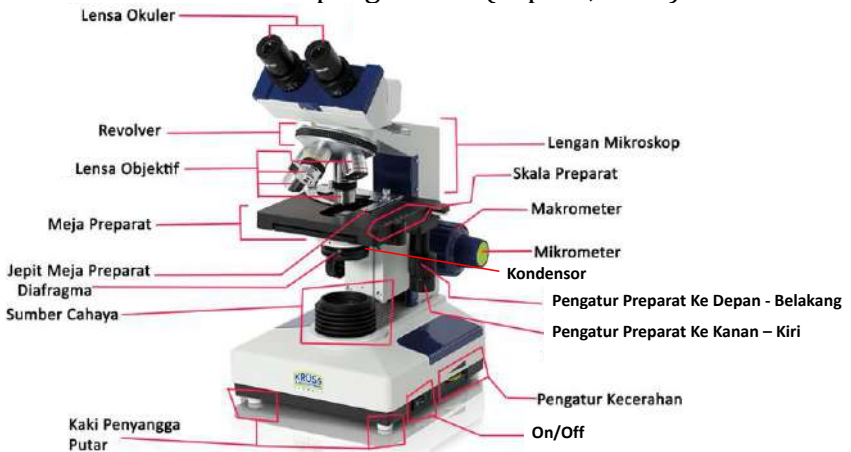
Mikroskop SEM digunakan untuk mengamati permukaan spesimen dalam bentuk gambar tiga dimensi. prinsip kerja mikroskop SEM yaitu dimulai dengan sinar yang dipancarkan dari lampu menuju lensa kondensor. Sebelum mencapai lensa kondensor, terdapat pengatur yang mengontrol pancaran sinar elektron yang ditembakkan. Setelah melewati lensa kondensor, sinar diteruskan ke lensa objektif yang dapat disesuaikan posisinya maju atau mundur. Sinar yang melewati lensa objektif kemudian diarahkan ke spesimen yang diletakkan miring pada penahannya. Spesimen tersebut disinari oleh deteksi sinar x-ray, yang kemudian menghasilkan gambar dan ditampilkan di layar monitor.



Gambar 9.4. Hasil pengamatan menggunakan mikroskop SEM
(Sumber : Kahn, 2002)

9.5 Bagian-Bagian Mikroskop

Secara umum bagian-bagian mikroskop dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu bagian optik, penerangan, dan mekanis. Bagian optik berhubungan dengan lensa yang berfungsi memperbesar bayangan objek sesuai kebutuhan. Pada bagian ini terdapat dua jenis lensa, yaitu lensa objektif dan lensa okuler. Bagian penerangan berfungsi memberikan cahaya yang cukup agar objek dapat dilihat dengan jelas. Sedangkan, bagian mekanis berperan untuk mengatur gerakan dan fokus selama pengamatan (Suparti, 2019).



Gambar 9.5. Bagian-bagian mikroskop
(Sumber : Ramadhani, 2020)

1. Lensa okuler

Lensa okuler adalah bagian penting dari mikroskop yang terletak di bagian atas, dekat mata pengamat. Fungsi utamanya adalah memperbesar bayangan yang telah dibentuk oleh lensa objektif. Bayangan yang dihasilkan oleh lensa okuler bersifat maya, artinya bayangan tersebut tidak dapat ditangkap pada layar. Bayangan ini seolah-olah berada di dalam lensa okuler, sehingga kita dapat melihatnya secara langsung dengan mata kita. Bayangan yang dihasilkan oleh lensa okuler juga bersifat tegak, artinya orientasi objek yang kita amati akan sama dengan apa yang kita lihat melalui lensa okuler. Biasanya, pembesaran lensa okuler berkisar antara 5x hingga 15x.

2. Lensa objektif

Lensa objektif adalah lensa yang paling dekat dengan objek yang diamati. Lensa ini memiliki berbagai pembesaran, mulai dari perbesaran lemah (4x dan 10x), sedang (40x) hingga tinggi (100x). Letak lensa objektif biasanya terpasang pada revolver. Bayangan yang dihasilkan oleh lensa objektif pada mikroskop memiliki sifat nyata (bayangan yang terbentuk dapat dilihat pada layar atau proyeksi, karena dihasilkan dari sinar yang bertemu di titik fokus), terbalik (bayangan yang dihasilkan terbalik secara horizontal dan vertikal dibandingkan dengan posisi asli objek), dan diperbesar (bayangan diperbesar sesuai dengan perbesaran lensa objektif yang digunakan, sehingga detail objek yang sangat kecil bisa terlihat lebih jelas).

3. Revolver

Revolver adalah komponen yang menopang lensa objektif. Fungsinya adalah untuk memudahkan penggantian lensa objektif sesuai dengan tingkat pembesaran yang diinginkan.

4. Diafragma

Diafragma merupakan bagian dari mikroskop yang terletak di bawah meja preparat. Komponen ini berfungsi untuk mengatur jumlah cahaya yang diarahkan ke preparat yang sedang diamati.

