

BAKTERIOLOGI 1

**Ni'matul Murtafi'ah
Revita Permata Hati
Andi Nur Asrinawaty
Indra Taufik Sahli
Stormy Vertygo
Indas Wari Rahman
Ni Made Susilawati
Anggraeni Sih Prabandari
Rosa Dwi Wahyuni
Ni Ketut Yuliana Sari
Acivrida Mega Charisma**



GET PRESS INDONESIA

BAKTERIOLOGI 1

Penulis :

Ni'matul Murtafi'ah
Revita Permata Hati
Andi Nur Asrinawaty
Indra Taufik Sahli
Stormy Vertygo
Indas Wari Rahman
Ni Made Susilawati
Anggraeni Sih Prabandari
Rosa Dwi Wahyuni
Ni Ketut Yuliana Sari
Acivrida Mega Charisma

ISBN :

Editor : Yuliatrini Novita, M.Hum

Penyunting : Ariyanto M.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, Oktober 2023

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

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Bakteriologi 1 ini.

Buku ini membahas Peranan mikroorganisme, Mikrobiologi pangan, Most probable number, Standard plate count, Mikrobiologi susu, Pengendalian mikroorganisme, Uji sensitivitas antibiotik, 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 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PERANAN MIKROORGANISME	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Peranan mikroorganisme di bidang Bioteknologi	1
1.3 Peranan mikroorganisme di bidang Rekayasa Genetika	3
1.4 Peranan Mikroorganisme dalam Lingkungan.....	4
1.5 Peranan Mikroorganisme pada Bidang Pertanian.....	5
1.6 Peranan Mikroorganisme pada Bidang Pangan	7
1.7 Peranan Mikroorganisme dalam Penyebaran Penyakit..	10
DAFTAR PUSTAKA	12
BAB 2 MIKROBIOLOGI PANGAN	15
2.1 Pendahuluan.....	15
2.2 Lingkup Studi	15
2.3 Faktor Kelangsungan Hidup	16
2.4 Pembusukan Pangan.....	19
2.5 Fermentasi Pangan	23
2.6 Patogen Pangan.....	26
2.7 Keamanan Pangan.....	27
2.8 Aplikasi Teknologi.....	32
2.9 Prediktif	32
2.10 Rangkuman	33
DAFTAR PUSTAKA	35
BAB 3 MOST PROBABLE NUMBER.....	37
3.1 Pendahuluan.....	37
3.2 Prinsip Most Probable Number.....	37
3.2.1 Pengenceran bertingkat	38
3.2.2 Pengenceran tunggal	39

3.3 Pengujian koliform menggunakan MPN	39
3.3.1 Uji Penduga	40
3.3.2 Uji Penegas	41
3.3.3 Uji Pelengkap	41
3.4 Perhitungan Nilai MPN	43
DAFTAR PUSTAKA	49
BAB 4 STANDAR PLATE COUNT	51
4.1 Pendahuluan	51
4.2 Standar Plate Count	51
4.2.1 Metode Tuang (<i>pour plate</i>)	52
4.2.2 Metode Sebar (<i>spread plate</i>)	53
4.2.3 Metode Membran filter	54
4.3 Teknik Total Plate Count (TPC)	55
4.3.1 Cara Menghitung dan Membulatkan Angka	57
4.3.2 Perhitungan Jumlah Koloni	58
4.3.3 Sumber Kesalahan dalam Menghitung Total Plate Count	61
DAFTAR PUSTAKA	62
BAB 5 MIKROBIOLOGI SUSU	63
5.1 Pendahuluan	63
5.1.1 Standar Mikrobial Susu	63
5.1.2 Komposisi dan Diversitas Mikrobial Susu	65
5.2 Kompleksitas Fungsional Mikroba Susu	68
5.2.1 Mikroba Pemfermentasi Susu	68
5.2.2 Mikroba Pencemar Susu	70
5.2.3 Mikroba Susu Pamacu Kesehatan	72
5.2.4 Mikroba Susu Patogenik	76
DAFTAR PUSTAKA	83
BAB 6 PENGENDALIAN MIKROORGANISME	91
6.1 Pendahuluan	91
6.2 Metode Fisik untuk Mengendalikan Mikroba	93
6.2.1 Panas Lembab	95
6.2.2 Panas Kering	100

6.2.3 Filtrasi	101
6.2.4 Radiasi.....	103
6.3 Metode Kimia untuk Mengendalikan Mikroba	104
6.3.1 Senyawa Kimia	107
6.3.2 Senyawa Kemoterapi.....	111
DAFTAR PUSTAKA	114
BAB 7 KOEFISIEN FENOL	115
7.1 Pendahuluan.....	115
7.2 Fenol	116
7.3 Koefisien Fenol dan Pemeriksaan Fenol.....	117
7.3.1 Pengujian Koefisien Fenol.....	118
7.4 Penggunaan Fenol.....	127
7.5 Dampak Fenol Bagi Kesehatan.....	128
DAFTAR PUSTAKA	131
BAB 8 UJI SENSITIVITAS ANTIBIOTIK	135
8.1 Pendahuluan.....	135
8.2 Antibiotik	136
8.2.1 Antibiotik berdasarkan spektrum kerjanya	136
8.2.2 Antibiotik berdasarkan cara kerjanya	137
8.2.3 Antibiotik berdasarkan struktur molekulnya	140
8.3 Uji Sensitivitas Metode Difusi	144
8.3.1 Kirby Bauer	148
8.3.2 Sumuran	151
8.3.3 Uji Sensitivitas Metode Dilusi	153
8.3.4 Dilusi Perbenihan Cair	154
8.3.5 Dilusi Agar	156
8.3.6 Epsilon test (e-test)	156
DAFTAR PUSTAKA	159
BAB 9 INFEKSI NOSOKOMIAL	163
9.1 Pendahuluan.....	163
9.2 Epidemiologi.....	163
9.3 Etiologi	164
9.4 Faktor Risiko dan Cara Penularan.....	165

9.4.1 Faktor Risiko.....	165
9.4.2 Cara Penularan.....	167
9.5 Tahapan Infeksi Nosocomial.....	169
9.6 Klasifikasi.....	169
9.6.1 Infeksi Traktus Urinarius	169
9.6.2 Infeksi Luka Operasi (ILO)	169
9.6.3 Nosokomial Pneumonia.....	170
9.6.4 Nosokomial Bakteriemia.....	170
9.7 Pencegahan.....	170
DAFTAR PUSTAKA.....	172
BAB 10 MIKROORGANISME FLORA NORMAL	173
10.1 Pendahuluan.....	173
10.2 Pengelompokan Flora Normal Tubuh Manusia	174
10.3 Flora Normal pada Kulit.....	178
10.4 Flora Normal pada Saluran Pernapasan	180
10.5 Flora Normal pada Mulut.....	183
10.6 Flora Normal pada Saluran Pencernaan.....	184
10.7 Flora Normal pada Saluran Kemih.....	187
10.8 Flora Normal pada Konjungtiva	188
DAFTAR PUSTAKA.....	189
BAB 11 MIKROSKOP DAN CARA PENGOPERASIANNYA.193	
11.1 Pendahuluan.....	193
11.2 Bagian-Bagian Mikroskop.....	193
11.2.1 Bagian Optik Mikroskop	193
11.2.2 Bagian Mekanik Mikroskop.....	194
11.3 Jenis-Jenis Mikroskop.....	195
11.3.1 Mikroskop Cahaya.....	195
11.3.2 Mikroskop Elektron	197
11.4 Cara Menggunakan Mikroskop.....	198
DAFTAR PUSTAKA.....	199
BAB 12 PENGELOLAAN LIMBAH MEDIS.....201	
12.1 Pendahuluan.....	201
12.2 Pengertian Limbah Medis.....	205

12.3 Jenis Limbah Medis	206
12.4 Dampak Limbah Medis.....	209
12.5 Teknologi Insenerasi.....	210
12.6 Pengolahan Limbah Medis Rumah Sakit.....	214
12.7 Dampak Limbah Pelayanan Kesehatan.....	217
12.8 Stabilisasi Limbah Medis.....	219
12.9 Penanganan Limbah Medis Rumah Sakit	220
DAFTAR PUSTAKA	222

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Pengujian koliform pada air : Uji penduga (terdiri dari 5 seri tabung MPN), uji penegas dan uji pelengkap	43
Gambar 4.1. Metode tuang (<i>pour plate</i>)	53
Gambar 4.2. Metode sebar (<i>spread plate</i>).....	54
Gambar 4.3. Prosedur Membran Filter.	55
Gambar 4.4. Prosedur kerja metode TPC.....	56
Gambar 5.1. Infeksi Mikroorganisme Pada Setiap Tahapan Pemrosesan Susu	78
Gambar 6.1. Situasi yang memerlukan tingkat pengendalian mikroba yang berbeda, (a) Kehidupan rumah tangga, (b) Fasilitas produksi pangan, (c) Fasilitas perawatan air, (d) Rumah sakit, (e) Industri lainnya.....	92
Gambar 6.2. Metode Fisik yang digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba	95
Gambar 6.3. Autoklaf, uap mula-mula bergerak dalam lapisan tertutup yang mengelilingi ruangan, kemudian memasuki autoklaf, meminahkan udara ke bawah dan keluar melalui lubang di bagian bawah ruangan	98
Gambar 6.4. (A) Sterilisasi loop kawat dengan pemanasan hingga merah menyala, (B) Prinsip kerja sterilisasi kering dengan oven	101
Gambar 6.5. Sterilisasi cairan dengan membran filter	102
Gambar 6.6. Spektrum Elektromagnetik.....	103
Gambar 6.7. Klorin dalam bentuk pemutih rumah tangga	106
Gambar 8.1. Berbagai mekanisme aksi antibiotik terhadap bakteri.....	138

Gambar 8.2. Skema prosedur uji sensitivitas metode difusi cakram disk.....	147
Gambar 8.3. Zona yang terbentuk pada uji sensitivitas metode Kirby Bauer	148
Gambar 8.4. Zona hambat di sekitar sumuran pada uji sensitivitas metode difusi sumuran	150
Gambar 8.5. Prosedur makrodilusi	153
Gambar 8.6. E-test dan penentuan MIC antibiotik	156
Gambar 10.1. Komposisi Flora Normal Manusia di Berbagai Lokasi. Genus bakteri yang dominan di rongga mulut, saluran pernapasan, kulit, usus, dan vagina.....	176
Gambar 11.1. a. mikroskop monokuler b. mikroskop binokuler	196
Gambar 11.2. Mikroskop elektron	197

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Bioteknologi Modern	2
Tabel 3.1. Nilai MPN untuk tiga pengenceran menggunakan tiga serial tabung (dalam gr atau ml)	44
Tabel 3.2. Nilai MPN untuk tiga pengenceran menggunakan 5 serial tabung (dalam gr atau ml)	45
Tabel 5.1. Komposisi Mikrobial Susu Beberapa Spesies Mamalia.....	66
Tabel 5.2. Beberapa Contoh Probiotik BAL dalam Susu	73
Tabel 5.3. Kontaminan Bakteri Patogen Lainnya dalam Susu dan Produk Olahan Susu.....	80
Tabel 6.1. Bahan kimia yang sering digunakan sebagai germisida	108
Tabel 6.2. Jenis antibiotik dan mekanisme kerja	112
Tabel 7.1. Contoh pembuatan seri pengenceran desinfektan untuk pengujian koefisien fenol.	119
Tabel 10.1. Mikrobiota Bakteri Normal.....	177
Tabel 11.1. Bagian mekanik mikroskop.....	194

BAB 1

PERANAN MIKROORGANISME

Oleh Ni'matul Murtafi'ah

1.1 Pendahuluan

Mikrobiologi diartikan sebagai biologi organisme mikroskopis yang menjadi subjek berupa mikroba. Mikroba banyak digunakan untuk aplikasi kehidupan sehingga dapat dimanfaatkan dalam pembuatan produk dan bahkan tidak heran dapat menyebabkan penyakit. Mikroba biasanya diterapkan secara terbatas, biasanya virus dan bakteri, jamur dan parasit menjadi kontributor yang lebih minor. Virus dan bakteri merupakan patogen dan agen infeksius paling penting.

Namun, disisi lain mikroba tidak semuanya bersifat sebagai agen patogen namun juga ada yang dimanfaatkan dan memiliki berbagai peranan dalam kehidupan. Mikroba dapat menghasilkan bahan aktif untuk produksi antibiotik, enzim, antiparasit, dan antioksidan. Mikroba sering dimanfaatkan dalam bidang bioteknologi, genetika, rekayasa genetika, farmakologi dan mikroteknologi.

1.2 Peranan mikroorganisme di bidang Bioteknologi

Bioteknologi merupakan ilmu terapan biologi melibatkan multidisiplin ilmu. Ilmu yang terlibat dalam pengembangan ilmu biologi antara lain genetika, biokimia, mikrobiologi, biologi molekular, dan ilmu biologi lainnya. Bioteknologi dapat digolongkan menjadi bioteknologi industri, bioinformatika, bioteknologi pertanian, bioteknologi kelautan dan bioteknologi kesehatan. Perkembangan bioteknologi mengalami kemajuan

pesat dalam meningkatkan permintaan masyarakat terhadap suatu produk. Mikroorganisme seperti bakteri dapat dimanfaatkan dalam memproduksi antibiotik melalui produksi enzim β -laktamase yang dapat menghidrolisis cincin β -laktam dan menonaktifkan penisilin. Antibiotik basitrasin adalah antibiotik peptida dari berbagai galur *Bacillus licheniformis* dan *Bacillus subtilis*, yang telah diproduksi dan dipasarkan pada skala industri. Galur asli baru *Bacillus sp.* BAC4 diketahui menghasilkan enzim yang disebut penisilin G asilase. (Wijayati, Herlina and Ratnaningsih, 2011). Penemuan vaksin small pox oleh Edward Jenner merupakan sejarah biologi kesehatan. Bioteknologi kesehatan semakin berkembang dengan ditemukannya insulin sebagai pengobatan diabetes militus dan penisilin sebagai antibiotik.

Perkembangan bioteknologi modern dengan menggunakan teknologi DNA rekombinan didasarkan pada pemotongan, penyisipan, dan penataan ulang fragmen DNA. Bakteri berperan sebagai pembawa gen, dimana gen diangkut ke dalam tubuh bakteri melalui organel berupa plasmid. Perkembangan bioteknologi modern ditunjukkan pada tabel 1.1.

Tabel 1.1. Bioteknologi Modern

Tahun	Keterangan
1941	Rekayasa genetika
1953	Penemuan struktur double helix
1961	Penemuan mRNA yang memiliki peran penting dalam proses translasi
1968	Penemuan kode genetika dari 20 asam amino oleh Marshall W Nirenberg
1970	Penemuan enzim restriksi yang digunakan dalam teknologi DNA modern
1973	Rekombinasi DNA

Tahun	Keterangan
1976	Sekuen pasangan basa asam nukleat telah ditentukan untuk pertama kalinya
1977	Produksi insulin menggunakan <i>E.coli</i>
1984	Aplikasi DNA Finger Printing untuk mengetahui hubungan kekerabatan dan mengidentifikasi penyakit Kriminal
1986	Muncul tanaman transgenik ditanam di USA
1989	Pemanfaatan mikroba untuk membersihkan tumpahan minyak di perairan
1990	Produksi chymosin (enzim untuk pembuatan keju) dengan menggunakan <i>E.coli</i>
1993	FDA menyatakan bahwa GMF (<i>Genetically Modified Food</i>) aman untuk di konsumsi
1997	Pembuatan domba dolly dengan menggunakan teknik kloning
1998	Pemanfaatan stem cell untuk regenerasi jaringan
1999	Pembuatan Golden Rice
2002	Skuen genom jamur patogen <i>Magnaporthe grisea</i>
2003	Human Genome
2005	Penanaman tanaman transgenik
2007	Penggunaan vaksin papillomavirus
2009	Skuensing genaom H1N1
2012	Draft genom tanaman gandum

Sumber: (Wardani, A. K., Wijayanti, S. D., and Widiastuti, 2017)

1.3 Peranan mikroorganisme di bidang Rekayasa Genetika

Pemanfaatan mikroorganisme tergantung pada komposisi dan hasil akhir yang diperoleh. Di Indonesia banyak dijumpai mikroorganisme yang banyak di manfaatkan dalam pembuatan produk bioteknologi modern, diantaranya yaitu enzim, glukosa dari

hasil hidrolisis enzimatik dan beberapa bahan tambahan makanan yang dimodifikasi secara genetik (Faridah and Sari, 2019). Produksi enzim selulase dari berbagai mikroorganisme. Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi enzim antara lain kelembaban, suhu, konsentrasi inoculum, pH, konsentrasi substrat, dan sumber karbon. Sumber karbon digunakan bakteri pada proses metabolisme sel yang berperan sebagai sumber energi dan element struktural sel mikroba. Sumber karbon akan digunakan dalam produksi selulose.

1.4 Peranan Mikroorganisme dalam Lingkungan

Penggunaan bahan plastik dalam kehidupan sehari-hari menyebabkan semakin banyak timbunan sampah plastik di lingkungan jika tidak dilakukan penanganan akan menyebabkan pencemaran. Limbah plastik tidak terkendali dan pengelolaan sampah plastik tidak maksimal, menyebabkan plastik sebagai limbah yang berakhir di laut dan menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan (Yunar, 2011).

Biodegradasi anaerobik merupakan penguraian kontaminan organik menggunakan mikroorganisme tanpa adanya oksigen. Mikroorganisme pendegradasi plastik dapat diisolasi dari tanah, air laut, atau kompos. berperan dalam biodegradasi yaitu bakteri, jamur, yeast dan alga. Setiap mikroorganisme mempunyai sifat yang berbeda-beda, maka proses degradasi pada mikroorganisme berbeda-beda pada setiap jenisnya (Fadlilah dan Shovitri, 2014).

Pada mekanisme degradasi plastik uji hitam, putih dan transparan salah satu bakteri yang berpotensi adalah *Bacillus sp.* (Marjayandari dan Shovitri, 2015). Selain *Bacillus sp* terdapat bakteri lain yang berpotensi dalam proses degradasi plastik. Bakteri tersebut antara lain *Pseudomonas sp.*, *Staphylococcus sp.*, dan *Streptomyces sp* (Usha dkk., 2011). Kemampuan *Pseudomonas sp* dalam degradasi plastik hitam

dengan rerata degradasi 2,7%, plastik putih sebesar 3,3% dan plastik transparan 4,5% yang di inkubasi selama 3 bulan (Sriningsih dan Shovitri, 2015).

1.5 Peranan Mikroorganisme pada Bidang Pertanian

Masyarakat Indonesia umumnya bekerja di bidang pertanian sehingga banyak dihasilkan limbah dari hasil pertanian. Pertanian merupakan salah satu bidang yang dapat menyediakan sandang, pangan, dan papan bagi seluruh makhluk hidup di dunia ini (Wibowo NA, Tjahjana BE, Heryana N, 2014).

Salah satu contohnya yaitu perkebunan kakao dimana Indonesia menduduki peringkat ke tiga sebagai produsen kakao terbesar di dunia dengan produksi sebesar 13% (International Cocoa Organization, 2012).

Limbah kakao dapat di kelola melalui rekayasa bioproses dengan pemanfaatan aktivitas mikroorganisme. Sistem ini bertujuan untuk memastikan bahwa melalui pengelolaan nutrisi terpadu, produksi tanaman terpadu, pengelolaan hama terpadu, dan pengelolaan air terpadu, sistem pertanian berkelanjutan dapat menghasilkan produk berkualitas tinggi dalam jumlah optimal dan menghilangkan patogen. (Wibowo NA, Tjahjana BE, Heryana N, 2014).

Pada prosesnya, pengomposan yang dibantu oleh mikroorganisme dipengaruhi oleh berbagai faktor yang sesuai dengan kriteria keberhasilan pengomposan (Isroi, 2007), antara lain :

1. Nisbah C/N

Kemampuan mikroorganisme dalam mendegradasi senyawa karbon (C) berfungsi sebagai sumber energi dan memanfaatkan N dalam proses sintesis protein. Jika nilai C/N terlalu tinggi maka N mikroorganisme tidak

mencukupi dan dekomposisi akan lambat. Oleh karena itu, nilai C/N pada rentang 30:1 hingga 40:1 dinilai efektif dalam proses pengomposan.

2. Ukuran Bahan

Aktivitas mikroorganisme terjadi pada permukaan area dan udara. Proses dekomposisi dapat berlangsung lebih cepat apabila luas permukaan area lebih besar sehingga dapat meningkatkan kontak antara mikroorganisme dengan bahan.

3. Aerasi

Pengomposan dilakukan dalam kondisi cukup oksigen. Aerasi alami terjadi pada kondisi suhu meningkat dan akan menyebabkan udara hangat keluar serta udara yang lebih dingin masuk ke dalam tumpukan kompos. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh porositas dan kelembaban. Aerasi terhambat akan terjadi proses anaerob menghasilkan bau tidak sedap. Aerasi meningkat dengan mengalirkan udara dalam tumpukan kompos.

4. Porositas

Pada proses pengomposan terdapat istilah porositas, yaitu jarak antar partikel dalam tumpukan kompos. Ruang kosong tersebut terisi air dan udara. Pada hal ini udara berperan menyediakan oksigen. Suplai oksigen akan berkurang dan menghambat proses pengomposan saat rongga tersebut jenuh dengan air. Dalam prosesnya, kelembapan berperan dalam metabolisme kompos dan akan mempengaruhi konsumsi oksigen secara tidak langsung.

5. Mikroorganisme

Materi alami bermanfaat bagi mikroorganisme. Apabila kelembaban lebih rendah dari 40% aktivitas dari mikroorganisme akan mengalami penurunan sedangkan jika kelembaban melebihi 60% maka berkurangnya volume

udara, nutrisi akan hilang, yang berakibat penurunan aktivitas mikroorganisme dan terjadi fermentasi anaerobik menghasilkan bau yang tidak sedap.

6. Temperatur

Mikroorganisme pada aktivitasnya menghasilkan panas yang memiliki hubungan dengan perubahan suhu dan penggunaan oksigen. Meningkatnya suhu maka semakin banyak pula oksigen yang akan dikonsumsi serta proses dekomposisi berlangsung lebih cepat. Pada tumpukan kompos, suhu dapat meningkat dengan cepat. Apabila suhu terlalu tinggi maka dapat membunuh mikroorganisme patogen terhadap tanaman dan benih gulma.

7. Tingkat keasaman

Tingkat keasaman atau pH memiliki berpengaruh pula dalam proses pengomposan. Kadar pH yang optimal pada proses pengomposan antara 6,5 hingga 7,5. Sumber organik akan mengalami perubahan pada proses pengomposan serta perubahan pada pH tersebut, contohnya dalam pelepasan asam secara sementara atau lokal, akan menurunkan kadar pH. Contoh lain yaitu peningkatan pH pada fase awal pengomposan dimana senyawa yang mengandung nitrogen pada proses produksi ammonia.

8. Kandungan hara

Fosfor dan Kalium merupakan kandungan penting pada proses pengomposan. Mikroorganisme memanfaatkan hara selama proses pengomposan.

1.6 Peranan Mikroorganisme pada Bidang Pangan

Bioteknologi pangan sebagai usaha dalam memenuhi kebutuhan akan banyaknya pangan yang dibutuhkan manusia. Bioteknologi terbagi menjadi dua, yakni bioteknologi konvensional dan modern. Hasil dari bioteknologi konvensional yakni keju,

kecap, yogurt, tape dan tempe. Sedangkan hasil dari bioteknologi modern yakni, enzim dan glukosa hasil hidrolisis enzimatis dan bahan tambahan pangan lain serta hasil rekayasa genetika (Faridah HD, 2019).

Terdapat bermacam produk makanan tradisional Indonesia yang merupakan hasil dari bioteknologi konvensional melalui proses fermentasi seperti tempe, tape, dan oncom. Mikroorganisme seperti bakteri, fungi, dan yeast berperan dalam pengolahan makanan tersebut. Mikroorganisme yang digunakan berbeda tergantung pada bahan baku serta hasil akhir yang diinginkan (Pessoa dkk, 2019). Manfaat dari penerapan bioteknologi antara lain makanan yang dihasilkan memiliki nutrisi tinggi, dapat menghasilkan produk makanan dan minuman dengan pengolahan fermentasi, serta memproduksi produk bahan penyedap (Faridah, 2019).

Mikroorganisme ialah makhluk hidup berukuran kecil. Mikroorganisme terdiri dari mikroorganisme uniseluler (terdiri dari sel tunggal) dan multiseluler (terdiri dari banyak sel). Setiap sel dari mikroorganisme mampu mengalami pertumbuhan sel, memperbanyak sel, dan menghasilkan energi. Mikroorganisme digunakan dalam proses pengolahan makanan berasal dari kelompok bakteri maupun fungi. Bakteri dapat digunakan salah satunya berasal dari *Actinobacteriaceae* seperti *Bifidobacterium thermophilum*, *Firmicutes* seperti *Bacillus*, dan *Proteobacteriaceae* seperti *Acetobacter* dan *Gluconacetobacter*. Fungi yang dapat digunakan berasal dari *yeast* maupun filamentous fungi (Faridah, 2019).

Peranan mikroorganisme dalam bidang pangan salah satunya dalam proses pembuatan yoghurt. Bakteri pembuatan yoghurt adalah bakteri dari kelompok bakteri asam laktat (BAL). *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* adalah salah satu jenis bakteri asam laktat yang kerap digunakan dalam industri makanan, terutama dalam budaya starter untuk industri

susu, dicampur dengan mikroorganisme lainnya. Pada era modern ini, yoghurt dapat dibuat dengan pemanfaatan kombinasi antara *Lactobacillus acidophilus* dengan starter yoghurt *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* (Hidayat IR, 2013).

Pada prosesnya, *Streptococcus thermophilus* ditumbuhkan sebagai langkah awal untuk memfermentasi laktosa menjadi karbondioksida dan asam laktat diperoleh pada suasana asam (Chotimah 2009). Kondisi asam merangsang pertumbuhan bakteri lain yaitu *Lactobacillus bulgaricus* dan *Lactobacillus acidophilus*. Selain itu, menekan pertumbuhan bakteri patogen yang tidak tahan hidup pada lingkungan pH rendah. *Lactobacillus acidophilus* memanfaatkan laktosa dan sukrosa sebagai material untuk aktivitas metabolisme. *Lactobacillus bulgaricus* menghasilkan aroma khas. *Streptococcus thermophilus* memiliki peran sebagai penghasil rasa yoghurt (Faridah dkk, 2019).

Contoh lainnya dari peranan mikroorganisme pada bidang makanan yaitu produksi tape. Proses fermentasi pada produksi tape dilakukan dengan bantuan mikroorganisme seperti kapang dan khamir (*yeast*). Kapang prosesnya menghasilkan enzim amilolitik berfungsi memecah amilum menjadi glukosa sederhana. Proses dilanjutkan oleh khamir berfungsi untuk merombak gula sederhana yang telah dipecah menjadi alkohol (Berlian dan Ulandari, 2016).

Proses fermentasi tape menggunakan proses respirasi anaerob dari *Aspergillus sp.* untuk memecahkan amilum menjadi glukosa. Proses lanjutan oleh *Saccharomyces cereviceae* mengubah glukosa menjadi alkohol dan karbondioksida (Rahmawati, 2010).

1.7 Peranan Mikroorganisme dalam Penyebaran Penyakit

Mikrobioma merupakan mikroorganisme yang hidup pada tubuh manusia, hewan, tumbuhan, dan sebagainya. Tubuh manusia sebagian besar terdiri atas mikroba. Mikrobioma dapat dimanfaatkan dalam penggambaran komunitas ekologi mikroorganisme komensal, simbiosis atau patogen yang secara langsung menempati suatu ruang dalam tubuh.

Disfungsi mikrobioma dapat menimbulkan penyakit. Contoh penyakit akibat disfungsi mikrobioma yaitu penyakit autoimun (diabetes, rheumatoid arthritis, distrofi otot, multiple sclerosis, dan fibromialgia). Mikrobioma dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor misalnya gaya hidup, prosedur medis, diet, infeksi, obat-obatan, dan stress (Sudarmono, 2016).

Salah satu faktor lain dari penyebaran penyakit oleh mikroorganisme yaitu tanah. Tanah umumnya tersusun akan senyawa organik, senyawa anorganik, udara, air serta mengandung bagian yang berbentuk jasad hidup yang umumnya terdiri atas mikroorganisme. Mikroorganisme tanah terdiri dari bakteri, fungi dan mikro alga. Jumlah dari mikroorganisme tanah sangat tinggi antara 320,000-200,000,000 pada setiap gram tanah. Kehadirannya dalam tanah dapat menguntungkan maupun merugikan. Mikroorganisme tanah merugikan ketika kehadirannya berperan dalam proses denitrifikasi, yaitu sebagai pengurai pupuk yang tidak diharapkan dan sebagai sumber penyebab penyakit (Syauqi, 2017).

Pencemaran tanah oleh limbah dapat memungkinkan adanya bakteri baik yang bersifat patogen dan non-patogen. Keberadaan bakteri patogen dapat tumbuh pada limbah padat seperti popok, tampon, kertas, tisu, makanan dan minuman. Bakteri patogen dapat menimbulkan penyakit akibat pencemaran lingkungan seperti pada air dan tanah akibat pencemaran limbah seperti bakteri koliform. Adanya bakteri koliform dapat menjadi

tanda adanya pencemaran biologis lingkungan (Suwardi, 2011; Nur,2015; Eliza, 2016; Artiningsih, dkk., 2017). Tidak menutup kemungkinan ditemukannya bakteri lain seperti kelompok *Enterobacteriaceae* yaitu *Salmonella*, *Shigella*, *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Proteus* yang dapat menjadi penyebab penyakit infeksi pada saluran pencernaan (Widyanti, 2022).

DAFTAR PUSTAKA

- Fadlilah, Rahmah F, & S. M. 2014. 'Potensi Isolat Bakteri Bacillus dalam Mendegradasi Plastik dengan Metode Kolom Winogradsky', 3(2), pp. 40–43. Available at: <https://doi.org/10.12962/j23373520.v3i2.6730>.
- Faridah, H. D. and Sari, S. K. 2019. 'MAKANAN HALAL BERBASIS BIOTEKNOLOGI UTILIZATION OF MICROORGANISM ON THE DEVELOPMENT OF HALAL FOOD BASED ON BIOTECHNOLOGY', pp. 33–43.
- Isroi. 2007. *Bioteknologi mikroba untuk pertanian organik*. Bogor.
- Marjayandari, Lisa, & S. M. 2015. 'Potensi Bakteri Bacillus sp. dalam Mendegradasi Plastik.', *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2), pp. 59–62. Available at: [10.12962/j23373520.v4i2.13387](https://doi.org/10.12962/j23373520.v4i2.13387).
- Pratiwi, S. 2008. *Mikrobiologi farmasi*. Jakarta: Erlangga.
- Sriningsih, Atik, S. 2015. 'Potensi Isolat Bakteri Pseudomonas sebagai Pendegradasi Plastik.', *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2), pp. 67–70. Available at: [10.12962/j23373520.v4i2.13495](https://doi.org/10.12962/j23373520.v4i2.13495).
- Usha R, Sangeetha T, & P. M. 2011. 'Screening of Polyethylene degrading Microorganisms from Garbage Soil. Libyan Agric. Res. Cen.', *J. Intl*, 2(4), pp. 200–204. Available at: [https://web.archive.org/web/20200711201145/http://www.idosi.org/larcji/2\(4\)11/8.pdf](https://web.archive.org/web/20200711201145/http://www.idosi.org/larcji/2(4)11/8.pdf).
- Wardani, A. K., Wijayanti, S. D., and Widiastuti, E. 2017. *Pengantar Bioteknologi*. Edited by Tim UB Press. Malang.
- Wibowo NA, Tjahjana BE, Heryana N, & S. 2014. 'Peran Mikroorganisme Dalam Pengelolaan Hara Terpadu pada Perkebunan Kakao. Agriculture [serial online] 2014 [cited 2023 Agu 28]:91-98.', *J. Agriculture*, pp. 91–98. Available at: <https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/16027>.

- Wijayati, N., Herlina, L. and Ratnaningsih, E. 2011. 'PRODUKSI ANTIBIOTIKA OLEH *Bacillus subtilis* M10 DALAM MEDIA UREA-SORBITOL', 13(3).
- Yunar, V. 2011. *Evaluasi Biodegradabilitas Plastik Berbahan Dasar Campuran Pati dan Polietilen Menggunakan ASTM G21-09, Uji Mikroorganisme dan Uji Lapangan, Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia. Available at: [url:https://lib.ui.ac.id/file](https://lib.ui.ac.id/file)

BAB 2

MIKROBIOLOGI PANGAN

Revita Permata Hati

2.1 Pendahuluan

Mikrobiologi pangan adalah bidang studi yang berfokus pada pemahaman mikroorganisme yang mengkolonisasi, memodifikasi, mengolah, atau merusak makanan. Termasuk mencakup berbagai jenis mikroorganisme, termasuk bakteri pembusuk, probiotik, fermentor, patogen, jamur, ragi, virus, prion, dan parasit. Mikrobiologi pangan mempelajari berbagai komposisi makanan dan minuman serta mempertimbangkan faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup dan pertumbuhan mikroba. Meskipun beberapa mikroorganisme mempunyai efek menguntungkan, beberapa mikroorganisme juga dapat merugikan kualitas dan keamanan pangan, sehingga menimbulkan kekhawatiran bagi kesehatan masyarakat (Laranjo et al., 2019).

2.2 Lingkup Studi

Selama dekade terakhir telah ditandai oleh kepentingan multidisiplin yang telah mengkonfirmasi peningkatan jumlah bukti yang melibatkan mikroorganisme di berbagai bidang. Mikrobiologi keterlibatan tersebut berada di teknologi pangan, keamanan pangan, kebersihan pangan, keracunan pangan, genomik pangan, omik pangan, pangan fungsional, dan probiotik. Mikrobiologi juga terlibat pada adanya metodologi baru yang telah diterapkan pada analisis pangan (Suzzi and Corsetti, 2020).

Bidang mikrobiologi pangan menyelidiki dampak dan pentingnya mikroorganisme dalam kaitannya dengan makanan dan minuman. Kajian ini mencakup beberapa aspek ekologi mikroba dalam konteks pangan, serta pemanfaatan mikroba untuk sintesis komponen dan produk pangan. Selain itu, beberapa bakteri menimbulkan hambatan yang signifikan terhadap kesehatan masyarakat karena kemampuannya menyebabkan penyakit. Dalam menonaktifkan bakteri pembusuk dan berbahaya serta mengatur pertumbuhannya, sehingga menjaga stabilitas dan keamanan produk pangan dapat dilakukan dengan pengawetan pangan. Oleh karena itu, terdapat upaya kolaboratif yang berkelanjutan antara pelaku bisnis makanan, pemerintah, dan masyarakat untuk meningkatkan teknik pengambilan sampel statistik dan prosedur mikrobiologi guna mendapatkan pemahaman komprehensif tentang faktor-faktor yang berdampak pada kelangsungan hidup dan perilaku mikroorganisme dalam pangan (Húngaro, et al., 2014).

2.3 Faktor Kelangsungan Hidup

Berbagai faktor secara signifikan dapat mempengaruhi perilaku mikroba dalam pangan. Selain perilaku, kelangsungan hidup mikroorganisme dalam pangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk sifat fisik dan nutrisi pangan, serta berbagai pengaruh eksternal dan internal, serta interaksi yang kompleks di antara keduanya. Kelangsungan hidup bakteri dalam pangan dapat dipengaruhi oleh berbagai parameter, antara lain suhu, pH, aktivitas air, dan potensial redoks. Elemen-elemen ini secara luas diakui sebagai faktor penentu penting dalam perilaku mikroba dalam sistem pangan. Industri pangan secara strategis memanfaatkan kelenturan karakteristik ini untuk secara efektif memitigasi risiko kontaminasi pangan dan perkembangbiakan mikroba (Húngaro, et al., 2014).

Sebagian besar mikroba menunjukkan tingkat pertumbuhan optimal di lingkungan dengan nilai pH mendekati 7,0 meskipun mikroorganisme tertentu mampu tumbuh subur dalam kondisi asam dengan nilai pH di bawah 4,0. Organisme bakteri seringkali menunjukkan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi terhadap perubahan pH dibandingkan dengan kapang dan khamir. Sedangkan bakteri patogen menunjukkan kerentanan yang lebih besar terhadap variasi pH (Húngaro, et al., 2014).

Mikroorganisme yang termasuk dalam kelompok bakteri asam laktat (BAL) mempunyai kemampuan untuk tumbuh dan berkembang biak bahkan dalam kondisi sangat asam, dengan nilai pH serendah 2,0. Mikroba patogen, seperti *Clostridium botulinum*, tidak dapat berkembang biak bila terkena tingkat pH lebih rendah dari 4,6. Klasifikasi pangan menjadi keasaman rendah ($\text{pH} > 4,6$) atau keasaman tinggi ($\text{pH} \leq 4,6$) ditentukan berdasarkan potensi patogen yang terkait dengan pH 4,6 (Húngaro, et al., 2014). Patogen bawaan pangan oportunistik *Cronobacter sakazakii* dapat bertahan tumbuh pada pH 3,0 dan pH 3,5 (Hati et al., 2020).

Nilai pH memegang peranan penting dalam menentukan tingkat intensitas pemrosesan termal. Pangan dengan tingkat keasaman rendah dan tinggi mendapatkan perlakuan suhu pemrosesan di atas dan dibawah 100°C. Kisaran nilai pH yang dapat ditoleransi oleh masing-masing spesies mikroba dipengaruhi oleh banyak parameter tambahan (Húngaro, et al., 2014).

Pada pertumbuhan strain *Lactobacillus* tertentu dipengaruhi oleh jenis asam yang digunakan, terbukti dengan bervariasinya ambang batas pH minimum. Asam sitrat, klorida, fosfat, dan tartarat memungkinkan pertumbuhan pada tingkat pH yang lebih rendah dibandingkan dengan asam asetat dan laktat. Konsentrasi minimal asam atau pengawet digunakan untuk tujuan menonaktifkan atau menghambat mikroorganisme (Húngaro, et al., 2014).

Penghambatan pertumbuhan dapat terjadi melalui beberapa mekanisme, seperti inaktivasi atau gangguan membran sel, dinding sel, enzim metabolisme, sintesis protein, atau materi genetik. Nilai pH 4,6 berfungsi sebagai ambang batas dimana bakteri patogen tidak dapat berkembang biak. Namun, penting untuk dicatat bahwa meskipun ada keterbatasan ini, ada beberapa kasus kejadian luar biasa atau KLB yang terkait dengan pangan yang bersifat asam seperti buah dan jus buah (Húngaro, et al., 2014).

Kejadian-kejadian ini menunjukkan bahwa ketidakmampuan untuk tumbuh pada pangan dengan pH 4,6 tidak boleh disamakan dengan kemampuan untuk bertahan. Mikroorganisme menunjukkan preferensi terhadap kisaran pH tertentu yang kondusif bagi perkembangan dan kelangsungan hidupnya, dengan kerentanan yang lebih besar terhadap perubahan pH internal dibandingkan fluktuasi pH eksternal. Jika perubahan ini cukup besar, maka berpotensi mengakibatkan penurunan kelangsungan hidup (Húngaro, et al., 2014).

Asam biasanya menghambat reaksi penting dengan meningkatkan konsentrasi ion hidrogen, sehingga menurunkan pH intraseluler. Potensi pertumbuhan sel bergantung pada kapasitasnya untuk memodulasi pH di sekitarnya hingga mencapai kisaran yang sesuai. Pada jamur berfilamen telah mengembangkan mekanisme adaptif untuk mengurangi dampak asam lemah dan mempertahankan homeostasis internal dan tingkat pH. Penghapusan kelebihan proton dari sel difasilitasi oleh enzim adenosin triphosphatase (ATPase). Oleh karena itu, kapang dan khamir menunjukkan kapasitas yang lebih besar untuk bertahan pada tingkat pH yang lebih rendah dibandingkan dengan bakteri, sehingga dikaitkan dengan kerusakan bahan pangan dan produk asam yang berasal dari buah-buahan yang asam. Sebagian besar bakteri yang menghuni lingkungan asam mungkin memerlukan

peningkatan suhu minimum untuk pertumbuhannya dan bahkan peningkatan aktivitas air minimum (Húngaro, et al., 2014).

2.4 Pembusukan Pangan

Meskipun terdapat banyak bakteri yang mempunyai kemampuan untuk berkembang biak dalam pangan, penting untuk dicatat bahwa hanya jenis bakteri tertentu yang bertanggung jawab menyebabkan pembusukan pangan. Kelangsungan hidup, perkembangbiakan, dan keberadaannya jumlah bakteri pembusukan pangan dalam pangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain suhu penyimpanan, aksesibilitas oksigen, komposisi pangan, pH, proses pemanasan, dan persaingan dengan mikrobiota lain. Penguraian bakteri menunjukkan tingkat yang lebih tinggi dan manifestasi yang mencolok pada makanan kaya protein, termasuk daging, susu, ikan, dan produk susu. Mayoritas jenis makanan ini memiliki kandungan nutrisi yang tinggi, serta memiliki tingkat aktivitas air yang tinggi dan nilai pH mendekati 7,0 (Húngaro, et al., 2014).

Mikrobiota yang dominan pada makanan mentah dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti karakteristik, penanganan, kondisi lingkungan, dan prosedur pertumbuhan. Mikroba tertentu dapat dianggap menguntungkan jika perkembangbiakannya dalam pangan menyebabkan perubahan yang menguntungkan, seperti perbaikan rasa, tekstur, dan penampilan. Meski demikian, bakteri berpotensi menimbulkan kerusakan pada produk pangan (Húngaro, et al., 2014).

Mengenai kerusakan sensorik, mikrobiota pembusukan mengacu pada sekelompok mikroorganisme yang mampu berkembang biak pada pangan, menghasilkan perubahan yang tidak menguntungkan. Potensi pembusukan mikroorganisme bergantung pada kapasitasnya untuk menghasilkan metabolit yang terkait dengan pembusukan. Kondisi pembusukan mengakibatkan

penolakan konsumen terhadap produk pangan (Húngaro, et al., 2014).

Mikroba dapat menyebabkan pembusukan atau perusakan pangan dengan dua mekanisme dasar. Mekanisme terpenting terkait dengan pertumbuhan mikroba pembusuk atau perusakan dan metabolisme aktif komponen pangan. Mekanisme pembusukan atau perusakan mikroba lainnya dapat terjadi bahkan tanpa adanya mikroba hidup. Saat mikroba mati, mikroba dapat melepaskan berbagai enzim yang bereaksi dengan dan mengubah sifat komponen pangan, yang menyebabkan pembusukan atau perusakan (USDA, 2018).

Bakteri *Pseudomonas* spp. dan mikroba psikrotrofik Gram-negatif lainnya berpotensi menurunkan umur simpan produk pangan. Produk pangan yang berpendingin, berprotein tinggi yang disimpan dalam kondisi aerobik, seperti daging dan produk susu. Kehadiran *Pseudomonas* telah diamati dalam kasus kontaminasi pasca-pemrosesan pada susu pasteurisasi (Húngaro, et al., 2014).

Shewanella putrefaciens adalah contoh bakteri psikrotrofik yang bertanggung jawab atas kerusakan makanan laut yang didinginkan. Keterlibatan mikroorganisme vegetatif dalam pembusukan makanan sangatlah signifikan, namun bakteri pembentuk spora sangat bermanfaat pada pangan olahan seperti makanan kaleng, daging kemasan vakum, dan makanan yang diproses secara termal. Hal ini disebabkan oleh kemampuannya untuk bertahan dalam perlakuan yang mematikan (Húngaro, et al., 2014).

Selain bakteri, kapang atau jamur merupakan kelompok taksonomi yang sangat penting dan memerlukan pertimbangan yang cermat. Jamur berperan tidak hanya dalam proses produksi pangan, tetapi juga dalam terjadinya pembusukan dan pembentukan mikotoksin, yang berpotensi menimbulkan dampak buruk terhadap kesehatan manusia dan hewan. Jamur memiliki kemampuan memperoleh nutrisi melalui beberapa jalur, termasuk

yang terjadi di lingkungan pertanian, sebelum dan sesudah panen, serta melalui tahap pemrosesan dan penyimpanan (Húngaro, et al., 2014).

Jamur menunjukkan tingkat keanekaragaman yang tinggi sebagai mikroorganisme, menjadikannya penting dalam konteks industri pangan karena kemampuannya untuk berkembang pada berbagai substrat yang ditandai dengan berbagai tingkat aktivitas air (aw), pH, dan suhu. Mikroba jamur atau kapang memiliki mekanisme adaptif yang memungkinkan mereka berkembang di lingkungan yang sangat asam. Selain itu, jamur atau kapang telah menunjukkan kemampuan untuk mentolerir proses panas dan bertahan pada tingkat aktivitas air yang sangat rendah, seperti 0,75 (Húngaro, et al., 2014).

Keberadaan mikroba tertentu dalam makanan tersebut terutama disebabkan oleh faktor-faktor seperti suhu dan kondisi atmosfer. Suhu dianggap sebagai komponen penting karena kemampuannya memfasilitasi perkembangbiakan kategori mikroorganisme pembusuk tertentu sekaligus menghambat pertumbuhan kelompok mikroba lainnya. Misalnya, perkembangbiakan bakteri psikrotrofik difasilitasi oleh suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan pertumbuhan bakteri mesofil dan termofil (Húngaro, et al., 2014).

Pada *Pseudomonas* spp., bakteri yang tumbuh subur dalam kondisi aerobik dan psikrotrofik, berperan sebagai bakteri pembusuk utama pada daging segar dan daging dingin. Bakteri *Pseudomonas* spp. mampu menyebabkan perubahan warna, rasa, dan rasa karena kemampuannya memecah asam amino dan lipid. Saat bakteri pembusuk mengalami pertumbuhan, mikroorganisme ini menghasilkan lapisan kental pada permukaan luar makanan. Spesies yang disebutkan, termasuk *S. putrefaciens*, *Photobacterium phosphoreum*, dan *Vibrio* spp. tertentu, memiliki peran penting dalam kerusakan makanan laut (Húngaro, et al., 2014).

Pembusukan daging dan produk unggas setelah

penyembelihan, selama pemrosesan dan penyimpanan dapat terjadi salah satunya karena pembusukan atau perusakan oleh mikroba. Semua pangan mentah dan bahan pangan olahan tertentu dapat mengandung mikroba yang pada akhirnya akan menyebabkan pembusukan atau perusakan kecuali dikendalikan atau dihancurkan (USDA, 2018).

Pseudomonas spp., bersama dengan spesies psikrotrofik lainnya, bertanggung jawab atas proteolisis dan ketengikan hidrolitik susu mentah dan produk susu. Serta perubahan permukaan (lendir), pigmentasi, dan aroma keju. Meskipun mentega dan krim memiliki kandungan lemak yang tinggi, namun juga rentan terhadap degradasi oleh kelompok bakteri *Pseudomonas*. Selain perubahan yang disebabkan oleh psikrotrofik dan BAL, keju juga dapat dirusak oleh bakteri coliform (*earlyblowing*) atau bakteri penghasil gas, bakteri anaerobik, bakteri pembentuk spora seperti *Clostridium tyrobutyricum* (*lateblowing*) (Húngaro, et al., 2014).

Telur adalah salah satu bahan makanan yang sangat populer dan sering digunakan dalam berbagai jenis hidangan. Telur menghadapi berbagai hambatan yang menghambat akses dan pertumbuhan mikroorganisme di dalamnya. Mikrobiota dominan yang terlibat dalam penguraian produk ini terdiri dari bakteri Gram-negatif, termasuk *Pseudomonas* spp., yang berkontribusi terhadap pembusukan produk dan menyebabkan perubahan warna (Húngaro, et al., 2014).

Perubahan kecil pada kemasan pangan seperti penggunaan ruang hampa atau atmosfer yang dimodifikasi, berpotensi mengubah profil mikroorganisme pembusuk dari aerobik menjadi fakultatif atau anaerobik ketat. Dalam kondisi penyimpanan seperti ini, nyala pada daging dan produk daging disebabkan oleh bakteri asam laktat (LAB), *Enterobacteriaceae*, dan kadang-kadang oleh *Brochothrix thermosphacta*. *Brochothrix thermosphacta* adalah spesies penting yang terkait dengan pembusukan daging dan

pertumbuhan produk daging dalam kondisi aerobik dan anaerobik (Húngaro, et al., 2014).

Perubahan lain dalam komposisi mikrobiota yang mengurai pangan yang mengandung protein tinggi dapat terjadi akibat perubahan aktivitas udara dan penambahan mikrobiota yang bersaing. Misalnya, proses pengawetan, pengasinan, dan fermentasi produk daging memiliki efek penghambatan terhadap pertumbuhan mikrobiota pembusuk alami dan mendorong pertumbuhan bakteri yang mampu beradaptasi dengan kondisi tersebut, seperti spesies dari genera *Micrococcus* dan *Staphylococcus* serta beberapa bakteri asam laktat (Húngaro, et al., 2014).