5. Kondensor
Kondensor merupakan lensa yang mengarahkan cahaya ke preparat.
6. Meja preparat
Meja preparat adalah tempat di mana preparat yang akan diamati diletakkan. Umumnya, meja ini dilengkapi dengan penjepit untuk memastikan preparat tetap pada posisinya.
7. Skala preparat
Skala preparat adalah fitur tambahan pada meja preparat. Meskipun tidak selalu ada pada semua mikroskop, fitur ini berguna untuk membantu dalam memudahkan penempatan preparat sebelum pengamatan.
8. Kaki penyangga
Kaki penyangga adalah fitur tambahan yang berfungsi untuk menopang mikroskop ketika diletakkan pada permukaan yang tidak rata. Fitur ini dapat digunakan dengan memutar kaki penyangga hingga mikroskop berada dalam posisi yang stabil.
9. Lengan mikroskop
Lengan mikroskop berfungsi sebagai rangka mikroskop itu sendiri. Selain itu, lengan ini juga memudahkan pengguna untuk memindahkan mikroskop tanpa harus menyentuh bagian lensanya.
10. Makrometer dan mikrometer
Makrometer digunakan untuk mengatur fokus secara kasar, sementara mikrometer digunakan untuk mengatur fokus secara halus. Makrometer bersifat memperjelas bayangan sedangkan mikrometer bersifat mempertajam bayangan. Kedua pengaturan ini bekerja bersama untuk memastikan gambar yang dihasilkan tajam dan jelas.
11. Tuas pengatur kecerahan
Tuas pengatur kecerahan adalah sebuah alat pengatur intensitas cahaya yang terhubung ke lampu mikroskop. Fungsinya adalah untuk menyesuaikan tingkat kecerahan cahaya agar pengamatan objek lebih optimal.

9.6 Cara Pengoperasian Mikroskop

Penggunaan mikroskop yang baik dan benar harus mengikuti instruksi yang terdapat pada *manual book*. Secara umum, berikut adalah tahapan cara menggunakan mikroskop dengan jenis mikroskop cahaya:

1. Pastikan mikroskop dalam kondisi baik dan bersih. Lensa harus bebas dari debu dan kotoran untuk mendapatkan hasil pengamatan yang optimal.
2. Letakkan mikroskop di atas meja yang datar dan stabil.
3. Hubungkan mikroskop dengan sumber listrik jika menggunakan mikroskop dengan lampu internal.
4. Siapkan preparat dengan hati-hati. Preparat yang terlalu tebal atau kotor dapat menghalangi cahaya dan menyebabkan gambar tidak jelas.
5. Letakkan preparat pada meja preparat dan kunci dengan penjepit.
6. Mulailah dengan menggunakan lensa objektif dengan pembesaran terendah (misalnya 4x).
7. Gunakan makrometer untuk mendapatkan fokus kasar.
8. Setelah objek terlihat, gunakan mikrometer untuk mendapatkan fokus yang lebih halus.
9. Setelah objek terlihat jelas dengan pembesaran rendah, pengguna dapat beralih ke lensa objektif dengan pembesaran lebih tinggi (misalnya 40x atau 100x) untuk melihat detail yang lebih kecil dengan catatan jika menggunakan perbesaran 100x maka harus ditetesi minyak imersi terlebih dahulu pada sediaan preparat baru kemudian lensa objektif 100x diputar ke sediaan menggunakan revolver.
10. Setiap kali mengganti lensa, ulangi langkah-langkah pengaturan fokus.

9.7 Pemeliharaan Mikroskop

Pemeliharaan mikroskop yang baik dan benar harus disesuaikan dengan jenis dari masing-masing mikroskop. Secara umum, berikut adalah cara pemeliharaan mikroskop dengan jenis mikroskop cahaya:

1. Simpan mikroskop dalam tempat yang kering, bebas debu, dan tertutup setelah digunakan untuk menghindari debu dan kelembaban. Lebih baik tempat penyimpanan mikroskop juga dilengkapi dengan lampu dan *silica gel* sehingga lingkungan tempat penyimpanan mikroskop tidak lembap.
2. Bagian-bagian *non-optic* mikroskop dapat dibersihkan dengan kain flanel. Untuk debu di area yang sulit dijangkau, bisa digunakan kuas kecil atau kuas lensa kamera secara perlahan. Bekas sidik jari atau minyak pada lensa dapat dibersihkan dengan kain khusus lensa, tisu, atau kain lembut yang sedikit dibasahi alkohol eter atau isopropil alkohol. Sisa minyak imersi pada lensa objektif dapat dibersihkan dengan xilol.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramowitz, M. (2003). *Basics and Beyond*. Citeseer.
- Kahn, B. E. (2002). Hand Out Scanning Electron Microskopy. *Jerma Institute. Germany*.
- Ramadhani, S. P. (2020). Pengelolaan Laboratorium. *Depok: Yiesa Rich Foundation*.
- Respati, S. M. B. (2008). Macam-Macam Mikroskop dan Cara Penggunaan. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 4(2).
- Setianingsih, T. (2017). *Mikroskop Elektron Transmisi: Teori dan Aplikasinya untuk Karakterisasi Material*. Universitas Brawijaya Press.
- Subaer, Irfanita, R., & Armayani. (2023). *Mengenal Scanning Electron Microscopy (SEM), Jilid 1*. Jariah Publishing Intermedia.
- Suparti. (2019). *Mikroskop*. Alprin.

BAB 10

PENGELOLAAN LIMBAH MEDIS

Oleh Rizki Perdani

10.1 Pendahuluan

Limbah medis diartikan sebagai hasil dari kegiatan pelayanan kesehatan, yaitu limbah yang berasal dari tempat-tempat yang menyelenggarakan layanan kesehatan untuk tujuan promosi kesehatan, tindakan pencegahan, pengobatan, serta rehabilitasi yang dilaksanakan oleh pemerintah pusat, daerah, dan/atau masyarakat. Pengelolaan limbah sangat penting di fasilitas pelayanan kesehatan (fasyankes) karena dapat menimbulkan risiko penyebaran penyakit, masalah kesehatan lainnya, atau dapat mencemari lingkungan (Permenkes RI, 2020).

Masih terdapat beberapa kendala dalam pengolahan limbah medis di fasyankes, Salah satu kendala yang dihadapi adalah terbatasnya jumlah perusahaan pengolahan limbah B3 yang sudah memiliki izin. Di sisi lain, setiap harinya fasyankes terutama rumah sakit dan puskesmas menghasilkan limbah mencapai 296,86 ton, sementara kapasitas pengolahan oleh pihak ketiga hanya mampu menangani 151,6 ton per hari. Keterbatasan jumlah dan kapasitas perusahaan pengelola limbah medis yang memiliki izin telah menyebabkan penumpukan limbah di fasilitas kesehatan. Oleh karena itu, penting untuk mengelola limbah medis sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Pengelolaan limbah medis fasyankes dilakukan baik secara internal maupun secara eksternal. Pengelolaan secara internal mencakup beberapa tahap, yaitu pengurangan/minimisasi limbah dan pemilahan limbah, pengangkutan limbah internal, penyimpanan sementara limbah yang ada, serta pengolahan limbah di dalam fasyankes sendiri. Sementara itu, pengelolaan secara eksternal melibatkan tahapan pengangkutan ke luar fasyankes, pengumpulan limbah, pengolahan limbah, dan penimbunan limbah.

Dalam pelaksanaan pengelolaan limbah di fasyankes, diperlukan dukungan sumber daya yang meliputi lahan yang sesuai dengan aturan tata ruang untuk lokasi pengelolaan, fasilitas dan infrastruktur yang memadai untuk pengelolaan limbah, tenaga kerja yang terlatih dan berkompeten dalam menangani limbah B3, serta pendanaan yang memadai.

10.2 Dampak Limbah Medis

Permasalahan limbah yang menjadi fokus adalah limbah infeksius atau limbah medis, khususnya limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Potensi bahaya akibat penanganan limbah medis yang tidak benar dapat timbul dari proses pengumpulan, penyimpanan, pengangkutan, pembuangan, bahkan pemusnahan. Berbagai potensi risiko yang dapat terjadi jika pengelolaannya tidak tepat, terutama terhadap kesehatan individu maupun masyarakat dan lingkungan sekitar. Berbagai peraturan dan standar perlu diterapkan dengan baik untuk menjamin pengelolaan sampah yang baik dan optimal dengan tujuan mengendalikan bahaya dan dampak negatif terhadap lingkungan dan masyarakat (Adhani, 2018).

Untuk mengurangi dampaknya, limbah medis perlu dikelola dengan tepat, mencakup proses pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pembuangan, sesuai dengan standar keselamatan dan lingkungan yang berlaku. Fasyankes harus menetapkan kebijakan dan prosedur yang jelas mengenai pembuangan limbah medis, dan semua karyawan harus berpartisipasi dalam penerapan kebijakan ini. Meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya pembuangan limbah medis yang tepat juga merupakan hal yang krusial. Edukasi dan sosialisasi mengenai pembuangan limbah medis harus diberikan kepada masyarakat, terutama yang bekerja atau tinggal di dekat fasyankes. Masyarakat harus berpartisipasi dalam upaya pembuangan limbah medis dengan berbagi informasi tentang cara membuang limbah medis dengan benar dan aman serta bertanggung jawab terhadap lingkungan.

Inovasi teknologi yang dapat digunakan untuk mengolah limbah medis antara lain teknik sterilisasi, teknik pengurangan volume limbah, dan teknik daur ulang limbah medis. Dengan

memanfaatkan teknologi sterilisasi, limbah medis dapat menjadi tidak berbahaya dan dibuang dengan aman.

10.2.1 Dampak Limbah Medis Bagi Kesehatan

Menurut Suhariono dan Hariyati (2020) limbah medis yang mengandung virus dan bakteri dari laboratorium virologi dan mikrobiologi sulit dideteksi karena saat ini belum ada obat penawarnya. Limbah cair dan padat dapat menjadi sarana penyebaran penyakit terutama kepada tenaga kesehatan, pasien, dan masyarakat umum. Semua petugas kesehatan yang berinteraksi dengan limbah medis berisiko terkena bahaya, termasuk mereka yang menghasilkan limbah tersebut seperti dokter, perawat, petugas penunjang, petugas pemeliharaan, serta pasien, pengunjung, pekerja kebersihan, petugas *laundry*, petugas yang mengangkut limbah ke tempat pengolahan atau pembuangan, pekerja di fasilitas pengolahan (tempat pembuangan atau unit pengolahan), hingga pemulung.

Limbah infeksius yang mengandung berbagai jenis mikroorganisme patogen dapat masuk ke dalam tubuh melalui berbagai jalur, termasuk melalui kulit, selaput lendir, inhalasi atau oral, jika tidak ditangani dengan benar. Virus HIV, hepatitis B, hepatitis C, serta agen penyakit lainnya dapat ditularkan melalui limbah medis akibat luka atau jarum suntik yang terkontaminasi. Selain itu, bakteri yang kebal terhadap antibiotik dan disinfektan kimia juga dapat memperbesar risiko penyakit jika limbah medis tidak dikelola dengan benar.