Kehadiran nutrisi kompleks dalam buah-buahan dan sayuran, seperti selulosa, polisakarida, hemiselulosa, dan pektin, bersama dengan pH asam dalam beberapa kasus, membatasi pembusukan bakteri pada makanan tersebut. Namun, beberapa bakteri mempunyai kemampuan untuk menghasilkan enzim litik ekstraseluler yang mendegradasi polimer ini, melepaskan nutrisi untuk pertumbuhannya. Proses ini menyebabkan perubahan tekstur pada daging dan menghasilkan senyawa asam, alkohol, dan metabolit yang memiliki aroma dan rasa yang tidak menyenangkan. Spesies bakteri utama yang bertanggung jawab atas fenomena ini (Húngaro, et al., 2014).

2.5 Fermentasi Pangan

Mikrobiologi juga berperan dalam fermentasi pangan. Fermentasi pangan dapat menggunakan fermentasi kultur campuran. Probiotik telah menjadi isu hangat di industri kesehatan selama beberapa tahun. Probiotik berpotensi memiliki peran untuk pencegahan dan terapi untuk kanker, kolesterol serum yang tinggi, penyakit alergi dan infeksi virus. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk melihat sifat probiotik bakteri asam laktat di pangan. Selain itu dievaluasi sifat teknologi strain bakteri asam

laktat (*bifidobacterium*) yang dimiliki oleh ibu dan anak. Serta mempertimbangkan BAL (dua strain *Bifidobacterium breve* dan *Bifidobacterium bifidum*) untuk menjadi kandidat yang baik sebagai kultur tambahan dalam keju sebagai probiotik potensial (Laranjo et al., 2019).

Peneliti mempelajari kelangsungan hidup dan perilaku probiotik BAL dienkapsulasi dalam kondisi pemrosesan yang berbeda dalam jus pangan yang dipasteurisasi, ditemukan bahwa sebagian besar bakteri tidak bertahan pada suhu di atas 50°C atau nilai pH di bawah 3. Selain itu, kelangsungan hidup sel probiotik lebih tinggi dengan butiran hidrogel hibrida yang mengandung alginat dan protein kedelai (Laranjo et al., 2019).

Riset dan inovasi probiotik dalam produksi pangan fungsional mendapat perhatian khusus dan berfokus pada lingkup tertentu. Lingkup tersebut seperti kelangsungan hidup bakteri probiotik potensial di saluran gastrointestinal (GIT), kapasitas perekat mikroba, kapasitas kolonisasi usus, status keamanan strain probiotik, pemeliharaan homeostasis mikrobioma usus, zat bioaktif alami, kapasitas imunomodulasi, antikanker dan manfaat kesehatan lainnya. Pemeliharaan homeostasis mikrobioma usus dengan secara kompetitif menghambat pertumbuhan patogen atau memproduksi senyawa antimikroba (Suzzi and Corsetti, 2020).

Sejarah pangan (makanan dan minuman) fermentasi etnik sudah ada sejak lebih dari 3.500 tahun yang lalu. Pangan tersebut telah berevolusi untuk mengawetkan hasil panen dan produk susu sebagai pangan fermentasi. Pangan fermentasi pada prosesnya seringkali menggunakan back-slopping untuk menginokulasi batch baru dengan mentransfer aliquot dari batch pangan sebelumnya dan membiarkan adaptasi mikroba dan seleksi alam strain. Penggunaan bakteri komensal usus sebagai probiotik potensial,

seperti strain genera *Bacteroides*, *Clostridium*, *Bifidobacterium*, dan *Faecalibacterium*. Strain-strain tersebut yang mendominasi mikrobioma usus manusia (Tamang et al., 2017; Langella et al., 2019).

Fermentasi pangan etnis dan atau tradisional mewakili warisan budaya di tingkat global. Pangan fermentasi tersebut menyimpan potensi genetik yang sangat besar untuk strain yang belum ditemukan. Pada konsumsi makanan fermentasi dan konsumsi minuman fermentasi memiliki manfaat pada kesehatan. Selain itu terdapat aspek tentang peran konsorsium mikroba yang terlibat dalam transformasi bahan hewani dan nabati mentah menjadi pangan fermentasi. Pangan fermentasi tersebut dapat dimakan dengan nilai gizi tinggi dan kaya akan senyawa bioaktif yang bermanfaat bagi konsumen (Ronholm, 2018; Tamang et al., 2017).

Keuntungan produk fermentasi (perpanjangan umur simpan pangan, penghambatan pertumbuhan mikroorganisme patogen, peningkatan sifat organoleptik, peningkatan pencernaan produk). Fermentasi pangan juga dapat menjadi sumber risiko jika dilakukan dalam kondisi yang tidak terkendali (adanya mikroorganisme patogen yang tidak diinginkan, bakteri enterotoksigenik atau enterohemorragik). Dua strain utama yang ditemukan dalam produk fermentasi, *Enterococcus durans* dan *Enterococcus lactis* menghadirkan aspek probiotik, seperti aktivitas hipokolesterolemia dan toleransi terhadap garam empedu dan pH asam. Pada susu mentah, dikonsumsi langsung, atau digunakan untuk menyiapkan keju atau produk susu lainnya tanpa perlakuan panas apa pun, juga merupakan makanan yang sensitif secara mikrobiologis. Mengeksplorasi prevalensi dan keragaman genetik *Staphylococcus aureus* dan *staphylococcal enterotoxins* (SEs) dalam susu mentah (Dufossé dan Medici, 2021).

Pada fermentasi pangan, pemanfaatan fermentasi guna menghasilkan pangan dan bahan pakan yang bermanfaat. Selama

ribuan tahun, manusia telah memfermentasi berbagai produk pertanian untuk menghasilkan alkohol. Misalnya cairan aromatik yang kuat Baijiu yang menggambarkan keanekaragaman, fungsi, dan pengaruh Bacillaceae dalam proses pembuatan minuman. Proses pembuatan minuman dilakukan dengan pencampuran multi-mikroba dan proses fermentasi kooperatif (Dufossé dan Medici, 2021).

2.6 Patogen Pangan

Mikroorganisme yang bersifat patogen bagi manusia dapat tersebar di peternakan. Patogen juga dapat hadir dalam rantai pengolahan pangan. Terkadang industri pangan sangat besar dan kontaminasi pada jalur pengirisan dapat menyebabkan ribuan kasus keracunan pangan. Pengendalian keamanan pangan di rekomendasikan melakukan pengembangan skrining SE yang lebih luas dalam. Sebagian besar isolat enterotoksigenik ditemukan mengandung gen yang mengkode SE (SEG, SEH, dan SEI) yang tidak di skrining secara rutin (Dufossé dan Medici, 2021).

Bakteri terkenal lainnya, *Listeria monocytogenes* sulit dikendalikan di sepanjang rantai produksi pangan secara keseluruhan. Genom *Listeria monocytogenes*, menggunakan tipe urutan multilokus genom inti, mampu mengidentifikasi munculnya varian patogen yang sangat persisten, berkontribusi pada peningkatan karakterisasi bahaya pada manusia dari *Listeria monocytogenes*. Perlu adanya daftar resiko bahaya mikroba terhadap hewan dan manusia. Termasuk menemukan cara untuk mengendalikan atau melumpuhkan mikroba tersebut (Dufossé dan Medici, 2021).

Deteksi patogen bawaan pangan semakin didasarkan pada teknik molekuler. Sebagai contoh antagonisme mikroba dapat terjadi dalam kultur pengayaan pangan. Pada kultur tersebut menghasilkan penghambatan *Escherichia coli* (STEC) penghasil

toksin Shiga, spesies *Shigella*, *Shigella sonnei* (Dufossé dan Medici, 2021).

2.7 Keamanan Pangan

Bidang mikrobiologi pangan, sebagian besar, didorong oleh aspirasi untuk memperkirakan perkembangan dan kelangsungan hidup mikroorganisme secara akurat. Konsep utamanya menyatakan bahwa pengembangan model yang mampu menangkap aktivitas mikroba akan memfasilitasi pembentukan prosedur penilaian risiko dan model jaminan kualitas. Ilmu ekologi mikroba kuantitatif telah memperoleh arti penting dalam bidang operasi manajemen keamanan pangan. Perkembangan ini dapat diamati dalam beberapa pedoman, seperti standar FAO/WHO untuk manajemen risiko mikrobiologi, seperti yang dicontohkan oleh Codex. Meskipun demikian, masih terdapat sejumlah besar ketidakpastian. Populasi bakteri, meskipun memiliki kesamaan genetik yang tinggi, menunjukkan perilaku yang berbeda dan biasanya tidak terdiri dari campuran homogen sel yang identik (Brul et al., 2007).

Mikrobiologi keamanan pangan dipengaruhi oleh teknologi pemrosesan pangan, penggunaan pengawet, sistem pengemasan pangan, transportasi pangan, serta faktor-faktor lain yang memodulasi mikrobioma pangan. Penggunaan antiseptik dapat mencegah kelangsungan hidup bakteri coliform dalam pangan. Mikrobiologi pangan mengevaluasi kualitas mikrobiologis pangan yang dijual di pasar pusat di berbagai negara-negara. Selain itu mikrobiologi pangan mendeteksi tingkat kontaminasi yang tinggi baik pada pangan busuk maupun segar. Kontaminasi tersebut yang mungkin disebabkan oleh sanitasi yang buruk, penanganan yang tidak tepat, atau pengangkutan dari pertanian ke pasar (Laranjo et al., 2019).

Setiap jenis makanan memiliki mikrobiota unik tersendiri, yang mungkin menunjukkan karakteristik berbeda selama

berbagai tahap pembuatan dan kondisi penyimpanan tertentu. Mikrobiota yang ada dalam makanan olahan terdiri dari bakteri yang berasal dari bahan mentah yang menjalani berbagai tahap pemrosesan, pengawetan, dan penyimpanan. Selain itu, termasuk mikroba yang secara tidak sengaja mengkontaminasi pangan selama penanganan dan pengolahannya (Húngaro, et al., 2014).

Dalam arti luas, diketahui secara luas bahwa banyak bakteri yang terkandung dalam pangan memiliki kemampuan untuk menghasilkan metabolit yang dianggap tidak diinginkan bila pertumbuhannya melebihi ambang batas tertentu. Perkembangbiakan bakteri pembusuk pada makanan dapat menyebabkan perubahan atribut sensori, termasuk warna, bau, tekstur, dan tampilan visual. Selain itu, bakteri tertentu mempunyai potensi bahaya bagi kesehatan manusia dan diklasifikasikan sebagai patogen (Húngaro, et al., 2014).

Manifestasi penyakit akan bergantung pada beberapa faktor yang berhubungan dengan pangan, mikroba patogen, dan individu yang terkena. Banyak mikroba yang terdapat secara alami dalam pangan, terkadang sebagai cemaran yang tidak disengaja. Bakteri sangat lazim dalam konteks patogenik dan pembusukan, sehingga menunjukkan keunggulan yang signifikan (Húngaro, et al., 2014).

Virus, protozoa, dan parasit merupakan kontributor signifikan terhadap terjadinya penyakit bawaan pangan di banyak negara. Resistensi mikroba terhadap prosedur mematikan yang digunakan dalam pengolahan pangan menunjukkan variabilitas. Meskipun mikroorganisme ini memiliki ciri umum yaitu tidak dapat berkembang biak pada pangan, terdapat kemungkinan bahwa mikroorganisme tersebut tetap dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya pada substrat pangan (Húngaro, et al., 2014).

Bakteriofag mulai digunakan di beberapa belahan dunia untuk melawan infeksi bakteri pada manusia, terutama ketika

tidak tersedia antibiotik aktif. Pengendalian bakteriofag sebagai alat pengendalian bakteri dan indikator keamanan lingkungan dalam konteks rantai pangan. Ekologi rantai pangan merupakan proses yang sangat sensitif terhadap lingkungan, keberadaan mikroorganisme, dan suksesinya dari waktu ke waktu (Dufossé dan Medici, 2021).

Mikroorganisme seperti patogen dapat dihilangkan dengan desinfektan di industri pengolahan pangan merupakan hal yang diinginkan dan wajib. Penggunaan cairan ionik (ionic liquids/ILs) digunakan sebagai antimikroba telah dilaporkan efektif melawan strain resisten yang dapat berinteraksi dengan sel bakteri dalam berbagai cara (hubungan struktur-aktivitas, efek rantai samping, kelompok utama kationik, dampak pada pompa penghabisan multi obat) (Dufossé dan Medici, 2021).

Sebuah metodologi yang didasarkan pada kombinasi dua pendekatan yang saling melengkapi untuk menentukan peringkat risiko mikrobiologis dalam pangan yang disajikan. Dalam pendekatan ke depan, data mengenai patogenisitas bahaya dan perilakunya pada pangan selama proses pengolahan dan tahap selanjutnya, hingga konsumsi, digunakan dalam pohon keputusan untuk memperkirakan secara kualitatif risiko yang terkait dengan pangan. Sementara, dalam pendekatan mundur, risiko dievaluasi berdasarkan analisis data yang tersedia tentang kejadian bahaya dan kejadian luar biasa akibat bakteri bawaan pangan di masa lalu. Metode ini dianggap cocok untuk diterapkan dengan sukses pada berbagai jenis pangan, dan diusulkan sebagai alat bagi manajemen risiko untuk mengurutkan pangan berdasarkan potensi risiko keamanan pangannya (Stella et al., 2013).

Mikrobiologi pangan termasuk mencakup studi yang berhubungan dengan antibioresistensi pada bakteri yang diisolasi dari produk pangan (makanan dan atau minuman). Mikrobiologi pangan juga mempelajari dasar sumber strain bakteri yang resisten. Mikrobiologi pangan juga mempelajari kemampuannya

untuk membentuk biofilm (Laranjo et al., 2019).

Mikrobiologi pangan mencakup studi tentang mikroorganisme, yang memiliki efek menguntungkan dan merugikan pada kualitas, dan keamanan daging mentah dan olahan, unggas, dan produk telur. Mikrobiologi pangan berfokus pada biologi umum mikroorganisme yang ditemukan dalam makanan termasuk karakteristik pertumbuhan, identifikasi, dan patogenesis nya. Secara khusus, bidang minat yang menyangkut mikrobiologi pangan adalah keracunan pangan, pembusukan pangan, pengawetan pangan, dan undang-undang pangan (USDA, 2011).

Mikrobiologi pangan mempelajari prevalensi dan profil kerentanan antimikroba. Mikrobiologi pangan mempelajari mendeteksi strain yang resisten terhadap berbagai obat. Mikrobiologi pangan yang resisten terhadap obat yang menimbulkan masalah kesehatan masyarakat yang besar, menyiratkan perlunya biosekuriti yang ketat dan pengaturan penggunaan antimikroba (Laranjo et al., 2019).

Mikrobiologi pangan menyoroti kebutuhan untuk mengembangkan langkah-langkah intervensi untuk mencegah kontaminasi dengan spektrum luas. Langkah intervensi tersebut sehingga menghindari paparan terhadap manusia. Mikrobiologi pangan juga mempelajari pelepasan resistensi antibiotik lebih lanjut ke lingkungan (Laranjo et al., 2019).

Beberapa penelitian telah membahas keragaman genetik yang terjadi pada patogen pangan. Mikrobiologi pangan mempelajari prevalensi, keragaman genetik, dan profil resistensi antibiotik. Hal-hal tersebut dipelajari pada mikroba di tingkat hulu rantai pangan dan menyimpulkan bahwa tindakan higienis diperlukan untuk mengurangi penyebaran mikroba di sepanjang rantai pangan (Laranjo et al., 2019).

Pada mikrobiologi pangan juga mengkarakterisasi keragaman genetik strain mikroba. Keragaman genetik strain

mikroba yang dianalisis genetiknya dapat digunakan untuk identifikasi dan diferensiasi intraspecies mikroba. Hal tersebut untuk mempelajari kemampuan industri pangan, isolat mikroba secara klinis dan pembentukan biofilm. Mikroba juga di evaluasi kelebihan dan kekurangan penggunaan multiplex real-time PCR untuk mengukur mikroba dalam matriks pangan yang berbeda. Mikrobiologi pangan juga mempelajari kemampuan invasif mikroba dan pengaruh paparan stres terhadap invasivitas mikroba (Laranjo et al., 2019).

Bakteri patogen yang terkait dengan penyakit bawaan pangan di seluruh dunia termasuk *Salmonella enterica*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Cronobacter sakazakii*, *Vibrio cholerae*, dan *Vibrio parahaemolyticus*. Penelitian-penelitian telah dilakukan mengenai kemampuan pulihnya bakteri patogen bawaan pangan hingga patogenesis, kemampuan strategi kontrol, resistensi antibiotik, virus enterik, toksin bakteri, response stress, aplikasi kultur pelindung, bakteriosin untuk pengawetan pangan, dan metode baru untuk mempelajari patogen bawaan pangan. Pemantauan kontaminan pangan secara terus menerus dan identifikasi faktor risiko sangat penting untuk memastikan keamanan pangan (Suzzi and Corsetti, 2020; Hati et al., 2020).

Berbagai macam bakteri pangan, patogen atau tidak, telah dideskripsikan memiliki banyak mekanisme adaptif dan respons stres spesifik yang berguna untuk menjamin dan meningkatkan kebugaran di bawah lingkungan tertentu. Respons stres bakteri yang penting terkait dengan perlindungan silang, yang memainkan peran penting dalam pangan yang diproses secara minimal. Pemantauan kontaminan pangan secara terus menerus dan identifikasi faktor risiko sangat penting untuk memastikan keamanan makanan (Ruiz et al., 2017; Hati et al., 2020; Chen dan Alali, 2018).

Stres sub-mematikan dapat menyebabkan berbagai respons stres yang menimbulkan masalah kesehatan masyarakat. Masalah kesehatan masyarakat ditimbulkan karena banyak bakteri patogen dapat menjadi resisten terhadap teknologi atau pemrosesan pengawetan baru. Banyak patogen yang terluka dapat mempertahankan atau menunjukkan peningkatan virulensi dalam pangan, sehingga membuat deteksi patogen resisten penting untuk melindungi rantai pasokan pangan. Selain itu, fraksi sel dari populasi bakteri yang tertekan atau stres dapat tetap aktif secara metabolik. Bakteri tersebut memasuki keadaan fisiologis yang tidak dapat dikulturkan dan merupakan tantangan bagi metode analitik mikrobiologi makanan tradisional (Ruiz et al., 2017; Hati et al., 2020).

2.8 Aplikasi Teknologi

Mikrobiologi pangan juga menggunakan aplikasi teknologi. Teknologi tersebut misalnya tekanan isostatik tinggi untuk memastikan keamanan mikroba dari jus sayuran yang disimpan dalam jangka panjang. Mikrobiologi pangan juga mengevaluasi efek penghambatan strain Bakteri Asam Laktat terhadap patogen bawaan pangan dalam jus pangan yang difermentasi mengalami kontaminasi secara artifisial. Strain yang diuji adalah starter potensial untuk mengembangkan produk jus pangan yang bergizi dan aman difermentasi, karena mikroba BAL menunjukkan tingkat kelangsungan hidup yang tinggi, sementara jumlah bakteri patogen, ragi, dan kapang menurun drastis selama penyimpanan (Laranjo et al., 2019).

2.9 Prediktif

Mikrobiologi pangan selalu menjadi bidang pemodelan matematika yang aktif dan telah mengikuti tren sektor medis, didorong oleh kebutuhan akan analisis yang andal. Mikrobiologi prediktif telah begitu tersebar luas sehingga sekarang menjadi

salah satu sub-spesialisasi mikrobiologi pangan yang paling cepat berkembang. Mikrobiologi pangan prediktif didasarkan pada asumsi bahwa respons mikroorganisme terhadap faktor lingkungan dapat direproduksi dan dimungkinkan untuk memprediksi respons mikroorganisme di lingkungan tertentu. Kebutuhan untuk menjamin keamanan mikrobiologi telah mendorong minat dalam penggunaan model matematis untuk mengukur dan memprediksi perilaku mikroba. Mikrobiologi pangan prediktif bisa menjadi keuntungan bagi ahli mikrobiologi pangan, yang memungkinkannya dengan cepat mengeksplorasi dampak mikrobiologis dari berbagai kondisi di dalam pangan. Mikrobiologi makanan prediktif (predictive food microbiology–PFM) adalah bidang mikrobiologi pangan yang mencakup disiplin ilmu seperti matematika, mikrobiologi, teknik, dan kimia (Sadiku et al., 2019).

Mikrobiologi pangan juga mengetahui tentang deteksi patogen mikroba dalam berbagai macam pangan dan pengembangan model prediksi yang akurat untuk pertumbuhan, kelangsungan hidup, atau kematian patogen mikroba dalam berbagai macam pangan. Memprediksi jumlah mikroorganisme pangan melalui pemodelan, berbagai jenis pemodelan, dan kecukupan beberapa pangan. Sebagai contoh pada pengembangan Model Analisis Dimensi bakteri *Pseudomonas* di daging sapi kering fermentasi tradisional. Model DAM merupakan model yang sederhana, terpadu dan efektif untuk memprediksi jumlah mikroorganisme dan lama penyimpanan (Dufossé dan Medici, 2021).

2.10 Rangkuman

Mikrobiologi pangan merupakan studi yang memahami tentang mikroorganisme yang mengkolonisasi, memodifikasi, memproses, atau mencemari dan merusak pangan. Mikrobiologi pangan berkaitan dengan makanan dan minuman dengan

komposisi beragam. Mikrobiologi pangan termasuk mikroorganisme yang memiliki efek menguntungkan. Mikrobiologi keterlibatan tersebut berada di teknologi pangan, keamanan pangan, kebersihan pangan, keracunan pangan, genomik pangan, omik pangan, pangan fungsional, dan probiotik. Mikrobiologi juga terlibat pada adanya metodologi baru yang telah diterapkan pada analisis pangan.

TUGAS DAN EVALUASI

- 1) Apa yang saudara ketahui mengenai Mikrobiologi pangan?

DAFTAR PUSTAKA

- Brul, S., van Gerwen, S. J. C., & Zwietering, M. H. 2007. Introduction. Modelling Microorganisms in Food, 1–4. doi:10.1533/9781845692940.1
- Chen L, and Alali W. 2018. Editorial: recent discoveries in human serious foodborne pathogenic bacteria: resurgence, pathogenesis, and control strategies. *Front. Microbiol.* 9:2412. doi: 10.3389/fmicb.2018.02412
- Hati RP, Dewanti-Hariyadi R, and Nuraida, L. 2020. Cronobacter sakazakii local isolates response to acid stress and their resuscitability. *Food Research*: 4 (1), p 244 - 253. DOI : 10.26656/fr.2017.4(1).257
- Langella P, Guarner F, and Martín R. 2019. Editorial: next-generation probiotics: from commensal bacteria to novel drugs and food supplements. *Front. Microbiol.* 10:1973. doi: 10.3389/fmicb.2019.01973
- Húngaro HM, Peña WEL, Silva NBM, Carvalho RV, Alvarenga VO, and Sant'Ana AS. 2014. Food Microbiology. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 213–231. doi: 10.1016/b978-0-444-52512-3.00059-0
- Laranjo M, Córdoba M de G, Semedo-Lemsaddek T, and Potes ME. 2019. Food Microbiology. *BioMed Research International*: 2019, pg 1–2. doi:10.1155/2019/8039138
- Ronholm, J. 2018. Editorial: game changer - next generation sequencing and its impact on food microbiology. *Front. Microbiol.* 9:363. doi: 10.3389/fmicb.2018.00363
- Ruiz L, Aertsen A, Nguyen-The C, Gänzle MG, and Alvarez-Ordóñez, A. 2017. Editorial: industrial and host associated stress responses in food microbes. implications for food technology and food safety. *Front. Microbiol.* 8:1522. doi: 10.3389/fmicb.2017.01522

- Sadiku MNO, Ashaolu TJ, Musa SM. 2019. Food Microbiology. International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD): Volume 3, Issue 4, pp.837-838. ISSN: 2456-6470. URL: <https://www.ijtsrd.com/papers/ijtsrd23951.pdf>
- Suzzi G and Corsetti A. 2020. Food Microbiology: The Past and the New Challenges for the Next 10 Years. *Front. Microbiol.* 11:237. doi: 10.3389/fmicb.2020.00237
- Tamang JP, Holzapfel WH, Shin DH, and Felis GE. 2017. Editorial: microbiology of ethnic fermented foods and alcoholic beverages of the world. *Front. Microbiol.* 8:1377. doi: 10.3389/fmicb.2017.01377
- [USDA] United States Department of Agriculture. 2011. Disposition/Food Safety: Overview of Food Microbiology. URL : https://www.fsis.usda.gov/sites/default/files/media_file/2020-08/PHVt-Food_Microbiology.pdf
- [USDA] United States Department of Agriculture. 2018. Food Microbiology, Fundamental Food Microbiology. URL : https://www.fsis.usda.gov/sites/default/files/media_file/2021-02/10_IM_Food_Micro.pdf
- Dufossé L, De Medici D. 2021. Insights in Food Microbiology: 2021. *Front. Microbiol.*, 08 November 2022. Sec. Food Microbiology. Volume 13 - 2022. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1068066>
- Stella, P., Cerf, O., Hugas, M., Koutsoumanis, K. P., Nguyen-The, C., Sofos, J. N., Valero A., Zwietering, M. H. 2013. Ranking the microbiological safety of foods: A new tool and its application to composite products. *Trends in Food Science & Technology*, 33(2), 124–138. doi:10.1016/j.tifs.2013.07.005

BAB 3

MOST PROBABLE NUMBER

Oleh Andi Nur Asrinawaty

3.1 Pendahuluan

Most probable number (MPN) merupakan metode untuk menghitung kemungkinan jumlah bakteri pada sampel minuman dan makanan. Metode ini juga diaplikasi pada bidang farmasi, lingkungan, air, pertanian, minyak bumi, dan unggas. (Goldman & Green, 2009). MPN lebih umum digunakan untuk menghitung mikroorganisme indikator yaitu koliform total, koliform fekal dan *Escherichia coli* dalam air dan makanan (Silva et al., 2019).

MPN digunakan untuk menghitung konsentrasi bakteri yang rendah (<100/g) terutama dalam susu dan air, bakteri yang sulit tumbuh pada media padat atau pada sampel makanan yang partikelnya dapat mengganggu jumlah koloni yang akurat. MPN tidak dapat digunakan dalam enumerasi jamur pada sampel (Blodgett, 2020; Goldman & Green, 2009). Metode MPN telah dikembangkan untuk memperluas penggunaan dengan memanfaatkan media padat, microtiter plate, reagen kolorimetri atau media substrat tertentu (Goldman & Green, 2009).

3.2 Prinsip Most Probable Number

Metode MPN digunakan untuk menghitung estimasi jumlah bakteri dengan menginokulasikan sampel ke serangkaian tabung yang berisi media cair (Silva et al., 2019). MPN dinilai sebagai perkiraan *growth units* (GUs) atau *colony-forming units* (CFUs) (Blodgett, 2020). Sensitivitas teknik MPN bergantung pada gabungan volume sampel yang diuji dalam porsi yang lebih kecil. (Chandrapati & Williams, 2014). Penentuan jumlah

mikroorganisme berdasarkan prinsip bahwa, dengan membagi sampel menjadi beberapa replikasi, maka beberapa tabung replikasi akan mengandung mikroorganisme sedangkan yang lainnya tidak, bergantung pada jumlah mikroorganisme dalam sampel. Setiap tabung yang mengandung satu organisme hidup akan menghasilkan pertumbuhan atau perubahan yang dapat dideteksi. Jumlah tabung dengan pertumbuhan positif (ada mikroorganisme) dan tabung dengan pertumbuhan negatif (tidak ada mikroorganisme) menunjukkan estimasi konsentrasi awal mikroorganisme dalam sampel yang tidak diencerkan. (Blodgett, 2020; Silva et al., 2019).

3.2.1 Pengenceran bertingkat

Uji pengenceran bertingkat (*multiple dilution*) adalah teknik MPN yang paling umum digunakan, karena memungkinkan cakupan berbagai konsentrasi mikroba dalam sampel, dengan memvariasikan pengenceran yang diinokulasi. (Silva et al., 2019). Prosedur standar MPN menggunakan minimal tiga tingkat pengenceran dan 3, 5, atau 10 tabung replikasi per pengenceran. Jika lebih dari tiga pengenceran digunakan, maka disarankan hasil dari tiga pengenceran berturut-turut digunakan untuk menentukan nilai MPN. (Chandrapati & Williams, 2014).

Pemilihan tingkat pengenceran akan bergantung pada perkiraan tingkat kontaminasi sampel. Jika diperkirakan tingkat kontaminasi berkisar antara 3 hingga 1.000/g atau mL, menggunakan tingkat pengenceran 10^{-1} , 10^{-2} dan 10^{-3} . Jika kontaminasi dianggap lebih tinggi, maka dilakukan pengenceran lebih tinggi. Jika tidak dapat diperkirakan, maka dilakukan lebih dari tiga pengenceran yang diinokulasikan. Jika perkiraan kontaminasi berada di bawah kisaran ini, volume sampel yang belum diencerkan (sampel cair) atau pengenceran pertama (sampel padat) dapat diinokulasi dalam jumlah yang lebih besar, sehingga secara proporsional meningkatkan volume media kultur. Misal dengan menginokulasikan 10 mL

sampel cair tanpa pengenceran atau 10 ml pengenceran pertama dari sampel padat ke dalam 10 mL media kultur *double strength*. (Silva et al., 2019)

3.2.2 Pengenceran tunggal

Uji pengenceran tunggal (*single dilution*) jarang dilakukan dan diperuntukkan pemeriksaan sampel dengan tingkat kontaminasi rendah, sehingga tidak dapat dilakukan pengenceran. Prosedur standar terdiri dari menginokulasi lima atau 10 mL sampel cair atau dari pengenceran pertama sampel padat ke dalam 10 mL media kultur *double strength*. Jumlah ini dapat bervariasi tergantung pada tingkat kontaminasi sampel. (Silva et al., 2019).

Kelebihan metode MPN antara lain mudah diinterpretasikan, teknik yang efektif untuk menganalisis sampel yang sangat keruh, analisis MPN adalah teknik statistik yang didasarkan pada penyebaran mikroorganisme secara acak per volume dalam suatu sampel, media dengan indikator akan memberikan perubahan warna yang khas jika terdapat pertumbuhan bakteri dan berdasarkan jumlah reaksi positif, mikroba indikator pada sampel dapat diperkirakan secara statistik (Erkmen, 2022). Metode MPN memungkinkan untuk menginokulasi sampel dalam jumlah yang lebih besar dengan meningkatkan volume media kultur secara proporsional. Hal ini memberikan sensitivitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan metode penghitungan lempeng agar dan juga meningkatkan fleksibilitas untuk menetapkan batas deteksi. (Silva et al., 2019)

3.3 Pengujian koliform menggunakan MPN

MPN sering digunakan untuk estimasi jumlah koliform atau *E.coli* dalam sampel, khususnya air. Kelompok bakteri koliform adalah subgrup Enterobacteriaceae yang memfermentasi laktosa dan menghasilkan gas pada suhu pertumbuhan 35°C.

Koliform total merupakan kelompok bakteri koliform yang ditemukan pada saluran cerna hewan berdarah panas termasuk manusia (*E. coli*), juga non-enterik (misal *Citrobacter*, *Klesbsiella* dan *Serratia*). Kelompok bakteri koliform total yang memiliki kemampuan untuk fermentasi laktosa dan memproduksi gas pada suhu 44.5°C hingga 45.5°C disebut sebagai koliform fekal. Pada prinsipnya hal ini untuk membedakan antara kelompok bakteri *E. coli* dan nonenterik. (Silva et al., 2019).

Bakteri *E. coli* merupakan kelompok koliform total dan koliform fekal. Bakteri ini indikator yang baik untuk kontaminasi feces karena ditemukan di usus manusia dan hewan berdarah panas lainnya serta tidak ditemukan secara rutin di tanah atau air, mudah diidentifikasi melalui uji mikrobiologi, dan tidak membutuhkan nutrisi khusus, sehingga dapat bertahan lebih lama dalam sampel (Brown & Smith, 2015).

Deteksi koliform digunakan sebagai indikator kualitas sanitasi air atau sebagai indikator umum kondisi sanitasi di lingkungan pengolahan makanan. Koliform fekal menjadi indikator standar pilihan untuk perairan, dan *E. coli* digunakan untuk menunjukkan kontaminasi feces atau pengolahan yang tidak sehat (Feng et al., 2020). Pengujian ada atau tidaknya koliform melalui tiga tahapan yaitu uji penduga, uji penegas dan uji pelengkap (Brown & Smith, 2015; Prescott, 2002).

3.3.1 Uji Penduga

Pada bagian ini, prosedur pengujian koliform sebagai contoh teknik MPN. Pada uji kualitas air, metode pengujian dapat berbeda bergantung pada apakah air tersebut diolah atau tidak diolah. Jika sampel adalah air permukaan, maka menggunakan sembilan tabung, sedangkan jika menggunakan air permukaan yang keruh maka ditambahkan tiga tabung yang berisi media *single strength*. (Brown & Smith, 2015).

Secara aseptis inokulasikan sample yang telah diencerakan (tiga pengenceran berturut-turut), masing-masing 1 ml dari setiap

pengenceran ke 3 tabung media *lactose broth* (LB) atau *lauryl sulfatetriptose* (LST) *broth* untuk analisis serial 3 tabung MPN atau 5 tabung media LB atau LST jika analisis 5 serial tabung MPN (Feng et al., 2020). Atau 10 ml, 1 ml dan 0,1 ml sampel ke masing-masing 3 atau 5 serial tabung. (Prescott, 2002) Pengamatan pertumbuhan bakteri dilakukan setelah diinkubasi 24-48 jam pada suhu 35°C.

Hasil positif pada uji ini diketahui melalui:

1. Kekeruhan. Media yang berubah keruh setelah inkubasi menunjukkan adanya pertumbuhan mikroorganisme.
2. Produksi gas. Hasil positif jika ditemukan gelembung gas berupa ruang kosong pada tabung Durham setelah diinkubasi.
3. Produksi asam. Produksi asam atau basa dapat dideteksi pada media yang mengandung pH indikator melalui perubahan warna media. Penurunan indikator pH dapat menyebabkan perubahan warna seiring dengan produksi asam dalam media, ditandai dengan media menjadi berwarna kuning (Erkmen, 2022).

3.3.2 Uji Penegas

Semua tabung positif dari uji penduga digunakan dalam uji penegas. Satu loop suspensi dari uji penduga yang positif diinokulasi ke media Brilliant Green Lactose Bile Broth (BGLB) dan diinkubasi selama 24-48 jam pada suhu 35 °C. Hasil positif jika terbentuk gas dan/atau asam. Untuk penegasan koliform fekal dan *E. coli* digunakan media *E. coli* Broth dan diinkubasi pada suhu 45,5 °C atau 44.5°C. (Feng et al., 2020; Silva et al., 2019)

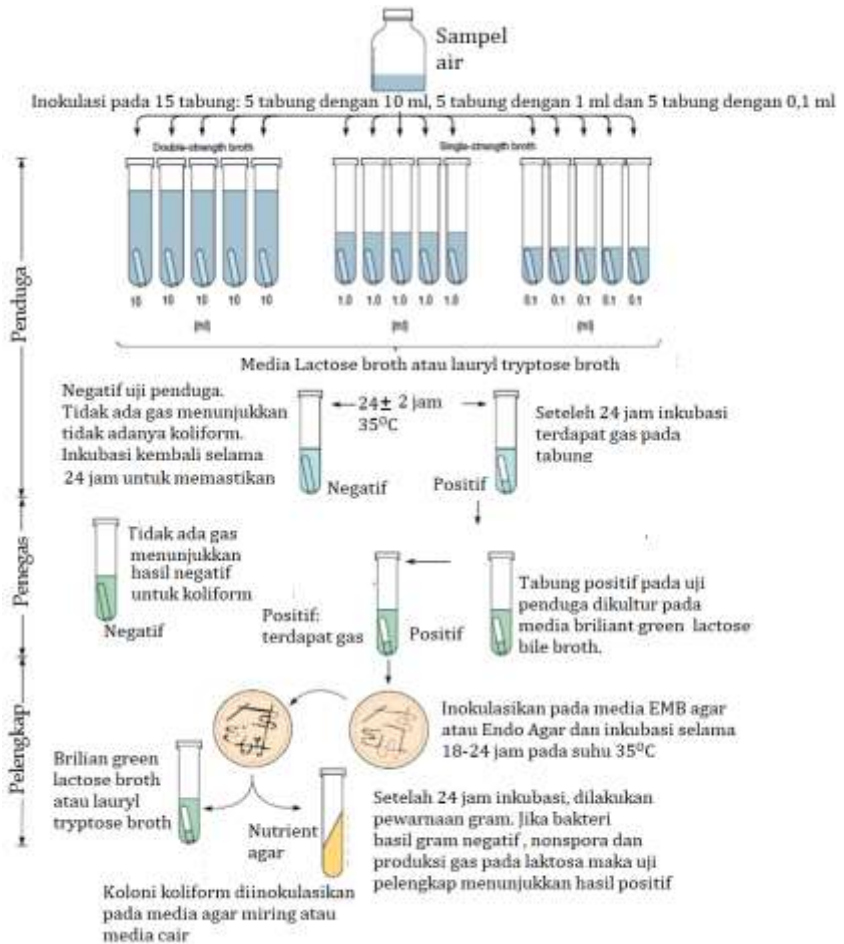
3.3.3 Uji Pelengkap

Tabung yang menunjukkan pertumbuhan positif pada uji penegas disubkultur pada media EMB agar atau ENDO agar dan diinkubasi pada suhu 35°C selama 18-24 jam (Feng et al., 2020; Prescott, 2002) atau disubkultur pada PCA (Erkmen, 2022). Pada EMB agar, koliform menghasilkan koloni kecil dengan bagian

tengah gelap sedangkan pada Endo agar, koliform menghasilkan koloni berwarna kemerahan(Prescott, 2002). Hasil kultur dilakukan pewarnaan gram untuk memastikan bakteri tersebut merupakan basil gram negatif dan tidak berspora. (Erkmen, 2022; Feng et al., 2020; Prescott, 2002). Selain itu dapat pula dilakukan uji biokimia iMViC (Brown & Smith, 2015; Silva et al., 2019).

Pengujian tahap ini bersifat opsional. Sejumlah laboratorium menyimpulkan hasil pada tahap uji penegas dan ketika keberadaan *E. coli* dapat dipastikan, maka pengujian itu dianggap “lengkap” (Silva et al., 2019).

Prediksi nilai MPN total koliform dan koliform fekal berasal dari kombinasi tabung positif yang dibandingkan dengan tabel MPN (serial 3 tabung atau serial 5 tabung).(Silva et al., 2019)



Gambar 3.1. Pengujian koliform pada air : Uji penduga (terdiri dari 5 seri tabung MPN), uji penegas dan uji pelengkap
Sumber : (Prescott, 2002)

3.4 Perhitungan Nilai MPN

Kombinasi tabung positif dalam teknik MPN memungkinkan estimasi, berdasarkan probabilitas perhitungan,

kepadatan mikroorganisme target dalam sampel. Hasil kombinasi dapat dilihat pada tabel yang telah disediakan (Silva et al., 2019).

Jika hasil pengujian MPN seri 3 tabung (setiap pengenceran menggunakan 3 replikasi) menunjukkan 3 tabung positif pada sampel 0.1 g atau ml (10^{-1}), 2 tabung positif pada sampel 0.01 g atau ml (10^{-2}), dan 1 tabung positif pada sampel 0.001 g atau ml (10^{-3}) maka dibaca sebagai 3-2-1 maka nilai MPN adalah 150 MPN/gr atau 150 MPN/ml (Tabel 3.1) (Erkmen, 2022). Jika menggunakan serial 5 tabung MPN maka hasil dilihat pada Tabel 3.2. Jika volume sampel yang digunakan 10 ml, 1 ml dan 0,1 ml baik pada serial replikasi tiga tabung maupun lima tabung, maka hasilnya dinyatakan dalam MPN/100 ml.

Tabel 3.1. Nilai MPN untuk tiga pengenceran menggunakan tiga serial tabung (dalam gr atau ml)

Tabung Positif			MPN	Tabung Positif			MPN
0.1	0.01	0.001		0.1	0.01	0.001	
0	0	0	< 3.0	2	2	0	21
0	0	1	3.0	2	2	1	28
0	1	0	3.0	2	2	2	35
0	1	1	6.1	2	3	0	29
0	2	0	6.2	2	3	1	36
0	3	0	9.4	3	0	0	23
1	0	0	3.6	3	0	1	38
1	0	1	7.2	3	0	2	64
1	0	2	11	3	1	0	43
1	1	0	7.4	3	1	1	75
1	1	1	11	3	1	2	120
1	2	0	11	3	1	3	160
1	2	1	15	3	2	0	93
1	3	0	16	3	2	1	150
2	0	0	9.2	3	2	2	210

Tabung Positif			MPN	Tabung Positif			MPN
0.1	0.01	0.001		0.1	0.01	0.001	
2	0	1	14	3	2	3	290
2	0	2	20	3	3	0	240
2	1	0	15	3	3	1	460
2	1	1	20	3	3	2	1100
2	1	2	27	3	3	3	>1100

Sumber: (Blodgett, 2020)

Tabel 3.2. Nilai MPN untuk tiga pengenceran menggunakan 5 serial tabung (dalam gr atau ml)

Tabung Positif			MPN
0.1	0.01	0.001	
0	0	0	<1.8
0	0	1	1.8
0	1	0	1.8
0	1	1	3.6
0	2	0	3.7
0	2	1	5.5
0	3	0	5.6
1	0	0	2
1	0	1	4
1	0	2	6
1	1	0	4
1	1	1	6.1
1	1	2	8.1
1	2	0	6.1
1	2	1	8.2
1	3	0	8.3
1	3	1	10
1	4	0	11

Tabung Positif			MPN
0.1	0.01	0.001	
2	0	0	4.5
2	0	1	6.8
2	0	2	9.1
2	1	0	6.8
2	1	1	9.2
2	1	2	12
2	2	0	9.3
2	2	1	12
2	2	2	14
2	3	0	12
2	3	1	14
2	4	0	15
3	0	0	7.8
3	0	1	11
3	0	2	13
3	1	0	11
3	1	1	14
3	1	2	17
3	2	0	14
3	2	1	17
3	2	2	20
3	3	0	17
3	3	1	21
3	3	2	24
3	4	0	21
3	4	1	24
3	5	0	25
4	0	0	13
4	0	1	17

Tabung Positif			MPN
0.1	0.01	0.001	
4	0	2	21
4	0	3	25
4	1	0	17
4	1	1	21
4	1	2	26
4	1	3	31
4	2	0	22
4	2	1	26
4	2	2	32
4	2	3	38
4	3	0	27
4	3	1	33
4	3	2	39
4	4	0	34
4	4	1	40
4	4	2	47
4	5	0	41
4	5	1	48
5	0	0	23
5	0	1	31
5	0	2	43
5	0	3	58
5	1	0	33
5	1	1	46
5	1	2	63
5	1	3	84
5	2	0	49
5	2	1	70
5	2	2	94

Tabung Positif			MPN
0.1	0.01	0.001	
5	2	3	120
5	2	4	150
5	3	0	79
5	3	1	110
5	3	2	140
5	3	3	180
5	3	4	210
5	4	0	130
5	4	1	170
5	4	2	220
5	4	3	280
5	4	4	350
5	4	5	430
5	5	0	240
5	5	1	350
5	5	2	540
5	5	3	920
5	5	4	1600
5	5	5	>1600

Sumber : (Blodgett, 2020)

DAFTAR PUSTAKA

- Blodgett, R. J. 2020. *BAM Appendix 2: Most Probable Number from Serial Dilutions / FDA*. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-appendix-2-most-probable-number-serial-dilutions>
- Brown, A., & Smith, H. 2015. Benson's Microbiological Applications: Laboratory Manual in General Microbiology. In *Benson's Microbiological Applications* (13th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chandrapati, S., & Williams, M. G. 2014. Total Viable Counts: Most Probable Number (MPN). In *Encyclopedia of Food Microbiology* (Second Edi, Vol. 3, pp. 621–624). Elsevier.
- Erkmen, O. 2022. *Microbiological Analysis of Foods and Food Processing Environments* (Issue 1). Academic Press.
- Feng, P., Stephen D. Weagant, Michael A. Grant, & Burkhardt, W. 2020. *BAM Chapter 4: Enumeration of Escherichia coli and the Coliform Bacteria / FDA*. FDA. <https://www.fda.gov/food/laboratory-methods-food/bam-chapter-4-enumeration-escherichia-coli-and-coliform-bacteria>
- Goldman, E., & Green, L. H. 2009. *Practical Handbook of Microbiology* (2nd ed.). CRC Press.
- Prescott, H. 2002. Laboratory Exercises in Microbiology. In *The McGraw-Hill Companies* (fifth). The McGraw-Hill Companies.
- Silva, N. da, Taniwaki, M. H., Junqueira, V. C. A., Silveira, N. F. A., Okazaki, M. M., & Gomes, R. A. R. 2019. Microbiological Examination Methods of Food and Water: A Laboratory Manual. In *Institute of Food Technology*. CRC Press.

BAB 4

STANDAR PLATE COUNT

Oleh Indra Taufik Sahli

4.1 Pendahuluan

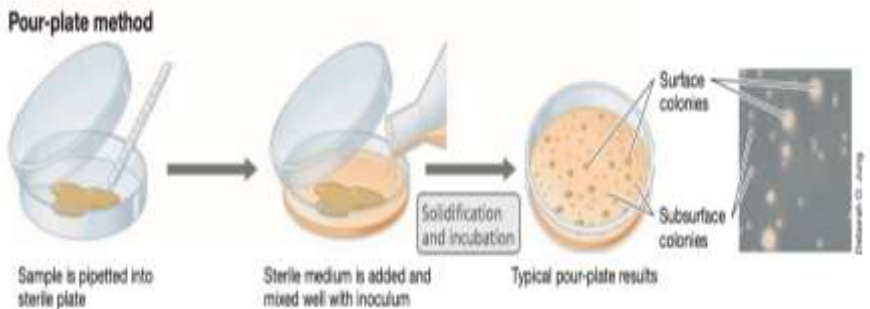
Selama lebih dari 100 tahun, metode dasar yang digunakan untuk menghitung bakteri dalam air, makanan atau bahan lainnya disebutkan dalam berbagai istilah seperti; *bacterial plate count* (BPC), *total plate count* (TPC), *total viable plate count* (TVPC), *aerobic plate count* (APC), *standard plate count* (SPC), dan baru-baru ini istilah yang sering digunakan adalah *heterotrofik plate count* (HPC). Beberapa dari nama ini terus digunakan di AS dalam aplikasi selain air minum di mana HPC sekarang menjadi nama yang disukai. Sedangkan di Indonesia sering menggunakan istilah *total plate count* (TPC) atau angka lempeng total (ALT) (Reasoner, 2004).

4.2 Standar Plate Count

Standar Plate Count (SPC) merupakan salah satu metode untuk mengukur pertumbuhan bakteri. Teknik ini bergantung pada fakta bahwa dalam kondisi yang tepat, hanya bakteri hidup yang akan membelah dan membentuk koloni yang terlihat pada agar plate. Agar plate adalah cawan petri yang berisi media nutrisi yang dipadatkan dengan agar dan mengandung kompleks polisakarida. Karena sulit untuk menghitung jumlah bakteri lebih dari 300 koloni pada satu cawan, maka kultur bakteri asli perlu diencerkan sebelum dipindahkan ke cawan padat dengan volume kultur yang diketahui (Black & Black, 2015).

4.2.1 Metode Tuang (*pour plate*).

Metode tuang atau *pour plate* telah menjadi metode andalan dalam memperkirakan jumlah kandungan bakteri dalam air minum. Metode ini sederhana, mudah digunakan, berbiaya rendah dan dapat digunakan dengan media non-selektif untuk penentuan jumlah bakteri, dan dengan berbagai media selektif untuk deteksi dan pemulihan organisme target yang spesifik. Namun ada beberapa kekurangan metode ini yaitu; Pertama, sebagian besar bakteri yang ditemukan dalam air mengalami stres fisiologis dan rentan terhadap stres sekunder akibat pemanasan bila dicampur dengan media agar cair yang mempunyai temperatur 43°C hingga 46°C. Pemanasan menyebabkan pemulihan bakteri secara signifikan menurun dibandingkan dengan pemulihan yang diperoleh dengan metode sebar. Kedua, ada Sebagian bakteri yang terperangkap dalam media agar sehingga koloni yang berkembang cenderung kecil dan tidak menunjukkan ciri morfologi yang dapat membantu dalam identifikasi. Selain itu, bakteri yang terperangkap dalam agar mengalami lingkungan mikroaerobik sehingga mungkin tidak optimal dalam pertumbuhannya. Ketiga, volume maksimum sampel yang dapat dianalisis dengan metode tuang adalah 1,0 ml, oleh karena itu penggunaan prosedur ini terbatas ketika diperlukan analisis volume sampel yang lebih besar (Reasoner, 2004).



Gambar 4.1. Metode tuang (*pour plate*). Koloni terbentuk di dalam agar dan juga di permukaan agar, gambar paling kanan adalah foto koloni *Escherichia coli* yang terbentuk dari sel-sel yang ditanam dengan metode tuang. Sumber (Madigan et al., 2014).

4.2.2 Metode Sebar (*spread plate*).

Metode sebar atau *spread plate*, meskipun tidak lebih sulit dari pada metode tuang, memerlukan persiapan plate terlebih dahulu, dan menggunakan batang kaca bengkok steril untuk mendistribusikan sampel di atas permukaan agar. Beberapa analis laboratorium menganggap metode sebar lebih membosankan dari pada menggunakan prosedur metode tuang. Selain itu, karena plate harus disiapkan sebelumnya dan harus disterilkan terlebih dahulu sebelum menanam sampel, dan tidak boleh terlalu lembab atau terlalu kering. Meskipun inokulum yang direkomendasikan adalah 0,1 hingga 0,5 ml per plate namun memungkinkan penggunaan volume inokulum hingga 1,0 ml. Kondisi pertumbuhan metode sebar secara fisiologis lebih ramah terhadap pertumbuhan bakteri karena tidak ada tekanan panas dan koloni berada di permukaan yang terpapar pada kondisi aerobik. Metode sebar hampir selalu menghasilkan jumlah bakteri yang lebih tinggi dari pada metode tuang. Metode sebar dan metode tuang terbatas pada

analisis volume sampel maksimum adalah 1,0 ml (Reasoner, 2004).



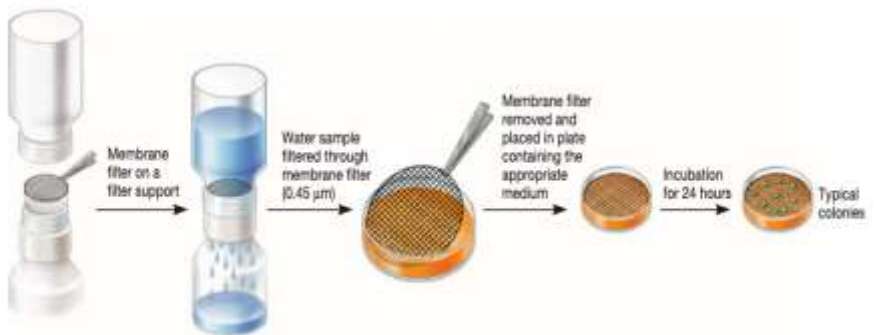
Gambar 4.2. Metode sebar (*spread plate*). Koloni akan tumbuh di permukaan agar, gambar paling kanan adalah foto koloni *Escherichia coli* yang terbentuk dari sel-sel yang ditanam dengan metode spread plate. Sumber (Madigan et al., 2014).

4.2.3 Metode Membran filter.

Metode Membran filter adalah metode yang paling fleksibel untuk penentuan jumlah angka kuman, tetapi membutuhkan lebih banyak peralatan seperti sumber vakum dan membran khusus dengan ukuran pori yang terkontrol sehingga dapat menyaring bakteri, menjadikannya metode yang relatif lebih mahal dibandingkan dengan metode tuang dan metode sebar. Metode membran filter memungkinkan analisis volume sampel dari < 1,0 ml hingga 10,0 l, bergantung pada kualitas air. Dengan demikian, konsentrasi bakteri yang sangat rendah dalam sampel air minum dapat dideteksi, hanya dibatasi oleh volume air yang dapat disaring melalui membran filter tanpa menyumbat pori-pori membran, atau dengan pengendapan bahan partikulat tersuspensi yang begitu banyak pada permukaan membran, sehingga mengganggu pertumbuhan bakteri (Reasoner, 2004).

Ketika jumlah bakteri sangat kecil, seperti di danau atau sungai yang relatif murni, bakteri dapat dihitung dengan metode

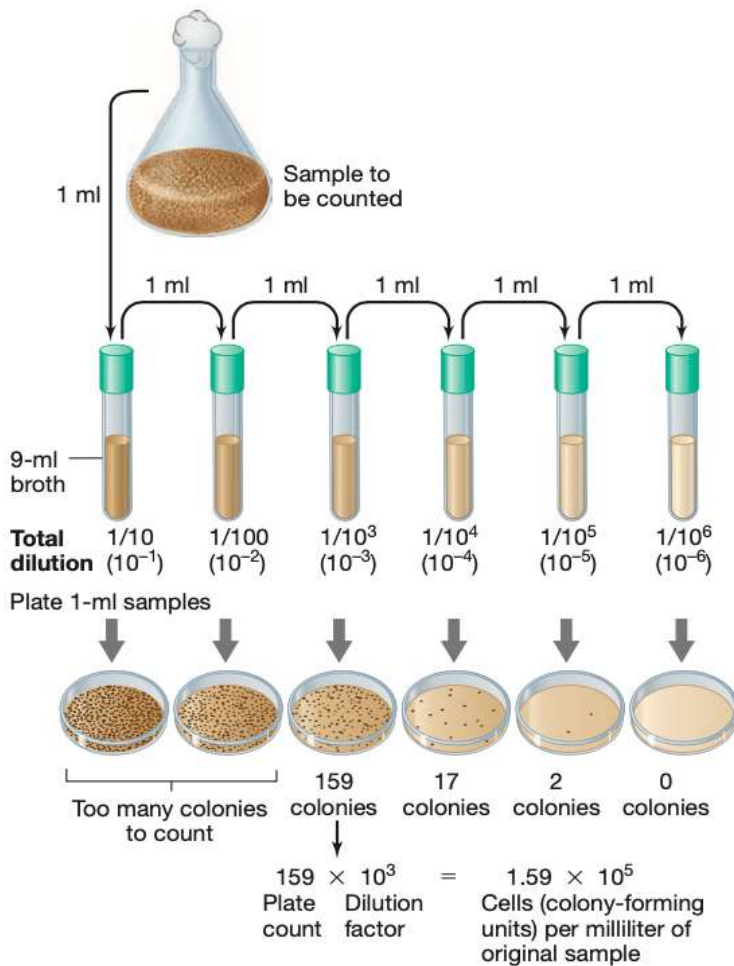
filtrasi. Dalam teknik ini, setidaknya 100 ml air dilewatkan melalui membran filter tipis yang pori-porinya lebih kecil dari ukuran bakteri, sehingga bakteri dapat disaring dan ditahan di permukaan filter. Filter ini kemudian dipindahkan ke cawan petri yang berisi media nutrisi, di mana koloni muncul dari bakteri di permukaan filter. Metode ini sering diterapkan untuk mendeteksi dan menghitung bakteri koliform, yang merupakan indikator kontaminasi makanan atau air melalui tinja (Willey, 2020).



Gambar 4.3. Prosedur Membran Filter. Membran dengan ukuran pori yang berbeda digunakan untuk menjebak mikroorganisme yang berbeda. Waktu inkubasi untuk membran juga bervariasi dengan media dan mikroorganisme. Sumber; (Willey, 2020).

4.3 Teknik *Total Plate Count* (TPC)

Metode *total plate count* (TPC) didasarkan pada hitung jumlah sel yang hidup. Metode hitungan cawan dilakukan dengan mengencerkan sampel asli dalam tabung pengenceran serial, diikuti dengan pelapisan alikuot dari pengenceran serial yang telah disiapkan ke dalam cawan agar yang sesuai dengan teknik cawan tuang atau cawan sebar.



Gambar 4.4. Prosedur kerja metode TPC. Sumber ; (Madigan et al, 2014)

Untuk membuat pengenceran serial seperti pada (Gambar 4.4), dimulai dari sampel dalam media cair. Pemindahan 1 ml dari media cair yang mengandung sampel ke dalam 9 ml media cair

steril dalam tabung menghasilkan pengenceran 1:10 (10^{-1}); menambahkan 1 ml dari pengenceran 1:10 ke dalam 9 ml media cair steril menghasilkan pengenceran 1:100 dan seterusnya sampai di dapat pengenceran yang diinginkan. Pengenceran selanjutnya dilakukan dengan perbandingan 1:1.000, 1:10.000, 1:100.000, 1:1.000.000, atau bahkan 1:10.000.000 jika kultur asli mengandung organisme dalam jumlah yang sangat besar.

Teknik cawan tuang menggunakan media *plate count agar* (PCA) dalam keadaan hangat (suhu 43°C hingga 46°C) yang dituangkan ke masing-masing cawan dan dicampur dengan sampel alikuot yang telah diencerkan di dalam cawan, sedangkan teknik cawan sebar menggunakan media PCA yang sudah didinginkan dan membeku dalam cawan, kemudian sampel alikuot yang telah diencerkan di sebar pada permukaan media PCA tersebut. Media PCA yang sudah ditanami sampel ini kemudian diinkubasi dalam incubator pada suhu 37°C selama 24 jam (Goldman & Green, 2015).

Oleh karena koloni yang dihasilkan sering kali bukan dari satu bakteri, melainkan dari segmen rantai pendek atau dari rumpun bakteri, maka untuk mencerminkan kenyataan ini, jumlah koloni yang tumbuh pada media PCA dilaporkan sebagai *colony forming unit* (CFU). Penghitungan CFU mengasumsikan bahwa setiap koloni terpisah dan terdiri dari satu kelompok sel mikroba yang hidup. Jumlah koloni total yang diperoleh dalam CFU dari media PCA yang diinkubasi dan masing-masing faktor pengenceran yang digunakan kemudian dapat digabungkan untuk menghitung jumlah asli mikroorganisme dalam sampel dalam CFU per mL. Kisaran penghitungannya adalah 25 hingga 250 CFU atau 30 hingga 300 CFU per cawan (Tortora et al., 2021).

4.3.1 Cara Menghitung dan Membulatkan Angka

Dalam melaporkan jumlah koloni atau jumlah perkiraan koloni hanya 2 angka penting yang digunakan, yaitu angka yang pertama dan kedua (dimulai dari kiri), sedangkan yang ketiga

diganti dengan 0 apabila kurang dari 5 dan apabila 5 atau lebih dijadikan yang ditambah pada angka yang kedua.

4.3.2 Perhitungan Jumlah Koloni

1. Dengan memperhitungkan koloni yang tumbuh pada cawan

- | | |
|-----------------------------|--------------|
| a) Kontrol | : 5 koloni |
| b) Pengenceran 1:100 | : 325 koloni |
| c) Pengenceran 1 : 1000 | : 155 koloni |
| d) Pengenceran 1 : 10.000 | : 75 koloni |
| e) Pengenceran 1 : 100.000 | : 35 koloni |
| f) Pengenceran 1 : 1000.000 | : 20 Koloni |

$$\begin{aligned} \text{TPC} \\ &= \frac{(155 - 5) \times 1000 + (75 - 5) \times 10.000 + (35 - 5) \times 100.000}{3} \end{aligned}$$

$$\text{TPC} = \frac{(150.000 + 700.000 + 3.000.000)}{3}$$

$$\text{TPC} = \frac{(3.850.000)}{3}$$

$$\text{TPC} = 1.283.333$$

$$= 1,3 \times 10^6 \text{ CFU/ml}$$

2. Spreaders

Spreaders adalah koloni yang menyebar biasanya dibagi dalam 3 bentuk yaitu

- Rantai koloni tidak terpisah secara jelas disebabkan oleh disintegrasi rumpun bakteri.
- Terbentuknya lapisan air antara agar dan dasar cawan.

- c) Terbentuknya lapisan air pada sisi atau permukaan agar.

Selain 3 (tiga) bentuk *spreader*, dapat dihitung sebagai satu pertumbuhan koloni. Untuk tipe a) bila hanya terdapat satu rantai, hitunglah sebagai koloni tunggal. Bila ada satu atau lebih rantai yang terlihat dari sumber lain, hitung tiap sumber itu sebagai satu koloni, termasuk untuk tipe b) dan c) juga dihitung sebagai koloni. Gabungkan perhitungan koloni dan perhitungan *spreader* untuk menghitung *TPC* (SNI, 2008).

3. Standar Perhitungan

Untuk melaporkan hasil analisa mikorbiologi digunakan suatu standar yang disebut *Standart Plate Count* (SPC) yang menjelaskan mengenai cara menghitung koloni pada cawan serta memilih data yang ada untuk menghitung jumlah koloni di dalam suatu sampel. Cara menghitung koloni adalah sebagai berikut ;

- a) Cawan yang dipilih dan dihitung adalah yang mengandung jumlah koloni antara 25 – 250 dengan jumlah koloni control < 10

Jumlah Koloni per pengenceran			SPC (cfu/ml)	Keterangan
10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴		
244	23	3	2,4 x 10 ⁴	23 dan 3 < 25
TBUD	147	15	1,5 x 10 ⁵	15 < 25

- b) Jika semua pengenceran yang ditumbuhi koloni kurang dari 25 koloni pada cawan petri, maka, hanya jumlah koloni pada pengenceran terendah yang dihitung. Hasilnya

dilaporkan sebagai kurang dari 25 dikalikan dengan besarnya pengenceran, tetapi jumlah yang sebenarnya harus dicantumkan dalam tanda kurung

Jumlah Koloni per pengenceran			SPC (cfu/ml)	Keterangan
10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴		
17	5	0	< 2,5 x 10 ³ (1,7 x 10 ³)	Hitung Pengenceran 10 ⁻²

- c) Jika semua pengenceran yang ditumbuhi koloni lebih dari 250 koloni pada cawan petri, maka hanya jumlah koloni pada pengenceran yang tertinggi yang dihitung. Hasilnya dilaporkan sebagai lebih dari 250 koloni dikalikan dengan besarnya pengenceran, tetapi jumlah yang sebenarnya harus dicantumkan dalam tanda kurung.

Jumlah Koloni per pengenceran			SPC (cfu/ml)	Keterangan
10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴		
TBUD	TBUD	325	>2,5 x 10 ⁶ (3,3 x 10 ⁶)	Hitung pengenceran 10 ⁻⁴
TBUD	275	21	>2,5 x 10 ⁵ (2,8 x 10 ⁵)	Hitung pengenceran 10 ⁻³

- d) Jika digunakan dua cawan petri (duplo) per pengenceran, data yang diambil harus dari kedua cawan tersebut, tidak boleh diambil salah satu

Jumlah Koloni per pengenceran			SPC (cfu/ml)	Keterangan
10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴		
150	15	0	3,5 x 10 ⁴	Rata-rata dari pengenceran 10 ⁻²
205	21	1		

4.3.3 Sumber Kesalahan dalam Menghitung *Total Plate Count*

Jumlah koloni yang diperoleh dalam percobaan hitungan yang layak tergantung tidak hanya pada ukuran inokulum dan viabilitas kultur, tetapi juga pada media kultur dan kondisi inkubasi. Jumlah koloni juga dapat berubah seiring lamanya inkubasi. Hitungan yang layak dapat mengalami kesalahan yang agak besar karena beberapa alasan termasuk ketidakkonsistenan penyebaran bakteri ke permukaan media, seperti pemipetan sampel cairan yang tidak akurat, sampel yang tidak seragam (misalnya, sampel yang mengandung gumpalan sel), pencampuran yang tidak memadai, intoleransi panas (jika metode tuang digunakan), dan banyak faktor lainnya. Oleh karena itu, jika penghitungan yang akurat ingin diperoleh, kehati-hatian dan konsistensi harus dilakukan dalam penyiapan dan inokulasi sampel pada permukaan media, serta replikasi cawan pengenceran utama harus disiapkan (Madigan et al., 2014).

DAFTAR PUSTAKA

- Black, J. G., & Black, L. J. 2015. *Microbiology: Principles and Explorations* (Ninth ed.). John Wiley & Sons.
- Goldman, E., & Green, L. H. 2015. *Practical Handbook of Microbiology*. CRC press.
- Madigan, M., Martinko, J., Bender, K., Buckley, D., & Stahl, D. 2014. *Brock Biology of Microorganisms* (14 ed.). Pearson.
- Reasoner, D. J. 2004. Heterotrophic Plate Count Methodology in the United States. *International journal of food microbiology*, 92(3), 307-315.
- SNI. 2008. Metode Pengujian Cemaran Mikroba Dalam Daging, Telur dan Susu, Serta Hasil Olahannya. *SNI 2897:2008*(1-36).
- Tortora, G. J., Funke, B. R., & Case, C. L. 2021. *Microbiology: an Introduction* (Thirteenth ed.). Pearson.
- Willey, J. M. S., Kathleen. M; Wood, Dorothy. H. 2020. *Prescott's Microbiology* (Eleventh ed.). McGraw-Hill Education.

BAB 5

MIKROBIOLOGI SUSU

Oleh Stormy Vertygo

“Menghilangkan ketidakpastian secara bertahap dalam pembuatan produk susu adalah tugas penting kita saat ini, dan satu-satunya cara untuk mencapai solusi tersebut adalah melalui ilmu bakteriologi.”

~* Wilhelm Fleischmann *~

5.1 Pendahuluan

Mikrobiologi Susu (*Dairy Microbiology*) merupakan cabang ilmu mikrobiologi yang memfokuskan kajiannya pada mikroorganisme (mikroba) yang mendiami susu maupun produk olahannya serta bagaimana dampak yang ditimbulkan terhadap kualitas, keamanan maupun masa simpan dari produk-produk tersebut. Memahami mikroorganisme yang terlibat dalam pengolahan susu dan dampaknya terhadap produk dapat membantu dalam menjamin bahwa produk susu yang dinikmati tidak hanya lezat tetapi juga aman untuk dikonsumsi.

5.1.1 Standar Mikrobial Susu

Sebelum dipasarkan ke konsumen, suatu produk susu maupun olahannya haruslah memenuhi standar kualitas tertentu. Beberapa parameter yang digunakan untuk menilai kualitas susu antara lain: komposisi nutrisi (yang dapat meliputi rentangan kadar lemak, protein, karbohidrat, vitamin, dan mineral), cemaran kimiawi (batasan untuk kontaminan-kontaminan seperti antibiotik, logam berat, residu pestisida, dan bahan kimia berbahaya lainnya), cemaran biologis (rentangan jumlah bakteri

pencemar), kandungan air (batasan maksimum kandungan air yang akan menentukan kekentalan dari produk), dan karakteristik fisik (misalnya aroma dan warna).

Ketentuan standar kualitas seperti ini sangat bervariasi untuk tiap negara dan sering diatur oleh badan-badan pengatur pangan atau lembaga standarisasi nasional. Di Indonesia sendiri, hal ini diregulasi di dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN). Pembahasan pada bagian 5.1.1 ini akan difokuskan pada standar kualitas susu dari aspek biologis (mikrobiologis).

Untuk produk berupa susu segar (*raw milk*), batasan maksimum cemaran mikrobiologis yang ditetapkan (SNI 3141.1:2011) adalah: *Total Plate Count Agar* (TPC) sebanyak 1×10^6 CFU/ml, cemaran *Staphylococcus aureus* sebanyak 1×10^2 CFU/ml, dan cemaran *Enterobacteriaceae* sebanyak 1×10^3 CFU/ml. Dalam pengujian/perhitungan cemaran mikrobial ini, metodenya akan mengacu pada SNI 2897-2008. Susu segar diambil dari ambung sapi yang sehat dan bersih melalui teknik pemerahan yang tepat dan tanpa perlakuan apapun yang mengubah kandungan nutrisinya (kecuali pendinginan).

Susu pasteurisasi dihasilkan melalui proses pemanasan pada suhu kisaran 63°C -66°C selama minimum 30 menit, atau pada pemanasan suhu 72°C selama minimum 15 detik, dan segera didinginkan hingga suhu 10°C. Produk selanjutnya disimpan pada suhu maksimum 4,4°C secara aseptis. Kualitas mikrobial susu pasteurisasi (baik dengan- maupun tanpa penyedap cita rasa) mengacu pada SNI 01-3951-1995, di mana: batasan maksimum untuk TPC adalah 3×10^4 CFU/ml (metode pengujiannya berdasarkan SP-SMP-93-1975), dan untuk *Coliform presumptive* adalah 10 MPH/ml (metode pengujiannya berdasarkan SP-SMP-94-1975).

Minuman susu fermentasi perisa merupakan minuman berbahan baku susu fermentasi (susu yang difermentasi, susu

rekonstitusi maupun susu rekombinasi) yang diberi perisa, yang dapat ditambahkan dengan jenis bahan pangan lainnya, baik melalui ataupun tanpa melalui pemanasan. Parameter kualitas serta metode pengujiannya mengacu pada SNI 7552:2009. Untuk bakteri *Coliform*, batasan maksimumnya adalah 10 APM/ml, sedangkan untuk *Salmonella* sp./25 ml dan *Listeria monocytogenes*/25 ml harus bernilai negatif. Parameter-parameter ini berlaku sama untuk produk minuman susu fermentasi perisa yang dipanaskan maupun tidak setelah proses fermentasi, dan baik yang normal maupun yang tanpa lemak.

5.1.2 Komposisi dan Diversitas Mikrobial Susu

Susu yang diperah langsung dari sel-sel sumbernya (*udder cells*) yang sehat diyakini bersifat steril, tetapi kemudian akan terkolonisasi oleh mikroorganisme dari berbagai jenis. Mikroorganisme ini ada yang bersifat merugikan karena dapat menyebabkan pembusukan yang mempengaruhi kualitas susu ataupun sebagai sumber penyakit (patogenik), namun ada pula yang menguntungkan karena proses fermentasinya yang meningkatkan kandungan nutrisi, aroma dan/atau rasa dari produk susu hasil fermentasi tersebut. Sumber kontaminasi dapat berasal dari luar tubuh (eksternal) antara lain, bagian ujung puting, kulit ibu/induk, rongga mulut anak yang menyusui, mesin/peralatan perah, udara sekitar, air, pakan, tanah, rerumputan, serta lingkungan lainnya. Secara internal, meskipun masih menuai perdebatan, telah diusulkan bahwa sumber kontaminasi dapat berasal dari jalur *enteromammary*, di mana mikroba ditransportasikan dari lapisan mukosa usus maternal ("*entero*") menuju kelenjar susu ("*mammary*"). Proses transportasi ini akan diperantarai oleh sel-sel Dendritik. Selain itu, konsumsi Probiotik oleh induk atau ibu juga akan turut mempengaruhi komposisi dan diversitas mikrobial di dalam air susunya. Tabel 5.1.

berikut merangkum struktur komunitas mikroba susu dari beberapa spesies mamalia (termasuk manusia).

Tabel 5.1. Komposisi Mikrobial Susu Beberapa Spesies Mamalia

Spesies Mamalia	Komposisi Mikrobial Susu
Manusia	<i>Ralstonia, Roseburia, Clostridium, Corynebacterium, Faecalibacterium, Lactobacillus, Bifidobacterium, Proprionibacterium, Pseudomonas, Staphylococcus, Streptococcus, Bacteroides, Acinetobacter, Veillonella, Sphingomonas, Lachnospiraceae, Bradyrhizobiaceae, Ruminococcaceae, Enterococcus, Prevotella, Weisella, Leuconostoc, Lactococcus, Citrobacter, Serratia.</i>
Sapi	<i>Microbacterium, Brevibacterium, Pediococcus, Fusobacterium, Proprionibacterium, Acinetobacter, Bifodobacterium, Pseudomonas, Staphylococcus, Pseudoalteromonas, Streptococcus, Catenibacterium, Lachnospiraceae, Corynebacterium, Bacteroides, Ruminococcaceae, Enterococcus, Aerococcus, Jeotgalicoccus, Psychrobacter, Enterobacter.</i>
Kerbau	<i>Micrococcus, 5-7N15, Solibacillus, Proprionibacterium, Pseudomonas, Enterobacteriaceae, Staphylococcus, Gammaproteobacteria, Aerococcus, Clostridium, Facklamia, Trichococcus, Turicibacter, Acinetobacter, Psychrobacter, Brochothrix, Carnobacterium, Chryseobacterium, Clostridium,</i>

Spesies Mamalia	Komposisi Mikrobial Susu
	<i>Corynebacterium</i> dan <i>Haloanella</i> .
Kambing	<i>Micrococcus</i> , <i>Rhodococcus</i> , <i>Dietzia</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Stenotrophomonas</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Exiguobacterium</i> , <i>Ornithinococcus</i> , <i>Hahella</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Salinicoccus</i> , <i>Chryseobacterium</i> , <i>Pantoea</i> , <i>Phyllobacterium</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Agrobacterium</i> , <i>Bacillus</i> .
Domba	<i>Enterococcus</i> , <i>Bifidobacterium</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Corynebacterium</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Methylobacterium</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Tetragenococcus</i> , <i>Clostridium</i> .
Kuda	<i>Lactobacillus</i> , <i>Staphylococcus</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Lactococcus</i> , <i>Enterococcus</i> , <i>Bifidobacterium</i> , <i>Acinetobacter</i> , <i>Macroccoccus</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Massilia</i> .

(Sumber: Quigley *et al.*, 2013; Oikonomou *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020)

Banyak faktor yang dapat pula mempengaruhi komposisi dan diversitas mikrobial susu suatu spesies mamalia. Untuk manusia, faktor-faktor yang teramati di antaranya termasuk komposisi genetik, status kesehatan dan diet ibu, usia kehamilan, indeks massa tubuh ibu, jenis kelamin bayi, metode persalinan, tahap laktasi, cara menyusui, lokasi geografis dan kepadatan jaringan sosial (*social network density*).

5.2 Kompleksitas Fungsional Mikroba Susu

Komposisi mikrobial yang demikian beragamnya turut memberikan dinamika fisiologis yang kompleks bagi kebermanfaatan susu. Menurut fungsinya, mikroba yang terdapat dalam susu dapat berupa mikroba pemfermentasi, pencemar, pemacu kesehatan dan pembawa penyakit. Bahkan, satu spesies mikroorganisme dapat memiliki lebih dari satu peran di atas.

5.2.1 Mikroba Pemfermentasi Susu

Secara alami, sangat sulit untuk mendapatkan susu yang bebas dari kontaminasi mikroorganisme. Mikroorganisme ini dapat memiliki struktur komunitas yang cukup beragam, yang turut bertanggung jawab atas proses fermentasi yang terjadi di dalam susu tersebut. Jenis mikroba yang mengkontaminasi akan menentukan proses fermentasi yang berlangsung, yang kemudian menghasilkan produk akhir (*final product*) maupun produk sampingan (*by-product*) yang mempengaruhi kualitas akhir dari susu maupun produk olahannya.

Lactococcus (jamak: *Lactococci*) merupakan salah satu genus Bakteri Asam Laktat (BAL) yang sangat penting dalam industri susu terutama karena proses fermentasi laktosanya yang cepat dan produksinya atas senyawa aromatik. Anggotanya berbentuk coccoid Gram-positif, bersifat anaerob yang menghasilkan asam laktat pada suhu sekitar 20–30°C selama 10–20 jam. Karakteristik lain yang berguna dari genus ini adalah ketahanannya terhadap bakteriofag, serta produksi Eksopolisakarida (EPS) dan protein anti-mikroba bakteriosin. Selain itu, *Lactococcus* memiliki sensitivitas yang sangat rendah terhadap NaCl, suhu dingin, dan pH asam. Dengan banyaknya keuntungan seperti ini membuat genus *Lactococcus* sangat umum digunakan dalam produksi susu fermentasi, krim asam, kefir, mentega, keju dadih (*curd cheese*) dan keju rennet (*rennet cheese*). Beberapa spesiesnya yang penting adalah *Lactococcus lactis* ssp.

lactis, *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris*, *L. lactis* ssp. *lactis* biovar *diacetylactis*, *L. raffinolactis*, *L. Garvieae*, dan *L. Piscium*.

Genus penting berikutnya adalah *Lactobacillus* (jamak: *Lactobacilli*). *Lactobacilli* merupakan kelompok bakteri Gram-positif, tidak membentuk spora, berbentuk batang atau coccobacilli dengan kandungan G+C DNA umumnya di bawah 50%. Sifat lainnya termasuk fermentatif obligat, aerotoleran atau anaerobik, dan asidofilik. Genus ini memainkan peran penting dalam pengasaman susu mentah (*milk souring*) dan dalam produksi produk susu olahan seperti keju, yoghurt, dan susu fermentasi (termasuk probiotik). Selama pemrosesan keju, aktivitas proteolisis dan lipolisisnya juga menghasilkan beragam produk fermentasi selain asam laktat yang turut berkontribusi terhadap kualitas organoleptik keju. Spesies-spesiesnya yang penting antara lain: *Lactobacillus casei*, *L. bulgaricus*, *L. paracasei*, *L. plantarum*, *L. paraplantarum*, *L. rhamnosus*, *L. curvatus*, *L. brevis*, *L. sake*, *L. helveticus*, *L. pentosus*, *L. acidophilus*, *L. reuteri*, *L. johnsonii*, *L. crispatus*, *L. fermentum*, *L. buchneri* dan *L. gasseri*.

Propionibacteria terdiri dari anggotanya yang bersifat Gram-positif, katalase positif, % G+C yang tinggi, tidak membentuk spora dan non-motil. Secara umum, mikroorganisme dari genus *Propionibacterium* bersifat anaerobik. Bentuk selnya pleomorfik dengan proses metabolisme yang menghasilkan asam propionat sebagai produk akhir utama fermentasinya. Aplikasi utama dari genus ini dalam pengolahan susu adalah penggunaannya sebagai *starter* untuk pembuatan jenis keju Swiss, yang memiliki karakteristik tekstur yang berlubang. Tekstur berlubang ini berasal dari produk sampingan berupa CO₂ yang terperangkap dalam padatan keju. Aroma khas dari keju tipe ini juga hampir seluruhnya berasal dari aktivitas metabolik *Propionibacteria* yang berkaitan dengan fermentasi asam laktat dan aspartat, katabolisme asam amino, dan juga hidrolisis lemak. Beberapa spesiesnya yang signifikan dalam industri pengolahan susu yang secara umum

diakui sebagai aman (*generally recognized as safe* atau berstatus "GRAS") antara lain: *P. freudenreichii*, *P. acidipropionici*, *P. jensenii* dan *P. thoenii*.

Sama halnya dengan *Propionibacterium*, genus *Leuconostoc* umum dimanfaatkan dalam pengolahan keju yang juga dapat menciptakan struktur berlubang melalui produksi CO₂ hasil fermentasinya, khususnya pada jenis keju biru (*blue cheese*). Kualitas organoleptik dari produk terfermentasinya berasal dari aktivitas metabolik yang menghasilkan asam laktat, asam asetat, etanol, asetaldehida, diasetil, asetoin dan juga 2,3-butanediol. Strain *Leuconostoc* bersifat Gram-positif, berbentuk kokus yang non-motil dan tidak membentuk spora. Umumnya terdapat dalam pasangan (diplococcus) ataupun rantai pendek (streptococcus) dengan kandungan G+C yang rendah. Spesiesnya yang penting antara lain: *L. mesenteroides* dan *L. pseudomesenteroides*.

5.2.2 Mikroba Pencemar Susu

Mikroba yang mendiami susu sebagai substratnya dibekali dengan berbagai kemampuan metabolik yang mampu menguraikan nutrien-nutrien yang ada di dalam susu tersebut. Konsekuensi dari aktivitas biokimiawi ini adalah terjadinya dekomposisi atau pembusukan susu. Susu yang disimpan pada suhu refrigerasi dapat mengalami kontaminasi oleh kelompok mikroorganisme psikotrofik yang dapat berkembang biak di bawah kondisi ini dan merupakan penyebab utama pembusukan susu. Pembusukkan (dekomposisi) ini diperantarai oleh enzim-enzim ekstraseluler, seperti lipase dan protease. Aktivitas katalitik lipase terhadap lemak susu menyebabkan ketengikan, sedangkan aktivitas protease terhadap kasein susu menyebabkan perubahan warna susu menjadi abu-abu dan perubahan rasa menjadi pahit. Berbagai bakteri psikotrof penyebab dekomposisi susu di antaranya: *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Microbacterium*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Listeria monocytogenes*, *Yersinia*

enterocolitica, *Aeromonas*, *Enterobacter*, *Flavobacterium*, *Corynebacterium*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Chryseobacterium*, *Epilithonimonas*.

Sebaliknya, kemungkinan kontaminasi terhadap susu pasca-pasteurisasi juga dapat terjadi yang disebabkan oleh kelompok mikroba thermodurik yang dapat resisten terhadap pemanasan selama proses pasteurisasi. *Clostridium tyrobutyricum* misalnya, melalui fermentasinya yang menghasilkan asam butirat, merupakan penyebab utama kontaminasi pada keju semi-keras yang ditandai dengan kerusakan tekstur yang dikenal dengan istilah "*late blowing defect*" atau "LBD". Contoh lainnya, *Bacillus cereus* menyebabkan terjadinya penggumpalan (*curdling*) pada susu pasteurisasi. Bakteri lainnya yang bersifat thermodurik dan dapat mengkontaminasi susu dan produk olahannya termasuk *C. sporogenes*, *C. Butyricum*, *C. Beijerinckii*, *Bacillus sporothermodurans*, *Geobacillus stearothermophilus*, *Paenibacillus* spp., *Micrococcus*, beberapa *Enterococcus*, *Streptococcus*, dan beberapa *Lactobacillus*.

Secara lebih spesifik, parameter kualitas susu yang terpengaruh akan bergantung pada jenis mikroorganisme kontaminan. Misalnya, koagulasi asam (*acid coagulation*) terhadap susu dapat disebabkan oleh kelompok *Bacillus* spp. Berlendirnya tekstur susu dapat disebabkan oleh kumpulan bakteri *Coliform*, *Pseudomonas* spp., *Alcaligenes*, *Micrococcus*, dan *Bacillus subtilis*. Perubahan rasa susu seperti rasa 'hangus' (*burnt*) atau karamel disebabkan oleh *Streptococcus lactis* var. *maltigenes*. Rasa seperti tanah (*earthy*) disebabkan oleh kontaminasi Actinomycetes, rasa seperti buah (*fruity*) oleh *Pseudomonas fragi*, dan rasa menyerupai sabun (*soapiness*) oleh *Pseudomonas sapolactic*. Perubahan warna susu menjadi biru dapat disebabkan oleh kontaminasi *Pseudomonas synchyaneum*, warna kuning oleh *Pseudomonas synxantha* dan *Flavobacterium*, warna merah oleh *Serratia*

marcescens dan *Micrococcus roseus*, serta warna cokelat oleh *Pseudomonas putrefaciens* dan *Pseudomonas fluorescence*.

5.2.3 Mikroba Susu Pemacu Kesehatan

Perlu dipahami bahwa apabila ditemukan mikroorganisme di dalam susu dan produk olahannya, maka sebenarnya mikroorganisme tersebut merupakan kontaminan akibat praktik penanganan susu yang buruk (tidak steril). Namun, kontaminasi yang tidak disengaja ini secara kebetulan tampak memberikan keuntungan secara medik saat dikonsumsi sehingga 'dibiarkan' untuk tetap berada di dalamnya. Mikroorganisme pemacu kesehatan seperti ini dikenal juga dengan istilah 'Probiotik'. Yang pertama kali mempelajari tentang Probiotik adalah seorang ilmuwan asal Rusia, Elie Metchnikoff yang menunjukkan bahwa masa hidup masyarakat centenarian di pegunungan Kaukasus, Bulgaria berkorelasi dengan minuman susu fermentasi yang dikonsumsi. Setelah dikaji minuman tersebut, berhasil diisolasi spesies bakteri *Lactobacillus bulgaricus* dari dalamnya.

Bakteri Asam Laktat (BAL) merupakan kelompok bakteri yang paling umum diisolasi dari susu mentah dan sering di-reintroduksi kembali ke dalam susu maupun produk olahannya sebagai probiotik. Bakteri ini bersifat Gram-positif, anaerobik fakultatif, berbentuk batang atau coccus, umumnya tidak menghasilkan spora, kandungan G+C DNA yang rendah ($\pm 37\%$), katalase-negatif, tahan asam, non-motil dan menghasilkan asam laktat sebagai karakteristik hasil akhir dari fermentasi karbohidratnya. Dalam kondisi kelebihan glukosa dengan oksigen yang terbatas, BAL homolaktik akan mengkatabolisme satu molekul glukosa melalui jalur Embden-Meyerhof-Parnas (jalur EMP) untuk menghasilkan dua molekul asam piruvat. Asam piruvat kemudian akan direduksi menjadi asam laktat menggunakan molekul NAD^+ . Proses ini juga akan menghasilkan dua molekul Adenosin Trifosfat (ATP) untuk setiap molekul

glukosa yang dikonsumsi. Genus BAL homolaktik termasuk *Lactococcus*, *Enterococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus* dan kelompok I *lactobacilli* (*L. acidophilus*, *L. delbrueckii*, *L. helveticus*, *L. salivarius*). BAL Heterofermentatif menggunakan jalur pentosa fosfat (jalur fosfoketolase pentosa) untuk menghasilkan energinya. Jalur ini diawali dengan fosforilasi glukosa menjadi glukosa-6-fosfat yang kemudian didehidrogenasi menjadi 6-fosfoglukonat dan selanjutnya didekarboksilasi menjadi ribulosa-5-fosfat untuk menghasilkan satu molekul CO₂. Pentosa-5-fosfat yang dihasilkan dipecah menjadi satu molekul gliseraldehida fosfat (G3P) dan satu molekul asetil fosfat. G3P selanjutnya dimetabolisme menjadi laktat seperti pada homofermentasi, sementara asetil fosfat direduksi menjadi etanol melalui zat intermediet asetil-KoA dan asetaldehida. Energi bersih yang dihasilkan melalui jalur ini adalah sebanyak 2 molekul ATP. BAL heterofermentatif obligat termasuk dari genus *Leuconostoc*, *Oenococcus*, *Weissella*, dan kelompok III *lactobacilli* (*L. brevis*, *L. buchneri*, *L. fermentum*, *L. reuteri*).

Tabel 5.2. Beberapa Contoh Probiotik BAL dalam Susu

Bakteri	Potensi Efek Kesehatan	Referensi
<i>Lactococcus lactis</i> <i>Lactococcus lactis</i> <i>ssp. cremoris</i> , <i>L.</i> <i>rhamnosus</i> , <i>L.</i> <i>helveticus</i> , <i>L.</i> <i>fermentum</i> , <i>L.</i> <i>paracasei</i> dan <i>L.</i> <i>acidophilus</i>	imunostimulan, anti-alergi, anti-hipertensi, antimikroba, mengurangi dampak dari <i>Inflammatory Bowel Disease</i> (IBD), menurunkan kolesterol.	(Abbasiliasi <i>et al.</i> , 2012; Novkovic, 2019)
<i>Enterococcus faecium</i>	Antimikroba, Imunostimulan.	(Choeisoongnern <i>et al.</i> , 2021)
<i>Pediococcus acidilactici</i>	Antimikroba.	(Abbasiliasi <i>et al.</i> , 2012)

Bakteri	Potensi Efek Kesehatan	Referensi
<i>Propionibacterium freudenreichii</i> dan <i>P. acidipropionici</i>	Antialergi, stabilisasi mikrobiota usus, antiinflamasi.	(Quigley <i>et al.</i> , 2013; Rabah, do Carmo dan Jan, 2017)
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> dan <i>L. pseudomesenteroides</i>	Antibakteri, Antikanker, stabilisasi mikroflora usus, optimalisasi metabolisme karbohidrat, metabolisme lipid dan homeostatis energi.	(Wang <i>et al.</i> , 2018; Pham <i>et al.</i> , 2020; Alan <i>et al.</i> , 2022; Miyamoto <i>et al.</i> , 2023)
<i>Streptococcus thermophilus</i> dan <i>S. macedonicus</i>	Immunostimulan, Antibakteri, Antiinflamasi, peningkatan ketersediaan nutrisi, stabilisasi mikroflora usus.	(Anzen, 2021)

Potensi efek kesehatan yang dimiliki oleh BAL termasuk menghasilkan senyawa hasil fermentasi yang bersifat antimikroba, antitumor, menghilangkan intoleransi laktosa, menurunkan kolesterol, mempertahankan komposisi mikroflora usus, dan menstimulasi sistem imun tubuh. Dalam produksi susu fermentasi, strain LAB yang dihasilkan untuk eksopolisakarida digunakan untuk meningkatkan viskositas dan kehalusannya. Beberapa strain LAB diketahui memberikan efek manitol yang diduga meningkatkan kesehatan. Beberapa spesies BAL lainnya yang diisolasi dari air susu yang memiliki kemampuan probiotik dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Bifidobacterium juga termasuk kelompok bakteri yang umum ditemukan 'mengkontaminasi' susu dan produk olahannya. Bakteri ini bersifat Gram-positif, katalase-negatif, nonsporulasi yang mendiami saluran orogastrointestinal dan vagina manusia. Sel-selnya berbentuk batang dengan variasi, seperti bersel-sel pendek, teratur, tipis, serta dapat berbentuk menyerupai gada dengan sedikit cabang yang saling berkumpul berbentuk seperti bintang ataupun dapat tersebar dengan susunan 'V' atau 'palisade' (memanjang tegak lurus). Meskipun mampu menghasilkan asam laktat, namun bakteri ini sebenarnya tidak termasuk dalam kelompok BAL, karena memiliki hubungan kekerabatan (filogenetik) yang jauh. Dibandingkan dengan BAL, *Bifidobacteria* bersifat aerobik obligat (namun beberapa spesies ada yang aerotoleran). Jalur kataboliknya pun berbeda dari jalur homo- dan heterofermentatif yang digunakan oleh BAL. Pembeda utamanya adalah adanya enzim fruktosa-6-fosfat fosfoketolase (F6PPK) yang hanya dimiliki oleh *Bifidobacteria* dan tidak pada BAL. F6PPK berfungsi mengkatalisis pemecahan heksosa fosfat menjadi eritrosa-4-fosfat dan asetil fosfat. Proses akhir dari fermentasi ini akan menghasilkan asam laktat dan juga asam asetat dengan perbandingan 2:3. Jumlah asam asetat yang lebih tinggi ini menyebabkan pH media atau lingkungan sekitar menjadi tidak seasam yang dibentuk oleh BAL. Dengan demikian, berbeda dengan BAL, *Bifidobacteria* tidak tahan terhadap lingkungan asam. Selain itu, *Bifidobacteria* juga memiliki kandungan G+C DNA yang lebih tinggi yang berkisar $\pm 58\%$.

Bifidobacterium mencakup lebih dari 80% mikroflora usus pada bayi yang sedang menyusui, dan 3 - 6% dari mikroflora pada tinja manusia dewasa. Genusnya memiliki lebih dari 50 spesies, dengan 10 spesies yang hanya ditemukan pada manusia. Pada bayi, spesiesnya yang paling dominan adalah *Bifidobacterium longum* ssp. *infantis* dan *Bifidobacterium breve*, sedangkan pada manusia dewasa adalah *Bifidobacterium adolescentis* dan *Bifidobacterium*

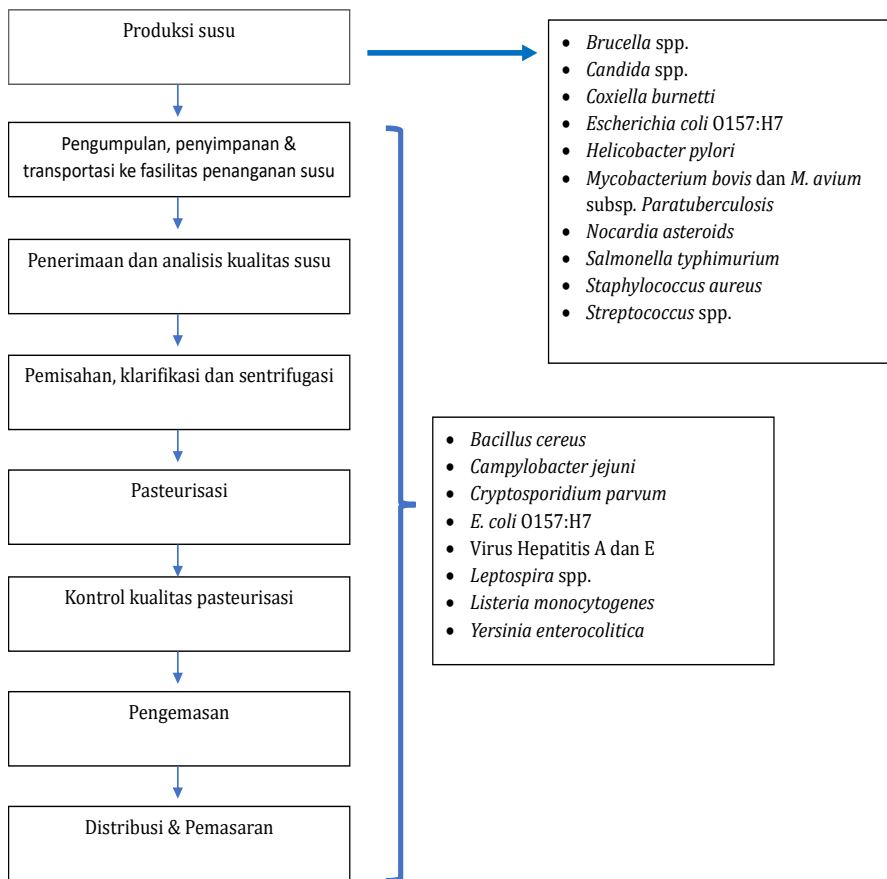
longum ssp. *longum*. Beberapa anggota genus *Bifidobacterium* diyakini memberikan manfaat bagi kesehatan di antaranya: kemampuan anti-mikroba patogen, modulasi sistem imun inang, dan degradasi karbohidrat dalam pangan. Atas dasar ini, *Bifidobacteria* sering dikombinasikan dengan BAL untuk ditambahkan ke dalam berbagai produk probiotik dengan tujuan untuk mencegah atau mengobati penyakit tertentu, meskipun belum terbukti secara klinis. Meskipun demikian, semakin banyak pasien rawat inap di rumah sakit Amerika Serikat (AS) yang diberikan probiotik sebagai bagian dari perawatan mereka.

5.2.4 Mikroba Susu Patogenik

Sebagai produk hasil ternak yang kaya akan nutrisi, susu juga menjadi reservoir bagi pertumbuhan berbagai mikroorganisme, termasuk yang menyebabkan penyakit infeksi. Penyakit yang diperantarai oleh susu disebut juga penyakit bawaan susu (*milk-borne disease*). Umumnya penyebaran penyakit oleh susu jarang terjadi karena adanya proses sterilisasi (pasteurisasi) yang dilakukan sebelum susu diolah lebih lanjut dan dipasarkan. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) menyatakan bahwa sekitar 4% penyakit bawaan makanan di seluruh dunia disebabkan oleh pengonsumsi susu yang tidak steril, yang frekuensinya terjadi lebih tinggi pada masyarakat bergolongan ekonomi menengah ke bawah. Salah satu faktor penyebab yang turut meningkatkan risiko terinfeksi adalah terbatasnya pemahaman terkait pentingnya pemrosesan susu melalui pasteurisasi, di mana masih terdapat stigma pada masyarakat bahwa pasteurisasi cenderung menurunkan kualitas susu. Meskipun demikian, perlu juga diingat bahwa susu yang telah dipasteurisasi sekalipun masih dapat menjadi media penyebaran mikroorganisme patogenik. Gambar 1. merangkum invasi berbagai mikroorganisme (termasuk jamur dan virus) yang dapat terjadi pada berbagai tahapan pemrosesan atau pengolahan susu.

Praktik penanganan yang buruk, misalnya penggunaan peralatan yang tidak steril, metode pasteurisasi yang kurang tepat, kurangnya tindakan aseptis, stabilitas suhu dingin yang kurang dijaga selama penyimpanan dan/atau transportasi serta kondisi kesehatan ternak dapat memberikan peluang bagi masuknya mikroorganisme patogenik ke dalam media susu.

Salah satu penyakit signifikan yang ditransmisikan melalui susu adalah Brucellosis. Penyakit ini disebabkan oleh bakteri *Brucella* spp. Setidaknya 10 spesies telah teridentifikasi sebagai agen kausatifnya, termasuk *B. melitensis* dan *B. abortus*. Bakteri ini berbentuk coccobacilli, bersifat intraseluler fakultatif dan Gram-negatif yang tidak memiliki kapsul, flagela, dan juga endospora. Penyakit yang disebabkan olehnya menyebabkan masalah reproduksi seperti aborsi, keputihan (*vaginal discharge*), lahir mati (*still birth*) dan infertilitas pada hewan ternak. Tanda-tanda lain dapat mencakup radang sendi pada sapi dan babi, mastitis dan ketimpangan pada kambing, dan lesi kulit yang keluar pada kuda (*fistulous withers*). Hewan yang terinfeksi dapat mengandung koloni bakteri dalam air susunya. Saat manusia mengonsumsi susu dan produk olahannya yang



Gambar 5.1. Infeksi Mikroorganisme Pada Setiap Tahapan Pemrosesan Susu
(Sumber: Kapoor, Goel and Jain, 2023)

Terkontaminasi, maka bakteri ini akan masuk ke dalam tubuh melalui selaput lendir dan aliran darah untuk mencapai organ-organ seperti hati, limpa, sumsum tulang dan ginjal dan akhirnya menyebabkan penyakit. Pada manusia gejalanya ditandai dengan nyeri, demam, batuk, berkeringat, kelelahan, malaise, hepatosplenomegali, hepatitis, gagal ginjal akut, perikarditis, dan

radang sendi. Produk olahan susu juga dapat menjadi agen pembawa penyakit ini. Dalam industri pengolahan keju misalnya, penambahan enzim rennet (enzim kompleks yang tersusun dari chymosin, pepsin, dan lipase) seringkali dilakukan. Enzim ini dapat menjadi agen pembawa penyakit apabila diambil dari perut masam (abomasum) hewan ternak yang terinfeksi. Fungsi penambahan enzim ini adalah untuk memisahkan susu menjadi dadih padat (*solid curds*) yang dibutuhkan untuk pembuatan keju dan akan menyisakan lapisan whey cair. *Brucella* dapat ditularkan ke manusia dan hewan melalui lapisan whey encer yang tersisa ini. Selain itu, jika kontainer pengiriman tidak dibersihkan dengan benar sebelum digunakan, maka akan dapat pula mencemari isinya.