10.2.2 Dampak Limbah Medis Bagi Lingkungan

Limbah medis juga dapat memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, menurunkan kualitas lingkungan dengan menimbulkan gangguan estetika seperti bau menyengat dan tumbuhnya mikroorganisme perusak. Pembakaran limbah medis akan melepaskan emisi berbahaya ke atmosfer dan dapat menyebabkan polusi udara dengan bahan kimia seperti sulfur dioksida, nitrogen oksida, dan partikel. Menurut penelitian Departemen Kesehatan dan Lingkungan AS, limbah medis dapat mencemari udara dan menyebabkan gangguan kesehatan seperti

penyakit pernapasan dan kardiovaskular. Limbah medis yang dibuang ke sungai, laut, dan daratan dapat mencemari tanah dan sumber air. Hal ini dapat merusak ekosistem dan satwa liar, juga berdampak pada menurunnya kualitas air, udara serta menurunkan produktivitas lahan (Suhariono dan Hariyati, 2020).

10.3 Pengelolaan Limbah Medis Berbasis Wilayah

Pengelolaan limbah medis berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2020 Mengenai Pengelolaan Limbah Medis Fasilitas Pelayanan Kesehatan Berbasis Wilayah dikelompokkan menjadi yaitu:

10.3.1 Pengelolaan Limbah Medis Secara Internal

Pengelolaan secara internal meliputi pengurangan/minimisasi limbah dan pemilahan limbah, pengangkutan limbah internal, penyimpanan sementara limbah yang ada, serta pengolahan limbah di dalam fasyankes sendiri, sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

- 1. Pengurangan dan Pemilahan**

Pengurangan limbah dapat dicapai dengan mengganti bahan yang mengandung B3 dengan bahan yang tidak mengandung B3, baik melalui substitusi bahan maupun pemilahan. Selain itu, modifikasi proses dengan pemilahan, penerapan metode produksi yang lebih efisien, serta penggunaan teknologi ramah lingkungan juga dapat membantu mengurangi limbah.

- 2. Pengangkutan Internal**

Pengangkutan internal di fasyaskes dilakukan dengan kendaraan pengangkut yang tertutup untuk membawa limbah bahan berbahaya dan beracun ke tempat penyimpanan sementara. Kendaraan pengangkut tersebut bisa troli atau tempat tertutup, dan harus melalui jalur angkut khusus serta pada waktu yang ditentukan, tanpa bercampur dengan jalur logistik bahan makanan atau linen bersih. Petugas diwajibkan memakai alat pelindung diri sesuai dengan standar yang berlaku.

- 3. Penyimpanan Sementara**

Penyimpanan sementara dilakukan di fasilitas penyimpanan limbah B3 yang telah memiliki izin sesuai dengan peraturan yang berlaku. Durasi penyimpanan limbah medis berbeda-beda tergantung pada suhu dan karakteristik jenis limbah, yaitu limbah benda tajam, infeksius, patologis, dan limbah medis lainnya.

4. Pengolahan Internal

Fasyankes dapat melakukan pengolahan limbah dengan metode insinerasi (diolah di dalam fasilitas tersebut) atau non-insinerasi. Untuk pengolahan internal non-insinerasi, limbah diubah dari bentuk aslinya agar tidak disalahgunakan, menggunakan metode disinfeksi kimia atau termal (seperti autoklaf atau *microwave*). Setelah itu, limbah yang telah diolah diangkut oleh pengelola berdasarkan ketentuan peraturan yang berlaku.

10.3.2 Pengelolaan Limbah Medis Secara Eksternal

1. Pengangkutan Eksternal

Pengangkutan eksternal dilakukan untuk memindahkan limbah B3 dari lokasi penyimpanan sementara di fasilitas pelayanan kesehatan menuju depo pengumpulan, atau dari penyimpanan sementara ke fasilitas pengolahan terakhir, menggunakan alat transportasi beroda dua, tiga, atau empat, berdasarkan ketentuan peraturan yang berlaku.

2. Pengumpulan

Pemerintah Daerah menyediakan tempat pengumpulan sebagai lokasi sementara untuk menampung limbah medis dari fasyankes. Tempat pengumpulan tersebut wajib berizin sesuai peraturan perundang-undangan. Lokasinya dapat disesuaikan dengan kebutuhan yang ditetapkan oleh Pemda setempat dan harus dilengkapi dengan lemari pendingin maupun ruangan berpendingin (*freezer/cold storage*) dengan suhu di bawah 0°C untuk menyimpan limbah infeksius, patologis, dan tajam.

3. Pengolahan Eksternal

Limbah medis yang perlu diproses secara eksternal yaitu limbah dari fasyankes yang belum dapat diolah secara

internal atau residu dari pengolahan internal di fasyankes tersebut, sesuai kapasitas fasilitas pengolahan di daerah. Pengolahan limbah medis secara eksternal harus memenuhi persyaratan terkait lokasi, peralatan, teknik operasional, serta perizinan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

4. Penimbunan

Penimbunan sisa akhir pengolahan limbah secara eksternal dilaksanakan sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan dengan sistem *sanitary landfill* atau *controlled landfill*.

10.4 Pengelolaan Limbah Medis Berdasarkan Wujudnya

Limbah medis berdasarkan wujudnya yaitu padat, cair dan gas adapun tatalaksana pengelolaan limbah medis menurut Asmadi (2013) dan Adhani (2018) yaitu:

10.4.1 Limbah Medis Padat

1. Pengurangan atau Minimisasi Limbah

- Mengurangi limbah mulai dari sumbernya.
- Mengelola dan memantau alur penggunaan B3 hingga menjadi limbah.
- Mencegah penggunaan bahan yang dapat menjadi limbah.
- Mengelola stok bahan kimia dan produk farmasi sesuai dengan keperluan.
- Menggunakan bahan yang lebih dulu diproduksi untuk menghindari kedaluwarsa.
- Memeriksa tanggal kedaluwarsa bahan saat diterima dari distributor.
- Menghabiskan bahan dari setiap kemasan.
- Mengutamakan metode pembersihan fisik dibandingkan kimiawi.
- Memastikan bahwa setiap alat-alat yang digunakan pada proses pengelolaan limbah telah disertifikasi oleh pihak berwenang.

2. Pemilahan limbah, pewadahan limbah, pemanfaatan kembali limbah dan daur ulang limbah
- Melakukan pemilahan limbah berdasarkan jenisnya yang terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sitotoksik, limbah kimiawi, limbah radioaktif, limbah kontainer, dan limbah dengan kandungan logam berat yang tinggi.
 - Tempat penampungan limbah medis berbentuk padat harus berasal dari bahan yang kuat, cukup ringan, tahan karat, kedap air, mempunyai permukaan yang halus pada bagian dalamnya seperti bahan *fiberglass*.
 - Disetiap sumber penghasil limbah wajib menyediakan tempat limbah medis dan nonmedis secara terpisah.
 - Memisahkan limbah yang akan dimanfaatkan kembali.
 - Tempat penampungan limbah medis padat yang bersifat infeksius dan sitotoksik yang tidak langsung kontak dengan limbah dibersihkan dengan disinfektan jika ingin digunakan kembali, sedangkan untuk kantong plastik yang terkena atau kontak langsung dengan limbah tidak boleh digunakan kembali.
 - Memisahkan jarum dan *syringe* agar tidak dapat digunakan kembali.
 - Mengumpulkan limbah benda tajam pada wadah khusus (*safety box*) yang tidak mudah bocor, tidak dapat tertusuk dan tidak mudah dibuka seperti botol atau berbahan karton.
 - Melakukan proses sterilisasi bagi limbah padat yang akan dimanfaatkan kembali sesuai tabel 10.1 Melakukan pengujian efektifitas sterilisasi panas dengan uji bakteri *Bacillus stearothermophilus* dan pengujian sterilisasi kimia dengan uji bakteri *Bacillus subtilis*.
 - Tidak dianjurkan untuk memanfaatkan kembali limbah jarum hipodermik, jika dimanfaatkan kembali harus dilakukan sterilisasi lebih dahulu seperti pada tabel 10.1.

Tabel 10.1 Metode Sterilisasi untuk Limbah

Metode Sterilisasi	Suhu	Waktu Kontak
Sterilisasi dengan metode panas		
- Sterilisasi kering dengan oven "Poupinet"	160°C 170°C	2 jam 1 jam
- Sterilisasi metode basah dalam otoklaf	121°C	30 menit
Sterilisasi dengan metode bahan kimia		
- Ethylene oxide (gas) - Glutaraldehyde (cair)	50°C - 60°C -	3 – 8 jam 30 menit

Sumber: Asmadi, 2013

- Menggunakan wadah dan label sesuai dengan karakteristik limbah, seperti yang diatur dalam tabel 10.2 untuk pengemasan limbah medis padat.
- Kantong plastik harus diangkat setiap hari atau ketika sudah terisi hingga 2/3 bagiannya.

Tabel 10.2. Jenis Label dan Wadah Limbah Medis Padat

Karakteristik	Warna Kemasan	Lambang	Keterangan
Radioaktif	Merah		Kantong boks timbal
Limbah Infeksius dan Limbah Patologis	Kuning		Kantong plastik yang kuat, tidak mudah bocor, atau kontainer

Karakteristik	Warna Kemasan	Lambang	Keterangan
Limbah Sitotoksik	Ungu		Kontainer plastik yang kuat dan tidak mudah bocor
Limbah Bahan Kimia Kadaluarsa, Tumpahan, atau Sisa Kemasan dan Limbah Farmasi	Cokelat	Sesuai sifat bahan kimia	Kantong plastik atau kontainer

Sumber: Permenkes, 2019

- Daur ulang limbah medis tidak dapat dikerjakan oleh fasyankes itu sendiri kecuali untuk daur ulang perak dari proses film sinar X.
- 3. Pengumpulan limbah, pengangkutan limbah, dan penyimpanan limbah medis padat
 - Mengumpulkan limbah medis menggunakan alat pengangkut yang khusus dan tertutup.
 - Melakukan pembakaran limbah selambat-lambatnya dalam 24 jam jika fasyankes tersebut mempunyai insinerator.
 - Menyimpan limbah medis berbentuk padat sesuai dengan iklim tropis, yaitu tidak lebih dari 2 hari selama musim penghujan dan tidak lebih dari 1 hari selama musim panas atau kemarau.
- 4. Pengumpulan limbah, pengemasan limbah dan pengangkutan limbah medis padat
 - Mengumpulkan dan mengemas limbah medis padat pada kontainer yang tertutup dan berbahan kuat tidak mudah bocor.