Penyakit bawaan susu lainnya yang juga signifikan adalah Listeriosis, yang disebabkan oleh bakteri *Listeria monocytogenes*. Bakteri ini berbentuk batang dengan diameter 0,5–4 µm dan panjang 0,5–2 µm, berflagella tipe peritrik, bersifat Gram-positif, tidak membentuk spora, anaerob fakultatif, katalase-positif, dan oksidase-negatif. Setidaknya 13 serotype telah teridentifikasi untuk spesies ini yaitu: 1/2a, 1/2b, 1/2c, 3a, 3b, 3c, 4a, 4ab, 4b, 4c, 4d, 4e, dan 7. Pada hewan ternak seperti sapi, gejalanya ditandai dengan ensefalitis, meningoensefalitis, septikemia, aborsi dan lahir mati, sedangkan bila menginfeksi manusia dapat menyebabkan meningitis, septikemia, dan gastroenteritis. Mikroorganisme ini telah teramati memiliki kemampuan untuk bertahan dalam proses pasteurisasi dan berpotensi membentuk biofilm pada permukaan plastik dan *stainless steel* yang digunakan sebagai bahan peralatan penyimpanan susu. Kontaminasi pasca-pasteurisasi masih dapat terjadi melalui air yang terkontaminasi dan praktik penanganan susu yang buruk.

Campylobacter spp. (terutama spesies *C. jejuni*) juga merupakan kontaminan susu mentah yang umum dan terkenal sulit diisolasi dari produk makanan, karena persyaratan

pertumbuhannya yang rumit. Susu mentah dapat terkontaminasi *Campylobacter* dengan berbagai cara. Kontaminasi fekal, kotoran burung liar, peralatan pemerah susu yang tidak disanitasi dengan baik, kontaminasi selama perbaikan mesin pemerah susu, dan *silent mastitis* adalah beberapa rute kontaminasi yang telah dilaporkan pada wabah-wabah yang pernah terjadi sebelumnya. Bakteri ini bersifat Gram-negatif mikroaerobik, non-spora, dari famili *Campylobacteraceae*. Selnya motil, berbentuk batang spiral dengan lebar 0,2-0,9 μm dan panjang 0,5-5 μm , serta bergerak dengan gerakan seperti pembuka botol (*corkscrew-like motion*). Flagelanya dapat bertipe monotrik ataupun amfitrik, yang memberi bakteri bentuk "S" yang ramping yang sangat khas. *C. jejuni* tumbuh lambat dalam kultur dan memiliki suhu pertumbuhan optimal 42°C. Bila terpapar udara dalam waktu lama cenderung menjadi bulat atau coccoid. Bakteri ini menyebabkan penyakit *Campylobacteriosis*, yang pada hewan ternak ditandai dengan penurunan nafsu makan, muntah, dan diare berdarah. Pada manusia, infeksi *Campylobacteriosis* menyebabkan gastroenteritis, dengan gejala yang paling umum adalah diare (kadang-kadang berdarah) yang berlangsung 2-10 hari, serta sakit perut ringan hingga berat, demam, malaise, mual dan muntah.

Tabel 5.3. Kontaminan Bakteri Patogen Lainnya dalam Susu dan Produk Olahan Susu

Bakteri	Gejala dan/atau Penyakit yang Ditimbulkan pada Manusia
<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Staphylococcal food poisoning</i> (SFP)
<i>Mycobacterium bovis</i> dan <i>M. avium subsp. paratuberculosis</i>	Tuberculosis dan paratuberculosis
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersiniosis
<i>Shigella</i> spp.	Shigellosis
<i>Proteus</i> spp.	<i>Proteus food poisoning</i>

Bakteri	Gejala dan/atau Penyakit yang Ditimbulkan pada Manusia
<i>Klebsiella aerogenes</i>	Bakteremia, infeksi saluran pernapasan bawah, Infeksi Saluran Kemih (ISK)
<i>Streptococcus agalactiae</i>	Bakteremia, ISK, infeksi kulit, sepsis, meningitis, dan pneumonia
<i>Bacillus cereus</i>	Penyakit gastrointestinal (sindrom emetik (muntah) dan sindrom diare)
<i>Streptococcus uberis</i>	ISK
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Demam scarlet
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Septikimia
<i>Kluyvera spp.</i>	Bakteremia, infeksi jaringan lunak, abses intra-abdomen, dan ISK
<i>Coxiella burnetii</i>	Demam Q
<i>Enterococcus faecalis</i>	Sepsis, endocarditis, and meningitis
<i>Leptospira</i>	Leptospirosis
<i>Helicobacter pylori</i>	Gastritis kronis, gastritis atrofi, dan ulkus peptikum
<i>Salmonella non-tifoid</i>	Gastroenteritis
<i>Aeromonas</i>	Gastroenteritis

(Sumber: Quigley *et al.*, 2013; Bauman, 2018; Abdali *et al.*, 2020; Kapoor, Goel and Jain, 2023)

Escherichia coli merupakan salah satu bakteri patogen penting yang merupakan mikroflora normal dalam usus besar manusia dan mamalia lainnya. Dengan demikian, *E. coli* dapat pula ditularkan ke susu mentah dan produk susu melalui kontaminasi fekal selama proses pemerahan dan juga melalui praktik higienis yang buruk. Spesies ini bersifat Gram-negatif, berbentuk batang lurus tunggal ataupun berpasangan, tidak berspora, dan tidak tahan asam. Sel biasanya berukuran $1-3 \mu\text{m} \times 0,4-0,7 \mu\text{m}$. Selnya bersifat motil dengan tipe flagela peritrik, dan hanya sedikit strain

yang bersifat non-motil. Suhu optimal *E. coli* adalah pada suhu 37°C namun beberapa strain laboratorium dapat berkembang biak pada suhu hingga 49°C. Strain *E. coli* paling sering menyebabkan penyakit dengan menghasilkan racun yang disebut Shiga. Racun ini merusak lapisan usus kecil dan menyebabkan diare (Gastroenteritis). Strain *E. coli* ini disebut juga *E. coli* penghasil toksin Shiga (STEC), *E. coli* O157:H7, atau hanya *E. coli* O157. Bakteri patogenik lain yang juga dapat mengkontaminasi susu maupun produk olahannya dapat dilihat pada Tabel 5.3.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasiliasi, S., Tan, J.S., Ibrahim, T.A.T., Ramanan, R.N., Vakhshiteh, F., Mustafa, S., Ling, T.C., Rahim, R.A. and Ariff, A.B., 2012. Isolation of *Pediococcus acidilactici* Kp10 with ability to secrete bacteriocin-like inhibitory substance from milk products for applications in food industry. *BMC Microbiology*, 12, p.260. <https://doi.org/10.1186/1471-2180-12-260>.
- Abdali, F., Hosseinzadeh, S., Berizi, E. and Pourmontaseri, M., 2020. Prevalence of *Brucella* species in unpasteurized dairy products consumed in Shiraz province using PCR assay. *Molecular Biology Research Communications*, 9(3), pp.117–121. <https://doi.org/10.22099/mbrc.2020.37381.1506>.
- Alan, Y., Savcı, A., Koçpınar, E.F. and Ertaş, M., 2022. Postbiotic metabolites, antioxidant and anticancer activities of probiotic *Leuconostoc pseudomesenteroides* strains in natural pickles. *Archives of Microbiology*, 204(9), p.571. <https://doi.org/10.1007/s00203-022-03180-6>.
- Almashhadany, D.A., Zefenkey, Z.F., Hassannejad, S., Mohammed, N.J., Rashid, R.F., Hassan, R.R., Hassan, A.O., Almashhadany, D.A., Zefenkey, Z.F., Hassannejad, S., Mohammed, N.J., Rashid, R.F., Hassan, R.R. and Hassan, A.O., 2022. *Milk Borne Brucellosis*. [online] IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.109124>.
- Anon. 2016. Spoilage of Milk and Milk Products. In: *Food Microbiology: Principles into Practice*. [online] John Wiley & Sons, Ltd. pp.307–336. <https://doi.org/10.1002/9781119237860.ch19>.

- Anon. 2023. *E. coli: What is It, How Does it Cause Infection, Symptoms & Causes*. [online] Cleveland Clinic. Available at:<<https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/16638-e-coli-infection>> [Accessed 15 July 2023].
- Anzen, 2021. Pharma Industry in Kolkata - anzen.co.in/. Available at: <<https://anzen.co.in/streptococcus-thermophilus-bacteria-good-health/>> [Accessed 17 July 2023].
- Basavaraju, M., Gunashree, B.S., Basavaraju, M. and Gunashree, B.S., 2022. *Escherichia coli: An Overview of Main Characteristics*. In: *Escherichia coli - Old and New Insights*. [online] IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105508>.
- BSN, 1995. SNI Susu Pateurisasi. [online] Available at: <https://www.academia.edu/5368107/SNI_Susu_Pateurisasi> [Accessed 26 July 2023].
- BSN, 2009. *SNI 7552-2009*. [online] dokumen.tips. Available at: <<https://dokumen.tips/documents/sni-7552-2009.html>> [Accessed 26 July 2023].
- BSN, 2011. Susu segar-Bagian 1: Sapi. [online] Available at: <https://www.academia.edu/34922687/Susu_segar_Bagian_1_Sapi> [Accessed 26 July 2023].
- Canada, P.H.A. of, 2012. *Pathogen Safety Data Sheets: Infectious Substances - Escherichia coli, enteropathogenic*. [education and awareness;guidance] Available at: <<https://www.canada.ca/en/public-health/services/laboratory-biosafety-biosecurity/pathogen-safety-data-sheets-risk-assessment/escherichia-coli-enteropathogenic.html>> [Accessed 15 July 2023].

- Chaleshtori, F.S., Arani, N.M., Aghadavod, E., Naseri, A. and Chaleshtori, R.S., 2017. Molecular characterization of *Escherichia coli* recovered from traditional milk products in Kashan, Iran. *Veterinary World*, 10(10), pp.1264–1268.
<https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1264-1268>.
- Choeisoongnern, T., Sirilun, S., Waditee-Sirisattha, R., Pintha, K., Peerajan, S. and Chaivasut, C., 2021. Potential Probiotic *Enterococcus faecium* OV3-6 and Its Bioactive Peptide as Alternative Bio-Preservation. *Foods*, 10(10), p.2264.
<https://doi.org/10.3390/foods10102264>.
- Cremonesi, P., Ceccarani, C., Curone, G., Severgnini, M., Pollera, C., Bronzo, V., Riva, F., Addis, M.F., Filipe, J., Amadori, M., Trevisi, E., Vigo, D., Moroni, P. and Castiglioni, B., 2018. Milk microbiome diversity and bacterial group prevalence in a comparison between healthy Holstein Friesian and Rendena cows. *PLOS ONE*, 13(10), p.e0205054.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205054>.
- Davis, K.R., 2016. *Campylobacter jejuni* Infections Associated with Raw Milk Consumption — Utah, 2014. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*, [online] 65.
<https://doi.org/10.15585/mmwr.mm6512a1>.
- Esaiassen, E., Hjerde, E., Cavanagh, J.P., Simonsen, G.S. and Klingenberg, C., 2017. *Bifidobacterium* Bacteremia: Clinical Characteristics and a Genomic Approach To Assess Pathogenicity. *Journal of Clinical Microbiology*, 55(7), pp.2234–2248.
<https://doi.org/10.1128/JCM.00150-17>.
- Haar, S.T., 2023. *The History of Probiotics | Probiotics Learning Lab*. [online] Available at: <<https://www.optibacprobiotics.com/learning-lab/about/probiotics/history-of-probiotics>> [Accessed 15 July 2023].

- Hamdaoui, N., Rokni, Y., Asehraou, A., Mouncif, M., Mennane, Z., Omari, A., Sellam, A., Hammouti, B. and Meziane, M., 2023. Technological Aptitude and Sensitivity of Lactic Acid Bacteria *Leuconostoc* Isolated from Raw Milk of Cows: From Step-by-Step Experimental Procedure to the Results. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 8(2), pp.157–170. <https://doi.org/10.17509/ijost.v8i2.53730>.
- Hammes, W.P. and Vogel, R.F., 1995. The genus *Lactobacillus*. In: B.J.B. Wood and W.H. Holzapfel, eds. *The Genera of Lactic Acid Bacteria*, The Lactic Acid Bacteria. [online] Boston, MA: Springer US. pp.19–54. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5817-0_3.
- Hemme, D. and Foucaud-Scheunemann, C., 2004. *Leuconostoc*, characteristics, use in dairy technology and prospects in functional foods. *International Dairy Journal*, 14(6), pp.467–494. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.10.005>.
- Hoover, D.G., 2014. *Bifidobacterium*. In: C.A. Batt and M.L. Tortorello, eds. *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)*. [online] Oxford: Academic Press. pp.216–222. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00033-1>.
- Ibrahim, S.A., 2016. Lactic Acid Bacteria: *Lactobacillus* spp.: Other Species. In: *Reference Module in Food Science*. [online] Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00857-X>.
- Ismail, Y., Yulvizar, C. and Mazhitov, B., 2018. Characterization of lactic acid bacteria from local cow's milk kefir. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 130, p.012019. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/130/1/012019>.

- Jamshidi, A. and Zeinali, T., 2019. Significance and Characteristics of *Listeria monocytogenes* in Poultry Products. *International Journal of Food Science*, 2019, p.7835253. <https://doi.org/10.1155/2019/7835253>.
- Kapoor, S., Goel, A.D. and Jain, V., 2023. Milk-borne diseases through the lens of one health. *Frontiers in Microbiology*, [online] 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1041051>.
- Koo, I., 2022. *A Guide to Milk-Borne Infectious Diseases*. [online] Verywell Health. Available at: <<https://www.verywellhealth.com/got-milk-microbes-1958815>> [Accessed 11 July 2023].
- Kordy, K., Gaufin, T., Mwangi, M., Li, F., Cerini, C., Lee, D.J., Adisetiyo, H., Woodward, C., Pannaraj, P.S., Tobin, N.H. and Aldrovandi, G.M., 2020. Contributions to human breast milk microbiome and enteromammary transfer of *Bifidobacterium breve*. *PLOS ONE*, 15(1), p.e0219633. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219633>.
- Magar, S.T., 2022. *Microbial Spoilage of Milk and Milk Products (Cream, Butter, Cheese, Yoghurt, Ice-cream)*. [online] Available at: <<https://microbenotes.com/spoilage-of-milk-and-milk-products/>> [Accessed 24 July 2023].
- Mantziari, A. and Rautava, S., 2021. Factors influencing the microbial composition of human milk. *Seminars in Perinatology*, 45(8), p.151507. <https://doi.org/10.1016/j.semperi.2021.151507>.
- Miyamoto, J., Shimizu, H., Hisa, K., Matsuzaki, C., Inuki, S., Ando, Y., Nishida, A., Izumi, A., Yamano, M., Ushiroda, C., Irie, J., Katayama, T., Ohno, H., Itoh, H., Yamamoto, K. and Kimura, I., 2023. Host metabolic benefits of prebiotic exopolysaccharides produced by *Leuconostoc mesenteroides*. *Gut Microbes*, 15(1), p.2161271. <https://doi.org/10.1080/19490976.2022.2161271>.

- Novkovic, B., 2019. *Top 8 Health Benefits of Lactococcus lactis (L. lactis)*. [online] SelfDecode Supplements. Available at: <<https://supplements.selfdecode.com/blog/l-lactis/>> [Accessed 16 July 2023].
- Oikonomou, G., Addis, M.F., Chassard, C., Nader-Macias, M.E.F., Grant, I., Delbès, C., Bogni, C.I., Le Loir, Y. and Even, S., 2020. Milk Microbiota: What Are We Exactly Talking About? *Frontiers in Microbiology*, [online] 11. Available at:<<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.00060>> [Accessed 26 July 2023].
- Pham, M.T., Yang, J.J., Balasubramaniam, A., Rahim, A.R., Adi, P., Do, T.T.M., Herr, D.R. and Huang, C.-M., 2020. Leuconostoc mesenteroides mediates an electrogenic pathway to attenuate the accumulation of abdominal fat mass induced by high fat diet. *Scientific Reports*, 10(1), p.21916. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78835-9>.
- Public Health Agency of Canada, 2012. *Pathogen Safety Data Sheets: Infectious Substances – Campylobacter jejuni*. [education and awareness;guidance] Available at: <<https://www.canada.ca/en/public-health/services/laboratory-biosafety-biosecurity/pathogen-safety-data-sheets-risk-assessment/campylobacter-jejuni.html>> [Accessed 14 July 2023].
- Quigley, L., O'Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T.P., Ross, R.P., Fitzgerald, G.F. and Cotter, P.D., 2013. The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), pp.664–698. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12030>.

- Rabah, H., do Carmo, F.L.R. and Jan, G., 2017. Dairy Propionibacteria: Versatile Probiotics. *Microorganisms*, 5(2), p.24.<https://doi.org/10.3390/microorganisms5020024>.
- Reginensi, S.M., Olivera, J.A., Bermúdez, J. and González, M.J., 2016. Lactobacillus in the Dairy Industry: From Natural Diversity to Biopreservation Resources. In: S. Castro-Sowinski, ed. *Microbial Models: From Environmental to Industrial Sustainability*, Microorganisms for Sustainability. [online] Singapore: Springer. pp.57–81. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2555-6_4.
- Russell, H.L., 2010. *Outlines of Dairy Bacteriology, 8th edition - A Concise Manual for the Use of Students in Dairying*. FQ Books.
- Sujata, Dubey, K.K., Raj, T. and Kumar, P., 2022. Chapter 10 - Pathogenic microorganisms in milk: their source, hazardous role and identification. In: J. Singh and A. Vyas, eds. *Advances in Dairy Microbial Products*. [online] Woodhead Publishing. pp.145–161. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85793-2.00005-9>.
- Teuber, M., 1995. The genus Lactococcus. In: B.J.B. Wood and W.H. Holzapfel, eds. *The Genera of Lactic Acid Bacteria, The Lactic Acid Bacteria*. [online] Boston, MA: Springer US. pp.173–234. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5817-0_6.
- Vedamuthu, E.R., 1994. The Dairy Leuconostoc: Use in Dairy Products. *Journal of Dairy Science*, 77(9), pp.2725–2737. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77215-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77215-5).

- Wang, Y., Li, A., Jiang, X., Zhang, H., Mehmood, K., Zhang, L., Jiang, J., Waqas, M., Iqbal, M. and Li, J., 2018. Probiotic Potential of *Leuconostoc pseudomesenteroides* and *Lactobacillus* Strains Isolated From Yaks. *Frontiers in Microbiology*, 9, p.2987. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02987>.
- Zárate, G., 2012. Dairy Propionibacteria: Less Conventional Probiotics to Improve the Human and Animal Health. In: *Probiotic in Animals*. [online] IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/50320>.
- Zhang, M., Dang, N., Ren, D., Zhao, F., Lv, R., Ma, T., Bao, Q., Menghe, B. and Liu, W., 2020. Comparison of Bacterial Microbiota in Raw Mare's Milk and Koumiss Using PacBio Single Molecule Real-Time Sequencing Technology. *Frontiers in Microbiology*, [online] 11. Available at: <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.581610>> [Accessed 27 July 2023].
- Ziarno, M. and Godlewska, A., 2008. Significance and application of *Lactococcus* species in dairy industry. *Medycyna Weterynaryjna*, 64, pp.35–39.

BAB 6

PENGENDALIAN MIKROORGANISME

Oleh Indas Wari Rahman

6.1 Pendahuluan

Pengendalian mikroorganisme penting dilakukan baik di rumah, industri dan bidang-bidang medis untuk mencegah dan menangani penyakit dan untuk menghambat pembusukan produk makanan dan industri lainnya. Metode umum yang dilakukan untuk pengendalian mikroorganisme mencakup agen fisik dan kimia yang berdampak buruk pada struktur dan fungsi mikroba karena agen tersebut dapat menghasilkan efek mikrobisida dan mikrobistatik. Efek mikrobisida merupakan salah satu yang dapat membunuh bakteri dengan segera, efek mikrobistatik menghambat kemampuan reproduksi sel dan mempertahankan populasi mikroba pada ukuran yang konstan (Cappucino dan Welsh, 2020). Pertumbuhan mikroba berdampak lebih pada kesehatan, bahkan produsen dari berbagai berbagai macam barang menyadari bahwa mikroorganisme dapat menurunkan kualitas produk (Gambar 6.1). Pertumbuhan mikroba dapat menyebabkan perubahan yang tidak diinginkan pada keamanan, penampilan, rasa, bau atau fungsi produk dari makanan hingga kayu.

Pada bab ini akan dibahas metode untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba pada benda mati dan bagian permukaan tubuh. Metode yang digunakan tersebut dapat merusak segala bentuk kehidupan, bukan hanya pada mikroorganisme. Sebaliknya, pengendalian mikroba dengan antibiotik dan obat antimikroba lainnya bersifat toksin bagi mikroba, sehingga antibiotik dan antimikroba lainnya tersebut sangat berguna dalam mengobati penyakit menular tanpa merugikan kehidupan lainnya.



Gambar 6.1. Situasi yang memerlukan tingkat pengendalian mikroba yang berbeda, (a) Kehidupan rumah tangga, (b) Fasilitas produksi pangan, (c) Fasilitas perawatan air, (d) Rumah sakit, (e) Industri lainnya (Sumber : Anderson *et al*, 2016)

Proses-proses yang akan digunakan dalam mengendalikan mikroorganisme, yaitu secara fisik dan kimia atau kombinasi keduanya. Metode fisik termasuk perlakuan panas, iradiasi, filtrasi dan pelepasan mekanis (pencucian), dan pada metode kimia digunakan berbagai bahan kimia antimikroba. Metode dipilih

tergantung pada keadaan dan tingkat kendali yang dibutuhkan (Anderson *et al*, 2016).

Mikroorganisme dapat disingkirkan, dihambat atau dibunuh melalui suatu sarana yang bekerja dengan berbagai cara dan masing-masing mempunyai keterbatasan dalam penerapan praktisnya. Menurut Kuswiyanto (2016) pentingnya pengendalian mikroorganisme adalah sebagai berikut :

1. Mencegah penyebaran penyakit dan infeksi
2. Membasmi mikroorganisme pada inang yang terinfeksi
3. Mencegah pembusukan dan pengrusakan bahan oleh mikroorganisme

6.2 Metode Fisik untuk Mengendalikan Mikroba

Pada metode-metode fisik yang beragam (Gambar 6.2), mekanisme kerja dalam mengendalikan mikroba berbeda dengan metode-metode pengendalian secara kimia, walaupun semua metode tersebut menghasilkan efek yang membahayakan pada satu atau lebih struktur seluler atau molekul yang penting dalam menyebabkan kematian dan terhambatnya pertumbuhan sel. Lokasi kerusakan yang dapat menyebabkan malfungsi yaitu dinding sel, membran sel, sitoplasma, enzim dan asam nukleat. Dampak buruk tersebut dapat berupa :

1. Kerusakan dinding sel

Dapat terjadi pada dua cara; yang pertama lisis dinding sel menyebabkan sel tanpa dinding yang disebut protoplas, rentan terhadap kerusakan osmotik dan lingkungan hipotonik, akan menyebabkan lisis pada protoplas yang rentan, yang kedua agen tertentu dapat menghambat sintesis dinding sel yang penting selama reproduksi sel.

2. Kerusakan membran sel

Hal ini mungkin disebabkan oleh lisisnya membran yang akan menyebabkan kematian sel secara langsung. Juga, sifat selektif alami membran dapat terpengaruh tanpa

menyebabkan kerusakan secara keseluruhan. Akibatnya mungkin terjadi kehilangan paa molekul seluler yang penting atau terjadi gangguan penyerapan nutrisi.

3. Perubahan keadaan koloid sitoplasma

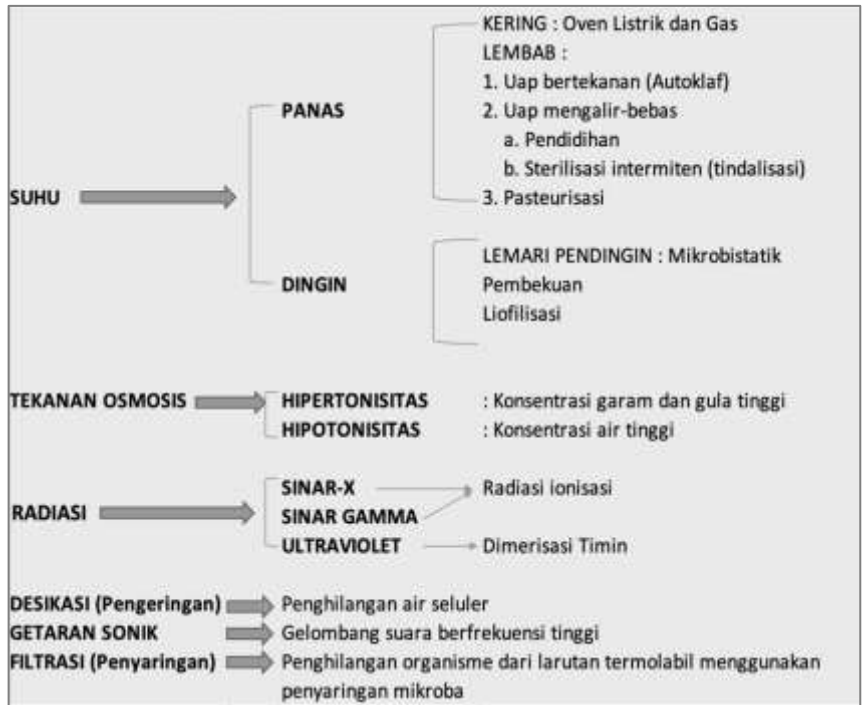
Agen tertentu dapat menyebabkan denaturasi pada protein sitoplasma. Proses denaturasi bertanggung jawab untuk inaktivasi enzim dan kematian sel melalui pemecahan secara tak-reversibel ikatan molekul protein dan menjadikannya tidak aktif secara biologis

4. Inaktivasi enzim seluler

Enzim-enzim dapat inaktifkan secara kompetitif atau nonkompetitif.

5. Gangguan pada struktur dan fungsi molekul DNA

Beberapa agen memiliki afinitas terhadap DNA dan menyebabkan kerusakan atau distorsi molekul, sehingga mengganggu replikasi dan perannya dalam sintesis protein



Gambar 6.2. Metode Fisik yang digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan mikroba (Sumber : Cappuccino, J. G., & Welsh, C. 2020)

6.2.1 Panas Lembab

Kematian yang berkaitan dengan mikroorganisme ditentukan berdasarkan bagaimana kita mendeteksinya dalam suatu kultur. Secara operasional, kematian ini terjadi karena hilangnya kemampuan mikroorganisme untuk berkembang biak dalam kondisi apapun. Kematian mikroorganisme terjadi pada tingkat tertentu tergantung pada dua variabel utama, yaitu konsentrasi agen pembunuh dan lamanya waktu agen digunakan. Hubungan tersebut biasanya dinyatakan sebagai bentuk pertahanan karena mikroba mudah diukur dalam bentuk koloni

(kultur). Sehingga kematian suatu mikroba didefinisikan sebagai ketidakmampuan untuk bereproduksi. Dalam keadaan tertentu, sisa-sisa fisik bakteri yang telah mati dapat menyebabkan timbulnya masalah.

Suhu memiliki pengaruh terhadap sistem-sistem enzim seluler, sehingga sangat berpengaruh pada tingkat reaksi kimia, dan juga pada kehidupan dan kematian mikroorganisme. Meskipun suhu yang dibutuhkan untuk pertumbuhan mikroorganisme berbeda-beda, suhu ekstrem dapat digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme. Pada suhu yang cukup rendah akan terjadi inaktif enzim dan akan menghasilkan efek statik. Sementara suhu tinggi dapat merusak enzim selular yang akan menyebabkan denaturasi yang sifatnya irreversibel.

Penerapan panas adalah cara yang paling umum untuk menghancurkan mikroorganisme. Pemanasan kering dan lembab efektif dalam mengendalikan mikroorganisme. Namun panas lembab menyebabkan efek hidrolisis air dan kemampuan penetrasi yang lebih besar, menyebabkan koagulasi protein, membunuh sel lebih cepat pada suhu yang rendah dibandingkan pemanasan kering.

Tujuan **sterilisasi** yaitu untuk mencegah transmisi mikroba. Sterilisasi dapat menyingkirkan dan merusak semua mikroorganisme dan virus pada suatu produk. Dalam lingkup kesehatan sterilisasi mencegah agar mikroba tidak bertransmisi ke pasien. Penghancuran mikroorganisme berarti bahwa tidak dapat “dihidupkan kembali” untuk bermultiplikasi bahkan ketika dipindahkan dari produk yang steril ke pertumbuhan media yang sesuai. Produk yang steril merupakan produk yang bebas dari semua jenis bakteri hidup, termasuk endospora dan virus. Namun perlu dicatat, bahwa istilah steril tidak mempertimbangkan prion. Partikel protein infeksi ini tidak hancur dengan prosedur sterilisasi standar. Sterilisasi membunuh atau menghambat semua

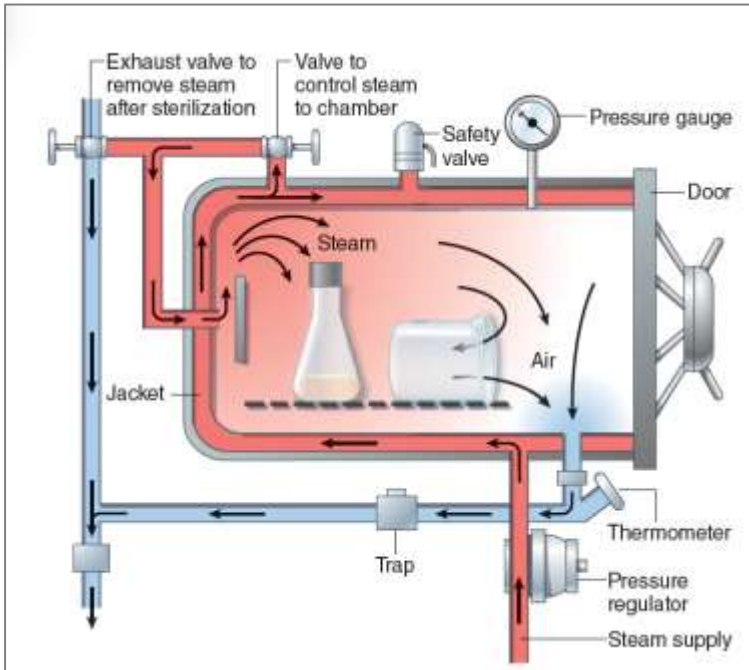
mikroorganisme, termasuk spora bakteri yang dapat menyebabkan tingginya resistensi.

Mikroba memiliki ketahanan yang berbeda-beda terhadap panas lembab. Secara umum, spora bakteri dapat rusak dengan suhu di atas 100°C, sedangkan kebanyakan sel vegetatif bakteri dapat dibunuh pada suhu 60°C - 70°C selama 10 menit. Sehingga panas lembab dapat digunakan sebagai sterilisasi dan disinfeksi. Metode yang umum digunakan adalah uap mengalir-bebas bertekanan (autoklaf), uap mengalir-bebas pada suhu 100°C (tindalisasi) dan penggunaan suhu yang lebih rendah (Pasterisasi)

1. Autoklaf

Sterilisasi membunuh atau menghambat semua mikroorganisme, termasuk spora bakteri yang dapat menyebabkan tingginya resistensi. Sterilisasi biasanya menggunakan autoklaf yang terdiri dari paparan uap pada suhu 121°C dibawah tekanan 15 pound/inch² selama lima belas menit. Instrumen bedah yang biasa rusak karena panas lembab, biasanya disterilkan dengan paparan gas etilen oksida. Pada aplikasi yang membutuhkan sterilisasi dengan menggunakan air yang mendidih telah diganti dengan autoklaf. Jika digunakan dengan benar akan menjamin sterilisasi dengan membunuh segala bentuk mikroorganisme.

Autoklaf merupakan alat masak bertekanan. Bentuknya sederhana, terdiri dari satu ruang dan udaranya dapat diganti dengan udara jenuh jernih. Pada tekanan yang telah diatur, uap jenuh dilepaskan ke ruangan dalam yang berada dalam keadaan kedap udara. Uap bertekanan di ruangan dalam yang kedap tersebut kemudian dapat mencapai suhu lebih dari 100°C (Gambar 6.3)



Gambar 6.3. Autoklaf, uap mula-mula bergerak dalam lapisan tertutup yang mengelilingi ruangan, kemudian memasuki autoklaf, meminahkan udara ke bawah dan keluar melalui lubang di bagian bawah ruangan. (Sumber : Anderson *et al*, 2016)

2. Pasteurisasi

Louis Pasteur mengembangkan perlakuan panas yang singkat yang sekarang kita kenal dengan **Pasteurisasi**, sebagai suatu cara untuk mencegah pembusukan pada anggur tanpa mengubah rasanya. Sekarang pasteurisasi masih digunakan untuk merusak mikroorganisme pembusuk yang peka-panas dalam makanan dan minuman, meningkatkan masa/waktu simpan suatu produk tanpa mengubah kualitas secara signifikan. Pasteurisasi secara

luas digunakan untuk menghancurkan patogen pada susu dan minuman jus, melindungi konsumen dari penyakit seperti tuberkulosis, salmonellosis dan demam tipoid.

Saat ini sebagian besar pasteurisasi dilakukan pada suhu tinggi waktu pendek (*high-temperature, short-time*, HTST), pada pengolahan ini susu dipanaskan hingga 72°C selama 15 detik namun parameternya harus disesuaikan dengan jenis produknya. Misalnya pada es krim yang kaya rasa dan lemak, membutuhkan pasteurisasi pada suhu 82°C selama kurang lebih 20 detik.

Jenis prosedur pasteurisasi lainnya yang telah digunakan adalah prosedur suhu rendah waktu panjang (*low-temperature, long-time*, LTLT) membutuhkan suhu 63°C selama 30 menit, dan prosedur suhu sangat tinggi (*ultra high temperature*, UHT) menggunakan suhu 138°C selama 2 detik.

3. Tindalisasi

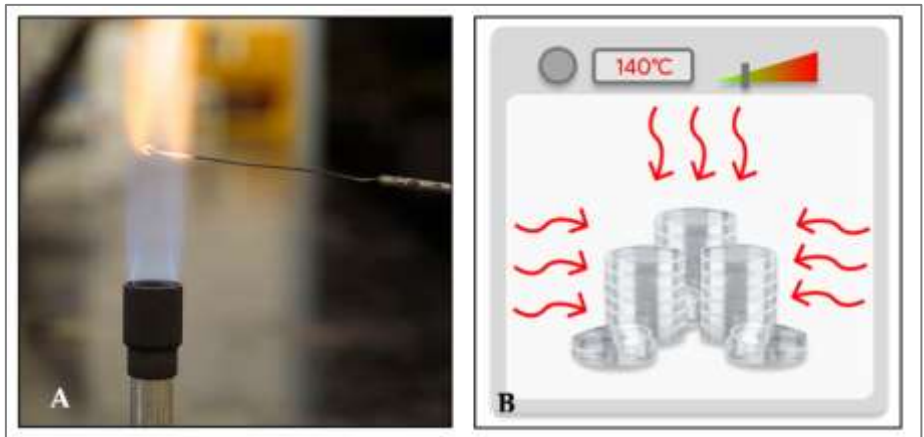
Proses sterilisasi lainnya adalah **Tindalisasi**, disebut juga sterilisasi intermiten atau fraksional. Tindalisasi merupakan prosedur pemajanan material pada uap-mengalir bebas pada suhu 100°C selama 20 menit dalam tiga hari berturut-turut dan inkubasi intermiten (berselang) pada suhu 37°C. Penguapan akan membunuh sel vegetatif, dan spora yang mungkin ada akan bergerminasi selama periode inkubasi dan akan dibunuh pada pemajanan berikutnya dengan suhu 100°C. pengulangan prosedur ini selama tiga hari memastikan bahwa seluruh spora telah bergerminasi dan bentuk vegetatif yang terbentuk akan dibunuh. Karena tindalisasi membutuhkan waktu yang lama, cara ini hanya digunakan untuk bahan yang mengandung senyawa kimia termolabil yang mungkin dapat terdekomposisi pada suhu yang lebih tinggi.

4. Pendidihan

Pendidihan (100°C dipermukaan laut) dapat dengan mudah menghancurkan sebagian besar mikroorganisme dan virus. Oleh karena itu, air minum yang mungkin terkontaminasi pada saat banjir atau situasi emergensi lainnya, seharusnya dididihkan kurang lebih 5 menit. Pendidihan bukan metode sterilisasi yang ideal, karena bagaimanapun endospora dapat bertahan pada proses tersebut.

6.2.2 Panas Kering

Panas kering tidak dapat menembus mikroba sebaik panas lembab, sehingga kurang efisien dalam membunuh mikroba. Oleh karena itu penggunaan panas kering membutuhkan waktu lebih lama dan suhu lebih tinggi. Misalnya dengan suhu 200°C selama 90 menit, dan prosedur ini setara dengan metode panas lembab pada suhu 121°C selama 15 menit. **Insinerasi** merupakan prosedur membakar komponen sel hingga menjadi abu. Pada praktek mikrobiologi, loop kawat (ose) yang terus menerus digunakan untuk transfer kultur bakteri akan disterilkan melalui pemanasan-pembakaran hingga kawat berwarna merah menyala (Gambar 6.4). Insinerasi juga digunakan untuk memusnahkan limbah medis dan bangkai hewan yang terkontaminasi.



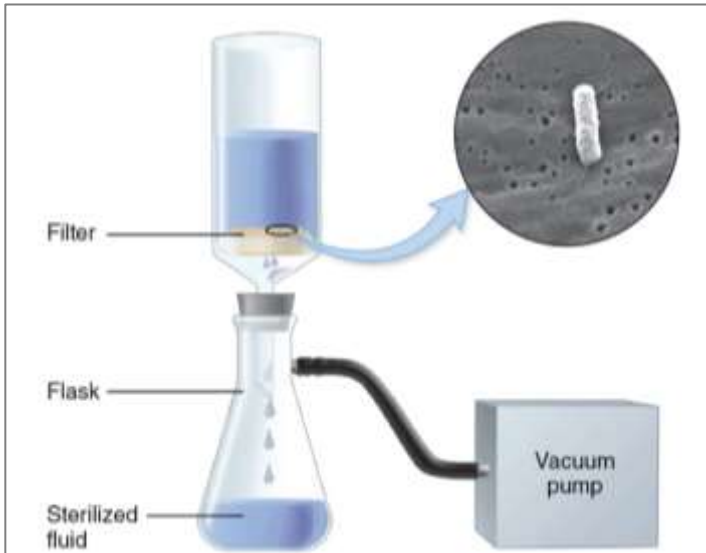
Gambar 6.4. (A) Sterilisasi loop kawat dengan pemanasan hingga merah menyala, (B) Prinsip kerja sterilisasi kering dengan oven (Sumber : Piqsels, 2023; LabMart, 2023)

Alat yang digunakan pada prosedur panas kering berupa **Oven**. Suhu yang dicapai dalam oven udara panas dapat menghancurkan komponen sel dan mengubah sifat protein secara permanen. Cawan petri dan pipet yang terbuat dari bahan kaca disterilkan dalam oven dengan udara yang tidak bersirkulasi pada suhu 160°C sampai 170°C selama 2 sampai 3 jam (Gambar 6.4). Oven dengan kipas yang mengalirkan udara panas dapat mensterilkan dalam waktu lebih singkat karena perpindahan panas lebih efisien. Bahan berupa bubuk, minyak dan material kering lainnya juga dapat disterilkan pada oven panas.

6.2.3 Filtrasi

Dikenal sebagai membran filtrasi, digunakan untuk menentukan sejumlah bakteri pada medium cair, menahan bakteri pada saat cairan melewati membran. Dengan prinsip yang sama, dapat juga digunakan secara fisik untuk menghilangkan mikroba dari cairan atau udara. Filtrasi secara luas digunakan untuk

menghilangkan mikroorganisme dari cairan yang sensitif terhadap panas seperti larutan gula, bir dan anggur. Pada unit filtrasi yang dirancang khusus, juga digunakan oleh backpacker dan orang yang berkemah untuk menghilangkan kista dan bakteri *Giardia* dari air.



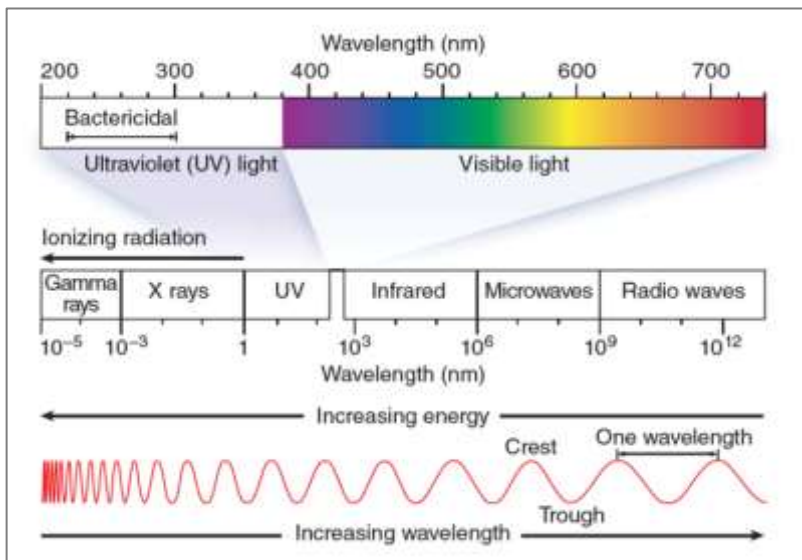
Gambar 6.5. Sterilisasi cairan dengan membran filter. Cairan yang akan disterilkan mengalir melalui filter diatas labu sebagai respon terhadap ruang hampa yang dihasilkan melalui pompa. Hasil SEM menunjukkan membran filter menahan bakteri (Sumber : Anderson *et al*, 2016)

Kertas tipis membran filter atau mikrofilter memiliki pori-pori mikroskopik yang dapat memungkinkan cairan untuk lewat, sementara partikel besar akan terperangkap pada filter (Gambar 6.5). Alat vakum biasanya digunakan untuk membantu menarik cairan melalui filter, secara alternatif tekanan dapat mendorong cairan. Filter membran terbuat dari nitroselulosa atau polimer lain dan tersedia dalam berbagai ukuran pori, bahkan melebihi ukuran

virus terkecil. Namun ukuran pori-pori yang lebih kecil dari yang diperlukan sebaiknya dihindari karena dapat memperlambat cairan mengalir. Filter dengan ukuran pori 0,2 mikrometer (μm) adalah ukuran yang sering digunakan untuk menghilangkan bakteri.

6.2.4 Radiasi

Ada dua tipe radiasi yang biasanya digunakan untuk membunuh mikroorganisme, yaitu **sinar ultraviolet (UV)** dan **X-rays**. Aktivitas antimikroba terbesar dari **sinar UV** terjadi pada 250 hingga 260 nm, yang merupakan panjang gelombang maksimum menyerap basa purin dan pirimidin pada DNA. Gelombang radio, gelombang mikro, sinar tampak dan sinar ultraviolet (UV), Sinar-X dan sinar gamma adalah contoh radiasi elektromagnetik (Gambar 6.6).



Gambar 6.6. Spektrum Elektromagnetik. Panjang gelombang tampak meliputi warna pelangi. (Sumber : Anderson *et al*, 2016)

Lesi yang paling banyak terjadi yang disebabkan oleh penyinaran UV adalah bentuk dimer timin, namun terjadi juga penambahan kelompok hidroksil ke basa-basa. Akibatnya replikasi DNA terhambat dan organisme tersebut tidak dapat tumbuh. Karena radiasi sinar UV dapat merusak kornea dan kulit, penggunaan penyinaran UV dalam pengobatan terbatas. Biasanya digunakan di rumah sakit untuk membunuh mikroorganisme di udara, terutama di ruang operasi ketika telah digunakan. Spora bakteri cukup tahan dan memerlukan dosis hingga 10 kali lebih besar dibandingkan dosis vegetatif bakteri.

Sinar-X (X-rays) memiliki energi dan daya tembus yang lebih tinggi dibandingkan radiasi sinar UV, dan terutama untuk membunuh melalui produksi radikal bebas (contohnya produksi radikal hidroksil melalui hidrolisis). Radikal yang sangat reaktif ini dapat memecah ikatan kovalen pada DNA, sehingga dapat membunuh organisme. Sinar-X mudah membunuh sel-sel vegetatif, namun spora sangat resisten, kemungkinan karena kandungan airnya lebih rendah. Sinar-X dalam pengobatan untuk sterilisasi bahan yang sensitif terhadap panas, seperti jahitan dan sarung tangan bedah, barang-barang plastik seperti jarum suntik.

6.3 Metode Kimia untuk Mengendalikan Mikroba

Bahan kimia germisida dapat digunakan untuk disinfeksi pada beberapa kasus dan juga untuk mensterilkan. Sebagian besar bahan kimia bereaksi secara ireversibel dengan protein, DNA, membran sitoplasma, atau selubung virus. Mekanisme kerja bahan kimia dalam mengendalikan mikroba seringkali kurang dipahami. Bahan kimia umumnya kurang dapat diandalkan dibandingkan panas, namun berguna untuk perlakuan/perawatan terhadap bagian permukaan yang luas dan benda yang sensitif terhadap panas. Beberapa diantara bahan kimia cukup tidak beracun untuk digunakan sebagai bahan antiseptik.

Memilih bahan kimia sebagai germisida yang tepat merupakan keputusan yang tidak mudah. Bahan kimia tersebut perlu membunuh mikroba target tanpa merusak bahan/inang yang dirawat, termasuk jaringan manusia. Idelanya, bahan germisida tidak berbahaya ketika dipegang atau dihirup, tapi seringkali pilihan yang paling efektif cukup beracun. Selain itu, masyarakat pada umumnya tidak menyukai bau yang tidak sedap dari bahan kimia, sehingga bau menjadi salah satu faktor dalam pemilihan bahan kimia yang tepat.

Antiseptik dan **desinfektan** adalah senyawa kimia yang digunakan untuk mencegah kontaminasi dan infeksi. Banyak senayawa intuk disfeksi dan aseptis telah tersedia secara komersial. Berikut beberapa hal yang perlu dipertimbangkan ketika memilih bahan pembasmi mikroba :

1. Toksisitas

Germisida dapat bersifat racun bagi manusia dan lingkungan. Oleh karena itu, manfaat dari desinfeksi atau sterilisasi suatu benda atau permukaan harus mempertimbangkan risiko yang terkait dengan penggunaan bahan kimia tersebut

2. Aktivitas pada keberadaan bahan organik

Hipoklorit (pemutih) dan banyak bahan germisida lainnya bereaksi dengan bahan organik, dan dapat kehilangan efektivitasnya jika ada reaksi tersebut.



Gambar 6.7. Klorin dalam bentuk pemutih rumah tangga
(Sumber : Marinasolari.com, 2023)

3. Kompabilitas dengan material yang sedang dalam proses tindakan

Barang-barang seperti peralatan elektrik sering kali tidak tahan terhadap bahan kimia germisida cair, sehingga harus digunakan alternatif lain yang berbentuk gas. Begitupun germisida yang korosif seperti hipoklorit sering kali merusak beberapa logam dan karet

4. Residu

Banyak bahan germisida meninggalkan racun atau residu korosif. Jika bahan germisida tersebut digunakan untuk perlakuan perawatan terhadap barang, residu harus dihilangkan dengan mencuci barang tersebut

5. Biaya dan ketersediaan

Beberapa bahan germisida lebih murah dan lebih mudah didapat dibandingkan bahan germisida lainnya. Hipoklorit dapat dengan mudah dibeli dalam bentuk pemutih rumah tangga, sebaliknya gas etilen oksida tidak hanya mahal, tetapi memerlukan ruang khusus yang mana mempengaruhi biaya dan kepraktisan

6. Penyimpanan dan stabilitas

Beberapa bahan germisida dijual dalam bentuk larutan stok yang pekat, sehingga mengurangi ruang penyimpanan yang diperlukan. Beberapa memiliki masa simpan yang terbatas setelah disiapkan

7. Resiko lingkungan

Germisida yang mempertahankan aktivitas antimikrobanya setelah digunakan dapat mengganggu sistem pengolahan air limbah. Aktivitas germisida tersebut harus dinetralkan sebelum dibuang

6.3.1 Senyawa Kimia

Germisida terdapat dalam sejumlah besar keluarga senyawa kimia. Setiap jenis memiliki karakteristik sesuai dengan kegunaannya. Tabel berikut menunjukkan bahan kimia yang digunakan dalam sterilisasi, desinfeksi, dan pengawet bahan non-makanan.