- Memastikan tempat penyimpanan limbah aman dari jangkauan manusia yang tidak berkepentingan dan binatang.
 - Mengenakan APD sesuai standar saat melakukan penanganan limbah.
 - Melakukan pengangkutan limbah ke fasilitas pengelolaan limbah menggunakan angkutan limbah khusus.
5. Pengolahan limbah, pemusnahan dan pembuangan akhir limbah

Tidak diperkenankan membuang limbah medis padat langsung kepembuangan terakhir sebelum limbah dipastikan aman untuk kesehatan. Teknologi dan cara pengolahan ataupun pemusnahan limbah dikembalikan kepada fasyankes sesuai kemampuan serta sesuai jenis limbahnya seperti:

- Limbah infeksius
- Limbah benda tajam
- Limbah bahan kimiawi
- Limbah farmasi
- Limbah sitotoksis
- Limbah logam berat
- Limbah radioaktif
- Limbah kontainer bertekanan

Tempat pengolahan limbah medis berbentuk padat wajib memenuhi beberapa syarat, sebagai berikut:

- Risiko kecil terkena banjir dan bencana alam, atau harus dilengkapi dengan teknologi untuk perlindungan serta pengelolaan lingkungan hidup.
- Harus berada pada jarak minimal paling dekat 30 meter dari fasilitas:
 - Jalanan umum ataupun jalan tol.
 - Daerah pemukiman masyarakat, area perdagangan, hotel, warung makan atau restoran, fasilitas keagamaan, dan lembaga pendidikan.
 - Garis pasang naik laut, aliran sungai, area pasang surut, kolam, danau, daerah rawa, sumber mata air, dan sumur masyarakat.

- Area cagar alam, hutan lindung, dan/atau area lain yang dilindungi oleh pemerintah.

10.4.2 Limbah Medis Cair

Kualitas limbah (efluen) fasyankes yang akan dibuang ke badan air atau lingkungan harus memenuhi standar baku mutu efluen sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Tahun 2019 mengenai baku mutu limbah. Seperti halnya limbah medis padat, limbah cair juga memerlukan pengelolaan yang meliputi tahap pemilahan, pengumpulan, pengolahan, dan pembuangan sejak limbah tersebut dihasilkan hingga dibuang ke lingkungan.

1. Limbah cair dikumpulkan pada wadah menyesuaikan dengan sifat bahan kimia dan radiologi, jumlah limbah, dan cara penanganan serta penyimpanannya.
2. Menggunakan sistem saluran limbah yang tertutup, tidak tembus air, dan pengaliran limbah harus lancar serta terpisah dengan saluran air hujan.
3. Fasyankes harus mempunyai instalasi pengolahan limbah yang memenuhi persyaratan teknis untuk melakukan pengolahan limbah cair baik untuk faskes sendiri atau bersama-sama/kolektif.
4. Memasang alat untuk mengukur debit harian limbah cair.
5. Air limbah dari laboratorium harus diolah di instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL), jika tidak memiliki IPAL maka pengelolaannya harus dilakukan sesuai keperluan melalui kerjasama fasyankes dengan pihak yang berwenang.
6. Frekuensi pemeriksaan kualitas limbah cair terolah (effluent) dilakukan perbulan untuk pemantauan dan setidaknya setiap 3 bulan sekali untuk uji acak berdasarkan ketentuan yang berlaku.
7. Fasyankes yang menghasilkan limbah cair radioaktif, harus mengelola limbah tersebut sesuai ketentuan Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN).
8. Parameter radioaktif yang diperiksa sesuai dengan bahan radioaktif yang digunakan oleh fasyankes tersebut.

10.4.3 Limbah Medis Gas

Berdasarkan Permenkes 2023, pengelolaan limbah gas (emisi) mencakup kegiatan penanganan limbah gas yang meliputi pemilihan, pemeliharaan, dan perbaikan utilitas fasilitas kesehatan yang berkaitan dengan emisi gas, serta pemeriksaan limbah gas untuk mengurangi risiko gangguan kesehatan dan dampak lingkungan. Untuk pengelolaan limbah gas dan partikulat, fasilitas pelayanan kesehatan harus memenuhi ketentuan berikut:

1. Memilih teknologi yang meminimalkan atau tidak menghasilkan emisi gas
2. Melakukan pemeliharaan pada peralatan atau perangkat sumber emisi gas untuk memastikan emisi gas sesuai dengan peraturan yang berlaku
3. Melakukan perbaikan pada peralatan atau perangkat sumber emisi gas agar emisi gas yang dihasilkan mematuhi ketentuan perundang-undangan
4. Melakukan pemeriksaan terhadap emisi gas

Untuk mencapai keamanan limbah gas yang optimal bagi penyelenggaraan kesehatan lingkungan di fasyankes, dapat dilakukan upaya berikut:

1. Melakukan penataan frekuensi pengambilan contoh limbah gas
2. Melakukan pengelolaan limbah gas yang sesuai standar
3. Melakukan penataan pelaporan limbah gas
4. Melengkapi fasilitas penunjang

DAFTAR PUSTAKA

- Adhani Rosihan. 2018. *Pengelolaan Limbah Medis Pelayanan Kesehatan*. Banjarmasin: LMU Press.
- Asmadi. 2013. *Pengelolaan Limbah Medis Rumah Sakit*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.
- Permenkes RI. 2019. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 Tentang Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Permenkes RI. 2020. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia RI Nomor 18 Tahun 2020 Tentang Pengelolaan Limbah Medis Fasilitas Pelayanan Kesehatan Berbasis Wilayah*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- Permenkes RI. 2023. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- PermenLHK. 2019. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.16/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019 Tentang Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Limbah*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- PermenLHK. 2021. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia RI Nomor 6 Tahun 2021 Tentang Tata Cara Dan Persyaratan Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.
- Suhariono dan Hariyati, Rina. 2020. *Manajemen Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (LB3) di Fasilitas Pelayanan Kesehatan/Fasyankes*. Ponorogo: Uwais Inspirasi Indonesia.