Tabel 6.1. Bahan kimia yang sering digunakan sebagai germisida

No.	Bahan Kimia	Karateristik	Penggunaan
1	Alkohol (Etanol dan Isopropanol)	Mudah dan murah didapat. Penguapan yang cepat membatasi waktu kontak bahan ini	Larutan alkohol dalam air digunakan sebagai antiseptik untuk membersihkan kulit dalam persiapan prosedur merusak bagian kulit yang utuh, dan sebagai desinfektan untuk perawatan instrumen-instrumen
2	Aldehid (Glutaraldehid, ortho-phthalaldehid dan formaldehid)	Mampu menghancurkan semua mikroba, mengiritasi saluran pernapasan, kulit dan mata	Glutaraldehida dan orto-ftalaldehida digunakan untuk mensterilkan peralatan medis. Formalin digunakan dalam produksi vaksin dan untuk mengawetkan spesimen biologis.
3	Chlorhexidine	Toksisitasnya relatif rendah, menghancurkan berbagai macam mikroba, melekat dan bertahan pada kulit dan selaput lendir.	Klorheksidin banyak digunakan sebagai antiseptik dalam sabun dan lotion, dan sering kali dimasukkan ke dalam kateter dan jaring bedah.
4	Gas Etilen Oksida	Mudah menembus tempat dan kain yang sulit dijangkau dan tidak merusak	Biasanya digunakan untuk sterilisasi bahan medik

No.	Bahan Kimia	Karakteristik	Penggunaan
		bahan yang sensitif terhadap kelembapan. Ini beracun, mudah meledak, dan mungkin bersifat karsinogenik.	
5	Halogen (Klorin dan iodin)	Larutan klorin tidak mahal dan mudah didapat, namun senyawa organik dan kotoran lainnya dapat menetralkan aktivitas klorin	Larutan klorin banyak digunakan untuk mendisinfeksi benda mati, permukaan, air minum, dan air limbah. Tincture yodium dan iodoform dapat digunakan sebagai desinfektan atau antiseptik
6	Logam (perak)	Kebanyakan senyawa logam terlalu beracun untuk digunakan secara medis	Perak sulfadiazin digunakan dalam balutan topikal untuk mencegah infeksi luka bakar. Beberapa senyawa logam digunakan untuk mencegah pertumbuhan mikroba dalam proses industri
7	Ozon	Bentuk oksigen ini tidak stabil mudah terurai menjadi bentuk yang tidak efektif.	Digunakan untuk mendisinfeksi air minum dan air limbah.
8	Peroksigen (hidrogen peroksida dan	Mudah terbiodegradasi dan kurang toksik	Hidrogen peroksida digunakan untuk mensterilkan wadah jus

No.	Bahan Kimia	Karakteristik	Penggunaan
	asam perasetat)	dibandingkan alternatif secara tradisional. Efektivitas hidrogen peroksida sebagai antiseptik terbatas karena enzim katalase memecahnya. Asam perasetat adalah pembasmi kuman yang lebih ampuh dibandingkan hidrogen peroksida.	dan susu yang dikemas secara aseptik. Asam perasetat banyak digunakan untuk mendisinfeksi dan mensterilkan peralatan medis.
9	Senyawa Fenolik (triclosan dan hexachlorophene)	Aktivitas luas, biaya murah, efektif dengan tambahan detergen dan kontaminan organik, meninggalkan residu antimikroba aktif	Triclosan digunakan dalam berbagai produk perawatan pribadi, namun peraturan mengenai penggunaannya sedang ditinjau. Hexachlorophene sangat efektif melawan <i>Staphylococcus aureus</i>, namun penggunaannya dibatasi karena dapat menyebabkan kerusakan saraf
10	Senyawa Amonium Kuarter	Tidak beracun untuk digunakan	Banyak digunakan untuk mendisinfeksi benda mati

No.	Bahan Kimia	Karakteristik	Penggunaan
	(benzalkonium klorida dan cetylpyridinium klorida)	pada permukaan persiapan makanan. Dinonaktifkan oleh detergen dan sabun anionik	dan mengawetkan zat non-makanan.

(Sumber : Anderson *et al*, 2016)

Efisiensi semua disinfektan dan antiseptik dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya adalah :

1. Konsentrasi
2. Lama pemajanan
3. Jenis populasi mikroba yang akan dibunuh
4. Kondisi lingkungan; suhu, pH, dan jenis materi yang mengandung mikroorganisme

Banyak prosedur laboratorium telah tersedia untuk mengevaluasi efisiensi antimikroba senyawa-senyawa disinfektan dan antiseptik. Prosedur tersebut memberikan suatu ukuran efektivitas senyawa yang relatif umum dan bukan absolut karena kondisi pengujian seringkali sangat berbeda dari kondisi yang terjadi dalam praktik yang sebenarnya.

6.3.2 Senyawa Kemoterapi

Senyawa-senyawa kemoterapi adalah senyawa kimia yang digunakan untuk pengobatan penyakit infeksi. Mekanisme kerja senyawa ini adalah dengan mengganggu metabolisme mikroba sehingga menghasilkan efek bakteriostatik atau bakteriosida pada mikroorganisme, tetapi tanpa menimbulkan efek yang sama pada sel inang.

Tabel 6.2. Jenis antibiotik dan mekanisme kerja

No.	Antibiotik	Mekanisme Kerja
1	Penisilin	Mencegah transpeptidase asam N-asetilmuramat sehingga struktur peptidoglikan yang terbentuk lebih lemah
2	Streptomisin	Memiliki afinitas untuk ribosom bakteri yang menyebabkan kesalahan pembacaan kodon pada mRNA sehingga mengganggu sintesis protein
3	Kloramfenikol	Memiliki afinitas untuk ribosom bakteri sehingga mencegah pembentukan ikatan peptida antara asam-asam amino selama proses sintesis protein
4	Tetrasiklin	Memiliki afinitas untuk ribosom bakteri, mencegah ikatan hidrogen antara antikodon pada kompleks tRNA-asam amino dan kodon pada mRNA selama proses sintesis protein
5	Basitrasin	Menghambat sintesis dinding sel
6	Polimiksin	Merusak membran sel
7	Rifampin	Menghambat sintesis RNA
8	Kuinalon	Menghambat sintesis DNA

(Sumber : Cappuccino, J. G., & Welsh, C. 2020)

Senyawa-senyawa kemoterapi bekerja pada sejumlah target seluler. Mekanisme kerja senyawa-senyawa kemoterapi meliputi penghambatan sintesis proteon, penghambatan sintesis asam nukleat, merusak membran sel, dan penghambatan sintesis asam folat. Untuk menentukan obat pilihan terapi, harus diketahui dahulu mekanisme kerja obat, efek samping merugikan yang

mungkin terjadi pada inang dan spektrum aktivitas antimikroba. Setiap obat memiliki mekanisme kerja khusus yang berlainan, dan banyak obat yang dapat menimbulkan efek samping yang sistemik pada inang bila digunakan dalam jangka pendek maupun panjang. Senyawa-senyawa ini dapat dikategorikan menjadi dua kelompok :

1. Antibiotik

Obat-obat yang disintesis dan disekresikan oleh bakteri sejati, aktinomisetes dan fungi yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain. Saat ini, beberapa antibiotik disintesis dan dimodifikasi di laboratorium

2. Obat-obat sintetik

Obat-obat yang disintesis di laboratorium

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, D., Salm, S., Allen, D. 2016. *Nester's Microbiology A Human Perspective, Eighth Edition*. McGraw-Hill Education: USA. 118-135
- Cappuccino, J. G., & Welsh, C. 2020. *Microbiology A Laboratory Manual, 12th*. Pearson Education Inc; New York. 285-313
- Levinson, W. 2016. *Review Of Medical Microbiology and Immunology, Fourteenth Edition*. McGraw-Hill Education: USA. 100-104
- Ryan, K. J., & Ray, C. G. 2004. *Sherris Medical Microbiology, An Introduction to Infectious Disease, Fourth Edition*. McGraw-Hill Medical Publishing Division; USA. 175-183
- Kuswiyanto., 2016. *Bakteriologi I, Buku Ajar Analis Kesehatan*. Penerbit Buku Kedokteran EGC; Jakarta. 53-65

BAB 7

KOEFISIEN FENOL

Oleh Ni Made Susilawati

7.1 Pendahuluan

Pada bab ini kita akan membahas tentang koefisien fenol dalam bidang kesehatan. Fenol sejak ditemukan oleh ahli kimia Jerman, Friedrich August Kekulé, pada tahun 1834, fenol telah menjadi bahan studi yang menarik bagi para ilmuwan karena karakteristik kimianya yang unik. Senyawa ini dikenal sebagai cairan tak berwarna dengan aroma khas dan rasa yang tajam. Sifat-sifatnya yang menarik, seperti kelarutan tinggi dalam air dan sifat antiseptiknya, telah membuatnya menjadi bahan dasar untuk banyak produk dan proses industri (Tilley, 1921).

Larutan fenol sering digunakan sebagai agen desinfektan dan antiseptik dalam bidang medis dan kesehatan. Sifat antiseptiknya yang kuat membuatnya sangat efektif dalam membersihkan dan mencegah infeksi pada luka atau permukaan kulit tertentu. Namun, penggunaan larutan fenol dalam bidang kesehatan harus dilakukan dengan hati-hati dan oleh tenaga medis yang terlatih, karena fenol adalah senyawa yang sangat kuat dan dapat menyebabkan iritasi kulit serta efek samping lainnya jika digunakan secara tidak tepat. Selain penggunaan dalam kesehatan, larutan fenol juga memiliki peran penting dalam industri, terutama dalam produksi plastik, resin, dan bahan kimia lainnya. Fenol-formaldehida, misalnya, adalah senyawa penting yang digunakan dalam produksi plastik dan bahan baku untuk berbagai produk konsumen (Narmandakh *et al.*, 2006).

Walaupun fenol memiliki banyak manfaat, kita tidak boleh melupakan dampak negatif yang mungkin ditimbulkannya. Fenol

termasuk dalam senyawa kimia berbahaya dan dapat mencemari lingkungan jika tidak diolah dengan baik. Pengelolaan yang bijaksana dan pemantauan yang ketat diperlukan untuk meminimalkan dampak lingkungan dan kesehatan yang mungkin ditimbulkan oleh penggunaan fenol.

Dalam bab ini, kita akan mengetahui lebih lanjut tentang fenol dan larutannya, mencakup sifat-sifat fisik dan kimia yang menarik, berbagai penggunaan dalam bidang kesehatan, serta implikasi positif dan negatif penggunaannya dalam konteks industri dan lingkungan. Semoga tulisan tentang larutan fenol ini akan memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang senyawa yang berperan penting dalam dunia modern ini.

7.2 Fenol

Fenol merupakan senyawa organik aromatik yang memiliki keberagaman sifat dan banyak digunakan dalam berbagai industri. Koefisien fenol adalah parameter penting yang digunakan untuk memahami perilaku fenol di lingkungan.

Fenol (C_6H_5OH) adalah senyawa organik yang berwujud cairan tak berwarna dengan aroma khas. Senyawa ini merupakan senyawa aromatik dengan strukturnya diturunkan dari benzena sehingga memiliki cincin aromatik serta adanya satu atau lebih gugus hidroksil (OH) (Narmandakh *et al.*, 2006).

Senyawa fenolik cenderung larut dalam air, umumnya berikatan dengan gula sebagai glikosida dan berada dalam vakuola sel. Keragaman struktur senyawa fenolik yang telah diidentifikasi saat ini diketahui mencapai lebih dari 8.000 struktur. Secara spesifik senyawa fenolik terbagi menjadi banyak klasifikasi, namun umumnya bisa diwakili oleh 3 kelas yakni (Tilley, 1921) :

1. mengandung cincin benzena tunggal (C_6) seperti katekol, hidrokuinon, floroglusinol, dan arbutin;
2. mengandung cincin benzena dengan karbon terlampir (C_6-C_n) seperti asam salisilat, asam galat, asam siringat, asam

- vanilin, asam klorogenat, asam kafein, kumarin, isokumarin, naptokuinon ;
3. mengandung kompleks benzena (C_6H_6) seperti xantonoid, stilbenoid, antrakuinon, tanin, kuersetin, flavonoid.

Fenol memiliki sifat fisikokimia yang menarik. Berikut adalah beberapa sifat fenol yang relevan untuk memahami koefisien fenol:

1. Titik lebur dan titik didih yang relatif rendah, memudahkan penggunaan dalam industri.
2. Kelarutan yang tinggi dalam air, mempengaruhi perilaku fenol di lingkungan air.
3. Kegiatan biologis yang berbahaya, dapat mencemari lingkungan dan organisme hidup.

7.3 Koefisien Fenol dan Pemeriksaan Fenol

Koefisien fenol adalah perbandingan ukuran kemampuan suatu bahan antimikrobal dibandingkan dengan fenol (Budiarti *et al.*, 2022). Fenol dijadikan pembanding karena fenol sering digunakan untuk mematikan mikroorganisme. Koefisien fenol yang kurang dari 1 menunjukkan bahwa bahan antimikrobal tersebut kurang efektif dibandingkan fenol. Sebaliknya, apabila koefisien fenol lebih dari 1 artinya bahan mikrobal tersebut lebih ampuh daripada fenol (Apriliyanto *et al.*, 2022).

Fenol dijadikan pembanding karena fenol sering digunakan untuk mematikan mikroorganisme. Koefisien fenol ditentukan dengan cara membagi pengenceran tertinggi dari fenol yang mematikan mikroorganisme dalam sepuluh menit tetapi tidak memamatkannya dalam lima menit terhadap pengenceran tertinggi bahan anti mikrobal yang mematikan mikroorganisme dalam sepuluh menit tetapi tidak dalam lima menit (Budiarti *et al.*, 2022). Uji ini dilakukan dalam berbagai pengenceran fenol dan produk

yang dicoba dicampur dengan suatu volume tertentu biakan *Salmonella typhosa* atau *Staphylococcus aureus* (Elizabeth, Apriliana dan Rukmono, 2013). Pemeriksaan koefisien fenol dalam larutan adalah prosedur laboratorium yang penting untuk menentukan dalam penentuan desinfektan yang akan digunakan.

7.3.1 Pengujian Koefisien Fenol

Pengujian koefisien fenol digunakan untuk mengetahui kemampuan aktivitas dari suatu desinfektan dalam membunuh bakteri uji (Christian *et al.*, 2020). Pada pengujian koefisien fenol pada suatu dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Pemiakan kultur bakteri yang akan diujikan, dalam hal ini kita mengambil contoh bakteri ujinya adalah *Salmonella typhi*. Bakteri dibiakkan pada media perbenihan contohnya Nutrient Agar diinkubasikan pada inkubator suhu 37 ° C selama 18 – 24 jam, koloni yang tumbuh dibuat suspense kuman dengan kekeruhan 0,5 Mc Farland (1,5x10⁶ CFU/ml)(Budiarti *et al.*, 2022).
2. Larutan fenol yang akan dijadikan pembanding dibuat dalam konsentrasi 5 % b/v atau 5 % v/v sebanyak 100 ml, masukkan dalam botol kaca gelap/coklat.
3. Selanjutnya menyiapkan seri pengenceran desinfektan dengan akuadest steril atau dapat menggunakan NaCl 0,85 % sehingga diperoleh konsentrasi desinfektan tertentu dengan volume desinfektan tiap tabung 5 ml volume akhirnya, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada table dibawah ini.

Tabel 7.1. Contoh pembuatan seri pengenceran desinfektan untuk pengujian koefisien fenol.

No	Desinfektan	Pelarut/ pengencer	Keterangan	Volume	Konsentrasi
1	5ml	-	-	5ml	5%(1:20)
2	2ml	4ml	1ml dibuang	5ml	1:60
3	2ml	5ml	2ml dibuang	5ml	1:70
4	2ml	6ml	3ml dibuang	5ml	1:80
5	2ml	7ml	4ml dibuang	5ml	1:90
6	1ml	4ml	-	5ml	1:100
7	1ml	4,5ml	0,5ml dibuang	5ml	1:110
8	1ml	5,0ml	1,0ml dibuang	5ml	1:120
9	1ml	5,5ml	1,5ml dibuang	5ml	1:130
10	1ml	6,0ml	2,0ml dibuang	5ml	1:140
11	1ml	6,5ml	2,5ml dibuang	5ml	1:150
12	1ml	7,0ml	3,0ml dibuang	5ml	1:160
13	1ml	7,5ml	3,5ml dibuang	5ml	1:170
14	1ml	8,0ml	4,0ml dibuang	5ml	1:180

4. Penjelasan dari table diatas, misalkan urutan no 1 (tabung 1) berisikan 5 ml desinfektan, tanpa ada campuran pelarut/pengencer.
5. Selanjutnya urutan no 2 (tabung 2) berisikan 2 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 4 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 1 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 60 dengan volume 5 ml.
6. Selanjutnya urutan no 3 (tabung 3) berisikan 2 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 5 ml

pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 2 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 70 dengan volume 5 ml.

7. Selanjutnya urutan no 4 (tabung 4) berisikan 2 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 6 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 3 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 80 dengan volume 5 ml.
8. Selanjutnya urutan no 5 (tabung 5) berisikan 2 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 7 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 4 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 90 dengan volume 5 ml.
9. Selanjutnya urutan no 6 (tabung 6) berisikan 1 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 4 ml pengencer, dihomogenkan, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 100 dengan volume 5 ml.
10. Selanjutnya urutan no 7 (tabung 7) berisikan 1 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 4,5 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 0,5 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 110 dengan volume 5 ml.
11. Selanjutnya urutan no 8 (tabung 8) berisikan 1 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 5 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 1 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 120 dengan volume 5 ml.
12. Selanjutnya urutan no 9 (tabung 9) berisikan 1 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 5,5 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 1,5 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 130 dengan volume 5 ml.

13. Selanjutnya urutan no 10 (tabung 10) berisikan 1 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 6 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 2 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 140 dengan volume 5 ml.
14. Selanjutnya urutan no 11 (tabung 11) berisikan 1 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 6,5 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 2,5 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 150 dengan volume 5 ml.
15. Selanjutnya urutan no 12 (tabung 12) berisikan 1 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 7,0 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 3 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 160 dengan volume 5 ml.
16. Selanjutnya urutan no 13 (tabung 13) berisikan 1 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 7,5 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 3,5 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 170 dengan volume 5 ml.
17. Selanjutnya urutan no 14 (tabung 14) berisikan 1 ml desinfektan yang akan diujikan, ditambahkan 8 ml pengencer, dihomogenkan kemudian di diambil 4 ml dan dibuang, didapatkan larutan dengan perbandingan 1 : 180 dengan volume 5 ml.
18. Dipindahkan semua pengenceran ke dalam tabung steril yang berbeda sesuai pengenceran sebanyak 1 ml.
19. Pada setiap tabung desinfektan ditambahkan 1 ml suspensi bakteri uji umur 24 jam (*Salmonella typhi*) dan diamkan, dihitung waktu kontak 5 menit dan 10 menit.
20. Setelah waktu kontak 5 menit, ambil 1 ose dari tiap tabung desinfektan lalu inokulasi ke dalam media BHI cair atau Nutrien cair.

21. Lakukan hal yang sama (no.20) dengan waktu kontak 10 menit.
22. Untuk larutan fenol 5 % sebagai pembanding maka dilakukan cara kerja no 1 sampai dengan 21
23. Selanjutnya semua tabung diinkubasi pada incubator dengan suhu 37°C selama 24-28 jam.
24. Diamati ada tidaknya pertumbuhan bakteri dengan melihat kekeruhan pada setiap tabung dan tentukan koefisien fenol dari desinfektan uji sesuai rumus perhitungannya. Interpretasi hasil:
 - (+) = ada pertumbuhan (keruh / resisten)
 - (-) = tidak ada pertumbuhan (jernih/ sensitif)

Rumus Perhitungan:

$$\text{Koefisien fenol} = \left| -\frac{a}{b} + \frac{c}{d} \right| : 2$$

Keterangan :

- a = pengenceran tertinggi suatu desinfektan yang dapat membunuh bakteri uji dalam waktu 5 menit.
 - b = pengenceran tertinggi fenol yang dapat membunuh bakteri uji dalam 5 menit
 - c = pengenceran tertinggi suatu desinfektan yang dapat membunuh bakteri uji dalam 10 menit
 - d = pengenceran tertinggi fenol yang dapat membunuh bakteri uji dalam waktu 10 menit .
25. Koefisien fenol yang hasilnya kurang dari 1 menunjukkan bahwa bahan desinfektan atau antimicrobial yang terkandung didalamnya tersebut kurang efektif bila dibandingkan dengan fenol

26. Koefisien fenol yang hasilnya lebih dari 1 menunjukkan bahwa bahan desinfektan atau antimicrobial yang terkandung didalamnya tersebut lebih efektif bila dibandingkan dengan fenol
27. Sebagai contoh kegiatan uji koefisien fenol pada beberapa desinfektan pembersih lantai dapat dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 7.2. Contoh hasil uji desinfektan untuk pengujian koefisien fenol.:

Jenis desinfektan	Waktu Kontak (menit)	Pengenceran							
		1:50	1:100	1:150	1:200	1:250	1:300	1:350	1:400
Fenol	5	-	-	+	+	+	+	+	+
	10	-	-	-	+	+	+	+	+
A	5	-	+	+	+	+	+	+	+
	10	-	-	+	+	+	+	+	+
B	5	-	-	-	+	+	+	+	+
	10	-	-	-	-	+	+	+	+

Contoh hasil perhitungan dari data table diatas.

$$\text{Koefisien fenol A} = \left| \frac{50}{100} + \frac{100}{150} \right| : 2 = 0,58$$

$$\text{Koefisien fenol B} = \left| \frac{150}{100} + \frac{200}{150} \right| : 2 = 1,41$$

Adanya kekeruhan pada produk desinfektan A ditunjukkan pada pengenceran 1:100 pada waktu kontak 10 menit dan pengenceran 1:150 dengan waktu kontak 10 menit, hal ini menunjukkan bahwa dengan perbandingan 1:50 produk A mampu

membunuh bakteri uji dalam waktu 5 menit, dan 1:100 dalam waktu 10 menit.

Dari hasil perhitungan nilai koefisien fenol desinfektan A terhadap bakteri *Salmonella typhi* adalah 0,58. Nilai koefisien dari desinfektan dikatakan kurang baik apabila nilainya < 1 sedangkan suatu desinfektan dikatakan baik apabila nilainya ≥ 1 . Berdasarkan hasil perhitungan menyatakan bahwa desinfektan uji memiliki daya bunuh terhadap *Salmonella typhi* yang kurang efektif jika dibandingkan dengan fenol.

Dari hasil perhitungan nilai koefisien fenol desinfektan B terhadap bakteri *Salmonella typhi* adalah 1,41. Berdasarkan hasil perhitungan menyatakan bahwa desinfektan uji memiliki daya bunuh terhadap *Salmonella typhi* yang lebih efektif jika dibandingkan dengan fenol.

Larutan fenol dijadikan patokan atau standar daya bunuh antiseptic (Hamijaya, Prihatiningsih dan Widiastuti, 2014). Dalam mekanisme fenol yang berinteraksi dengan bakteri sebagai antiseptik bakteristatik, fenol bereaksi dimulai dengan interaksi antara senyawa fenolik dengan sel bakteri melalui proses absorpsi yang melibatkan ikatan hydrogen (Christian *et al.*, 2020). 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. Sedangkan pada konsentrasi tinggi fenol akan menyebabkan koagulasi protein sel bakteri dan membran sitoplasma mengalami lisis (Budiarti *et al.*, 2022).

Nilai koefisien fenol produk desinfektan A dan B memberi hasil yang berbeda hal ini dapat disebabkan senyawa antimikroba yang terkandung di dalam desinfektan tersebut berbeda, dan kadarnya juga bisa berbeda sehingga menimbulkan daya bunuh bakteri berbeda pula. Hal ini menurut Christian *et al.* (2020) dipengaruhi oleh konsentrasi pada tiap deret pengenceran produk anti mikroba yang tidak

tepat, kestabilan dari penyusun bahan aktif didalam produk yang digunakan terganggu. Selain itu masa aktif produk atau masa simpan produk masih cukup aktif sebelum berakhir digunakan atau kadaluarsa produk yang dapat menurunkan kinerja suatu desinfektan serta menyebabkan perubahan warna dan bau pada produk (Mahardani dan Yuanita, 2021).

Pada uji beberapa senyawa aktif yang bersifat antimikroba pada tanaman yang mengandung gugus fenol telah diteliti seperti yang dilakukan oleh Budiarti *et al.*, 2022. Penelitian tersebut membuktikan jenis senyawa sekunder yang relatif sama dan terkandung dalam daun dan kulit buah *Citrus hystrix* mengandung berbagai senyawa antibakteri yaitu senyawa minyak atsiri sitronelol, limonen, dan geraniol, juga senyawa flavonoid, alkaloid, dan tanin. Aktivitas antibakteri kombinasi ekstrak daun dan kulit buah *Citrus hystrix* terhadap bakteri Gram positif *Staphylococcus aureus* lebih besar dibandingkan dengan bakteri Gram negatif *Escherichia coli* dan *Pseudomonas aeruginosa*.

Pengaruh daya bunuh senyawa sekunder yang mengandung fenol pada bakteri Gram positif lebih efektif bila dibandingkan dengan bakteri Gram negatif dimana hal ini yang memberikan nilai koefisien fenol yang bervariasi.

Nilai koefisien fenol akan mempengaruhi daya hambat terhadap bakteri, terutama berkaitan pada struktur dinding sel bakteri memudahkan gerakan penetrasi dan ikatan senyawa antibakteri. Bakteri Gram positif cenderung lebih sensitif terhadap senyawa antibakteri seperti flavonoid, saponin, dan tanin. Tingkat sensitifitas bakteri ini disebabkan susunan dinding selnya yang sederhana dibandingkan dengan Gram negatif. Susunan dinding sel bakteri Gram positif terdiri dari lebih dari 50% kandungan peptidoglikan dan asam teikoat yang bersifat polar dan kandungan lipid rendah (1-4%) yang bersifat non-polar. Sementara itu, flavonoid, saponin dan tanin

merupakan senyawa polar. Hal ini yang memudahkan menembus membran sel bakteri Gram positif. Berbeda dengan bakteri Gram negatif memiliki dinding sel bakteri yang lebih sulit ditembus senyawa oleh flavonoid, saponin dan tanin karena terdiri dari kandungan lipid yang tinggi (11-22%) yang bersifat non polar dan kandungan peptidoglikan hanya sekitar 5-10% yang bersifat polar dan juga membran sel luar yang berfungsi sebagai pertahanan selektif senyawa toksik yang masuk dan keluar sel. Selain itu, bakteri Gram negatif memiliki membran luar yang terdiri dari fosfolipid (lapisan dalam) dan lipopolisakarida non-polar (lapisan luar)(Susilawati *et al.*, 2020). Pada fosfolipid terdapat porin yang terbentuk dari protein. Porin adalah saluran yang dapat dilalui oleh beberapa molekul. Membran luar ini berfungsi sebagai penghalang terhadap antibiotik, enzim pencernaan, dan kondisi kering, tetapi tidak dapat menjadi penghalang untuk semua zat. Faktor utama kerusakan dinding sel adalah lipopolisakarida (LPS) dan porin. Senyawa antibakteri yang bekerja dengan cara menembus LPS (lipopolisakarida), molekul hidrofilik akan lebih mudah melewati LPS dibandingkan molekul hidrofobik. dimulai dengan merusak dinding sel. Senyawa polar dapat menembus peptidoglikan polar, serta beberapa senyawa polar seperti senyawa fenolik yang dapat memutuskan ikatan peptidoglikan pada dinding bakteri. Senyawa antibakteri yang mampu bereaksi dengan porin (protein trans membran) pada membran luar bakteri dan dinding sel bakteri akan membentuk ikatan polimer yang kuat, sehingga mengakibatkan rusaknya porin tersebut. Rusaknya porin yang berfungsi sebagai tempat keluar masuknya nutrisi akan menyebabkan permeabilitas dinding sel bakteri menurun sehingga pertumbuhan bakteri terhambat atau sel bakteri akan mati (Harlita, Oedjijono dan Asnani, 2018).

Selain itu, senyawa fenol juga dapat membentuk ikatan kompleks dengan membran plasma sel bakteri, sehingga dapat mengganggu permeabilitas membran sel atau memacu terjadinya lisis pada sel bakteri. Fenomena inilah yang menyebabkan senyawa fenol tersebut dapat berperan sebagai senyawa antibakteria (Susilawati, Ramona dan Parwata, 2016)

7.4 Penggunaan Fenol

Fenol adalah senyawa organik yang memiliki beragam aplikasi di berbagai industri, termasuk kesehatan. Dalam bidang kesehatan, larutan fenol telah digunakan dalam berbagai konteks, mulai dari antiseptik untuk perawatan luka hingga obat dalam pengobatan spesifik (Tam *et al.*, 2022).

Fenol (C_6H_5OH) merupakan senyawa kimia yang memiliki sifat antiseptik dan desinfektan yang kuat (Mahardani dan Yuanita, 2021). Pada awalnya, fenol dikenal sebagai senyawa yang bersifat toksik, namun dengan kemajuan dalam ilmu kedokteran, penggunaannya telah diterapkan dengan aman dan tepat dalam beberapa bidang kesehatan. Beberapa kegunaan larutan fenol dalam kesehatan dan penjelasan mengenai cara-cara penggunaannya :

1. Desinfektan untuk luka salah satu kegunaan utama larutan fenol dalam kesehatan adalah sebagai desinfektan untuk perawatan luka. Larutan fenol dapat digunakan untuk membersihkan dan mencegah infeksi pada luka ringan, seperti luka sayat dan lecet. Fenol membunuh kuman dan bakteri yang ada di sekitar luka, membantu mencegah komplikasi lebih lanjut.
2. Pengobatan kutil dan benjolan kulit dimana larutan fenol telah digunakan dalam prosedur medis untuk pengangkatan kutil dan benjolan kulit. Prosedur ini disebut sebagai "krioterapi kimia," di mana larutan fenol diterapkan pada kutil atau benjolan kulit untuk membakar

dan menghancurkan jaringan yang tidak normal (Tam *et al.*, 2022).

4. Pengobatan kuku yang tumbuh membalik (*Ingrown Toenails*) Fenol juga digunakan dalam pengobatan kuku yang tumbuh membengkok ke dalam (*ingrown toenails*). Larutan fenol diterapkan pada area kuku yang terkena untuk membantu mengurangi pertumbuhan berlebih dan peradangan yang terjadi (Gera *et al.*, 2019).
5. Perawatan kulit wajah dalam bidang dermatologi, fenol telah digunakan dalam beberapa prosedur perawatan kulit wajah. Salah satu prosedur yang melibatkan larutan fenol adalah "*chemical peel*," di mana lapisan kulit atas diangkat dengan menggunakan larutan fenol untuk mendorong pertumbuhan kulit baru yang lebih segar dan sehat (Rendon *et al.*, 2010).
6. Pengobatan kutil kelamin (*Condyloma acuminatum*), fenol digunakan sebagai agen pengering dalam pengobatan kutil kelamin yang disebabkan oleh infeksi human papilloma virus (HPV). Penggunaan fenol bertujuan untuk mengurangi ukuran dan jumlah kutil kelamin yang muncul pada area genital.

7.5 Dampak Fenol Bagi Kesehatan

Dampak fenol bagi Kesehatan sangat mmeberikan pengaruh yang besar dimana jika tidak dipergunakan sesuai takaran yang tepat atau berlebihan akan memberikan dampak yang kuat. Meskipun larutan fenol memiliki berbagai kegunaan dalam bidang medis dan industri, penting untuk memahami risiko potensial yang terkait dengan paparan fenol bagi kesehatan. Berikut adalah beberapa dampak larutan fenol bagi kesehatan manusia:

1. Iritasi Kulit dan Selaput Lendir: Kontak langsung dengan larutan fenol dapat menyebabkan iritasi pada kulit dan

- selaput lendir seperti mata, hidung, dan tenggorokan. Gejala yang mungkin timbul termasuk kemerahan, pembengkakan, gatal, dan sensasi terbakar pada area yang terkena. Paparan jangka panjang atau dalam jumlah besar dapat menyebabkan kerusakan kulit yang lebih serius dan bahkan luka bakar kimia(Borelli, Ursin dan Steger, 2020).
2. Kerusakan Jaringan: Larutan fenol memiliki sifat kauterisasi, yang berarti dapat membakar atau menghancurkan jaringan hidup. Ini dapat digunakan untuk mengangkat kutil dan benjolan kulit tertentu dalam prosedur medis, tetapi penggunaan yang tidak tepat atau berlebihan dapat menyebabkan kerusakan permanen pada kulit dan jaringan di sekitarnya(Rendon *et al.*, 2010).
 3. Gangguan Pernapasan: Jika larutan fenol dihirup dalam bentuk uap, dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, termasuk batuk, sesak napas, dan rasa terbakar di tenggorokan. Paparan uap fenol dalam jangka panjang dapat menyebabkan masalah pernapasan kronis dan peradangan paru-paru(Traboulsi *et al.*, 2020).
 4. Efek Sistemik: Paparan fenol dalam jumlah besar atau terpapar dalam jangka panjang dapat menyebabkan masalah kesehatan yang lebih serius, termasuk gangguan pada sistem saraf pusat dan organ-organ tubuh lainnya. Fenol dapat diserap melalui kulit atau saluran pernapasan dan menyebar ke dalam aliran darah, menyebabkan efek toksik pada organ-organ tubuh.
 5. Reaksi Alergi: Beberapa orang mungkin mengalami reaksi alergi terhadap fenol, yang dapat menyebabkan gejala seperti gatal-gatal, ruam kulit, pembengkakan, dan kesulitan bernapas. Reaksi alergi dapat terjadi setelah kontak langsung dengan fenol atau inhalasi uapnya(Tam *et al.*, 2022).

7. Dampak terhadap Sistem Saraf Pusat: Paparan fenol dalam jumlah besar dapat menyebabkan efek neurotoksik pada sistem saraf pusat. Ini dapat menyebabkan gejala seperti pusing, kebingungan, tremor, dan bahkan kehilangan kesadaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriliyanto, A. *et al.* 2022. "Perbandingan Desinfektan Karbol Dan Surfanios Terhadap Jumlah Koloni Bakteri Kamar Operasi Comparison of Carbolic and Surfanios Disinfectants To the Number of Colonies of Operating Room Bacteria," *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, 4(3), hal. 2022. Tersedia pada: <http://jurnal.globalhealthsciencegroup.com/index.php/JPPP>.
- Borelli, C., Ursin, F. dan Steger, F. 2020. "The rise of Chemical Peeling in 19th-century European Dermatology: emergence of agents, formulations and treatments," *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 34(9), hal. 1890–1899. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1111/jdv.16307>.
- Budiarti, L. *et al.* 2022. "UJI KOEFISIEN FENOL KOMBINASI EKSTRAK DAUN DAN KULIT BUAH Citrus hystrix SEBAGAI KANDIDAT ANTISEPTIK IN VITRO," *3rd LUMMENS: Potensi Sumber Daya Hayati dalam Mengatasi Masalah Kesehatan di Lahan Basah*, 3(1), hal. 102.
- Christian, K.D. *et al.* 2020. "Uji koefisien fenol benzalkonium klorida dan pine oil terhadap Staphylococcus epidermidis," *Journal of Pharmaceutical Science and Medical Research*, 3(1), hal. 29–34.
- Elizabeth, R., Apriliana, E. dan Rukmono, P. 2013. "Uji Efektivitas Pada Antiseptik Di Unit Perinatologi Rumah Sakit Umum Abdul Moeloek Bandar Lampung," *Medical Journal of Lampung University*, 1(1), hal. 119–128.
- Gera, S.K. *et al.* 2019. "Ingrowing toenails in children and adolescents: Is nail avulsion superior to nonoperative treatment?," *Singapore Medical Journal*, 60(2), hal. 94–96. Tersedia pada: <https://doi.org/10.11622/smedj.2018106>.

- Hamijaya, L., Prihatiningsih, P. dan Widiastuti, M.G. 2014. "Perbedaan daya anti bakteri tertachlordecaoxide, povidon iodine dan hidrogen peroksida (H₂O₂) terhadap bakteri *Pseudomonas aeruginosa* secara in vitro," *J Ked Gi*, 5(4), hal. 329–335. Tersedia pada: <https://journal.ugm.ac.id/jkg/article/viewFile/29328/17503>.
- Harlita, T.D., Oedjijono dan Asnani, A. 2018. "The antibacterial activity of dayak onion (*Eleutherine palmifolia* (L.) merr) towards pathogenic bacteria," *Tropical Life Sciences Research*, 29(2), hal. 39–52. Tersedia pada: <https://doi.org/10.21315/tlsr2018.29.2.4>.
- Mahardani, O.T. dan Yuanita, L. 2021. "Efek Metode Pengolahan Dan Penyimpanan Terhadap Kadar Senyawa Fenolik Dan Aktivitas Antioksidan," *Unesa Journal of Chemistry*, 10(1), hal. 64–78. Tersedia pada: <https://doi.org/10.26740/ujc.v10n1.p64-78>.
- Narmandakh, A. *et al.* 2006. "Phosphorylation of phenol by phenylphosphate synthase: Role of histidine phosphate in catalysis," *Journal of Bacteriology*, 188(22), hal. 7815–7822. Tersedia pada: <https://doi.org/10.1128/JB.00785-06>.
- Rendon, M.I. *et al.* 2010. "Evidence and considerations in the application of chemical peels in skin disorders and aesthetic resurfacing," *Journal of Clinical and Aesthetic Dermatology*, 3(7).
- Susilawati, N.M. *et al.* 2020. "The potential of ethanol extract of white pomegranate leaves (*Punica granatum* L) as anti-bacterial," *Jurnal Teknologi Laboratorium*, 9(2), hal. 145–150. Tersedia pada: <https://doi.org/10.29238/teknolabjournal.v9i2.258>.
- Susilawati, N.M., Ramona, Y. dan Parwata, I.M.O.A. 2016. "Journal of Biological Sciences," *jJURNAL METAMORFOSA*, 3(2), hal. 96–102. Tersedia pada: <https://doi.org/10.22843>.

- Tam, C. *et al.* 2022. "A Comprehensive Review of Non-Energy-Based Treatments for Atrophic Acne Scarring," *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 15(January), hal. 455–469. Tersedia pada: <https://doi.org/10.2147/CCID.S350040>.
- Tilley, F.W. 1921. "Phenol Coefficients," *American Journal of Public Health*, 11(6), hal. 513–519. Tersedia pada: <https://doi.org/10.2105/ajph.11.6.513>.
- Traboulsi, H. *et al.* 2020. "Inhalation toxicology of vaping products and implications for pulmonary health," *International Journal of Molecular Sciences*, 21(10). Tersedia pada: <https://doi.org/10.3390/ijms21103495>.

BAB 8

UJI SENSITIVITAS ANTIBIOTIK

Oleh Anggraeni Sih Prabandari

8.1 Pendahuluan

Bakteri, seperti makhluk hidup yang lainnya juga memiliki sifat adaptif. Jika diberi paparan zat yang bersifat toksik secara terus menerus, ia akan mengembangkan kemampuan untuk dapat bertahan hidup. Jika bakteri penyebab infeksi pada manusia mengembangkan kemampuan ini, maka efektivitas antibiotik sebagai terapi yang diberikan akan menurun sehingga menyebabkan infeksi lebih sulit disembuhkan. Oleh karena itu, penting untuk dilakukan uji sensitivitas bakteri sebelum memberikan terapi antibiotik.

Uji sensitivitas antibiotik adalah sebuah prosedur yang bertujuan menilai kepekaan bakteri terhadap suatu antibiotik yang dilakukan secara *in vitro*. Uji ini sering disebut juga sebagai tes kepekaan bakteri atau uji kerentanan. Beberapa literatur bahkan menyebut sebagai uji resistensi bakteri karena bakteri dapat dinyatakan **resisten** atau kebal dan **sensitif** atau peka terhadap antibiotik berdasarkan hasil uji sensitivitas ini (Carroll dkk., 2015).

Dalam uji sensitivitas bakteri, bakteri uji berasal dari isolat bakteri yang diperoleh dari spesimen klinis. Sedangkan antibiotik yang akan dipaparkan pada bakteri merupakan antibiotik yang digunakan dalam pengobatan atau terapi. Secara umum, uji sensitivitas bertujuan untuk:

1. Mengetahui status kerentanan bakteri terhadap antibiotik tertentu.
2. Mendapatkan antibiotik yang sesuai untuk mengobati penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri.

8.2 Antibiotik

Antibiotik merupakan senyawa alami atau buatan yang memiliki daya untuk menekan atau menghentikan pertumbuhan bakteri dengan cara mengganggu proses biokimia dalam sel bakteri. Pelzar & Chan (2013) menyatakan antibiotik yang baik harus dapat memenuhi persyaratan, yaitu:

1. Memiliki spektrum kerja yang luas, artinya mampu menghambat pertumbuhan atau membunuh seluruh jenis bakteri, baik Gram positif maupun Gram negatif (*broad spectrum antibiotic*)
2. Tidak menyebabkan resistensi bakteri sasaran
3. Tidak memicu timbulnya efek samping pada pasien, misalnya terjadi reaksi alergi, kerusakan sel-sel saraf dan mengakibatkan iritasi lambung
4. Tidak memiliki pengaruh terhadap keseimbangan flora normal pada tubuh pasien, misalnya flora normal yang berada di kulit dan flora normal saluran cerna.

8.2.1 Antibiotik berdasarkan spektrum kerjanya

Antibiotik bekerja pada sel bakteri dengan hasil akhir berupa penghambatan pertumbuhan bakteri atau kematian sel bakteri. Beberapa antibiotik memiliki preferensi kerja yang lebih baik pada jenis bakteri tertentu. Djide & Sartini (2008) mengelompokkan antibiotik berdasarkan aktivitasnya, yaitu:

1. Antibiotik berspektrum luas (*broad spectrum antibiotic*). Antibiotik ini dapat menghambat pertumbuhan bakteri Gram negatif maupun Gram positif. Contoh antibiotik yang termasuk dalam kelompok ini adalah tertasiklin dan turunannya, amfenikol dan turunannya, turunan aminoglikosida, turunan mikrolida, turunan rifampisin dan beberapa turunan ampisilin (ampisilin, amoksisilin, karbenisilin, hetasilin).

2. Antibiotik berspektrum sempit (*narrow spectrum antibiotic*). Antibiotik jenis ini aksi kerjanya lebih baik pada bakteri jenis tertentu.
 - a. Dominan terhadap bakteri Gram positif

Jenis antibiotik yang dominan terhadap bakteri Gram positif antara lain basitrasin, eritromisin dan sebagian besar turunan penisilin seperti benzyl penisilin dan kloksasilin.
 - b. Dominan terhadap bakteri Gram negatif

Jenis antibiotik yang dominan terhadap bakteri Gram negatif antara lain kolistin, polimiksin B sulfat dan sulfomisin.
 - c. Dominan terhadap *Mycobacteriae*

Bakteri-bakteri yang termasuk dalam kelompok *Mycobacteriae* merupakan bakteri Gram positif, berbentuk batang, bersifat tahan asam dengan persyaratan pertumbuhan yang spesifik. Kelompok ini mencakup beberapa bakteri patogen penyebab infeksi pada manusia, salah satunya *Mycobacterium tuberculosis* penyebab TBC. Jenis antibiotik yang dominan terhadap *Mycobacteriae* adalah streptomisin, kanamisin, sikloserin dan fimisin

8.2.2 Antibiotik berdasarkan cara kerjanya

Efek bakteriostatik dan bakterisidal yang dihasilkan oleh sebuah antibiotik berasal mekanisme aksi antibiotik terhadap proses biokimia bakteri melalui berbagai cara. Berdasarkan cara kerjanya pada bakteri, antibiotik digolongkan menjadi:

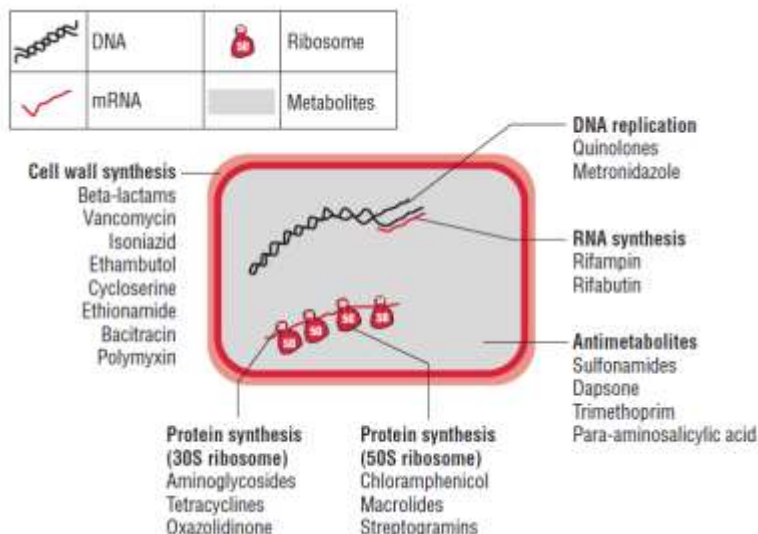
1. Antibiotik yang memiliki situs target pada dinding sel bakteri. Antibiotik jenis ini memiliki kemampuan untuk menghambat sintesis peptidoglikan, suatu senyawa penyusun dinding sel bakteri. Adanya gangguan sintesa dinding sel mengakibatkan dinding sel menjadi rapuh

sehingga tekanan osmotik dalam sel bakteri lebih tinggi daripada lingkungan eksternal. Hal ini menyebabkan sel bakteri menjadi lisis. Jenis antibiotik yang termasuk dalam golongan ini antara lain penisilin, sefalosporin, basitrasin, vankomisin dan sikloserin. Sikloserin akan menghambat reaksi paling awal pada proses sintesis dinding sel kemudian diikuti oleh basitrasin dan vankomisin, terakhir adalah penisilin dan sefalosporin.

2. Antibiotik yang menghambat metabolisme sel. Umumnya, dilakukan dengan cara menghambat kerja enzim. Misalnya sulfonamida mampu menghambat (inhibitor kompetitif) enzim dihidropteroate sintase (DHPS) yang dibutuhkan oleh bakteri untuk membentuk asam folat. Asam folat dibutuhkan bakteri untuk membuat materi genetik dan berkembangbiak sehingga jika pembentukan asam folat terganggu, bakteri tidak dapat memperbanyak diri dan dapat dengan mudah dilawan oleh sistem imun. Efek yang dihasilkan dari antibiotik golongan ini adalah bakteriostatik. Antibiotik sulfonamide, trimetoprim, asam p-aminosalisilat (PAS) dan sulfon termasuk dalam golongan ini (Etebu & Ariekpar, 2016).
3. Antibiotik yang dapat mengganggu keutuhan membran sel bakteri, umumnya dengan menyebabkan kekacauan sintesis molekul lipoprotein pada membran sel bakteri. Hal ini dapat meningkatkan permeabilitas sel dan zat-zat intrasel dapat merembes keluar dengan leluasa. Misalnya antibiotik polimiksin yang masuk pada sel bakteri akan merusak membran sel setelah bereaksi dengan fosfat dan fosfolipid membran sel mikroba dan mempengaruhi permeabilitas membran sel mikroba tersebut. Kerusakan membran sel menyebabkan keluarnya berbagai komponen penting yaitu protein, asam nukleat, dan nukleotida sehingga sel menjadi mati. Polimiksin, golongan polien dan

antiseptic survice antigen agent merupakan jenis antibiotik yang bekerja dengan mekanisme ini.

4. Antibiotik yang menghambat sintesis protein bakteri. Untuk melangsungkan kehidupan, bakteri harus melakukan sintesis berbagai protein. Sintesis protein berlangsung di organella sel ribosom melibatkan t-RNA dan m-RNA. Ribosom sendiri terdiri dari dua sub unit kecil dan besar yang dikenal dengan sub unit 50S dan 30S. Streptomisin misalnya, akan berikatan dengan ribosom unit kecil (kompleks 30S) sehingga mengakibatkan tRNA salah membaca kode genetic yang dibawa oleh mRNA pada waktu sintesis protein. Akibatnya akan terbentuk protein yang abnormal dan non fungsional bagi sel bakteri (Setiabudy, 2007). Antibiotik yang termasuk dalam golongan ini adalah aminoglikosida, makrolida, linkomisin, tertrasiklin dan kloramfenikol.
5. Antibiotik yang mempengaruhi metabolisme asam nukleat dengan menghambat polimerisasi RNA dan menghambat kerja enzim topoisomerase. Antibiotik yang termasuk golongan ini adalah rifampisin, dan golongan kuinolon. Contohnya Rifampicin, Siprofloksasin dan Ofloksasin.



Gambar 8.1. Berbagai mekanisme aksi antibiotik terhadap bakteri
 (Sumber : Parija, 2012)

8.2.3 Antibiotik berdasarkan struktur molekulnya

Berdasarkan struktur molekulnya, antibiotik dibedakan menjadi delapan kelompok, yaitu golongan (1) beta lactam, (2) makrolida, (3) kloramfenikol, (4) Oxazolidinones, (5) tetrasiklin , (6) aminoglikosida, (7) quinolon dan (8) sulfonamid.

1. Golongan β lactam

Golongan ini meliputi semua jenis antibiotik yang memiliki cincin beta lactam pada struktur molekulnya. Umumnya bersifat bakterisidal. Mekanisme kerja antibiotik golongan ini dengan cara menghambat sintesis dinding sel. Hambatan ini dilakukan dengan cara bagian cincin beta lactam berikatan dengan *penicillin-binding protein* (PBP) yang terdapat pada membran sel bakteri dan berperan dalam sintesis peptidoglikan. Peptidoglikan sendiri

merupakan komponen penting penyusun dinding sel bakteri. Akibat ikatan ini, terjadi kelainan pada struktur dinding sel sehingga terjadi instabilitas osmotik dan sel menjadi lisis sehingga bakteri mati. Beberapa bakteri memiliki lapisan membrane luar sehingga PBP terlindung dari target aksi antibiotik, disamping juga konsentrasi BPB pada bakteri berbeda-beda sehingga bakteri tersebut tidak dapat dihambat oleh antibiotik golongan beta lactam. Contoh antibiotik golongan beta lactam yang berspektrum luas antara lain karbapenem dan sefalosporin generasi dua, tiga dan empat. Sedangkan yang berspektrum sempit misalnya penicillin, monobactam dan sefalosporin generasi pertama (Katzung, 2018).

2. Golongan Makrolida

Antibiotik makrolida memiliki struktur utama cincin lakton yaitu amino dan gula netral yang disatukan oleh ikatan glikosida. Antibiotik golongan ini memiliki spektrum kerja yang sempit, utamanya terhadap bakteri Gram positif. Berdasarkan tipe aktivitas antibiotiknya, termasuk dalam golongan bakteristatik (menghambat pertumbuhan bakteri) namun dapat menjadi bakterisidal (mematikan bakteri) jika dosisnya ditingkatkan. Gangguan proses translasi merupakan mekanisme kerja utamanya, yaitu berikatan dengan ribosom bakteri (sub unit 50s) sehingga menghambat proses transpeptidase dan translokasi. Akibatnya, dilepaskan rantai polipeptida yang belum matang. Contoh antibiotik dalam golongan ini adalah eritromisin yang memiliki spektrum dan penggunaan yang hampir sama dengan penisilin, azitromisin, klaritromisin, tilosin, spiramisi dan tilmikisin.

3. Golongan Kloramfenikol

Kloramfenikol memiliki mekanisme kerja menghambat sintesis protein bakteri. Targetnya adalah ribosom sub unit 50S. Ikatan secara tebalik antara kloramfenikol dengan sub unit ini menghambat pembentukan ikatan peptida sehingga protein tidak terbentuk secara utuh. Antibiotik ini memiliki spektrum luas (*broad-spectrum*) yang mmeiliki efek bakteriostatik terhadap bakteri Gram positif (aerob dan anaerob) dan bakteri Gram negatif. Kloramfenikol dapat bersifat bakterisidal terhadap *Haemophilus influenza*, *Neisseria meningitides*, dan beberapa jenis *Bacteroides*.

4. Golongan Oxazolidinones

Target kerusakan antibiotik golongan ini adalah mengacaukan proses sintesis protein. Caranya dengan mencegah pembentukan kompleks ribosom yang berperan sebagai promotor dalam proses sintesis protein. Situs pengikatannya yang unik yaitu terletak di RNA ribosom 23S dari subunit 50S yang menghambat sintesis protein pada taraf dini. Salah satu contoh Linezolid adalah Oxazolidinone yang aktif terhadap bakteri Gram positif termasuk *Staphylococcus sp.*, *Streptococcus sp.*, *Enterococcus sp.* dan *Mycobacterium tuberculosis*.

5. Golongan Tetrasiklin

Yang termasuk dalam antibiotik golongan ini adalah semua jenis antibiotik emiliki empat cincin pada struktur molekulnya. Golongan ini memiliki spektrum kerja yang luas meliputi kokus Gram positif, Gram negatif serta kebanyakan bacillus. Tidak efektif terhadap *Pseudomonas sp.* dan *Proteus sp.*, namun sangat efektif terhadap *Chlamydia trachomatis*. Aktivitas antibakterinya bersifat bakteriostatik. Mekanisme kerjanya dengan penghambatan sintesis protein. Setelah tertasilkin masuk dalam sel

bakteri, ia menuju ribosom dan berikatan dengan sub unit 30S, mencegah perlekatan aminoasil-tRNA ke kompleks RNA-ribosom. Hal ini mengakibatkan sintesis protein berhenti. Contoh antibiotiknya adalah tertrasiklin, doksisisiklin, minosiklin dan tigesiklin.

6. Golongan Aminoglikosida

Antibiotik ini bersifat bakterisidal dan bekerja dengan cara menghambat sintesis protein. Aminoglikosida masuk ke dalam sel bakteri dan berikatan dengan sub unit ribosom 30S sehingga menyebabkan kekeliruan pembacaan kode genetik. Hal ini menyebabkan gangguan sintesis protein. Meskipun antibiotik golongan ini memiliki spektrum kerja yang luas, namun tidak efektif untuk bakteri anaerobik. Contoh antibiotik golongan ini adalah amikasin, gentamisin, kanamisin, neomisin, streptomisin dan tobramisin.

7. Golongan Quinolon

Target utama kerja Quinolon adalah proses sintesis DNA bakteri. Mekanisme kerjanya yaitu menghambat kerja enzim topoisomerase II (DNA gyrase) pada proses replikasi DNA sehingga terjadi abnormalitas DNA hasil replikasi. Quinolon juga menghambat enzim topoisomerase IV pada proses pembelahan sel sehingga mengganggu proses pemisahan DNA kromosom yang direplikasi ke sel anak selama replikasi sel.

Quinolon memiliki aktivitas yang sangat baik terhadap bakteri Gram negatif dan aktivitas sedang hingga baik terhadap bakteri Gram positif. Antibiotik yang termasuk Quinolon yaitu Siprofloksasin, Levofloksasin, Lomefloksasin, Floksasin, Ofloksasin.

8. Golongan Sulfonamid

Penghambatan kerja enzim dihidropteroat sintase merupakan target utama Sulfonamid, disamping juga penghambatan produksi folat yang dibutuhkan untuk pertumbuhan bakteri. Sulfonamida mampu menghambat bakteri Gram positif, seperti *Staphylococcus sp.* dan bakteri Gram negatif enterik seperti *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*, *Salmonella sp.*, *Shigella sp.*, dan *Enterobacter sp.* Meski demikian, sulfonamide memiliki aktivitas yang kurang baik terhadap anaerob.

8.3 Uji Sensitivitas Metode Difusi

Pada uji sensitivitas metode difusi, digunakan media agar pada cawan petri. Prinsip utama metode ini adalah antibiotik akan berdifusi pada media agar sehingga pertumbuhan bakteri terhambat. Luas zona hambat sebanding dengan daerah bening yang terbentuk di sekitar cakram disk antibiotik atau sumuran. Terdapat beberapa media agar yang dapat digunakan dalam uji sensitivitas metode ini, namun media Muller Hinton Agar (MHA) lebih direkomendasikan. Rizki (2017) menyatakan media MHA mampu membentuk zona difusi yang lebih baik dibandingkan media Nutrient Agar (NA) pada uji sensitivitas bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Tama (2021) yang membandingkan tiga jenis media yaitu MHA, NA dan Antibiotik Agar (Merck) pada uji sensitivitas bakteri *Pseudomas aeruginosa* dan *Staphylococcus aureus* juga menemukan bahwa luas zona hambat yang terbentuk pada media MHA lebih baik dibandingkan dua media lainnya, baik untuk metode difusi cakram maupun sumuran.

Media MHA bersifat universal sehingga semua bakteri dapat tumbuh subur, bahkan bakteri patogen non fastidius. Kandungan *sulfonamide*, *trimethoprim* dan *tetracycline inhibitors* dalam media ini sangat rendah. Selain itu, komposisi media MHA mengandung pati (*starch*) yang dapat menyerap zat toksik hasil metabolisme

bakteri sehingga tidak mengganggu aktivitas antibiotik. Dalam 100 gram media ini, terkandung agar sebanyak 17 gram. Agar ini merupakan agar yang longgar sehingga memungkinkan difusi antibiotik yang lebih baik daripada kebanyakan jenis agar lainnya. Difusi yang lebih baik mengarah ke zona hambat yang lebih baik (Atmojo, 2016).

Keberhasilan metode ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain

1. Ketebalan media

Prinsip metode difusi adalah antibiotik menyebar melalui media agar sehingga dapat menghambat atau membunuh bakteri uji yang tumbuh pada media agar. Ketebalan media yang direkomendasikan dalam uji sensitivitas metode difusi adalah 4 mm. Penelitian Flanagan & Steck (2017) membuktikan zona hambat yang terbentuk pada media dengan ketebalan 4 mm lebih baik dibandingkan 6 mm dan 8 mm. Agar yang terlalu tebal dapat mengganggu proses difusi antibiotik sehingga memberikan hasil zona hambat yang kurang optimal. Sebaliknya, antibiotik menyebar lebih cepat pada agar yang kurang tebal sehingga dapat memberikan zona hambat yang lebih luas, namun memberikan hasil sensitif palsu. Agar yang kurang tebal juga mungkin dapat mengurangi pertumbuhan bakteri karena di dalam agar terkandung nutrisi untuk pertumbuhan.

2. Kekeruhan suspensi bakteri uji yang digunakan

Standar Mc Farland 0,5 atau setara dengan $1,5 \times 10^8$ CFU/ml merupakan kekeruhan yang disarankan oleh CLSI untuk uji sensitivitas. Pembuatan suspensi bakteri dapat dilakukan dengan cara menambahkan Nutrient Broth (NB) atau NaCl 0,9% steril ke dalam strain murni bakteri uji yang telah dimasukkan dalam tabung dan

dibandingkan kekeruhannya dengan standart. Jika kurang keruh, ditambahkan koloni bakteri, namun jika terlalu keruh ditambahkan NB atau NaCl 0,9% steril. Untuk memastikan kekeruhan suspensi telah sama dengan standar secara akurat, digunakan alat nephelometer.

Jika suspensi kurang keruh, maka diameter zona hambat akan lebih besar karena jumlah bakteri yang tumbuh juga sedikit. Sebaliknya, jika suspensi terlalu keruh, jumlah bakteri yang tumbuh pada media menjadi banyak. Kemampuan antibiotik untuk menghambat bakteri tidak sebanding dengan jumlah bakteri sehingga luas zona hambat menjadi lebih kecil dan memberikan hasil resisten palsu.

3. Waktu peresapan suspensi bakteri ke dalam media

Suspensi bakteri yang diratakan pada permukaan media agar menggunakan lidi kapas steril sebaiknya didiamkan selama 5-10 menit sebelum meletakkan disk antibiotik atau memasukkan akntibiotik ke dalam sumuran. Hal ini bertujuan agar bakteri menempel pada permukaan media. Setelah diberi antibiotik, media sebaiknya didiamkan selama 15 menit supaya antibiotika dapat berdifusi langsung ke dalam media sebelum media diinkubasi. Waktu peresapan yang kurang dapat meningkatkan luas zona hambat sehingga memberikan hasil sensitif palsu.

4. Komposisi media

Pada dasarnya, semua media agar padat dapat digunakan dalam uji sensitivitas metode difusi, tergantung tujuan dan jenis bakteri yang akan diuji. Namun demikian, setiap media pertumbuhan memiliki komposisi yang beragam. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa media

MHA lebih direkomendasikan dalam uji sensitivitas antimikroba. Hal ini disebabkan luas zona hambat yang terbentuk pada media MHA lebih baik dibandingkan media sejenis lainnya.

5. Konsentrasi antibiotik yang digunakan

Konsentrasi antibiotik dinyatakan dalam kadar antibiotik. Untuk antibiotik dalam bentuk cakram disk, tertulis nama antibiotik dan kadarnya pada permukaan disk. Semakin tinggi kadarnya, semakin tinggi pula daya hambatnya terhadap bakteri sehingga semakin diameter zona hambat yang terbentuk.

6. Temperatur inkubasi dan waktu inkubasi

Temperatur dan waktu inkubasi yang disarankan adalah pada suhu 37°C selama ± 24 jam. Umumnya bakteri patogen membutuhkan suhu optimal untuk tumbuh, yaitu 37°C sesuai dengan suhu tubuh manusia sehingga inkubasi sebaiknya dilakukan pada suhu ini. Suhu yang kurang atau berlebih dapat menyebabkan pertumbuhan bakteri tidak optimal sehingga diameter zona hambat semakin besar. Menumpuk plate (cawan petri) saat inkubasi dapat menyebabkan perbedaan distribusi suhu pada plate bagian atas, tengah dan bawah. Plate yang berada di tengah, suhunya tidak tercapai 37°C sehingga pertumbuhan bakteri tidak optimal. Suhu yang terlalu tinggi juga mungkin dapat menyebabkan proses difusi antibiotik tidak berjalan dengan baik.

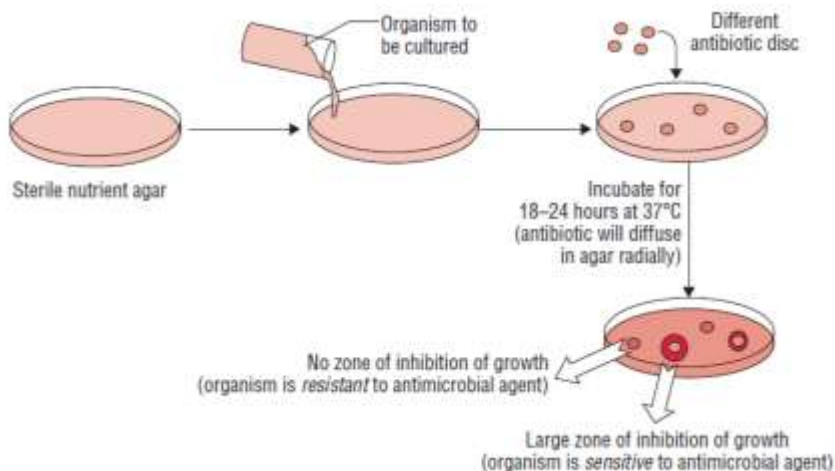
Sedangkan inkubasi dilakukan selama 24 jam karena pada waktu tersebut bakteri telah memasuki fase pertumbuhan stationer, dimana kecepatan pertumbuhan sama dengan kematian sel dan dengan cepat akan masuk ke fase kematian sel. Pada jam ke 0 sampai ke 4, bakteri

yang diinokulasikan pada media pertumbuhan mengalami fase penyesuaian atau adaptasi dengan lingkungan yang baru. Pada jam ke -4 sampai jam ke -8, pertumbuhan bakteri mulai mengalami peningkatan pertumbuhan yang signifikan. Tahap ini disebut fase log atau fase eksponensial. Setelah fase ini, bakteri ini mulai masuk fase stationer dimana kecepatan pertumbuhan bakteri sama dengan laju kematiannya. Fase ini terjadi pada jam ke-8 sampai jam ke-16. Fase kematian sel terjadi pada jam ke-20 hingga jam ke-24. Bakteri mulai mengalami penurunan jumlah sel. Laju kematian meningkat lebih cepat dibandingkan laju pertumbuhan. Pada fase ini, sumber nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan bakteri pada media mulai habis (Kurniawati dkk., 2019; Dwijoseputro, 2005). Oleh karena itu, pengamatan luas zona hambat pada uji sensitivitas sebaiknya tidak dilakukan lebih dari 24 jam setelah inkubasi.

8.3.1 Kirby Bauer

Metode Kirby Bauer disebut juga *filter paper disk agar diffusion method* dan NCCLS (*National Committee for Clinical Laboratory Standards*). Prosedur difusi kertas cakram agar yang terstandarisasi merupakan cara untuk menentukan kerentanan bakteri terhadap antibiotik. Prinsip metode ini adalah adanya zona hambat yang terlihat di sekeliling cakram disk pada media Mueller Hinton Agar yang telah diinkubasi selama 18- 24 jam. Cakram disk yang berisi obat antibiotik dengan kadar tertentu diletakkan pada media agar yang telah ditanami bakteri uji. Obat yang ada di dalam cakram disk akan berdifusi pada media agar sehingga memiliki efek menghambat atau membunuh bakteri uji. Area jernih di sekitar cakram disk menunjukkan adanya hambatan pertumbuhan bakteri oleh antibiotik. Sensitivitas suatu bakteri terhadap antibiotik ditentukan oleh luas diameter zona hambat

yang terbentuk. Semakin besar diameternya maka semakin terhambat pertumbuhannya (Vandepitte dkk, 2011).



Gambar 8.2. Skema prosedur uji sensitivitas metode difusi cakram disk
(Sumber : Parija, 2012)

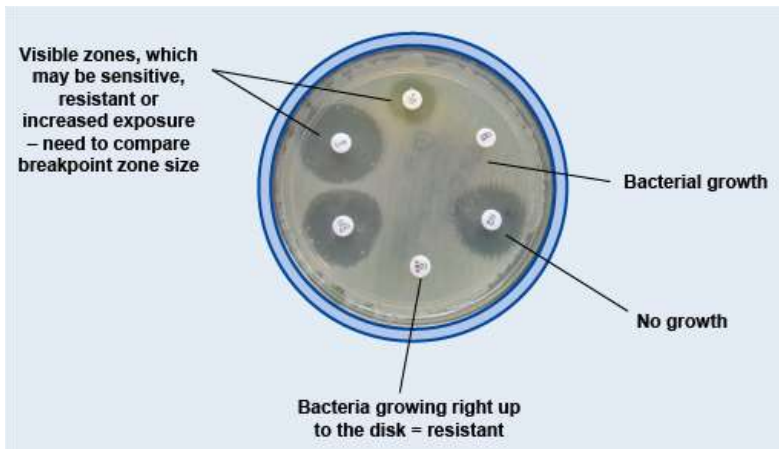
Jika seluruh tahapan prosedur uji dilakukan dengan benar, maka zona hambat tampak sebagai daerah jernih yang melingkar secara seragam di sekitar disk. Jika koloni bakteri tampak tumbuh di seluruh lempeng agar, maka suspensi bakteri yang dibuat dan diinokulasikan ke media terlalu encer sehingga uji harus diulang. Interpretasi hasil status kerentanan bakteri dilihat secara visual dengan mengamati terbentuknya zona bening di sekitar cakram disk. Pada metode ini dikenal adanya dua zona, yaitu zona radikal dan zona irradikal.

1. Zona radikal.

Zona radikal disebut juga zona bunuh, merupakan daerah jernih di sekitar cakram disk yang sama sekali tidak ditemukan adanya pertumbuhan bakteri. Potensi antibiotik

diukur dengan mengukur diameter dari zona radikal. Zona ini ditandai dengan adanya area bening di sekeliling cakram disk atau sekeliling antibiotik.

2. Zona irradikal disebut juga zona hambat, merupakan daerah di sekitar disk yang menunjukkan pertumbuhan bakteri dihambat oleh antibiotik tersebut, tapi tidak dimatikan. Zona irradikal ditunjukkan sebagai area tidak subur atau lebih keruh di sekitar cakram disk atau antibiotik jika dibandingkan dengan daerah yang tidak terpengaruh oleh antibiotik (Ayu dkk., 2014).



Gambar 8.3. Zona yang terbentuk pada uji sensitivitas metode Kirby Bauer
(Sumber: Fleming, 2020)

Luas zona hambat diukur dengan penggaris atau jangka sorong (*calliper*) pada bagian belakang cawan petri. Pengukuran zona hambat ini dilakukan dengan cara mengambil garis horizontal pada zona bening di sekitar disk. Jika terbentuk zona bening yang tumpang tindih, maka luas zona

hambat diukur dari garis tengah cakram disk ke bagian tepi zona bening yang tidak bertumpuk. Hasil yang diperoleh dikalikan dua sehingga didapatkan luas zona hambat. Luas zona hambat hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan standar dari CLSI (*Clinical Laboratory Standards Institute*) sehingga dapat ditetapkan status bakteri uji sebagai rentan atau sensitive (S), intermediet (I) dan resisten (R). Standar ini spesifik untuk setiap jenis bakteri dan antibiotik (ASM, 2016).

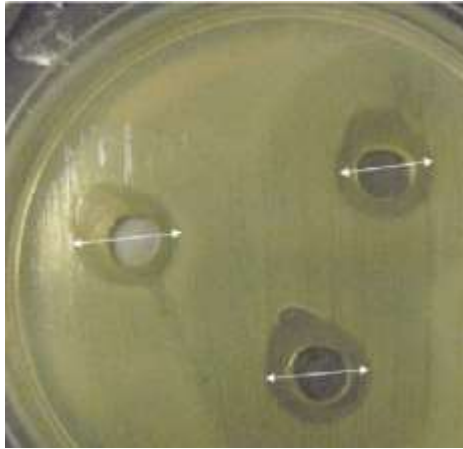
Hal lain yang harus diperhatikan jika akan melakukan uji sensitivitas dengan metode Kirby Bauer adalah jarak antar disk. Jarak antar disk sebaiknya tidak kurang dari 24 mm. Pada cawan petri berdiameter 150 mm maksimal cakram disk yang dapat diletakkan adalah 12 buah. Selain itu, posisi cakram disk juga sebaiknya tidak diletakkan di tepi cawan. Hal ini dapat mengakibatkan luas zona hambat yang terbentuk tidak optimal sehingga tidak didapatkan luas zona hambat yang valid (ASM, 2016).

Kelebihan metode ini adalah prosedurnya sederhana, mudah, praktis, tidak memerlukan peralatan khusus serta dapat dilakukan pengujian beberapa jenis antibiotik yang berbeda dalam waktu yang bersamaan. Sedangkan kelemahannya adalah ukuran zona jernih di sekitar cakram disk yang terbentuk dipengaruhi oleh kondisi inkubasi, inokulum, predifusi dan preinkubasi serta ketebalan media. Kondisi ini dapat dikendalikan sehingga memperkecil kelemahan metode ini (Pelczar & Chan, 2013).

8.3.2 Sumuran

Uji sensitivitas dengan metode sumuran dikerjakan dengan cara membuat suatu sumuran (lubang) yang dibuat tegak lurus pada agar padat yang telah diinokulasi dengan bakteri uji. Diameter lubang berkisar 6-8 mm. Jumlah dan letak lubang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Lubang diisi dengan antibiotik yang akan diuji dengan volume 20-100 μ L. Setelah dilakukan inkubasi,

pertumbuhan bakteri diamati untuk melihat daerah hambatan di sekeliling lubang (Balouiri dkk., 2016).



Gambar 8.4. Zona hambat di sekitar sumuran pada uji sensitivitas metode difusi sumuran
(Sumber: Qamar dkk., 2017)

Metode difusi, baik difusi cakram maupun sumuran memiliki prinsip yang sama. Perbedaan terletak pada antibiotik yang digunakan. Pada metode sumuran menggunakan antibiotik cair, sedangkan difusi cakram menggunakan kertas antibiotik. Beberapa penelitian menunjukkan diameter zona hambat yang terbentuk pada uji sensitivitas metode sumuran lebih besar dibandingkan metode cakram disk (Kusuma dkk., 2019; Nurhamidin dkk., 2021; Haryanti dkk., 2017). Metode sumuran memiliki kelebihan yaitu lebih mudah mengukur luas zona hambat yang terbentuk karena bakteri beraktivitas tidak hanya di permukaan atas nutrisi agar tetapi juga sampai ke bawah.

Metode sumuran umumnya jarang dipilih oleh peneliti karena terdapat beberapa kesulitan dalam aplikasinya. Kesulitan dalam teknik ini antara lain:

1. Sulit membuat sumuran pada agar
2. Terdapat sisa-sisa agar pada media yang digunakan untuk membuat sumuran. Hal ini dapat mengakibatkan peresapan antibiotik tidak maksimal.
3. Pada saat pembuatan sumuran, besar kemungkinan media agar retak atau pecah di sekitar lubang. Kondisi ini dapat mengganggu proses peresapan antibiotik ke dalam media sehingga mempengaruhi luasan diameter zona hambat. Oleh sebab itu diperlukan teknik yang baik sehingga tercipta sumuran yang utuh sehingga tidak mempengaruhi kerja antibiotik terhadap bakteri uji.
4. Memungkinkan terjadinya kontaminasi karena setelah diinokulasikan bakteri, lempeng agar dibuka dalam waktu yang lama untuk membuat sumuran yang dikerjakan satu demi satu dengan hati-hati (Kusuma dkk., 2019).

8.3.3 Uji Sensitivitas Metode Dilusi

Berdasarkan jenis media yang digunakan, metode dilusi dibagi menjadi 2, yaitu dilusi cair yang menggunakan media perbenihan cair (broth) dan dilusi padat atau dilusi agar. Metode dilusi cair digunakan untuk mengukur KHM (kadar hambat minimum) sedangkan metode dilusi agar digunakan untuk menentukan KBM (kadar bakterisidal minimum). Uji sensitivitas metode dilusi dapat digunakan untuk menentukan aktivitas antibiotik secara kuantitatif. Antibiotik dilarutkan dalam media kaldu cair yang kemudian diinokulasikan dengan bakteri uji. Setelah periode inkubasi, konsentrasi terendah yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri disebut MIC (*minimum inhibitory concentration*) atau KHM. Nilai MIC dapat dibandingkan dengan konsentrasi obat yang diperoleh dari serum atau cairan tubuh lainnya untuk mendapatkan respon klinik (Carroll dkk., 2015).

Nilai MIC atau kadar hambat minimum ini berguna untuk :

1. Mengatur dosis terapeutik antibiotik secara akurat dalam pengobatan berbagai situasi yang mengancam jiwa, seperti endokarditis bakteri.
2. Menguji pola sensitivitas antibiotik pada bakteri yang tumbuh lambat, seperti *Mycobacterium tuberculosis* (Binod, 2018).

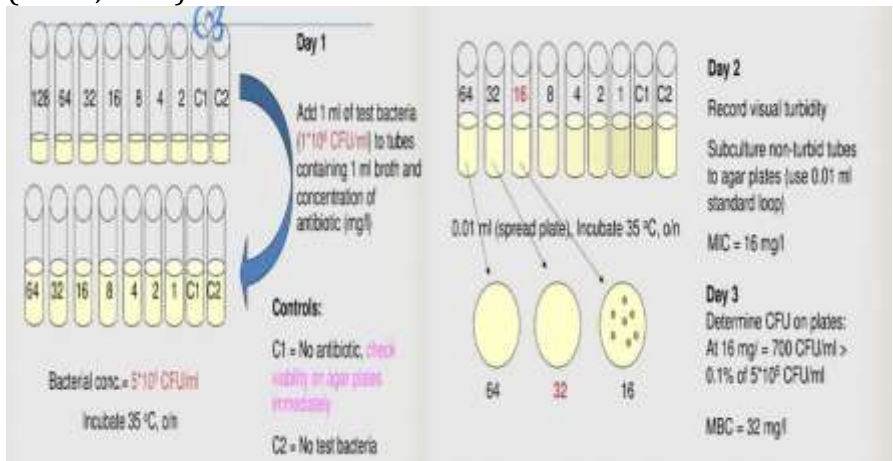
8.3.4 Dilusi Perbenihan Cair

Metode ini disebut juga broth dilution test atau serial dilution test. Prosedur ini dapat dikerjakan dalam dua cara, yaitu

1. Makrodilusi jika kaldu cair (Mueller Hinton broth) yang digunakan bervolume 1 ml sehingga uji dilakukan pada tabung uji.
2. Mikrodilusi jika kaldu cair (Mueller Hinton broth) yang digunakan bervolume 0,05 – 0,1ml sehingga uji dapat dikerjakan pada microtiter plate/microtiter tray.

Prinsip dari dilusi cair adalah antibiotika yang akan diperiksa diencerkan dalam beberapa seri pengenceran sehingga didapatkan beberapa konsentrasi. Masing-masing konsentrasi ditambahkan suspensi bakteri uji (inokulum) dalam media cair Mueller Hinton broth dengan menggandakan pengenceran dalam tabung dan kemudian suspensi standar dari kultur kaldu organisme uji ditambahkan ke masing-masing pengenceran antibiotik dan tabung kontrol. Campuran berseri ini diinkubasi pada suhu 37°C selama 16-18 jam. Bakteri yang telah diketahui kerentanannya digunakan sebagai kontrol. Adanya pertumbuhan bakteri lalu diamati. Hasilnya didapatkan MIC atau kadar hambat minimum (KHM), yaitu konsentrasi terendah antibiotik yang masih mampu menghambat pertumbuhan bakteri. MIC dicatat dengan mencatat konsentrasi antibiotik terendah yang menunjukkan tidak

ada pertumbuhan bakteri (kekeruhan pada suspensi) yang terlihat (Binod, 2018).



Gambar 8.5. Prosedur makrodilusi
(Sumber : Tama, 2021)

Penggunaan metode dilusi cair mempunyai beberapa keuntungan, yaitu dapat menjamin homogenitas yang lebih besar antara media, bahan uji dan suspensi bakteri karena interaksi antara ketiganya dapat lebih sempurna. Disamping itu, media dan bahan uji yang digunakan lebih sedikit sehingga lebih dapat menghemat media dan bahan uji. Kelebihan lain yaitu satu konsentrasi agen antimikroba yang diuji dapat digunakan untuk menguji beberapa bakteri uji (Irianto, 2013). Kerugiannya metode ini tidak efisien karena pengerjaannya yang rumit, memerlukan banyak alat-alat dan bahan serta memerlukan ketelitian dalam proses pengerjaannya termasuk persiapan konsentrasi antimikroba yang bervariasi (Umiana, 2015).

8.3.5 Dilusi Agar

Prinsip dilusi agar adalah antibiotik yang akan diperiksa diencerkan. Masing-masing pengenceran dituang 1 ml ke dalam petri dish steril. Lalu dituangi dengan media agar yang sebelumnya telah dipanaskan dan didiamkan namun tidak sampai menjadi beku kembali (suhu 45-50°C). Campuran antibiotik dan agar ini didiamkan hingga memadat kembali. Setelah dingin dan padat, kemudian diinokulasikan bakteri pada permukaan media kemudian diinkubasi. Konsentrasi terendah dari larutan antibiotik yang masih memberikan hambatan terhadap pertumbuhan bakteri ditetapkan sebagai diameter zona hambat minimal. Uji dilusi agar membutuhkan kontrol, yaitu kontrol sterilitas, kontrol pertumbuhan dan uji secara simultan strain bakteri dengan KHM yang sudah diketahui untuk menunjukkan bahwa seri pengenceran benar (Pratiwi, 2008).

Kelebihan dilusi agar adalah penggunaan media yang efisien karena satu konsentrasi antibiotik yang diuji dapat digunakan untuk menguji beberapa mikroba uji. Kelebihan lain yaitu dapat digunakan untuk penentuan MIC bakteri *Neisseria gonorrhoeae* yang tidak dapat tumbuh pada metode dilusi cair. Sedangkan kelemahan metode ini adalah memerlukan peralatan dalam jumlah banyak dan membutuhkan waktu yang lebih lama dalam pengerjaannya karena setiap tahapan harus dikerjakan dengan teliti.

8.3.6 Epsilon test (e-test)

Uji Epsilometer (E-test) adalah metode penentuan resistensi antibiotik dengan 'gradien eksponensial'. E-test merupakan metode gabungan antara dilusi dan difusi karena metode ini bersifat kuantitatif yang menerapkan pengenceran antibiotik dan difusi antibiotik ke dalam medium. Pada metode ini digunakan strip plastik yang sudah mengandung antibiotik dengan konsentrasi terendah sampai tertinggi yang diletakkan pada media

agar yang telah diinokulasikan bakteri uji. Hambatan pertumbuhan bakteri diamati dengan adanya area jernih di sekitar strip setelah 24-48 jam inkubasi pada suhu 35-37°C. Zona penghambatan berbentuk tetesan memotong strip uji bertingkat pada konsentrasi penghambatan (MIC) antibiotik. E-test lebih disukai pada praktik klinis karena memiliki biaya yang lebih rendah dan lebih sedikit memakan waktu (Pratiwi, 2008 ; Tankeshwar, 2022).

Perangkat utama metode ini adalah strip plastik tipis tidak berpori pembawa antibiotik dengan lebar 5 mm dan panjang 60 mm yang disebut strip e-test. Ketika strip e-test ini diletakkan pada lempeng agar MHA yang diinokulasi bakteri uji, akan terjadi pelepasan obat secara langsung dan pembentukan gradien konsentrasi antimikroba dalam media agar. Setelah inkubasi semalam, tes dibaca dengan melihat strip dari bagian atas piring, elips penghambatan simetris dihasilkan. Perpotongan bagian bawah area penghambatan pertumbuhan berbentuk elips dengan strip uji menunjukkan nilai MIC (Tankeshwar, 2022). Interpretasi hasil pada metode ini adalah:

1. Baca MIC pada titik di mana elips memotong skala.
2. Jika nilai MIC di antara dua pengenceran dua kali lipat terlihat, selalu bulatkan ke nilai tertinggi.
3. Baca nilai MIC pada penghambatan total semua pertumbuhan.
4. Jika perpotongan berbeda di kedua sisi strip, baca MIC sebagai nilai yang lebih besar. Abaikan pertumbuhan apapun di tepi strip.



Gambar 8.6. E-test dan penentuan MIC antibiotik
(Sumber: Tankeshwar, 2022)

Nilai MIC bakteri harus ditafsirkan sebagai S (*Susceptible*), I (*Intermediate*), atau R (*Resisten*) dengan membandingkan nilai breakpoint masing-masing antibiotik dengan kriteria yang direkomendasikan oleh CLSI

DAFTAR PUSTAKA

- APEC. 2020. *Laboratory Guide: Methodologies for Antimicrobial Susceptibility Testing*. Chile: VAPET.
- ASM (American Society for Microbiology). 2016. *Kirby-Bauer Disk Diffusion Susceptibility Test Protocol*. Available at www.asmscience.org.
- Ayu, N. D., Recita I., dan Sandy C. 2014. Efektivitas Ekstrak Daun Jambu Mete (*Anacardium occidentale L*) terhadap pertumbuhan *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* pada Gingivitis – In Vitro. *ODONTO Dental Journal*. 1 (1) : 44-48.
- Baloiuri, M., Sadiki, M. and Ibsouda, S.K. 2016. Methods for In Vitro Evaluating Antimicrobial Activity: a Review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*. 6(2): 71-79.
- Binod, G.C. 2018. Dilution Test for Antibiotic Sensitivity Testing (Broth Dilution, Agar Dilution and E-test). Available at https://thesciencenotes.com/dilution-tests-for-antibiotic-sensitivity-testing-broth-dilution-agar-plate-dilution-and-e-test/#google_vignette.
- Carroll, K., Morse, S.A., Mietzner, T and Miller, S. 2015. Jawetz, Melnick & Adelberg's Medical Microbiology 27 th edition. New Yor: Mc Graw Hill Publication.
- Djide, N dan Sartini. 2008. *Dasar-Dasar Mikrobiologi Farmasi*. Makasar: Lembaga Penerbit UNHAS.
- Dwijoseputro, D. 2005. *Dasar-Dasar Mikrobiologi Cetakan ke -16*. Jakarta: Penerbit Djambatan.
- Flanagan, J.N dan Steck, T.R. 2017. The Relationship between Agar Thickness and Antimicrobial Susceptibility Testing. *Indian Journal of Microbiology*, 57(4): 503-506
- Fleming. 2020. *Antimicrobial Susceptibility Testing*. Available at <https://www.open.edu/openlearncreate/mod/oucontent/view.php?id=172394§ion=4.3>

- Haryati, S.D., Darmawati, S. dan Wilson, W. 2017. Perbandingan Ekstrak Buah Alpukat terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dengan Metode Disk dan Sumuran. *Prosiding seminar nasional publikasi hasil-hasil penelitian dan pengabdian masyarakat Universitas Muhammadiyah Semarang*: 348-52.
- Irianto, K. 2013. *Mikrobiologi Medis*. Bandung: CV. Alfabeta
- Kurniawati, L., Kusdiantini, E dan Wijanarka. 2019. Pengaruh Variasi Suhu dan Waktu Inkubasi terhadap Aktivitas Enzim Selulase dari Bakteri *Serratia marcescens*. *Jurnal Akademika Biologi*. 8(1): 1-9.
- Kusuma, A., Yuniarni, A., Rizki, K., dan Safitri, K. 2019. Uji Teknik Difusi Menggunakan Kertas Saring Media Tampung Antibiotik dengan *Escherichia Coli* Sebagai Bakteri Uji. *Jurnal Analis Kesehatan*. 13(2).
- Nurhamidin A P R, Fatimawali, Antasionasti I. 2021. Uji aktivitas antibakteri ekstrak n-heksan biji buah langsung (*Lansium domesticum* Corr) terhadap bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Klebsiella pneumoniae*. *Pharmakon*. 10(1): 748 755
- Parija, S.C. 2012. *Textbook of Microbiology and Immunology*, 2nd edition. India: Elsevier.
- Pelczar, M.J and Chan, E.C.S. 2013. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Jakarta: UI Press.
- Pratiwi, S, T. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Jakarta: Erlangga Medical Series
- Qamar, M.U., Saleem, S., Arshad, U. and Rasheed, U. 2017. Antibacterial Efficacy of Manuka Honey against New Delhi Metallo- β -Lactamase Producing Gram Negative Bacteria Isolated from Blood Cultures. *Pakistan Journal of Zoology*. 49(6)
- Tama, Z.M. 2021. Perbandingan Pemilihan Media terhadap Hasil Uji Sensitivitas Antibiotik Bakteri Secara Difusi. *Karya Tulis Ilmiah*. Surakarta. Politeknik Santo Paulus Surakarta.

- Tankeshwar, A. 2022. *E-test: Principles. Procedure and Result*. Available at https://microbeonline.com/e-test-epsilometer-test-principle-purpose-procedure-results-and-interpretations/#google_vignette
- Umiana, S. 2015. Uji Kepekaan Terhadap Antibiotik. *Jurnal Kesehatan Universitas Lampung*. 15(9): 119-123

BAB 9

INFEKSI NOSOKOMIAL

Oleh Rosa Dwi Wahyuni

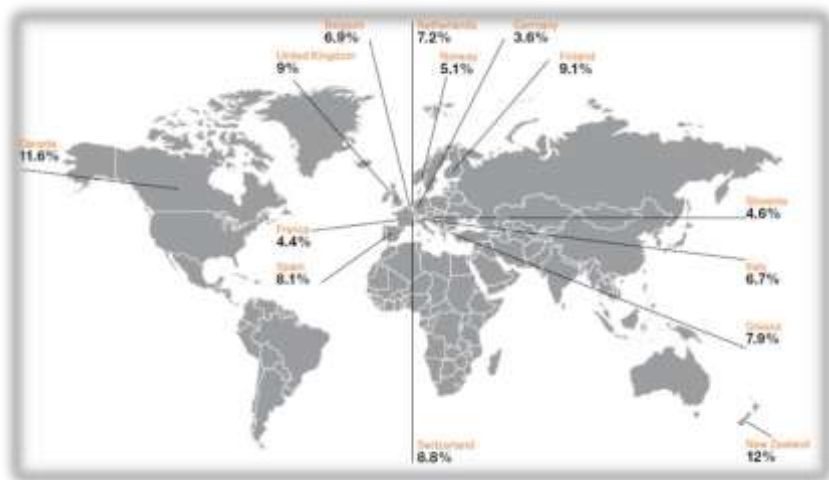
9.1 Pendahuluan

Nosokomial berasal dari kata Yunani "nosos", yang berarti "penyakit," dan "komeo", yang berarti "merawat". Infeksi yang terjadi atau diperoleh di rumah sakit disebut "infeksi nosokomial" karena "nosokomion" berarti tempat untuk merawat atau rumah sakit. (Konoralma, 2019).

Menurut Heriyati (2020), infeksi nosokomial dapat terjadi pada pasien, tenaga kesehatan, dan setiap orang yang datang ke rumah sakit. Orang sakit, pengunjung, karyawan, atau kondisi rumah sakit adalah beberapa faktor yang dapat menyebabkan penularan infeksi di pusat pelayanan kesehatan.

9.2 Epidemiologi

Studi prevalensi yang dilakukan oleh *World Health Organization* (WHO) pada 55 rumah sakit di 14 negara yang mewakili 4 wilayah WHO (Eropa, Mediterania Timur, Asia Tenggara, dan Pasifik Barat) menemukan bahwa rata-rata 8,7% pasien rumah sakit menderita infeksi nosokomial. Rumah sakit di wilayah Mediterania Timur melaporkan frekuensi tertinggi 11,8% dan 10,0%, sedangkan rumah sakit di wilayah Asia Tenggara melaporkan frekuensi tertinggi 10,0%. (Sardi, 2021).



(Sardi, 2021)

9.3 Etiologi

Bakteri, virus, parasit, dan fungi adalah beberapa patogen yang dapat menyebabkan infeksi nosokomial. *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Klebsiella* sp. adalah bakteri yang sering menyebabkan infeksi nosokomial. Menurut Konoralma (2019), bakteri dapat menyebar melalui makanan, obat, dan alat kesehatan, serta melalui kontak langsung dengan tangan medis, paramedis, atau anggota staf rumah sakit lainnya.

Patogen penyebab infeksi nosokomial terdiri dari virus, seperti virus hepatitis B dan C, yang dapat menyebar melalui media transmisi seperti transfusi, dialisis, suntikan, dan endoskopi. Respiratory syncytial virus (RSV), rotavirus, dan enterovirus dapat menyebar dari tangan ke mulut dan dari mulut ke mulut. Virus dapat menyebar melalui traktus gastrointestinal, traktus respiratorius, kulit, dan darah (Konoralma, 2019).

Giardia lamblia adalah salah satu parasit yang paling mudah ditularkan, terutama pada anak-anak. Jamur dan parasit lain juga

oportunistik dan dapat menginfeksi pasien yang menerima pengobatan antibiotika spektrum luas dan immunosupresi berat. Pencemaran lingkungan rumah sakit oleh mikroorganisme udara seperti *Aspergillus* spp. yang berasal dari debu dan tanah, terutama selama proses pembangunan rumah sakit (Heriyati, 2020).

9.4 Faktor Risiko dan Cara Penularan

9.4.1 Faktor Risiko

1. Faktor Endogen

a. Sistem Imun

Selain bakteri patogen oportunistik, ada juga bakteri yang menjalin hubungan mutualistik di tubuh manusia yang membantu proses fisiologis. Bakteri ini membantu tubuh menjadi lebih tahan terhadap invasi mikroorganisme patogen dan menjaga populasi mikroorganisme renek komensal dalam keseimbangan, terutama di saluran cerna manusia. Pada kenyataannya, pasien di ruang rawat intensif memiliki sistem kekebalan yang lebih lemah karena hal-hal seperti penyakit dasar, asupan gizi yang kurang, dan prosedur invasif. (Edimarta, 2021).

b. Umur

Anak-anak termasuk kelompok yang sangat rentan terhadap berbagai jenis infeksi, baik yang berasal dari dalam tubuh (endogen) maupun dari luar tubuh (eksogen). Berdasarkan hasil dari berbagai studi, ditemukan bahwa usia kurang dari 1 tahun dan lebih dari 40 tahun memiliki risiko yang lebih tinggi untuk mengalami infeksi, termasuk infeksi yang terjadi di lingkungan rumah sakit (infeksi nosokomial) (Edimarta, 2021).

Pada anak usia kurang dari 1 tahun, sistem kekebalan tubuh mereka belum sepenuhnya berkembang dengan sempurna, sehingga rentan terhadap serangan

mikroorganisme penyebab infeksi. Sedangkan pada usia lebih dari 40 tahun, tubuh mulai mengalami proses degenerasi sel, yang berakibat pada penurunan fungsi sistem kekebalan tubuh. Kondisi ini membuat mereka lebih rentan terhadap infeksi yang dapat menyerang kesehatan mereka (Edimarta, 2021).

c. Penyakit Dasar

Penyakit dasar yang mengurangi sistem kekebalan tubuh, seperti penyakit kronis, tumor maligna, leukemia, diabetes melitus, gagal ginjal, dan AIDS, menurunkan jumlah sel fagosit, meningkatkan risiko infeksi nosokomial. (Edimarta, 2021).

2. Faktor Eksogen

a. Lama Rawat Inap

Selama perawatan di rumah sakit, bakteri dapat menyebar dari luar (eksogen) dan dari dalam (endogen). (Edimarta, 2021).

b. Lama Pemakaian Antibiotik

Meningkatnya resistensi bakteri dapat meningkatkan angka mortalitas terutama terhadap pasien yang immunocompromised. Penggunaan antibiotika spektrum luas di ruang rawat intensif lebih sering dibandingkan ruangan lain, hal ini menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya resistensi antibiotika. Penggunaan antibiotika yang terus-menerus ini meningkatkan multiplikasi dan penyebaran strain yang resisten. Penyebab utamanya karena penggunaan antibiotika yang tidak sesuai dan tidak terkontrol, dosis antibiotika yang tidak optimal, terapi dan pengobatan menggunakan antibiotika yang terlalu singkat, kesalahan diagnosa. Meningkatnya resistensi bakteri dapat meningkatkan angka mortalitas terutama terhadap pasien

yang immunocompromised. Penggunaan antibiotika spektrum luas di ruang rawat intensif lebih sering dibandingkan ruangan lain, hal ini menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap terjadinya resistensi antibiotika. Penggunaan antibiotika yang terus-menerus ini meningkatkan multiplikasi dan penyebaran strain yang resisten. Penyebab utamanya karena penggunaan antibiotika yang tidak sesuai dan tidak terkontrol, dosis antibiotika yang tidak optimal, terapi dan pengobatan menggunakan antibiotika yang terlalu singkat, kesalahan diagnosa (Edimarta, 2021).

c. Intervensi Diagnostik

Ruang rawat intensif biasanya menerima prosedur diagnostik invasif seperti kateter urin, kateter vena sentral (CVC), dan endotracheal tube (ET). (Edimarta, 2021).

9.4.2 Cara Penularan

Pemahaman yang baik tentang infeksi itu sendiri, infeksi yang terkait dengan pelayanan kesehatan, cara infeksi menyebar, jenis infeksi HAI, dan faktor risiko diperlukan untuk mengembangkan strategi pencegahan dan pengendalian infeksi yang terkait dengan pelayanan kesehatan. (Permenkes, 2017).

1. Penularan secara kontak

Ada tiga cara penularan: kontak langsung, kontak tidak langsung, dan droplet. Penularan infeksi melalui kontak langsung terjadi ketika sumber infeksi dan penerima infeksi berinteraksi secara langsung, seperti ketika virus hepatitis A menyebar dari satu orang ke orang lain melalui transmisi fekal-oral. Penularan tidak langsung terjadi ketika infeksi menyebar melalui objek perantara, biasanya benda mati, yang terkontaminasi oleh mikroorganisme..

2. Penularan melalui common vehicle

Penularan ini dapat terjadi melalui benda mati yang telah terkontaminasi oleh kuman, yang dapat menyebabkan penyakit pada lebih dari satu individu. Jenis kendaraan umum termasuk darah, produk darah, cairan intravena, obat-obatan, dan sebagainya.

3. Penularan melalui udara dan inhalasi

Mikroorganisme yang sangat kecil memungkinkan penularan melalui saluran pernafasan dari jarak jauh. Sebagai contoh, mikroorganisme seperti staphylococcus dan tuberculosis ada dalam sel kulit yang terlepas. Dalam kedua situasi ini, penjamu dapat menghirup partikel mikroorganisme kecil dan menyebabkan infeksi.

4. Penularan dengan perantara vektor

Penularan dapat terjadi internal atau eksternal. Pemindahan mekanis mikroorganisme yang menempel pada tubuh vektor disebut penularan eksternal. Sebagai contoh, lalat memiliki kemampuan untuk menyebarkan mikroorganisme seperti shigella dan salmonella. Ini karena tubuh lalat menempel pada mikroorganisme tersebut dan dapat menyebar ketika lalat bergerak. Ketika mikroorganisme masuk ke dalam tubuh vektor dan mengubah fungsi biologisnya, ini disebut penularan internal. Sebagai contoh, parasit malaria dapat ditularkan oleh nyamuk karena berkembang biak di tubuh nyamuk sebelum menular ke manusia. Sebaliknya, penularan internal juga dapat terjadi ketika mikroorganisme tidak mengalami perubahan biologis setelah masuk ke dalam tubuh vektor. Contohnya, ginjal kutu puce, atau flea, mengandung yersinia pestis, yang dapat menjadi sumber penularan penyakit tanpa mengubah proses biologis di dalam tubuh kutu.

9.5 Tahapan Infeksi Nosocomial

Agar mikroba patogen dapat menyebabkan penyakit infeksi, pejamu yang rentan harus melalui dan menyelesaikan proses-proses berikut:

1. Tahap pertama
Mekanisme penyebaran penderita terdiri dari penularan langsung dan tidak langsung. (Heriyati, 2020) .
2. Tahap kedua
ialah upaya mikroba patogen untuk menyerang jaringan atau organ pasien dengan mencari pintu masuk (port d'entrée). Ini dapat terjadi karena kerusakan atau luka pada kulit atau mukosa di rongga hidung, mulut, atau orifisium uretra. (Heriyati, 2020).
3. Tahap ketiga
Selain merusak jaringan, berkembang biak mikroba patogen (melakukan multiplikasi) menyebabkan perubahan morfologis dan gangguan fisiologis. (Heriyati, 2020).