BIODATA PENULIS



apt Hendri Satria kamal Uyun M.Farm

Dosen Program Studi Sarjana Fakultas Farmasi Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Padang (STIFARM Padang)

Penulis lahir di Tanjung Pinang tanggal 9 Agustus 1993. Penulis adalah dosen tetap pada bidang Biologi Farmasi STIFARM Padang. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Farmasi Pada Sekolah Tinggi Farmasi Indonesia Perintis Padang kemudian melanjutkan pendidikan Profesi Apoteker Di Fakultas Farmasi Universitas Andalas dan melanjutkan Pendidikan S2 Di Fakultas Farmasi Universitas Andalas. Mata kuliah yang diampu antara lain Botani Farmakognosi 1, Farmakognosi 2 dan Fitokimia. Penulis juga telah menerbitkan buku diantaranya adalah Farmakognosi, Ilmu bahan Makanan dan Ilmu pangan. Selama menjalankan tridarma perguruan tinggi dibidang penelitian, penulis berhasil mendapatkan hibah untuk Penelitian Dosen Pemula oleh Kemdikbudristek Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi, Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian Kepada Masyarakat sebagai pemberi dana penelitian tahun 2023 dan 2024. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada STIFARM Padang atas dukungannya dalam penulisan dan penerbitan buku ini.

BIODATA PENULIS



Yuliana Prasetyaningsih, S.Si., M. Sc

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Stikes Guna Bangsa Yogyakarta

Penulis lahir di Wonogiri, Jawa Tengah, tanggal 2 Juni 1978. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medis Stikes Guna Bangsa Yogyakarta. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Fakultas Biologi, Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan melanjutkan S2 pada Fakultas Kedokteran, Program Studi Ilmu Kedokteran Tropis UGM. Saat ini penulis sedang melanjutkan Pendidikan Doctoral di bidang Mikrobiologi, Fakultas Biologi UGM. Penulis mengampu mata kuliah Bakteriologi, Mikologi, Imunoserologi dan Virologi, sejak tahun 2010. Selain itu penulis juga aktif menulis artikel publikasi tentang bakteri, ikut serta berkolaborasi menulis Buku Bakteriologi 2. Penulis dapat dihubungi via email yulianaprasetya@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Mamluatul Faizah, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi D-IV Teknologi Laboratorium Medik
STIKES Banyuwangi

Penulis lahir di Banyuwangi pada tahun 1995. Penulis merupakan lulusan sarjana (S1) biologi tahun 2018 di UIN Maulana Malik Ibrahim Malang dan melanjutkan program master (S2) pada jurusan yang sama di Universitas Brawijaya Malang, lulus pada tahun 2021. Penulis menekuni bidang mikrobiologi dan saat ini bekerja sebagai tenaga pendidik (dosen) di prodi D-IV Teknologi Laboratorium Medik, STIKES Banyuwangi. Penulis juga aktif sebagai peneliti di bidangnya. Beberapa karya artikel ilmiah dapat dijumpai pada akun google scholar. Email: mamluatulfaizah7@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Hajrah Hidriya, M.Pd.

Dosen Program Studi DIII Analis Kesehatan
Politeknik Unggulan Kalimantan

Penulis lahir di Banajrmasin tanggal 03 Juli 1992. Penulis adalah dosen tetap sejak 2017 hingga sekarang pada Program Studi DIII Analis Kesehatan Politeknik Unggulan Kalimantan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan FKIP MIPA Universitas Lambung Mangkurat pada tahun 2014 dan melanjutkan S2 pada Program Studi Pendidikan Biologi Program Pasca Sarjana Universitas Negeri Yogyakarta pada tahun 2015. Penulis telah menerbitkan beberapa artikel, baik yang diterbitkan pada jurnal nasional terakreditasi, beberapa HKI dan aktif dalam menulis buku. Penulis dapat dihubungi melalui email: hidriya1992@gmail.com atau HP/WA 0895 7006 49834

BIODATA PENULIS



Kurniawan, S.Si., M.Si

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medik D4
Fakultas Ilmu Kesehatan
Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Kurniawan, S.Si., M.Si lahir dan berdomisili di Kabupaten Cilacap Provinsi Jawa Tengah. Penulis menyelesaikan studi S1 dan S2 di Program Studi Ilmu Biologi Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED) Purwokerto, Jawa Tengah dan saat ini sedang mengikuti studi doctoral (S3) di Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta

Penulis memulai karir sebagai tutor bimbingan belajar dan setelah itu menjadi Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) mikrobiologi di Program Studi S1 Pendidikan Biologi Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas Muhammadiyah Purwokerto (UMP) tahun 2008-2016. Sambil bekerja, penulis melanjutkan studi S2 di Program Pasca Sarjana UNSOED dan lulus tahun 2014. Pada tahun 2016, penulis mendapatkan promosi untuk menjadi dosen di program studi Teknologi Laboratorium Medik D4 sampai sekarang.