9.6 Klasifikasi

9.6.1 Infeksi Traktus Urinarius

Dengan prevalensi 80%, ini adalah infeksi nosokomial yang paling umum yang disebabkan oleh penggunaan kateter urin jangka panjang. (Konoralma, 2019).

9.6.2 Infeksi Luka Operasi (ILO)

Infeksi nosokomial juga sering terjadi setelah luka operasi. Tergantung pada jenis operasi dan status dasar pasien, insidensinya berkisar antara 0,5% dan 15%. Hasilnya adalah peningkatan waktu perawatan setelah operasi (sekitar tiga hingga dua puluh hari) dan peningkatan biaya perawatan yang signifikan. (Konoralma, 2019).

9.6.3 Nosokomial Pneumonia

Beberapa pasien mengalami pneumonia nosokomial. Infeksi ini paling sering terjadi pada pasien yang dirawat di unit perawatan intensif dan memerlukan ventilator. Perut, saluran napas bagian atas, dan bronkus memiliki koloni mikroorganisme ini. (Konoralma, 2019).

9.6.4 Nosokomial Bakteriemia

Infeksi nosokomial jenis ini terbagi menjadi dua kategori utama: Meskipun prevalensi mereka cukup rendah, mencapai hanya sekitar 5% dari semua infeksi nosokomial, angka kematian akibatnya mencapai lebih dari 50%:

Infeksi pembuluh darah primer (IADP), yang tidak menunjukkan gejala infeksi sebelumnya, berbeda dengan organisme yang ditemukan di area lain tubuh..

Infeksi yang disebabkan oleh organisme yang sama dari bagian tubuh yang berbeda dikenal sebagai infeksi sekunder. (Konoralma, 2019).

9.7 Pencegahan

Untuk mencegah infeksi nosokomial, perlu ada integrasi, pemantauan, dan program yang mencakup hal-hal berikut. (Heriyati, 2020) :

1. Membatasi penularan organisme antara pasien dan orang yang menerima perawatan mereka melalui cuci tangan yang cukup, pemakaian sarung tangan, praktik aseptik yang tepat, metode isolasi, sterilisasi, dan desinfeksi yang tepat, serta pengendalian pakaian kotor.
2. Mengontrol risiko infeksi di lingkungan.
3. Melindungi pasien dengan pemakaian antimikrobal pencegahan yang tepat, nutrisi, dan vaksinasi.
4. Mengurangi risiko infeksi endogen dengan mengurangi prosedur invasif

5. Menjaga infeksi, menemukan dan mengendalikan kejadian luar biasa
6. Mencegah infeksi terhadap anggota staf.
7. Meningkatkan praktik perawatan pasien dan pendidikan staf yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Edimarta, A., Saragih, F., Simanjuntak, Y.T.O., Siregar, R. 2021. Faktor Risiko Infeksi Nosokomial Pada Perawat Di Ruang Rawat RSUD Kota Pinang Kabupaten Labuhan Batu Selatan Tahun 2020. *Jurnal Pionir*, 7 (1). Date accessed: 19 July 2023. Available at: <http://www.jurnal.una.ac.id/index.php/pionir/article/view/2800>
- Heriyati, H., Hatisah., Astuti, A. 2020. Prevention And Control Of Nosocomial Infections In Hospitals. *Jurnal Pendidikan Kesehatan*. Vol. 9 (1) : 87-92. Date accessed: 19 July 2023. Available at: <https://ojs.poltekkes-malang.ac.id/index.php/jpk/article/view/1465>
- Konoralma, K. 2019. Identifikasi Bakteri Penyebab Infeksi Nosokomial Di Rumah Sakit Umum Gmim Pancaran Kasih Manado. *Jurnal KESMAS*. Vol. 8(1). Date accessed: 19 July 2023. Available at: <https://ejournal.unsrat.ac.id>
- Menkes RI. 2017. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesi Nomor 27 Tahun 2017 Tentang Pedoman Pencegahan Dan Pengendalian Infeksi Di Fasilitas Kesehatan
- Sardi, A. 2021. Infeksi Nosokomial: Jenis Infeksi dan Patogen Penyebabnya. *Sensorik*. Vol. 2 (1) : 117-125. Date accessed : 19 July 2023. Available at: <https://conference.upnvj.ac.id/index.php/sensorik/article/download/1023/852>.

BAB 10

MIKROORGANISME FLORA NORMAL

Oleh Ni Ketut Yuliana Sari

10.1 Pendahuluan

Terdapat sekitar 10^{13} sel yang menyusun tubuh manusia, dan terdapat sekitar 10^{14} bakteri yang merupakan flora mikroba normal tubuh manusia. Populasi bakteri tersebut berkembang biak dalam jumlah yang bervariasi pada mukosa dan terutama terdapat di saluran pencernaan, yang hingga saat ini telah ditemukan lebih dari 400 spesies berbeda (Davis, 1996; Kayser, 2005).

Flora normal dikenal juga dengan istilah mikrobiota, merupakan suatu populasi mikroorganisme yang hidup secara alami di kulit dan membran mukosa pada manusia normal yang sehat tanpa menyebabkan penyakit. Flora mikroba normal relatif stabil, dengan genera tertentu yang menghuni berbagai wilayah tubuh selama periode tertentu dalam kehidupan seseorang. Dalam interaksinya dengan inang, mikroorganisme flora normal dapat membantu inang (dengan cara bersaing dengan patogen untuk mendapatkan lingkungan mikro yang lebih efektif atau dengan memproduksi nutrisi yang dapat digunakan oleh inang), dapat membahayakan inang (dengan menyebabkan karies gigi, abses, atau penyakit menular lainnya), atau mungkin sebagai komensal (menghuni inang dalam waktu yang lama tanpa memberikan manfaat, namun tidak menyebabkan kerugian pada inang) (Jawetz *et al.*, 2019; Sunarti, 2022; Davis, 1996).

Bakteri komensal mengkolonisasi inang tak lama setelah lahir, yang secara bertahap berkembang menjadi ekosistem yang

sangat beragam selama pertumbuhan inang. Seiring berjalannya waktu, asosiasi inang-bakteri telah berkembang menjadi hubungan yang menguntungkan. Bakteri simbiotik memetabolisme senyawa yang tidak dapat dicerna tubuh, memasok nutrisi penting, mempertahankan diri dari kolonisasi oleh patogen oportunistik, dan berkontribusi pada kesehatan usus. Sebagai contoh, mikrobiota usus terlibat dalam pencernaan makanan tertentu yang tidak dapat dicerna oleh lambung dan usus kecil, dan memainkan peran kunci dalam menjaga homeostasis energi (Wang *et al.*, 2017).

Meskipun sebagian besar elemen flora mikroba normal yang menghuni kulit, kuku, mata, orofaring, genitalia, dan saluran pencernaan manusia tidak berbahaya bagi individu yang sehat, organisme ini sering kali menyebabkan penyakit pada inang yang terganggu kesehatannya (Davis, 1996).

10.2 Pengelompokan Flora Normal Tubuh Manusia

Berdasarkan bentuk dan sifatnya, flora normal tubuh manusia dapat dikelompokkan menjadi (Jawetz *et al.*, 2019):

1. Mikroorganisme residen/ tetap (*resident microbiota*), merupakan mikroorganisme yang secara teratur relatif tetap ditemukan pada usia tertentu di bagian tubuh tertentu.

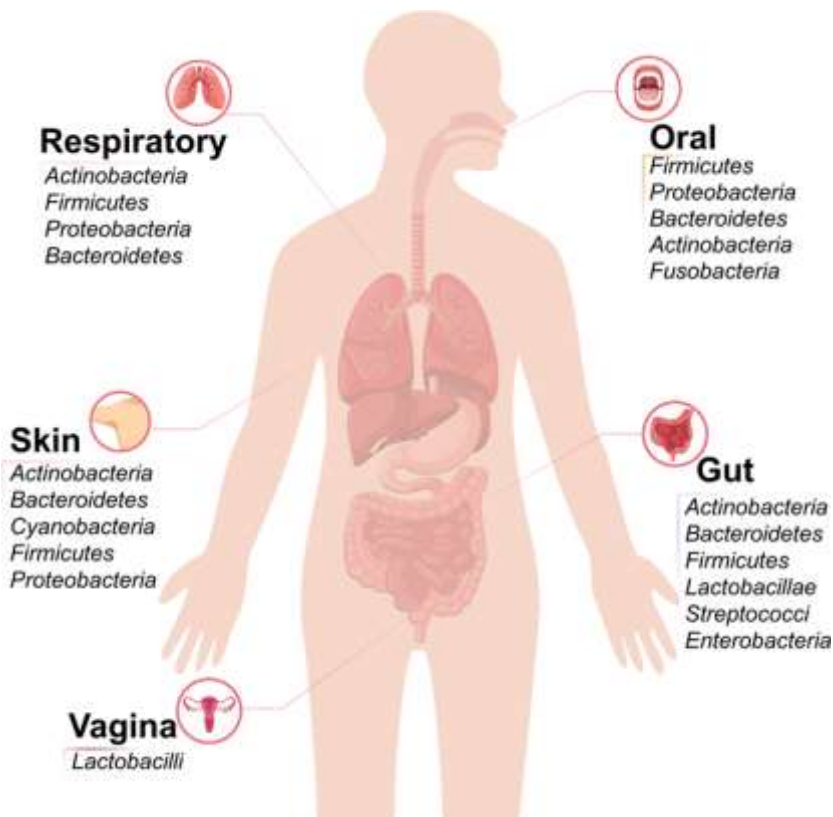
Mikroorganisme ini dapat kembali pada keadaan semula, apabila terjadi gangguan.

2. Mikroorganisme transien/ sementara (*transient microbiota*), merupakan mikroorganisme yang terdiri dari kelompok tidak patogen atau berpotensi patogen yang terdapat pada bagian tubuh selama berjam-jam, sehari-hari, atau berminggu-minggu. Mikrobiota ini tidak menetap pada tubuh secara permanen dan berasal dari lingkungan, dan tidak menimbulkan penyakit apabila keadaan mikroorganisme residen tetap utuh. Mikroorganisme

transien dapat berkoloni, berkembang biak, dan menghasilkan penyakit, jika keadaan mikroorganisme residen terganggu.

Setiap individu memiliki komunitas mikrobiota yang unik. Banyak faktor yang membentuk keanekaragaman dan kelimpahan mikrobiota dalam tubuh, seperti pola makan, genetika inang, penyakit, obat-obatan, dan gaya hidup (Mousa *et al.*, 2022). Komposisi mikrobiota bervariasi dari satu tempat ke tempat lain (Hou *et al.*, 2022).

Flora normal yang mendominasi setiap bagian tubuh manusia terdiri dari spesies yang berbeda-beda pada setiap bagian tubuh seperti di rongga mulut, kulit, vagina, perut, ileum, usus besar atau saluran kemih (McFarland, 2000). Gambar 10.1 dan Tabel 10.1 menampilkan flora normal yang mendominasi bagian tubuh tertentu.



Gambar 10.1. Komposisi Flora Normal Manusia di Berbagai Lokasi. Genus bakteri yang dominan di rongga mulut, saluran pernapasan, kulit, usus, dan vagina.
(sumber: Hou *et al.*, 2022)

Tabel 10.1. Mikrobiota Bakteri Normal

Bagian Tubuh dan Flora normal
Kulit <i>Staphylococcus epidermidis</i> ; <i>Staphylococcus aureus</i> (dalam jumlah sedikit); <i>Micrococcus</i> sp.; α -Hemolytic dan non-hemolytic streptococci (contoh <i>Streptococcus mitis</i>); <i>Corynebacterium</i> sp.; <i>Propionibacterium</i> sp.; <i>Peptostreptococcus</i> sp.; <i>Acinetobacter</i> sp. Sejumlah kecil organisme lain (<i>Candida</i> sp., <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , dan lain-lain)
Nasofaring Mikroorganisme berikut dalam berbagai jumlah: diphtheroids, <i>Neisseria</i> sp. nonpatogen, α -hemolytic streptococci, <i>S. epidermidis</i> , non-hemolytic streptococci, mikroorganisme anaerob (Contoh: <i>Prevotella</i> sp., kokus anaerob, <i>Fusobacterium</i> sp., dan lain-lain) Mikroorganisme berikut dalam jumlah yang lebih sedikit, bila disertai dengan mikroorganisme yang tercantum di atas: yeasts, <i>Haemophilus</i> sp., pneumococci, <i>S. aureus</i> , Gram-negatif batang, <i>Neisseria meningitides</i> .
Saluran pencernaan dan rektum Golongan Enterobacteriaceae kecuali <i>Salmonella</i> , <i>Shigella</i> , <i>Yersinia</i> , <i>Vibrio</i> , dan <i>Campylobacter</i> sp.; Gram-negatif batang yang tidak memfermentasi glukosa; Enterococci; α -Hemolytic dan non-hemolytic streptococci; Diphtheroids <i>S. aureus</i> dalam jumlah sedikit Yeasts dalam jumlah sedikit Sejumlah besar mikroorganisme anaerob.
Alat Kelamin Mikroorganisme berikut dalam berbagai jumlah: <i>Corynebacterium</i> sp., <i>Lactobacillus</i> sp., α -hemolytic dan non-hemolytic streptococci, <i>Neisseria</i> sp. nonpatogen Mikroorganisme berikut dalam campuran dan tidak dominan: enterococci, Enterobacteriaceae dan Gram-negatif batang lainnya, <i>S. epidermidis</i> , <i>Candida albicans</i> , dan yeasts. Berbagai mikroorganisme Anerob, seperti: <i>Prevotella</i> , <i>Clostridium</i> , dan <i>Peptostreptococcus</i> sp.

Sumber: (Jawetz *et al.*, 2019)

10.3 Flora Normal pada Kulit

Sebagai organ terbesar dari tubuh manusia, kulit dihuni oleh sekelompok mikroorganisme yang berbeda, yang sebagian besar tidak berbahaya atau bahkan bermanfaat bagi manusia, dan sebagian lagi berbahaya. Kulit adalah ekosistem yang terdiri dari 1,8m² habitat yang luas dengan adanya bagian lipatan dan lekukan yang mendukung pertumbuhan berbagai macam mikroorganisme (Dekaboruah *et al.*, 2020).

Kulit adalah organ manusia yang kompleks yang berfungsi untuk mencegah hilangnya kelembaban dan membatasi masuknya patogen. Terdapat sekitar 1 juta bakteri yang tinggal per sentimeter persegi kulit. Kulit manusia normal dijajah oleh banyak sekali jumlah mikrobiota yang hidup di permukaannya. Flora normal kulit, terutama terdiri dari kokus gram positif dan difteri, yang dapat menjadi penghalang selektif terhadap perkembangbiakan mikorganisme yang berpotensi patogen bagi tubuh. Selain itu, sejumlah kecil bakteri gram negatif dan yeast juga dapat termasuk dalam flora normal pada kulit manusia. Kulit dapat sebagai contoh lingkungan mikro yang baik, yang terdiri dari berbagai suhu, pH, kelembaban, dan kandungan sebum. Flora normal yang terdapat pada kulit bervariasi dari satu tempat ke tempat lain sesuai dengan keadaan lingkungan mikro. Berdasarkan lingkungan mikro, kulit terbagi menjadi tiga bagian yaitu 1) area kulit lembab, seperti sela jari kaki, daerah lipatan, dan ketiak; 2) area kering, seperti dahi, lengan; 3) area dengan kelenjar sebaceous yang banyak, seperti di sisi hidung, bagian belakang kulit kepala, dada bagian atas dan punggung (Dangi, 2021).

Flora normal kulit hidup sebagai mikrokoloni kecil di permukaan stratum korneum dan di dalam lapisan terluar epidermis kulit. Lapisan perifer epidermis terdiri dari lapisan mati, sel berinti, sel tanduk, dan terus-menerus bersentuhan dengan bakteri dari lingkungan sekitar (Dangi, 2021). Komposisi mikroba yang ditemukan di kulit bergantung pada fisiologi kulit, tergantung

dengan lingkungan mikro kulit yang lembab, kering, dan sebacea. Daerah sebacea didominasi oleh spesies *Propionibacterium* sp. yang bersifat lipofilik, sedangkan bakteri yang tumbuh subur di lingkungan yang lembab, seperti spesies *Staphylococcus* sp. dan *Corynebacterium* sp., termasuk lipatan siku dan kaki. Berbeda dengan komposisi bakteri, komposisi jamur ditemukan serupa di seluruh bagian tubuh dan tidak dipengaruhi oleh fisiologi. Jamur dari genus *Malassezia* mendominasi pada bagian tubuh inti dan lengan, sedangkan bagian kaki dikolonisasi oleh kombinasi jamur yang lebih beragam, seperti: *Malassezia* spp.; *Aspergillus* spp.; *Cryptococcus* spp.; *Rhodotorula* spp.; *Epicoccum* spp.; dan lainnya. Kolonisasi oleh virus masih sedikit diketahui, karena keterbatasan gen penanda virus secara universal (Byrd *et al.*, 2018).

Kolonisasi bakteri patogen pada kulit, dapat dicegah oleh mikroorganisme flora normal pada kulit. Flora normal mencegah bakteri patogen mendapatkan nutrisi untuk tumbuh dan berkembang (Kuswiyanto, 2015). Beberapa faktor fisiologis pada kulit, dapat mengeliminasi mikroorganisme non residen atau transien, termasuk patogen. Faktor tersebut seperti pH rendah, asam lemak dari kelenjar sebacea, serta adanya enzim lisozim. Mikroorganisme residen sebagai flora normal, tidak dapat tereliminasi dari kulit secara signifikan oleh keringat maupun pencucian dan mandi. Flora normal akan muncul kembali dari kelenjar sebacea dan keringat meskipun tidak ada kontak sama sekali dengan area kulit lainnya maupun lingkungan luar (Jawetz *et al.*, 2019).

Adanya flora normal yang beragam pada kulit dapat membantu menjaga kesehatan kulit, meningkatkan toleransi kekebalan tubuh, serta dapat memicu respons pro-inflamasi. Inang dan flora normal dapat memiliki interaksi yang saling menguntungkan. Contoh interaksi antara flora normal dengan inang yaitu *Staphylococcus epidermidis* yang umumnya ditemukan pada kulit manusia yang sehat. Strain *S. epidermidis* tertentu

memiliki efek perlindungan dengan mengeluarkan bahan kimia tertentu. Selain itu, *S. epidermidis* dapat meningkatkan perbaikan luka, meningkatkan kekebalan kulit, dan menghambat infeksi patogen. Interaksi flora normal-inang ini berkontribusi pada stabilitas mikrobiota dan integritas kulit. Beberapa spesies lain, seperti *Roseomonas mucosa* dan *Malassezia* sp. dapat memodulasi keratinosit dan respon imun inang. *Propionibacterium acnes* yang merupakan bakteri anaerob, adalah salah satu bakteri simbiotik yang paling umum dan penting pada kulit manusia. *P. acnes* memetabolisme sekresi sebum menjadi asam lemak untuk kelangsungan hidup dan membantu menjaga pH asam kulit, yang menyediakan lingkungan asam yang sesuai untuk mikroorganisme tertentu (Yang *et al.*, 2022).

Flora normal dapat menjadi patogen apabila terjadi gangguan pada barier kulit. Banyak bukti menunjukkan peran mikrobiota pada penyakit kulit non-infeksius, seperti dermatitis atopik, rosacea, psoriasis, dan jerawat. Pada kondisi penyakit ini, mikrobiota ditemukan dalam kondisi disbiosis (Zhang *et al.*, 2018). Mikrobiota pada kulit juga dapat menjadi penyebab utama infeksi saat terdapat luka pada kulit. Mikrobiota kulit dianggap berkontribusi pada ketombe dan bau badan (Ergert & Simmering, 2016).

10.4 Flora Normal pada Saluran Pernapasan

Saluran pernapasan dikolonisasi oleh bakteri komensal yang melindungi inang dari penyakit, meningkatkan laju pembaruan sel epitel, dan meningkatkan produksi imunoglobulin mukosa. Banyak patogen pernapasan yang hidup secara normal di dalam tubuh inang tanpa menyebabkan penyakit (Prinzi, 2020).

Saluran pernapasan dapat dibagi menjadi saluran pernapasan bagian atas (*upper respiratory tract/ URT*) dan saluran pernapasan bagian bawah (*lower respiratory tract/ LRT*). URT dihuni oleh beragam kelompok bakteri dan spesies jamur

komensal. LRT biasanya steril dan bebas dari mikrobiota normal (Dahal, 2022).

Saluran pernapasan bagian atas mengandung mikrobiota yang melimpah dan beragam. Flora normal pada hidung termasuk dalam kelompok *Streptococcus*, *Staphylococcus* dan *Corinebacteriaceae*. Mikrobiota lain yang ditemukan pada saluran hidung dan sinus termasuk dalam kelompok *Firmicutes*, *Actinobacteria*, dan *Proteobacteria*. Bakteri yang paling umum diidentifikasi termasuk *Staphylococcus epidermidis*, viridans group streptococci (VGS), *Corynebacterium* spp (difteri), *Propionibacterium* spp, dan *Haemophilus* spp.. Pada hulu kerongkongan hidung ditemukan bakteri *Branhamella catarrhalis* (Gram-negatif kokus) dan *Haemophilus influenza* (Gram-negatif batang). (Kuswiyanto, 2015; Parker *et al.*, 2021).

Orofaring meliputi banyak isolat yang sama dengan hidung dan sinus, dengan tambahan jumlah bakteri yang bervariasi seperti spesies *Prevotella*, *Fusobacterium*, *Moraxella*, dan *Eikenella*, serta beberapa isolat jamur *Candida*. Selain flora normal, banyak manusia sehat yang tanpa gejala membawa patogen potensial di saluran pernapasan bagian atas. Sebanyak 20% dari populasi membawa *Staphylococcus aureus* di lubang hidung mereka (Parker *et al.*, 2021).

Mikroorganisme yang dominan terdapat di faring adalah *Streptococcus nonhemolitik* dan *alfahemolitik* serta *Neisseria*. Kelompok *stafilokokus*, *difteri*, *hemofili*, *pneumokokus*, *mikoplasma*, dan *prevotellae* juga dapat ditemukan pada faring (Jawetz *et al.*, 2016). Faring juga dapat dikolonisasi dengan strain patogen *Streptococcus*, *Haemophilus*, dan *Neisseria* (Parker *et al.*, 2021).

Konsumsi antibiotik seperti penisilin dosis tinggi dapat mematikan flora normal pada faring, sehingga dapat menyebabkan peningkatan pertumbuhan bakteri Gram-negatif seperti

Escherichia coli, *Klebsiella*, *Proteus*, *Pseudomonas* dan jamur (Kuswiyanto, 2015).

Saluran pernapasan bagian bawah (bronkus kecil dan alveoli) biasanya steril, karena partikel-partikel sekuman bakteri tidak dapat mencapainya. Bakteri yang dapat mencapai daerah ini, akan menghadapi mekanisme pertahanan inang, seperti makrofag alveolar, yang tidak ada di faring (Davis, 1996).

Beberapa mikroorganisme yang pernah ditemukan di saluran pernapasan bagian bawah seperti *Pseudomonas* sp.; *Streptococcus* sp.; *Prevotella* sp.; *Fusobacterium* sp.; dan *Veillonella* sp., namun belum jelas apakah populasi kecil bakteri tersebut merupakan mikrobiota normal atau hanya bersifat transien/sementara (Parker *et al.*, 2021).

Banyak anggota mikrobiota normal sistem pernapasan merupakan patogen oportunistik. Untuk berkembang biak dan menyebabkan kerusakan pada inang, mikroorganisme tersebut harus dapat mengalahkan sistem kekebalan pada jaringan pernapasan inang. Banyak patogen mukosa menghasilkan faktor virulensi seperti adhesin yang memediasi perlekatan pada sel epitel inang, atau kapsul polisakarida yang memungkinkan mikroba menghindari fagositosis. Endotoksin dari bakteri gram negatif dapat merangsang respons inflamasi yang kuat yang merusak sel-sel pernapasan. Patogen lain menghasilkan eksotoksin, dan yang lainnya memiliki kemampuan untuk bertahan hidup di dalam sel inang. Setelah infeksi saluran pernapasan terbentuk, infeksi cenderung merusak eskalator mukosiliar, membatasi kemampuan tubuh untuk mengeluarkan mikroba yang menyerang, sehingga memudahkan patogen untuk berkembang biak dan menyebar (Parker *et al.*, 2021).

10.5 Flora Normal pada Mulut

Rongga mulut merupakan lingkungan yang kompleks dan memiliki flora normal yang berbeda pada setiap bagiannya. Bagian pada rongga mulut seperti gigi, langit-langit keras dan lunak, lidah serta mukosa memiliki spesies mikroorganisme yang heterogen. Bakteri merupakan mikroorganisme yang dominan terdapat di mulut dibandingkan jamur dan virus. Bakteri yang ditemukan di mulut termasuk dalam golongan Firmicutes, Bacillus, Proteobacteria, dan Actinomycetes. Orang sehat dari berbagai negara memiliki komposisi mikrobiota mulut yang serupa (Lu *et al.*, 2019).

Kumpulan flora normal pada permukaan gigi, lidah, mukosa dan langit-langit, pada dasarnya terdiri dari streptokokus (misalnya, *S. mitis*, *S. oralis*, dan *S. australis*). Organisme ini menghasilkan repertoar adhesin. Pada sebuah penelitian menyatakan perkembangan bau mulut (halitosis) terbukti terkait dengan pergeseran populasi streptokokus di lidah, yaitu hilangnya *S. salivarius* dan digantikan oleh *Atopobium parvulum*, Streptococcus yang tidak diketahui dan fusobacteria. Pergeseran mikroba dalam mulut yang terdiri dari bakteri Gram-positif dan Gram-negatif, ke komunitas yang terutama terdiri dari bakteri Gram-negatif, adalah indikator utama penyakit periodontal (Nobbs *et al.*, 2013).

Bakteri mulut adalah komponen utama dari mikrobiota mulut. Bakteri mulut yang umum termasuk *Streptococcus mutans*, *Porphyromonas gingivalis*, *Staphylococcus* sp., dan *Lactobacillus* sp.. *S. mutans* adalah komponen utama mikrobiota mulut, dan merupakan salah satu komponen utama plak gigi dan patogen utama karies. *P. gingivalis* adalah bakteri anaerob Gram-negatif non-glikolitik yang merupakan patogen periodontal. *P. gingivalis* yang tidak diobati dapat menyebabkan gusi lepas dari gigi. *Lactobacillus* mengacu pada bakteri yang dapat memfermentasi gula untuk menghasilkan asam laktat. Ini adalah sekelompok

mikroorganisme yang hidup di dalam tubuh dan bermanfaat bagi kesehatan inang. *Lactobacillus* memfermentasi gula dan menghasilkan asam laktat, yang dalam jumlah besar dapat dengan mudah menyebabkan karies (Lu *et al.*, 2019).

Dalam mulut manusia, dapat ditemukan 85 spesies jamur. *Candida* merupakan jamur yang paling dominan, yang bersifat netral ketika mikrobiota mulut normal; namun, ketika keseimbangan mikrobiota mulut terganggu, *Candida* akan mencari kesempatan untuk menyerang jaringan mulut. Virus, terutama faga, juga merupakan bagian dari mikrobiota mulut. Jenis faga di dalam mulut konstan selama semua tahap kehidupan. Virus non-asli lainnya juga dapat muncul di mulut ketika ada penyakit tertentu dalam tubuh manusia. Yang paling umum adalah virus gondongan dan HIV (*Human Immunodeficiency Virus*) (Lu *et al.*, 2019).

10.6 Flora Normal pada Saluran Pencernaan

Lambung, usus halus dan usus besar merupakan bagian pada saluran pencernaan. Setiap bagian pada saluran pencernaan memiliki karakteristik lingkungan, komposisi kimia dan sifat fisiologis yang berbeda, sehingga terdapat perbedaan jenis dan jumlah mikro flora pada setiap bagian. Secara umum jumlah mikroorganisme meningkat dari lambung ke usus halus dan usus besar (Karki, 2018).

Lingkungan sebagian besar saluran pencernaan sangat ekstrim bagi mikroba, yang memiliki dua tujuan: pencernaan dan kekebalan. Lambung adalah lingkungan yang sangat asam (pH 1,5-3,5) karena cairan lambung yang memecah makanan dan membunuh banyak mikroba yang tertelan; hal ini membantu mencegah infeksi dari patogen. Lingkungan di dalam usus kecil tidak terlalu ekstrim dan mampu mendukung pertumbuhan mikroba. Mikroorganisme yang ada di dalam usus kecil dapat mencakup laktobasilus, dipteroid, dan jamur *Candida*. Di sisi lain,

usus besar mengandung mikrobiota yang beragam dan berlimpah yang penting untuk fungsi normal. Mikroba ini termasuk Bacteroidetes (terutama genera *Bacteroides* dan *Prevotella*) dan Firmicutes (terutama anggota dari genus *Clostridium*). Arkea metanogenik dan beberapa jamur juga ada, di antara banyak spesies bakteri lainnya. Semua mikroba ini membantu pencernaan dan berkontribusi pada produksi tinja, limbah yang dikeluarkan dari saluran pencernaan, dan flatus, gas yang dihasilkan dari fermentasi mikroba makanan yang tidak tercerna (Parker *et al.*, 2021).

Usus dalam keadaan steril pada saat lahir. Pemberian makanan serta faktor lingkungan, seperti mikrobiota vagina, feses, atau kulit ibu merupakan faktor utama yang menentukan profil mikroba awal. Pada penelitian terdahulu dilaporkan bahwa *Bifidobacteria* merupakan mikrobiota yang mendominasi usus anak yang memperoleh ASI (Air Susu Ibu). Namun, penelitian terbaru menggunakan *microarray* dan PCR (*Polymerase Chain Reaction*) kuantitatif menunjukkan bahwa pada sebagian besar bayi, tidak terdapat *Bifidobacteria* hingga beberapa bulan setelah lahir dan setelah itu bertahan sebagai populasi minoritas. Flora normal yang lebih beragam ditemukan di dalam usus bayi yang mengkonsumsi susu formula, namun minim *Laktobasilus*. Ketika kebiasaan makan berkembang menuju pola orang dewasa, flora usus pun berubah. Pola makan memiliki pengaruh yang nyata terhadap komposisi relatif dari flora usus dan tinja. Kelompok Enterobacteriaceae, seperti *Klebsiella*, *Citrobacter*, dan *Enterobacter* cenderung mengkolonisasi usus bayi yang baru lahir yang memperoleh perawatan intensif (Jawetz *et al.*, 2019).

Filum bakteri subdominan yang ditemukan di usus manusia adalah Fusobacteria dan Verrucomicrobia. Genera mikroba yang termasuk dalam *Bacteroides*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium*, *Peptostreptococcus*, *Clostridium*, *Peptococcus*, dan *Ruminococcus* adalah mikroba utama dalam usus manusia, sedangkan aerob dan

anaerob fakultatif yaitu *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Escherichia*, *Proteus*, dan lain-lain merupakan beberapa genera yang dominan di dalam usus manusia. Di dalam lambung dan usus halus, genera bakteri yang paling banyak ditemukan adalah *Helicobacter*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Prevotella*, *Veillonella*, *Lactobacillus*, *Actinomyces*, *Rothia*, dan lain-lain. Selain genera bakteri ini, usus manusia mengandung beberapa bakteri patogen lainnya seperti *Campylobacter jejuni*, *Vibrio cholera*, dan *Salmonella enterik* (Dekaboruah *et al.*, 2020)

Mikrobiota dalam usus kita biasanya membantu kita untuk tetap sehat. Mikrobiota menjalankan banyak fungsi berbeda yang penting bagi kita, seperti produksi vitamin, detoksifikasi racun, pengaturan metabolisme kolesterol, dekonjugasi empedu, memberikan perlawanan kolonisasi terhadap patogen, produksi *short chain fatty acid* (SCFA) sebagai bahan bakar untuk sel epitel dan regulasi ekspresi gen. Namun, fungsi utama mikroba itu sendiri adalah untuk bertahan hidup dan berkembang (Harmsen & de Goffau, 2016).

Penelitian telah mengklarifikasi peran mikrobiota usus dalam homeostasis lipid dan protein serta dalam sintesis mikroba vitamin nutrisi esensial. Flora normal usus menghasilkan 50-100 mmol.L⁻¹ asam lemak rantai pendek (*short chain fatty acid*/ SCFA) per hari, seperti asam asetat, propionat, dan butirrat, dan berfungsi sebagai sumber energi bagi epitel usus inang. SCFA ini dapat dengan cepat diserap di usus besar dan memiliki banyak peran beragam dalam mengatur motilitas usus, peradangan, homeostasis glukosa, dan pemanenan energi. Selain itu, mikrobiota usus telah terbukti memberikan vitamin kepada inang, seperti folat, vitamin K, biotin, riboflavin (B2), cobalamin (B12), dan mungkin vitamin B lainnya (Wang *et al.*, 2017).

10.7 Flora Normal pada Saluran Kemih

Saluran kemih pada orang sehat (ginjal, ureter dan kandung kemih) merupakan daerah yang bebas dari mikroba. Pada pria maupun wanita, bakteri umumnya ditemukan pada uretra bagian bawah. Uretra anterior dari kedua jenis kelamin mengandung sejumlah kecil jenis mikroorganisme yang sama dengan yang ditemukan pada kulit dan perineum. Mikroorganisme ini ditemukan dalam urin yang dikeluarkan secara normal dalam jumlah 10^2 - 10^4 /mL. Saluran uretra mengandung mikroorganisme seperti Bacterioides, Streptococcus, Neisseria, Mycobacterium dan enterik. Sebagian besar mikroorganisme yang ditemukan pada urin, merupakan kontaminasi dari flora normal yang terdapat pada kulit. Populasi flora normal pada wanita dapat berubah berdasarkan siklus haid (Kuswiyanto, 2015; Jawetz *et al.*, 2019).

Mikrobiota vagina yang normal dan tidak normal merupakan ekosistem kompleks yang terdiri dari lebih dari 200 spesies bakteri yang dipengaruhi oleh gen, latar belakang etnis, serta faktor lingkungan dan perilaku. Beberapa spesies laktobasilus per individu mendominasi vagina yang sehat, yang mendukung sistem pertahanan bersama dengan zat antibakteri, sitokin, defensin dan lainnya terhadap disbiosis, infeksi dan merawat kehamilan normal tanpa kelahiran prematur (Mendling, 2016).

Pada vagina wanita usia subur dapat ditemukan lebih dari sepuluh spesies yang berbeda. Namun, pada wanita single biasanya didominasi oleh satu atau dua spesies, yang paling sering ditemukan adalah *Lactobacillus crispatus*, *Lactobacillus gasseri*, *Lactobacillus jensenii* dan *Lactobacillus iners*. Beberapa laktobasilus ini mampu menghasilkan bakteriosin, biosurfaktan dan molekul koagregasi untuk menghambat adhesi patogen. Flora normal pada vagina mencakup Streptococcus Grup B, Streptococcus hemolitik- α , Streptococcus anaerob, *Prevotella* sp., Clostridium, *Gardnerella vaginalis*, *Ureaplasma urealyticum*, dan kadang-kadang *Listeria* atau *Mobiluncus* sp (Mendling, 2016; Jawetz *et al.*, 2019).

10.8 Flora Normal pada Konjungtiva

Difterioid, *Staphylococcus epidermidis*, dan streptokokus nonhemolitik merupakan mikroorganisme yang dominan pada konjungtiva. Mikroorganisme lain yang juga sering ditemuakn yaitu Neiseria dan Gram-negatif batang yang menyerupai hemofilus (*Moraxella* sp.). Flora konjungtiva biasanya terkontrol oleh aliran air mata, yang mengandung lisozim antibakteri (Jawetz *et al.*, 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Byrd, A., Belkaid, Y. & Segre, J. 2018. The Human Skin Microbiome. *Nat Rev Microbiol*, 16, 143–155. <https://doi.org/10.1038/nrmicro.2017.157>.
- Dahal, Prashant. 2022. *Respiratory Microbiota- Normal Flora of Respiratory Tract*. Available from: <https://microbenotes.com/normal-flora-respiratory-tract/>.
- Dangi, Isha. 2021. A Review on Normal Human Skin Flora: Exploring the microbial flora of the skin. *Journal of Experimental and Clinical Microbiology*. Available from: <https://www.pulsus.com/abstract/a-review-on-normal-human-skin-flora-exploring-the-microbial-flora-of-rnthe-skin-9015.html>.
- Davis, C. P. 1996. Normal Flora. Chapter 6. In: Baron S, editor. *Medical Microbiology*. 4th. Ed. Galveston (TX): University of Texas Medical Branch at Galveston. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7617/>.
- Dekaboruah, E., Suryavanshi, M. V., Chettri, D., & Verma, A. K. 2020. Human Microbiome: an Academic Update on Human Body Site Specific Surveillance and Its Possible Role. *Archives of microbiology*, 202(8), 2147–2167. <https://doi.org/10.1007/s00203-020-01931-x>.
- Ergert, M., & Simmering, R. 2016. The Microbiota of Human Skin. In: Schwiertz, A. editor. *Microbiota of the Human Body, Advances in Experimental*, Springer.
- Harmsen, H. J. M. & de Goffau, M. C. 2016. The Human Gut Microbiota. In: Schwiertz, A. editor. *Microbiota of the Human Body, Advances in Experimental*, Springer.
- Hou, K., Wu, Z. X., Chen, X. Y., Wang, J. Q., Zhang, D., Xiao, C., Zhu, D., Koya, J. B., Wei, L., Li, J., & Chen, Z. S. 2022. Microbiota in health and diseases. *Sig Transduct Target Ther* 7, 135 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41392-022-00974-4>.

- Jawetz, Melnick, & Aldelberg. 2019. *Medical Microbiology*. 28th. Ed. McGraw-Hill Education.
- Karki, G. 2018. *Normal Flora of Gastrointestinal Tract*. Available from: <https://www.onlinebiologynotes.com/normal-flora-gastrointestinal-tract/#:~:text=Normal%20flora%20of%20small%20intestine%3A&text=Mainly%20Lactobacillus%20and%20Enterococcus%20are,and%20Candida%20albicans%20are%20found.>
- Kayser, F. H. 2005. Basic Principles of Medical Microbiology and Immunology. Chapter 1. In: Kayser, F. H., Bienz, K. A., Eckert, J., & Zinkernagel, R. M. *Medical Microbiology*. New York: Thieme.
- Kuswiyanto, 2015. *Bakteriologi 1 Buku Ajar Analisis Kesehatan*. Jakarta: EGC.
- Lu, M., Xuan, S. & Wang, Z. 2019. Oral Microbiota: A New View of Body Health. *Food Science and Human Wellness*, 8(1). 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.12.001>.
- McFarland, L. V. 2000. Normal Flora: Diversity and Functions, *Microbial Ecology in Health and Disease*, 12:4, 193-207, DOI: 10.1080/08910600050216183.
- Mendling, W. 2016. Vaginal Microbiota. In: Schwiertz, A. editor. *Microbiota of the Human Body, Advances in Experimental*, Springer.
- Mousa, W. K., Chehadeh, F., & Husband, S. 2022. Recent Advances in Understanding the Structure and Function of Human Microbiome. *Front. Microbiol.* <http://doi.org/10.3389/fmicb.2022.825338>.
- Nobbs, A. H., Dymock, D., & Jenkinson, H. F. 2013. Microbiota of The Mouth: A Blessing or a Curse. In: Fredricks, D. N. Editor. *The Human Microbiota*. Canada: Wiley Blackwell.
- Parker, N., Schneegurt, M., Tu, A., T., Lister, P. & Foster, B. M. 2016. *Microbiology*. Houston, Texas: OpenStax.

- Prinzi, Andrea. 2020. Normal Respiratory Microbiota in Health and Disease. Available from: <https://asm.org/Articles/2020/February/Normal-Respiratory-Microbiota-in-Health-and-Diseas>.
- Sunarti, L. S. 2022. Microbial Normal Flora: Its Existence And Their Contribution To Homeostasis. *Journal of Advance in Microbiology*, 22(9), 1-15.
- Wang, B., Yao, M., Lv, L., Ling, Z., Li, L. 2017. The Human Microbiota in Health and Disease. *Engineering*, 3(1), 71–82. doi:10.1016/J.ENG.2017.01.008.
- Yang, Y., Qu, L., Mijakovic, I. & Wei, Y. 2022. Advances in The Human Skin Microbiota and Its Roles in Cutaneous Diseases. *Microb Cell Fact*, 21,176. <https://doi.org/10.1186/s12934-022-01901-6>.
- Zhang, L., Hu, W., Ho, J., Fitzgerald, R. J., Gin, T., Chan, M. T. V., & Wu, W. K. K. 2018. *Antimicrobial Peptides in the Host-Microbiota Homeostasis. Antimicrobial Peptides in Gastrointestinal Diseases*, 21–33. doi:10.1016/b978-0-12-814319-3.00002-7.

BAB 11

MIKROSKOP DAN CARA PENGOPERASIANNYA

Oleh Rosa Dwi Wahyuni

11.1 Pendahuluan

Dalam bidang seperti biologi kimia dan fisika mikroskop adalah alat penting. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) "mikroskop" adalah alat yang memungkinkan manusia untuk melihat dunia mikroskopik yaitu objek atau struktur yang terlalu kecil untuk dilihat dengan mata telanjang. Perkembangan mikroskop selama bertahun-tahun telah sangat membantu pemahaman kita tentang struktur dan fungsi organisme hidup dan juga telah memungkinkan berbagai penemuan penting dalam berbagai disiplin ilmu. (Suparti,2019).

11.2 Bagian-Bagian Mikroskop

Mikroskop memiliki 14 bagian yang perlu diketahui fungsinya. Dari seluruh bagian tersebut, 13 bagiannya terbagi menjadi 2, yaitu bagian optik dan bagian mekanik (Suparti,2019).

11.2.1 Bagian Optik Mikroskop

Bagian mikroskop yang termasuk ke bagian optik antara lain, lensa okuler, lensa objektif diafragma dan cermin. Berikut masing-masing fungsinya.

1. Lensa Okuler

Fungsi lensa okuler, yang melakukan kontak langsung dengan mata kita, adalah untuk memperbesar bayangan objek atau benda. (Suparti, 2019).

2. Lensa Objektif

Lensa yang didekati objek untuk memperbesar bayangan objek bersama lensa okuler disebut lensa obyektif. (Suparti, 2019).

3. Diafragma

Diafragma mengontrol intensitas cahaya yang akan masuk ke lensa obyektif. Dengan kata lain, lensa obyektif mengatur banyak sedikitnya cahaya yang akan masuk ke mikroskop. (Suparti, 2019).

4. Cermin

Cermin datar dan cekung adalah dua jenis cermin yang digunakan untuk menyalurkan cahaya yang sudah masuk lewat diafragma. (Suparti, 2019).

11.2.2 Bagian Mekanik Mikroskop

Tabel berikut menunjukkan bagian mekanik mikroskop: tabung mikroskop, revolver, meja preparat, penjepit preparat, lengan mikroskop, mikrometer, makrometer, kondensor, sekrup (sendi inklinasi), dan kaki mikroskop. (Suparti, 2019).

Tabel 11.1. Bagian mekanik mikroskop

No	Bagian mikroskop	Fungsi
1	Tabung Mikroskop	Menghubungkan lensa okuler dengan lensa objektif
2	Revolver	Mengatur besar kecilnya lensa objektif
3	Meja Preparat	Meletakkan objek (benda) yang akan diamati

No	Bagian mikroskop	Fungsi
4	Penjepit Preparat	Menjepit objek agar tidak geser saat diamati
5	Lengan Mikroskop (Pegangan)	Sebagai pegangan ketika pengamat akan membawa atau memindahkan mikroskop
6	Mikrometer	Menaikkan dan menurunkan tabung mikroskop dengan tempo lambat. Ukurannya lebih kecil dibanding makrometer.
7	Makrometer	Menggerakkan tabung mikroskop dengan cepat.
8	Kondensor	Mengumpulkan cahaya yang masuk
9	Sekrup (sendi inklinasi)	Mengatur sudut mikroskop
10	Kaki Mikroskop	Menyangga atau menopang mikroskop agar tidak jatuh

Sumberi : Suparti, 2019

11.3 Jenis-Jenis Mikroskop

Secara umum, ada dua jenis mikroskop: mikroskop cahaya dan mikroskop elektron. Yang paling sering digunakan dalam kegiatan sekolah adalah mikroskop cahaya. (Yusnia, 2022).

11.3.1 Mikroskop Cahaya

Mikroskop cahaya, juga dikenal sebagai mikroskop optik, bekerja dengan memantulkan cahaya ke cermin sehingga

pengamat dapat melihat objek (benda) yang ada pada preparat dengan lebih jelas. Mikroskop cahaya juga memiliki kemampuan untuk memperbesar bayangan benda sebanyak 1.000 kali. Mikroskop cahaya terdiri dari berbagai kategori, seperti (Yusnia, 2022):

1. Mikroskop monokuler

Mikroskop monokuler adalah jenis pertama yang ditemukan dan hanya memiliki satu lensa okuler yang dapat digunakan untuk mengamati objek. Akibatnya, ketika dibandingkan dengan jenis mikroskop lainnya, mikroskop monokuler terlihat lebih kuno. (Yusnia, 2022).

2. Mikroskop binokuler

Mikroskop binokuler dilengkapi dengan dua lensa okuler. Menggunakan kedua lensanya, Anda dapat mengamati objek-objek kecil (mikroskopis). seperti virus, bakteri, dan sebagainya (Yusnia, 2022).



Gambar 11.1. a. mikroskop monokuler b. mikroskop binokuler
(Sumber: zegahutan.com)

11.3.2 Mikroskop Elektron

Mikroskop elektron adalah jenis mikroskop lain yang menggunakan elektron sebagai energi untuk melihat objek yang ingin diamati. Meskipun mikroskop elektron dapat memperbesar objek hingga satu juta kali lebih besar daripada yang sebenarnya, mikroskop cahaya dapat mencapai perbesaran hingga seribu kali. (Yusnia, 2022).



Gambar 11.2. Mikroskop elektron
(Sumber : teknikece.com)

11.4 Cara Menggunakan Mikroskop

Cara menggunakan mikroskop dapat dilakukan dengan cara berikut (Suparti, 2019).

1. Ambil mikroskop dengan tangan kanan memegang lengan dan tangan kiri memegang alas atau kaki.
2. Atur lensa okuler dan lensa obyektif sampai perbesaran paling kecil.
3. Putar diafragma.
4. Arahkan cermin pada mikroskop sehingga cahaya dapat dipantulkan dengan baik.
5. Siapkan preparat yang akan diamati dan jepitkannya di meja preparat.
6. Gunakan mikrometer atau makrometer untuk mengatur fokus objek.
7. Putar revolver untuk mendapatkan perbesaran gambar yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Furqoni, R. 2022. Mikroskop. Diakses pada 12 Juli 2023 dari <https://teknikece.com/mikroskop/>
- Pengertian, Sejarah, dan Jenis-Jenis Mikroskop. 2020. Diakses pada 12 Juli 2023 dari <https://www.zegahutan.com/2020/02/pengertian-sejarah-dan-jenis-jenis-mikroskop.html>
- Suparti. 2019. Mikroskop. Semarang : Alprin
- Yusnia, S. 2022. Jenis Mikroskop Disertai Gambar dan Fungsinya Lengkap. Diakses 12 Juli 2023 dari https://lsi.fleischhacker-asia.biz/jenis-jenis-mikroskop/#1_Mikroskop_Monokuler

BAB 12

PENGELOLAAN LIMBAH MEDIS

Oleh Acivrida Mega Charisma

12.1 Pendahuluan

Rumah sakit adalah tempat pelayanan kesehatan yang dioperasikan dan dipelihara dengan sangat memperhatikan aspek kebersihan bangunan dan lingkungan baik secara fisik, sampah, limbah cair, air bersih serta serangga/ binatang pengganggu. Akan tetapi untuk menciptakan kebersihan di rumah sakit membutuhkan upaya yang bersifat kompleks karena berhubungan dengan berbagai aspek antara lain budaya/ kebiasaan, perilaku masyarakat, kondisi lingkungan, sosial dan teknologi. Salah satu upaya yang dilakukan guna meningkatkan derajat kesehatan masyarakat salah satunya adalah dengan pendirian Rumah Sakit (RS) di daerah sekitar. Pendirian Rumah Sakit tersebut membuat dampak tersendiri bagi lingkungan yaitu peningkatan kualitas efluen limbah rumah sakit, dimana banyak sistem pengelolaannya yang tidak memenuhi syarat menyebabkan limbah rumah sakit dapat mencemari lingkungan tempat tinggal penduduk disekitar rumah sakit dan sudah pasti dapat menimbulkan masalah kesehatan. Penyebabnya adalah karena dalam limbah rumah sakit mengandung berbagai jasad renik penyebab penyakit pada manusia, seperti demam thypoid, cholera, disentri dan hepatitis sehingga limbah harus diolah sebelum di buang ke lingkungan sekitar (Absori, 2020).

Agar tercipta lingkungan rumah sakit yang bersih, sehat dan ramah lingkungan (greenhospital), Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) mendorong agar dalam pengelolaan lingkungannya rumah-rumah sakit tidak hanya bersifat reaktif tetapi juga proaktif.

Umumnya rumah sakit dalam mengelola lingkungannya hanya mengandalkan kecanggihan teknologi end of pipe treatment dan belum memaksimalkan pengelolaan dengan prinsip produksi bersih berupa pencegahan dan minimisasi limbah. Gagasan rumah sakit ramah lingkungan, pada tahap berikutnya menghendaki tidak hanya sekedar mengelola limbahnya hingga sesuai baku mutu sesuai peraturan, tetapi juga menerapkan prinsip 3R (*reuse, reduce, recycle*) terhadap limbah yang dihasilkan. Penghematan dalam penggunaan sumber daya alam dan energi seperti a.l: air, listrik, bahan kimia, obat-obatan kadaluwarsa dan lain-lain juga akan menjadi perhatian, karena mereduksi potensi timbulnya limbah.

Selanjutnya, pengelola rumah sakit ramah lingkungan juga harus senantiasa berinovasi meningkatkan pengorganisasian dan pengelolaan kesehatan lingkungan rumah sakit secara efisien dan efektif. Namun realitasnya, hingga saat ini masih banyak rumah-rumah sakit yang kurang memberikan perhatian serius terhadap pengelolaan limbahnya, bahkan pada level dasar end of pipe treatment sekalipun. Kesadaran, pemahaman ataupun pengetahuan tentang persyaratan dalam pengelolaan limbah medis baik dalam minimisasi limbah, pemilahan, penanganan awal, penyimpanan, pengolahan/pemanfaatan hingga penimbunan akhir, serta pengelolaan lingkungan lainnya masih sangat dibutuhkan dan terus disosialisasikan, tentu saja selain aspek penegakan hukum.

Fasilitas pelayanan kesehatan yang meliputi rumah sakit, pusat kesehatan masyarakat atau puskesmas, klinik kesehatan atau sejenisnya memiliki peranan penting sebagai fasilitas publik yang memberikan pelayanan preventif, kuratif dan atau rehabilitatif. Selain itu ada sebagian fasilitas pelayanan kesehatan khususnya rumah sakit yang turut membantu dan mendukung kegiatan pembelajaran atau yang sering disebut dengan rumah sakit pendidikan dimana di samping pelayanan medik juga pendidikan, pelatihan dan penelitian. Dalam mendukung kegiatannya, fasilitas

pelayanan kesehatan harus menyediakan lingkungan yang sehat, dalam artian memiliki sanitasi yang baik agar fungsi dari fasilitas pelayanan kesehatan dapat berjalan sebagaimana mestinya. Namun yang menjadi tantangan bagi penyedia pelayanan kesehatan adalah buangan atau hasil sampingan kegiatan dengan jenis dan jumlah yang berbeda akan menimbulkan dampak negatif baik bagi kesehatan maupun lingkungan yang langsung maupun tidak langsung juga akan mengarah pada kesehatan masyarakat dan perorangan.

Menurut Hendrik L. Blum yang dikutip oleh Kusnoputranto (2000), bahwa derajat kesehatan dipengaruhi oleh 4 (empat) faktor yaitu : lingkungan, perilaku, pelayanan kesehatan dan keturunan. Dari keempat faktor tersebut, di negara yang sedang berkembang, faktor lingkungan dan faktor perilaku mempunyai peranan yang sangat besar disamping faktor-faktor lainnya terhadap peningkatan derajat kesehatan masyarakat. Masalah lingkungan erat sekali hubungannya dengan dunia kesehatan. Untuk mencapai kondisi masyarakat yang sehat diperlukan lingkungan yang baik pula. Dalam hal ini sarana pelayanan kesehatan harus pula memperhatikan keterkaitan tersebut. Sarana pelayanan kesehatan merupakan tempat bertemunya kelompok masyarakat penderita penyakit, kelompok masyarakat pemberi pelayanan, kelompok pengunjung dan kelompok lingkungan sekitar. Adanya interaksi di dalamnya memungkinkan menyebarnya penyakit bila tidak didukung dengan kondisi lingkungan yang baik dan saniter (Alif kurnia, I, 2017).

Saat ini, sering ditemukan pengelolaan limbah medis dari fasilitas pelayanan kesehatan masih dibawah standar yang diatur dalam peraturan dan perundangan yang berlaku. Pemilahan yang buruk menyebabkan jumlah limbah medis bertambah banyak, karena ketika limbah non medis tercampur atau kontak dengan limbah medis, maka limbah tersebut pun akan dikategorikan sebagai limbah medis. Hal inilah yang menyebabkan peningkatan

jumlah limbah medis menjadi tidak efisien. Dalam hal pengelolaan, limbah medis tidak dikelola dengan baik dari mulai pemilahan, penampungan, pengangkutan, hingga pemusnahannya. Pengelolaan yang salah akan berdampak terhadap petugas pengelola limbah baik dari aspek kesehatan maupun keselamatannya, selain juga berdampak terhadap lingkungan. Pengelolaan akhir limbah menjadi masalah besar bagi fasilitas pelayanan kesehatan. Tidak semua rumah sakit sebagai penghasil limbah medis terbesar memiliki insenerator sebagai alat bantu dalam pemusnahan limbah medis dan tidak semua insenerator yang dimiliki rumah sakit telah memiliki izin operasional dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Permasalahan pengelolaan limbah tidak hanya terjadi terhadap limbah medis yang berbentuk padat tetapi juga dalam bentuk cair yang perlu dikelola dengan baik. Limbah cair yang dihasilkan dari fasilitas pelayanan kesehatan baik itu limbah cair medis maupun limbah cair non medis harus dikelola melalui Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dimana kualitas limbah cair harus dipantau dan dipastikan memenuhi baku mutu yang telah ditentukan. Pada kenyataannya, tidak semua fasilitas pelayanan kesehatan memiliki IPAL dan tidak semua IPAL yang ada memenuhi kualitas limbah cair yang dipersyaratkan. Dampaknya adalah terjadinya gangguan estetika, bau, pencemaran lingkungan dan memungkinkan terjadinya infeksi nosokomial bagi petugas dan orang yang berada di sekitarnya. Limbah gas dan limbah B3 lainnya juga perlu dilakukan pengelolaan sesuai standar karena pengelolaan yang salah akan menimbulkan dampak keselamatan dan kesehatan bagi petugas dan orang sekitarnya termasuk pasien dan masyarakat yang tinggal di sekitar fasilitas pelayanan kesehatan serta dapat berdampak pada pencemaran lingkungan yang pada akhirnya akan merugikan masyarakat secara luas.

12.2 Pengertian Limbah Medis

Limbah medis adalah limbah yang berasal dari pelayanan medik, perawatan gigi, farmasi, penelitian, pengobatan, perawatan atau pendidikan yang menggunakan bahan-bahan yang beracun, infeksius, berbahaya atau membahayakan kecuali jika dilakukan pengamanan tertentu (Depkes RI 2001). Banyak sekali limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit. Sebagian besar dapat membahayakan siapa saja yang kontak dengannya, karena itu perlu prosedur tertentu dalam pembuangannya (Pedoman Sanitasi Rumah Sakit Indonesia). Limbah medis padat rumah sakit adalah semua limbah rumah sakit yang berbentuk padat sebagai akibat kegiatan rumah sakit yang terdiri dari limbah medis padat dan non medis. Limbah padat terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sitotoksis, limbah kimiawi, limbah radioaktif, limbah kontainer bertekanan, dan limbah dengan kandungan logam berat yang tinggi (Kepmenkes, 2004).

Limbah rumah sakit adalah semua sampah dan limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit dan kegiatan penunjang lainnya. Limbah medis padat adalah limbah yang terdiri dari limbah yang berupa benda tajam, limbah infeksius, limbah patologi, limbah laboratorium, limbah sitotoksik, limbah farmasi dan limbah kimiawi.

Limbah (padat) B3 keluaran kegiatan rumah sakit yang terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sitotoksis, limbah kimiawi, limbah radioaktif, limbah kontainer bertekanan, dan limbah dengan kandungan logam berat yang tinggi. (berdasar: KEPMEN 1204/MENKES/SK/X/2004).

Dalam Keputusan menteri Kesehatan tersebut dijelaskan bahwa limbah medis padat adalah limbah padat yang terdiri dari limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah sitotoksis, limbah kimiawi, limbah radioaktif, limbah kontainer bertekanan dan limbah dengan kandungan logam berat. Sampai

saat ini alternatif terbaik teknologi pengolahan limbah medis padat (infeksius) adalah insinerator, namun demikian hingga saat ini hanya sekitar 49 % rumah sakit yang memiliki insinerator dengan sebagian besar temperatur pembakaran masih kurang dari 800°C. Menurut WHO (tahun 2000) insinerator dengan temperatur pembakaran kurang dari 800°C dapat menimbulkan produksi dioksin, furan dan polutan toksik lainnya.

Oleh karena itu diperlukan penyusunan pedoman kriteria teknologi pengelolaan limbah medis ramah lingkungan yang dapat mencakup prinsip teknologi ramah lingkungan yang diantaranya taat terhadap peraturan, efisien (energi, air dan bahan), aman untuk kesehatan. Ruang lingkup pedoman harus dapat memuat substansi kriteria insinerator yang ramah lingkungan, kriteria pemilihan insinerator sesuai dengan limbah yang akan dibakar, pengoperasian insinerator yang mencakup tahap pra pembakaran, pembakaran dan pasca pembakaran serta contoh aplikasi teknologi insinerator yang tersedia di lapangan.

12.3 Jenis Limbah Medis

Jenis - jenis Limbah di Rumah Sakit Limbah rumah sakit adalah semua limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit dan kegiatan penunjang lainnya. Secara umum limbah rumah sakit dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu sampah atau limbah klinis dan non klinis baik padat maupun cair. Bentuk limbah atau sampah klinis bermacam-macam dan berdasarkan potensi bahaya yang ditimbulkannya dapat dikelompokkan sebagai berikut (Aini, 2019):

1. Limbah Benda Tajam

Limbah benda tajam adalah objek atau alat yang memiliki sudut tajam, sisi, ujung atau bagian menonjol yang dapat memotong atau menusuk kulit seperti jarum hipodermik, perlengkapan intravena, pipet Pasteur, pecahan gelas, pisau bedah. Semua benda tajam ini memiliki bahaya dan

dapat menyebabkan cedera melalui sobekan atau tusukan. Benda benda tajam yang terbuang mungkin terkontaminasi oleh darah, cairan tubuh, bahan mikrobiologi, bahan beracun atau radio aktif.

- a. Jangan menekuk atau mematahkan benda tajam
- b. Jangan meletakkan limbah benda tajam sembarang tempat
- c. Segera buang limbah benda tajam ke wadah yang tersedia tahan tusuk dan tahan air dan tidak bisa dibuka lagi.
- d. Selalu buang sendiri oleh si pemakai.
- e. Tidak menyarungkan kembali jarum suntik habis pakai (*recapping*)
- f. Wadah benda tajam diletakkan dekat lokasi tindakan.
- g. Bila menangai limbah pecahan kaca gunakan sarung tangan rumah tangga.
- h. Wadah penampungan limbah benda tajam tahan bocor dan tahan tusukan
- i. Harus mempunyai pegangan yang dijinjing dengan satu tangan
- j. Mempunyai penutup yang tidak dapat dibuka lagi
- k. Bentuknya dirancang agar dapat digunakan dengan satu tangan
- l. Ditutup dan diganti setelah $\frac{3}{4}$ bagian terisi dengan limbah

2. Limbah Infeksius

Limbah infeksius meliputi limbah yang berkaitan dengan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular perawatan intensif. Limbah laboratorium yang berkaitan dengan pemeriksaan mikrobiologi dari poliklinik dan ruang perawatan/ isolasi penyakit menular. Limbah jaringan tubuh meliputi organ, anggota badan, darah dan cairan tubuh, sampah mikrobiologis, limbah pembedahan,

limbah unit dialysis dan peralatan terkontaminasi (medical waste).

3. Limbah Jaringan Tubuh

Limbah jaringan tubuh meliputi jaringan tubuh, organ, anggota badan, placenta, darah dan cairan tubuh lain yang dibuang saat pembedahan dan autopsi. Limbah jaringan tubuh tidak memerlukan pengesahan penguburan dan hendaknya dikemas khusus, diberi label dan dibuang ke incinerator.

4. Limbah Citotoksik

Limbah citotoksik adalah bahan yang terkontaminasi atau mungkin terkontaminasi dengan obat citotoksik selama peracikan, pengangkutan atau tindakan terapi citotoksik. Limbah yang terdapat limbah citotoksik harus dibakar dalam incinerator dengan suhu diatas 1000°C.

5. Limbah Farmasi Limbah farmasi berasal dari obat-obatan kadaluwarsa, obat-obatan yang terbuang karena batch tidak memenuhi spesifikasi atau telah terkontaminasi, obat-obatan yang terbuang atau dikembalikan oleh pasien, obat-obatan yang sudah tidak dipakai lagi karena tidak diperlukan dan limbah hasil produksi obat-obatan.

6. Limbah Kimia

Limbah kimia dihasilkan dari penggunaan kimia dalam tindakan medis, veterinary, laboratorium, proses sterilisasi dan riset. Limbah kimia juga meliputi limbah farmasi dan limbah citotoksik.

7. Limbah Radio Aktif Limbah radio aktif adalah bahan yang terkontaminasi dengan radio isotope yang berasal dari penggunaan medis dan riset radionucleida. Asal limbah ini antara lain dari tindakan kedokteran nuklir, *radioimmunoassay* dan bakteriologis yang dapat berupa padat, cair atau gas.

8. Limbah Plastik Limbah plastic adalah bahan plastic yang dibuang oleh klinik, rumah sakit dan sarana kesehatan lain seperti barangbarang dissposable yang terbuat dari plastic dan juga pelapis peralatan dan perlengkapan medis.

12.4 Dampak Limbah Medis

Dampak yang ditimbulkan oleh limbah rumah sakit terhadap kualitas lingkungan dankesehatan adalah sebagai berikut (Akbar, 2019):

1. Gangguan kenyamanan serta estetika, seperti bau yang ditimbulkan oleh limbah.
2. Kerusakan harta benda, seperti benda menjadi berkarat atau korosif yang disebabkan oleh garam-garam yang terlarut, air yang berlumpur sehingga menyebabkan turunnya kualitas bangunan disekitar rumah sakit.
3. Gangguan dan kerusakan yang ditimbulkan pada tanaman dan binatang, yang disebabkan oleh virus, bahan kimia.
4. Gangguan yang ditimbulkan pada kesehatan manusia, dapat disebabkan oleh berbagai jenis bakteri, virus, senyawa-senyawa kimia, serta logam berat seperti Hg, Pb dan Cd yang berasal dari bagian kedokteran gigi.
5. Gangguan genetic dan reproduksi.
6. Pengelolaan sampah rumah sakit yang kurang baik akan menjadi tempat yang baik bagi vector penyakit seperti lalat dan tikus.
7. Penanganan limbah benda tajam yang kurang tepat dapat mengakibatkan kecelakaan kerja.
8. Timbulnya bau busuk yang disebabkan pengelolaan limbah padat.
9. Terkontaminasinya peralatan medis dan makanan rumah sakit oleh partikel debu.
10. Ganggu pernafasan, penglihatan dan penurunan kualitas udara pada saat pembakaran sampah.

12.5 Teknologi Insenerasi

Insenerasi limbah medis adalah proses pengolahan limbah organik (infeksius) yang terkandung dalam limbah medis dengan menggunakan pembakaran suhu tinggi, dalam suatu sistem yang terkontrol dan terisolir dari lingkungannya, agar sifat bahayanya hilang atau berkurang. Insenerasi dan berbagai alternatif pengolahan limbah menggunakan suhu tinggi lainnya (misal: pirolisis, gasifikasi, plasma arc) dikenal sebagai pengolahan termal. Pada insenerasi berbagai jenis limbah dikonversi menjadi abu (ash), gas buang (flue gas) dan panas (energy).

Abu B3 insenerator sebenarnya terbentuk dari kandungan anorganik limbah yang tidak terbakar, yakni: mineral dan logam yang tersisa dalam proses pembakaran, berbentuk partikel kecil atau debu yang mengendap pada bagian penampung abu dan sebagian (karena lebih ringan) terbawa aliran gas buang, yang harus ditangkap menggunakan IPPU. Gas buang ini harus dibersihkan terlebih dahulu dari berbagai kontaminan, menggunakan instalasi pengontrol polusi udara (IPPU), agar memenuhi baku mutu sehingga bisa dilepas ke udara. Dalam beberapa kasus, panas yang dihasilkan proses insenerasi, bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit tenaga listrik alternatif, sebagai kecenderungan yang menarik untuk dibahas, karena pada masa depan energi akan menjadi semakin langka dan mahal.

Insenerator pertama yang digunakan untuk membakar sampah (domestik perkotaan), dibangun di Nottingham oleh Manlove, Alliott & Co. Ltd. pada tahun 1874, dan desainya dipatenkan untuk pertama kali oleh Albert Fryer. Pada saat itu insenerator lebih dikenal dengan nama destruktur. Sejarah perkembangan insenerasi sampah pada akhir abad 19 tersebut sesungguhnya terjalin erat dengan sejarah perkembangan teknologi sanitary landfill dan juga pengolahan air limbah. Kebutuhan penggunaan insenerator, sebagai teknologi alternatif terkait dengan fungsi teknologi landfill yang keberadaannya mulai

dipertanyakan pada saat itu, karena sejumlah kota sudah sangat berkembang dan padat, sehingga kebutuhan lahan untuk landfill mulai menjadi masalah besar.

Meskipun, sejak pertengahan tahun 1970-an, konsep daur ulang dan upaya pencegahan munculnya limbah, dikenal sebagai cleaner production telah muncul, teknologi insenerator sebagai end of pipe technology justru tumbuh pesat di seluruh Amerika Utara. Hingga pada tahun 1990-an, ketika mulai ditemukannya beberapa fakta dampak buruk emisi insenerasi, kejayaan penggunaan insenerator sebagai pembakar sampah perkotaan sempat menurun. Namun, fungsi utama teknologi insenerasi sebagai penghancur limbah medis infeksius yang paling efektif, sejak awal tidak pernah tergantikan teknologi lain hingga awal abad 21 ini adalah fakta. Meskipun teknologi lain dengan fungsi relatif sama, misal: pirolisis, gasifikasi dan plasma arc, semakin aplikatif sebagai teknologi alternatif.

Adapun kegiatan insenerasi limbah medis rumah sakit dapat dibagi menjadi beberapa tahapan proses berikut:

1. Persiapan limbah medis yang akan diinsenerasi
2. Pengumpanan atau pengisian limbah medis (waste feeding or charging system)
3. Pembakaran limbah medis (Ruang Bakar 1 dan 2)
4. Pengolahan gas hasil pembakaran akhir menggunakan IPPU (instalasi pengontrol polusi udara)
5. Penanganan dan pengelolaan abu insenerator yang juga berkategori limbah B3. Persyaratan teknis pengolahan limbah medis menggunakan insinerator sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:
 - a. Efisiensi pembakaran sekurang-kurangnya 99,95% (sembilan puluh sembilan koma sembilan puluh lima perseratus);

- b. Temperatur pada ruang bakar utama (primary chamber) sekurang-kurangnya 800°C (delapan ratus derajat celsius);
- c. Temperatur pada ruang bakar kedua (secondary chamber) sekurang-kurangnya 1050°C (seribu lima puluh derajat celsius) dengan waktu tinggal sekurang-kurangnya 2 (dua) detik;
- d. Ketinggian cerobong minimal : 1. 20 m (dua puluh meter) atau 1,5 (satu setengah) kali bangunan tertinggi apabila terdapat bangunan yang memiliki ketinggian lebih dari 20m (dua puluh meter) dalam radius 50 m (lima puluh meter) dari insinerator, untuk insinerator yang mengolah limbah B3 dari kegiatan sendiri; dan 2. 30 m (tiga puluh meter) atau 1,5 (satu setengah) kali bangunan tertinggi apabila terdapat bangunan yang memiliki ketinggian lebih dari 30m (tiga puluh meter) dalam radius 50 m (lima puluh meter) dari insinerator, untuk insinerator yang mengolah limbah B3 sebagai jasa;
- e. Memiliki alat pengendali pencemaran udara berupa wet scrubber atau sejenis; dan
- f. Memenuhi baku mutu emisi. Pengolahan limbah sitotoksik secara termal wajib dilakukan pada temperatur sekurang-kurangnya 1200°C (seribu dua ratus derajat celsius). Satu unit insinerator rumah sakit sesungguhnya beroperasi sebagai suatu sistem, dimana setiap tahapan proses insenerasi saling berkaitan. Sebagai contoh, prosedur pengumpanan atau pengisian limbah B3 yang berbeda yang dilakukan operator tertentu, bisa berpengaruh pada prestasi pembakaran limbah B3 pada ruang bakar, serta pada jumlah dan karakter abu yang dihasilkan. Pengoperasian insinerator dengan baik dan benar sesuai standard operation procedure (SOP) masing-masing produsen insinerator

tentu harus menjadi perhatian, karena sebagai suatu sistem, prinsip pengoperasian dan korelasinya terhadap komponen subsistem penting untuk dipahami agar diperoleh hasil insenerasi yang optimal.

Penghancuran atau pencacahan. Pengelolaan sampah medis yang memerlukan pengelolaan khusus lainnya yaitu sampah yang berasal dari instalasi radiologi. Sebelum diinsinerasi sampah dari instalasi radiologi dilakukan peluruhan terhadap radioisotop yang digunakan. Waktu luruh ($T_{1/2}$) $\text{NaI}^{131} = 8,02$ hari dan Technesium = 6 jam, pengolahan sampah ini baru dilakukan setelah waktu luruh terpenuhi dan lolos uji radiasi. Limbah radioaktif yang sudah memenuhi waktu luruh baru bisa diolah bersama dengan sampah medis yakni dibakar menggunakan insinerator. Penanganan khusus juga dilakukan pada unit patologi anatomi, dimana potongan jaringan tubuh dari ruang operasi yang di bawa ke patologi anatomi memerlukan waktu penyimpanan selama 2 minggu, sebelum dilakukan pengolahan dengan Insinerator. Tujuannya adalah untuk menunggu ada tidaknya pemeriksaan ulang terhadap jaringan tubuh tersebut.

Bagi rumah sakit yang tidak memiliki insenerator atau teknologi lainnya dan harus mengirimkan limbah padat medisnya ke pihak lain, maka kegiatan transportasi tidak berhenti sampai di TPS saja. TPS dijadikan sebagai depo pemindahan, kemudian limbah diangkut untuk diolah lebih lanjut oleh pihak lain yang berizin. Pengangkutan dilakukan oleh transportir yang berizin. Pengangkutan dapat dilakukan dengan menggunakan kendaraan roda 4 (empat) atau lebih, dan/ atau roda 3 (tiga), dimana ketentuannya diatur dalam peraturan/ perundangan mengenai angkutan jalan.

12.6 Pengolahan Limbah Medis Rumah Sakit

Pengelolaan limbah medis yaitu rangkaian kegiatan mencakup segregasi, pengumpulan, pengangkutan, penyimpanan, pengolahan dan penimbunan limbah medis (Kepmenkes, 2004). Sedangkan menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 18 Tahun 2008, pengelolaan sampah kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah.

Beberapa bagian penting dalam pengelolaan limbah rumah sakit yaitu pengurangan limbah, pelabelan dan pengemasan, transportasi, penyimpanan, pengolahan dan pembuangan limbah. Proses pengelolaan ini harus menggunakan cara yang benar serta memperhatikan aspek kesehatan, ekonomis, dan pelestarian lingkungan (WHO, 2005).

Pengolahan limbah rumah sakit dapat dilakukan dengan berbagai cara. Yang diutamakan adalah sterilisasi, yakni berupa pengurangan (*reduce*) dalam volume, penggunaan kembali (*reuse*) dengan sterilisasi lebih dulu, daur ulang (*recycle*) dan pengolahan (*treatment*).

1. Limbah Padat

Untuk memudahkan mengenal jenis limbah yang akan dimusnahkan, perlu dilakukan penggolongan limbah. Dalam kaitan dengan pengolahan, limbah medis dikategorikan menjadi 5 golongan sebagai berikut:

- a. Golongan A: - Dressing bedah, swab dan semua limbah terkontaminasi dari kamar bedah, - Bahan-bahan kimia dari kasus penyakit infeksi, - Seluruh jaringan tubuh manusia (terinfeksi maupun tidak), bangkai/ jaringan hewan dari laboratorium dan hal-hal lain yang berkaitan dengan swab dan dressing.
- b. Golongan B: - Syringe bekas, jarum, cartridge, pecahan gelas dan bendabenda tajam lainnya. Golongan

- c. C: - Limbah dari ruang laboratorium dan postpartum kecuali yang termasuk dalam golongan A.
- d. Golongan D: - Limbah bahan kimia dan bahan farmasi tertentu.
- e. Golongan E: - Pelapis *bed-pan disposable*, *urinoir*, *incontinence-pad* dan *stomach*.

Dalam pelaksanaan pengelolaan limbah medis perlu dilakukan pemisahan penampungan, pengangkutan dan pengolahan limbah pendahuluan.

a. Pemisahan

Golongan A Dressing bedah yang kotor, swab dan limbah lain yang terkontaminasi dari ruang pengobatan hendaknya ditampung dalam bak penampungan limbah medis yang mudah dijangkau, bak sampah yang dilengkapi dengan pelapis pada tempat produksi sampah dengan kantong plastik berwarna kuning. Kantong plastik tersebut hendaknya diambil paling sedikit satu hari sekali atau bila sudah mencapai tiga perempat penuh. Sampah kemudian dibuang dengan cara sebagai berikut:

- 1) Sampah dari haemodialisis Sampah hendaknya dimusnahkan dengan incinerator. Bisa juga digunakan autoclaving, tetapi kantung harus dibuka dan dibuat sedemikian rupa sehingga uap panas bisa menembus secara efektif.
- 2) Limbah dari unit lain Limbah hendaknya dimusnahkan dengan incinerator. Bila tidak mungkin bisa menggunakan cara lain, misalnya dengan membuat sumur dalam yang aman. Semua jaringan tubuh, plasenta dan lain-lain hendaknya ditampung pada bak limbah medis atau kantong lain yang tepat kemudian di musnahkan dengan

incinerator. Incinerator harus dioperasikan dibawah pengawasan bagian sanitasi atau bagian laboratorium.

Golongan B Syringe, jarum dan cartridges hendaknya dibuang dengan keadaan tertutup. Sampah ini hendaknya ditampung dalam kotak khusus yang tahan benda tajam untuk kemudia dimasukkan kedalam incinerator.

- b. Penampungan Sampah klinis hendaknya diangkut sesering mungkin sesuai dengan kebutuhan.
- c. Pengangkutan Pengangkutan internal berawal dari titik penampungan awal ke tempat pembuangan atau incinerator (pengolahan onsite). Dalam pengangkutan internal biasanya digunakankereta dorong, kereta atau troli yang digunakan untuk pengangkutan sampah klinis harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak akan menjadi sarang serangga, permukaan harus licin, rata dan tidak tembus, mudah dibersihkan dan dikeringkan, sampah tidak menempel pada alat angkut, sampah mudah diisikan, diikat dan dituang kembali. Bila tidak tersedia sarana setempat dan sampah klinis harus diangkut ketempat lain, harus disediakan bak terpisah dari sampah biasa dalam alat truk pengangkut dan harus dilakukan upaya pencegahan kontaminasi sampah lain yang dibawa, harus dapat dijamin bahwa sampah dalam keadaan aman dantidak terjadi kebocoran atau tumpah.

2. Limbah Cair

Limbah rumah sakit mengandung bermacam-macam mikroorganisme, bahan-bahan organik dan anorganik. Beberapa contoh fasilitas atau Unit Pengolahan Limbah (UPL) dirumah sakit antara lain:

- a. Kolam Stabilisasi Air Limbah (*Waste Stabilization Pond System*)

- b. Kolam Oksidasi Air Limbah (*Waste Oxidation Ditch Treatment System*)
- c. *Anaerobic Filter Treatment System*

12.7 Dampak Limbah Pelayanan Kesehatan

Air limbah dari masing-masing bak penampung yang ada di beberapa titik di rumah sakit dialirkan ke septic tank. Kemudian air limbah dialirkan ke screen untuk menyaring dan mengacau air limbah, pada tahap ini benda-benda padat berukuran besar yang terikut ke air limbah akan tersisih dan kemudian masuk ke dalam buffer basin, pada bak ini ditambahkan bahan kimia berupa Feriklorida dimana zat ini berfungsi sebagai koagulan dalam proses koagulasi. Hal ini ditujukan untuk membentuk flok dengan ukuran yang memungkinkan dapat dipisahkan oleh sedimentasi dan filtrasi. Dari buffer basin air limbah dialirkan ke dalam bak penyaring, di tahap ini benda-benda padat yang tidak tersaring pada screen akan tersisih. Dari buffer basin air limbah dialirkan ke dalam bak penyaring, Pada tahap ini oksigen juga dimasukkan agar bakteri dapat berkembang. Sehingga saat pengolahan ini keadaan atau kondisi bakteri sangat menentukan kualitas limbah. Setelah melewati bak penyaringan, air limbah dialirkan ke bak pengendap, disini lumpur akan diendapkan dan akan dialirkan ke bak penampung lumpur yang nantinya akan disedot ke dalam dewatering treatment.

Air limbah dari bak pengendap akan dialirkan ke bak air terolah. Pengolahan dengan desinfeksi dilakukan pada tahap akhir pengolahan limbah untuk membunuh bakteri pathogen. Sebelum dibuang ke lingkungan air limbah akan disaring menggunakan pasir. Effluent tidak dilakukan pemeriksaan sebelum dibuang ke lingkungan (Adhani, R, 2018).

Keberagaman sampah/ limbah rumah sakit memerlukan penanganan yang baik sebelum proses pembuangan. Sebagian besar pengelolaan limbah medis rumah sakit masih dibawah

standar lingkungan karena umumnya dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) sampah dengan sistem open dumping atau dibuang ke sembarang tempat. Meskipun telah ada aturan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI No. : P.56/Menlhk-Setjen/2015. Apabila pengelolaan limbah tak dilaksanakan secara saniter akan menyebabkan gangguan bagi masyarakat disekitar rumah sakit dan pengguna limbah medis.

Limbah pelayanan kesehatan terutama limbah medis, apabila tidak dilakukan pengelolaan dengan benar akan menimbulkan potensi bahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Pencemaran lingkungan yang terjadi akibat limbah medis akan kembali berdampak terhadap kesehatan baik perorangan maupun masyarakat sekitar. Berbagai aturan dan standar telah ditetapkan agar pelaksanaan pengelolaan limbah dilakukan dengan benar dan secara maksimal. Hal ini bertujuan untuk mengendalikan bahaya yang mungkin terjadi dan berdampak negatif terhadap masyarakat dan lingkungan. Masalah lingkungan yang sering menjadi sorotan yaitu keberadaan limbah yang sifatnya infeksius atau “limbah medis”. Di samping itu limbah lain yang sifatnya non medis, dan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) lainnya juga dihasilkan dan perlu perlakuan dengan benar. Potensi bahaya dari pengelolaan limbah medis sudah dapat terjadi mulai sejak pengumpulan, penampungan, pengangkutan dan pembuangan hingga pemusnahan. Beberapa pengaruh yang dapat ditimbulkan oleh keberadaan limbah ini adalah terjadinya pencemaran yang berdampak pada penurunan kualitas lingkungan dan terhadap kesehatan. Bahkan secara sederhana keberadaan limbah ini akan menimbulkan gangguan estetika, bau dan menjadi tempat berkembang biak vektor serta binatang pengganggu.

Pengurangan limbah dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan oleh kegiatan pelayanan kesehatan (Kepmenkes, 2004)

1. Setiap rumah sakit harus melakukan reduksi limbah dimulai dari sumber.
2. Setiap rumah sakit harus mengelola dan mengawasi penggunaan bahan kimia yang berbahaya dan beracun.
3. Setiap rumah sakit harus melakukan pengelolaan stok bahan kimia dan farmasi.
4. Setiap peralatan yang digunakan dalam pengelolaan limbah medis mulai dari pengumpulan, pengangkutan, dan pemusnahan harus melalui sertifikasi dari pihak yang berwenang.
5. Penilaian, Pewadahan, Pemanfaatan Kembali dan Daur Ulang
6. Pemilahan limbah harus dilakukan mulai dari sumber yang menghasilkan limbah.
7. limbah yang akan dimanfaatkan kembali harus dipisahkan dari limbah yang tidak dimanfaatkan kembali.
8. Limbah benda tajam harus dikumpulkan dalam satu wadah tanpa memperlihatkan terkontaminasi atau tidaknya.

12.8 Stabilisasi Limbah Medis

Pengelolaan abu dari limbah medis adalah masalah lingkungan di seluruh dunia penting yang membutuhkan metode pembuangan dan pengelolaan untuk meminimalkan risiko kesehatan masyarakat dan lingkungan. Semua pengelolaan limbah medis yang di rencanakan juga harus mencakup diperlukan teknologi khusus yang dibutuhkan untuk implementasi mengurangi risiko epidemiologi. Menurut penelitian Cedzynska (2010) dengan alternatif metode stabilisasi limbah medis menggunakan vitrifikasi plasma menunjukkan efektif menetralkan abu dari instalasi pembakaran limbah medis dengan menambahkan SiO₂ sebelum pengolahan menghasilkan produk akhir secara norma yang dapat dibuang secara aman dengan meminimalisasi kerusakan lingkungan. Selain itu, 7 secara

signifikan mengurangi volume total yang merupakan pertimbangan penting ketika limbah harus disimpan. (Sukajadi, 2020)

12.9 Penanganan Limbah Medis Rumah Sakit

Limbah padat medis yang dihasilkan oleh rumah sakit termasuk bahan berbahaya dan beracun atau B3. Oleh karena itu perlu adanya penanganan serius dalam meminimalisasinya. Menurut penelitian Ogbonna (2011) menyatakan bahwa presentasi limbah disalah satu rumah sakit di Nigeria sebesar 41% merupakan jenis limbah berbahaya. Berdasarkan presentasi tersebut, pembuangan abu yang mengandung logam beracun dari limbah rumah sakit insinerasi dapat ditangani melalui pemadatan-stabilisasi abu dasar dengan semen karena tampaknya menjadi metode terbaik untuk membuat kadar toksik dari abu berkurang. Seperti kebanyakan negara-negara berkembang, kekurangan infrastruktur, manusia dan sumber daya keuangan serta kapasitas kelembagaan yang diperlukan untuk secara efektif mengelola limbah medis sebagai bagian dari upaya untuk meningkatkan perlindungan kehidupan manusia dan kesehatan lingkungan masih kurang (Leonita, 2014).

Sampah yang umum dihasilkan oleh instalasi kesehatan dan tidak mengandung bahan beracun ataupun infeksius dapat dicampurkan dengan sampah biasa untuk kemudian dibuang. Sementara bagi adanya benda tajam sebaiknya diselubungi wadah anti bocor yang bahannya logam atau plastik. Untuk limbah yang infeksius biasanya ditandai dengan logo yang menunjukkan bahwa sampahnya mengandung zat infeksius. Sementara limbah dengan zat yang sangat menular sebaiknya disterilisasi dengan autoklaf. Bagi limbah yang menjadi sampah dari penelitian di bidang kesehatan pada laboratorium merupakan sampah sitotoksik. Sebaiknya dikumpulkan pada wadah yang anti bocor dan dilabeli sitotoksik. Untuk limbah yang mengandung zat

kimia bisa digolongkan dengan sampah obat farmasi yang dikategorikan ke limbah infeksius. Sementara jika mendapati obat-obatan yang telah kadaluarsa bisa dikembalikan ke apotek. Selanjutnya, limbah kimia yang memiliki jumlah besar harus dikemas di wadah yang tahan bahan kimia, dikirimkan ke tempat pengolahan khusus bagi sampah berbahan kimia. Sama halnya dengan limbah yang memiliki kandungan logam berat, merkuri, dan kadmium yang diolah terpisah. Untuk limbah infeksius yang mengandung radioaktif rendah dikumpulkan di kantor kuning untuk melakukan pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Absori, L. 2020. *Kebijakan Hukum Dalam Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3): Studi Implementasi Pengelolaan Limbah Medis di RS Salatiga*. 1, 91–117. <https://doi.org/10.18326/jil.v1i1.91-117>
- Alif kurnia, I. 2017. *Identifikasi Bahaya, Penilaian Risiko dan Upaya Pengendalian Pada Proses Pengelola Limbah Medis RS Muhammadiyah Lamongan*. 6(3).
- Erlanda, F. 2019. Tentang Pengelolaan Limbah Medis Padat. In *Bandung : CV Pustaka Setia*.
- Adhani, R. 2018. Pengelolaan Limbah Medis. In *Lambung Mangkurat University Press* (Vol. 44, Issue 2).
- Adhani, Rosihan. 2018 “ *Pengelolaan Limbah Medis Pelayanan Kesehatan*”. Banjarmasin : Lambung Mangkurat University Press
- Aini, F. 2019. Pengelolaan Sampah Medis Rumah Sakit atau Limbah B3 (Bahan Beracun dan Berbahaya) di Sumatera Barat: *Jurnal Education and Development Institut Pendidikan Tapanuli Selatan*. Vol.7, No.1: 13-24, Edisi Januari 2019 (E.ISSN.2614-6061) (P.ISSN.2527-4295).
- Akbar, C. J. 2019. *Limbah Medis Dengan Proses Sterilisasi Kecamatan Dua Koto Kabupaten Pasaman Tahun 2019 Tahun 2019*.
- Assemu,D.M,Tafere,T.E,Gelaw,Y.M and Banatie,G.M. 2020. Healthcare Waste Bandung : Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Bandung.
- Handayani, F., & Widodo, A. H. 2010. Kewaspadaan Universal Pelayanan Kesehatan Gigi di Puskesmas Se-Kabupaten Banyumas Hayati, L.N 2019. “ Gambaran Pengelolaan Limbah di Poli Gigi Puskesmas

- Leonita, E., & Yulianto, B. 2014. Pengelolaan Limbah Medis Padat Puskesmas Se-Kota Pekanbaru. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 2(4), 128–162. <https://doi.org/10.25311/jkk.vol2.iss4.65>
- Sukajadi. Management Practise and Associated Factors among Private and Public Hospitals of Bahir Dar City Administration. *Journal of Environmental and Public Health*. Volume 2020, Article ID7837564, 10 page. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov>.

BIODATA PENULIS



Ni'matul Murtafi'ah, S.Pd., M.Sc.

Dosen Program Studi DIV Teknologi Laboratorium Medik
Fakultas Kesehatan Rajawali Bandung

Penulis lahir di Surakarta 26 Desember 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi DIV Teknologi Laboratorium Medik Fakultas Kesehatan Institut Kesehatan Rajawali. Menyelesaikan pendidikan S1 di Universitas Sebelas Maret program studi Pendidikan Biologi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Biologi di Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang Menulis dibidang Bakteriologi, Mikrobiologi, Mikologi, dan Virologi.

BIODATA PENULIS



Revita Permata Hati, STP, MSi

Dosen Program Studi S1 Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Dan Bisnis, Universitas BTH

Penulis bernama Revita Permata Hati, STP, MSi yang dilahirkan pada September 25, 1992 di Bogor, Jawa Barat. Penulis adalah Dosen Sarjana Teknologi Pangan (STP), Gugus Kendali Mutu (GKM) Fakultas Teknologi dan Bisnis (FTB), Universitas Bakti Tunas Husada (BTH) Tasikmalaya. Penulis diberi kepercayaan Pada tahun akademik 2014/2015—2017/2018 menjadi Asisten Dosen di Program Diploma Tiga (D3) Supervisor Jaminan Mutu Pangan (SJMP), Institut Pertanian Bogor (IPB), Bogor-16151 dan Pada tahun 2013/2014 penulis diberi kepercayaan menjadi Staff Research and Development - Asisten Manager (R&D) di PT Sentral Multimitra Gemilang (SMG Food), Bogor-16310. Penulis memperoleh Gelar Sarjana Teknologi Pangan dari Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Sahid Jakarta (USAHID) dan Magister Ilmu Pangan dari Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University. Penulis melakukan penelitian dan fokus studi di bidang mikrobiologi dan keamanan pangan. Penulis aktif berperan dan berpartisipasi dalam berbagai aktivitas pelatihan, seminar nasional dan internasional. Penulis aktif menulis dan beberapa tulisannya

telah diterbitkan. Penulis telah mempublikasikan hasil penelitiannya dalam journal nasional dan internasional. Pembaca dapat mengirimkan pesan digital dengan penulis melalui alamat email (revita.p.h@gmail.com) serta dapat mengikuti google scholar penulis (<https://s.id/RevitaPermataHati>).

Alamat email : revita.p.h@gmail.com

BIODATA PENULIS



Indra Taufik Sahli, A.Md.AK., S.Si., M.Biomed

Dosen Program Studi D3 Teknologi Laboratorium Medis
Poltekkes Kemenkes Jayapura

Penulis lahir di Trenggalek tanggal 20 Juni 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D3 Teknologi Laboratorium Medis Poltekkes kemenkes Jayapura. Menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Analis Kesehatan (SMAK) Depkes Jayapura tahun 1999 dan D3 pada Akademi Analis Kesehatan Bhakti Wiyata Kediri tahun 2003. Menempuh Pendidikan S1 pada Program Studi Farmasi Kosentrasi Teknologi Laboratorium Kesehatan lulus tahun 2011 dan menyelesaikan S2 pada program studi Magister Ilmu Biomedik Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang tahun 2019 mengambil peminatan Mikrobiologi dan Imunologi. Beberapa buku telah diterbitkan diantaranya Buku Bakteriologi : Praktikum Teknologi Laboratorium Medik, Buku Imunohematologi dan Bank Darah, Buku Biomedik Dasar, Buku Metabolisme Zat Gizi, Buku Imunologi Dasar, Buku Protein Biofilm Bakteri *Stapylococcus aureus* dan Produksi Antibodi Poliklonal, Buku Biologi Molekuler dan Buku Mikrobiologi.

BIODATA PENULIS



Stormy Vertygo, S.Si, M. Sc

Dosen Program Studi Teknologi Pakan Ternak
Jurusan Peternakan Politeknik Pertanian Negeri Kupang

Anak kedua dari pasangan Drs. Godlief Vertygo, MA dan Emmie Thong ini, lahir di Kupang, Nusa Tenggara Timur pada tanggal 21 Juni 1988. Pendidikan sarjananya ditempuh di Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana Kupang. Pada tahun 2013, ia melanjutkan studi magisternya di *Illinois Institute of Technology*, Chicago, Amerika Serikat dengan konsentrasi di bidang Mikrobiologi.

Pengalaman bekerja beliau termasuk pernah menjadi guru Biologi di Nusa Cendana International Plus School (NCIPS) Kupang, dan menjadi staf pengajar di beberapa institusi di kota Kupang di antaranya di Universitas Nusa Cendana, Universitas Kristen Artha Wacana dan Universitas San Pedro. Beberapa karya bukunya yang telah diterbitkan di antaranya: Biologi Dasar (Untuk Produksi Ternak), Biologi Dasar (Untuk Teknologi Pakan Ternak), Teori Genetika, Teori Biologi Sel, Biokimia: Teori dan Aplikasi, Anatomi dan Fisiologi Tumbuhan, Ilmu Tanah dan Nutrisi Tanaman, dan Mikrobiologi.

Saat ini beliau telah menjadi staf pengajar tetap di Program Studi Teknologi Pakan Ternak, Jurusan Peternakan, Politeknik Pertanian Negeri Kupang. Fokus mata kuliah yang diajarkan adalah Biologi Dasar dan mata kuliah lainnya yang berbasis Mikrobiologi. Selama pandemi COVID-19, beliau pernah diperbantukan sebagai salah satu staf laboran di Laboratorium Biomolekuler Kesehatan Masyarakat Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang menangani analisis qPCR sampel COVID-19 dengan metode *pooled-test*, yang diberikan kepada masyarakat secara gratis.

BIODATA PENULIS



Indas Wari Rahman, S.Si., M.Kes
Staf Dosen D-IV TLM

Penulis lahir di Enrekang Sulawesi Selatan tanggal 25 Februari 1986. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D-IV Teknologi Laboratorium Medis, Universitas Megarezky di Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada jurusan Biologi Sains dan S2 jurusan Biomedik di Universitas Hasanuddin. Penulis saat ini menekuni bidang Mikrobiologi dengan aktif mengajar dan membimbing mahasiswa dalam pengajaran, praktek dan penelitian.

BIODATA PENULIS



Ni Made Susilawati, S.Si., M.Si..

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Poltekkes Kemenkes Kupang

Penulis lahir di Mataram tanggal 30 Juli 1977. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Poltekkes Kemenkes Kupang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Katolik Widya Mandira dan melanjutkan S2 pada Pasca Sarjana Ilmu Biologi pada Universitas Udayana Bali. Penulis menekuni bidang mikrobiologi klinik dan melakukan penelitian serta pengabmas terutama penyakit yang disebabkan oleh mikroba . Penulis telah menulis Buku Mikrobiologi dan Parasitologi, Immunologi Gizi, Pengantar Kesehatan Lingkungan, Mikologi ini merupakan buku ke 5 yang ditulis penulis.

Email Penulis: madeanalisis@yahoo.co.id

BIODATA PENULIS

Anggraeni Sih Prabandari, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi Teknologi Laboratorium Medis
Program Sarjana Terapan Politeknik Santo Paulus Surakarta

Penulis kelahiran 11 Juni 1985 ini biasa dipanggil Anggi, merupakan lulusan Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada. Penulis melanjutkan pendidikan pascasarjana Ilmu Biomedik di Fakultas Kedokteran Keperawatan dan Kesehatan Masyarakat Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Kegiatan menulis buku ajar telah ditekuni oleh penulis sejak menjadi dosen di Prodi TLM. Selain menyalurkan hobi, menulis juga dapat dijadikan sarana diseminasi hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis, baik sebagai peneliti tunggal maupun dalam tim. Buku kolaborasi yang telah dihasilkan oleh penulis antara lain Toksikologi Dasar (penerbit Yayasan Kita Menulis), Imunologi Dasar (penerbit Yayasan Kita Menulis), Biokimia Gizi (penerbit Get Press) serta Biologi Sel dan Genetika (Penerbit PT Nasya Expanding Management).

BIODATA PENULIS



DR. Dr. Rosa Dwi Wahyuni, M. Kes., Sp.PK

Dosen Program Studi Pendidikan Dokter
Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako

Penulis lahir di Palu tanggal 2 April 1985. Penulis adalah dosen tetap pada program studi pendidikan dokter Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Fakultas kedokteran Universitas Hasanuddin Makassar, melanjutkan S2 pada bidang ilmu Biomedik serta menempuh Pendidikan Spesialis 1 pada bidang Ilmu Patologi Klinik Fakultas kedokteran Universitas Hasanuddin dan melanjutkan Pendidikan S3 bidang ilmu Kesehatan Masyarakat pada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Hasanuddin Makassar.

Penulis lulus Pendidikan Dokter pada tahun 2009 dan diterima menjadi Dosen pada Program studi Pendidikan Dokter pada Fakultas Kedokteran Universitas Tadulako hingga saat ini.

BIODATA PENULIS



Ni Ketut Yuliana Sari, S.ST., M.Si., M.Imun.
Dosen Prodi Teknologi Laboratorium Medis
Poltekkes Kemenkes Kupang

Penulis lahir di Sulawesi Tengah Tahun 1991. Penulis menyelesaikan pendidikan Diploma III Analis Kesehatan pada tahun 2011. Pada Tahun 2013, Penulis memperoleh gelar Sarjana Terapan setelah lulus dari Diploma IV Analis Kesehatan di Poltekkes Kemenkes Yogyakarta. Selama menyelesaikan pendidikan, Penulis aktif mengajar di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Kesehatan Bantul Yogyakarta. Selanjutnya pada tahun 2013 hingga 2015, Penulis bekerja sebagai guru di SMK Kesehatan Bali Khresna Medika, Badung, Bali. Tahun 2015, Penulis bergabung di Poltekkes Kemenkes Kupang dan bekerja hingga saat ini sebagai Dosen di Prodi Teknologi Laboratorium Medis. Penulis menyelesaikan pendidikan Pascasarjana Program Studi Magister Biologi peminatan Biodiversitas Mikrobiologi di Universitas Udayana, Bali pada tahun 2019. Pada tahun 2020, Penulis mendapatkan gelar Magister Imunologi setelah menyelesaikan pendidikan di Sekolah Pascasarjana Program Studi Magister Imunologi Universitas Airlangga, Surabaya.

BIODATA PENULIS



Acivrida Mega Charisma

Dosen DIII Teknologi Laboratorium Medis di Universitas Medika
Sidoarjo

Acivrida Mega Charisma lahir di Mojokerto, Kab Mojokerto, Mojokerto, 13 Juni 1991. Jenjang Pendidikan S1 Biologi ditempuh di Universitas Negeri Surabaya, Kota Surabaya lulus tahun 2012 Pendidikan S2 Biologi, lulus tahun 2015 di Universitas Airlangga Surabaya. Saat ini sebagai Dosen DIII Teknologi Laboratorium Medis di Universitas Medika Sidoarjo. Beberapa buku yang sudah di terbitkan ELISA, Mikologi, Botani Farmasi, Komunikasi, Promkes, dan Epidemiologi

Email: acie.vrida@uam.ac.id

No hp: 085855778561