Beberapa prestasi yang pernah diraih oleh penulis adalah Juara 1 Laboran Berprestasi tingkat universitas dan juga tingkat Kopertis (sekarang LLDIKTI) Wilayah VI Jawa Tengah Tahun 2015, dan Juara 1 lomba poster artikel ilmiah dalam kegiatan Rakernas Asosiasi Institusi Penyelenggara Teknologi Laboratorium Medis

Indonesia (AIPTLMI) Tahun 2018 yang diselenggarakan di Palembang.

Saat ini, penulis mengampu beberapa mata kuliah seperti bakteriologi, mikologi, virologi, biokimia, biologi medik, mikrobiologi dan biologi molekuler. Dalam upaya untuk meningkatkan profesionalitas diri, penulis aktif tergabung dalam beberapa perhimpunan profesi seperti Perhimpunan Mikrobiologi Indonesia (PERMI), Perhimpunan Mikologi Indonesia (Mikoina), dan Perhimpunan Biokimia dan Biologi Molekuler Indonesia (PBBMI). Selain itu, penulis pernah mengikuti sertifikasi kompetensi di *University of Rhode Island* (URI) di Amerika Serikat pada tahun 2022.

Di bidang penelitian, penulis cukup aktif meneliti di bidang bakteriologi dan mikologi medis dengan fokus penelitian pada bakteri *Staphylococcus aureus* khususnya yang resisten terhadap antibiotik methicillin (MRSA). Dari penelitian ini penulis mendapatkan beberapa kali pendanaan dari Kemristekdikti dalam bentuk PKM Riset (sebagai pembimbing) dan pendanaan dari Majelis Pendidikan Tinggi Penelitian dan Pengembangan Pimpinan Pusat Muhammadiyah (RisetMu). Beberapa publikasi yang sudah dihasilkan oleh penulis diantaranya adalah buku ajar biologi medik, book chapter teori mikrobiologi, teori genetika, instrumentasi laboratorium medik. Selain itu penulis juga sudah mempublikasikan beberapa artikel ilmiah di Jurnal Internasional dan Nasional, serta mengikuti beberapa Konferensi Internasional baik di Indonesia maupun di negara lain serta telah mendapatkan beberapa HaKI.

BIODATA PENULIS



Pestariati, S.Pd., M. Kes.

Dosen Program Studi Sarjana Terapan Teknologi
Laboratorium Medis Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan
Surabaya

Penulis lahir di Surabaya tanggal 06 Oktober 1961. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Laboratorium Medis Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Surabaya. Menyelesaikan pendidikan Akademi Analis Kesehatan Bandung; S1 pada Pendidikan Kimia dan melanjutkan S2 pada Program Studi Ilmu Kedokteran Dasar Universitas Airlangga dengan bidang minat Mikrobiologi

BIODATA PENULIS



Dian Rachma Wijayanti, M.Sc.

Dosen ProGram Studi Pendidikan Teknologi Laboratorium Medis
Fakultas Ilmu Kesehatan danTeknologi

Dian Rachma Wijayanti adalah seorang dosen pada ProGram Studi Teknologi Laboratorium Medis, Binawan University. Jakarta Timur. Pada tahun 2007 penulis menyelesaikan pendidikan S1 Biologi di Institut Pertanian Bogor. Penulis melanjutkan studi S2 Mikrobiologi di King Saud University dan lulus pada tahun 2010. Penulis gemar mengajar, membaca, dan menulis. Selain mengajar dan menulis buku penulis juga aktif sebagai dewan redaksi, editor dan reviewer pada beberapa jurnal nasional. Penulis masih aktif mengajar dan melakukan penelitian pada bidang Biologi, Mikrobiologi, Biologi molekuler, Bioinformatika, Kesehatan dan Teknologi Laboratorium Medis. Beberapa *book chapter* yang sudah diterbitkan oleh penulis antara lain Buku Ajar Biologi Molekuler, Buku Ajar Metode Penelitian, Buku Bakteriologi Untuk Mahasiswa Kesehatan, Pengantar Bakteriologi, dan Bakteriologi Teknologi Laboratorium Medik. Penulis dapat dihubungi di email: drwijayanti22@gmail.com

BIODATA PENULIS



Anas Fadli Wijaya, SST., M.Imun.

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas dr. Soebandi

Penulis lahir di Tanjung tanggal 3 Januari 1994. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Laboratorium Medis Fakultas Ilmu Kesehatan, Universitas dr. Soebandi. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Sumiarno, S.Pd., dan Ibu Martini, S.Pd. Penulis menempuh pendidikan Sarjana Terapan (D4) di Poltekkes Kemenkes Mataram Prodi Teknologi Laboratorium Medis pada tahun 2013-2017 dan melanjutkan pendidikan S2 di Universitas Airlangga Prodi Ilmu Imunologi pada tahun 2018-2020. Saat ini, penulis menjabat sebagai Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Laboratorium Medis di Fakultas Ilmu Kesehatan Universitas dr. Soebandi dan mengampu mata kuliah Imunologi, Bakteriologi, Sitohistoteknologi dan Hematologi.

BIODATA PENULIS



Rizki Perdani, S.Tr.Kes., M.Kes.

Dosen Program Studi DIII Analis Kesehatan
Politeknik Unggulan Kalimantan

Penulis lahir di Banjarmasin tanggal 10 April 1996. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi DIII Analis Kesehatan, Politeknik Unggulan Kalimantan. Menyelesaikan pendidikan DIV pada Jurusan Analis Kesehatan, Poltekkes Kemenkes Banjarmasin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Kesehatan Masyarakat Peminatan Kesehatan Lingkungan dan K3, Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin.