

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Tinjauan Umum Bakteri**

##### **A.1 Pengertian Bakteri**

Bakteri berasal dari bahasa latin *bacterium* (jamak):*bacteria*. Organisme memiliki ukuran yang sangat kecil (mikroskopik). Hal ini menyebabkan organisme ini sangat sulit untuk dideteksi terutama sebelum ditemukannya mikroskop. Dinding sel bakteri sangat tipis dan elastis terbentuk dari peptidoglikan yang merupakan polimer unik yang hanya dimiliki golongan bakteri. Fungsinya dinding sel adalah memberi bentuk sel memberi perlindungan dari lingkungan luar dan mengatur pertukaran zat-zat dari dan ke dalam sel.

Bakteri merupakan mikroorganisme prokariotik (bersel satu) yang tidak mengandung klorofil dan memiliki berbagai bentuk dan ukuran yang berbeda. Sel yang berbentuk bulat atau bulat telur dalam morfologi disebut kokus (jamak, kokus). Sel yang berbentuk silinder disebut batang atau basil. Beberapa batang membentuk spiral dan disebut spirilla. Sel-sel dari beberapa prokariota tetap bersama dalam kelompok atau cluster setelah pembelahan sel dan susunannya sering kali memiliki ciri khas. Sebagai contoh, beberapa kokus membentuk rantai panjang (misalnya, bakteri *Streptococcus*), yang lain muncul dalam kubus tiga dimensi (*Sarcina*), dan yang lain lagi dalam kelompok seperti anggur (*Staphylococcus*). Mereka bersifat uniseluler dan tidak menunjukkan perbedaan yang mencolok, kecuali pada bakteri tingkat tinggi seperti yang berasal dari kelompok *actinomycetales* (Mahdavinia & Schleimer, 2022).

Bakteri merupakan mikroorganisme yang mampu hidup pada kondisi lingkungan yang berbeda-beda dengan cara beradaptasi terhadap lingkungan biotik dan abiotiknya (Irdawati *et al.*, 2023).

Bakteri pada umumnya dapat hidup pada rentang suhu minus 5°C sampai 80°C. Untuk sebagian besar bakteri yang bersifat patogen dapat tumbuh dengan baik pada suhu 37°C. Bagi bakteri gram negatif suhu optimal untuk tumbuh yaitu pada suhu 30°C sampai 35°C (Soekiman, 2015). Bakteri memiliki jumlah ratusan ribu spesies yang terdapat di darat, laut, maupun tempat-tempat ekstrem. Sehingga organisme ini memiliki jumlah paling banyak dibandingkan makhluk hidup lain di bumi ini (Koes, 2020).

Ciri-ciri bakteri antara lain :

- 1) Bersel satu (uniseluler)
- 2) Tidak memiliki membran inti sel (prokariot)
- 3) Tidak memiliki klorofil
- 4) Berukuran antara 0,12 µm sampai ratusan µm
- 5) Memiliki bentuk tubuh basil, kokus, spirillum, kokobasil, dan vibrio
- 6) Memiliki dinding sel
- 7) Hidup sebagai parasit
- 8) Reproduksi secara asexual
- 9) Dapat hidup di berbagai lingkungan karena memiliki peptidoglikan pada dinding selnya
- 10) Bergerak dengan flagella dan tanpa flagella

## **A.2 Struktur Bakteri**

### **a. Dinding Sel**

Pada bakteri jelas adanya dinding sel yang terpisah dari protoplasmanya. Dinding sel yang kaku dan kuat menyebabkan bakteri mempunyai bentuk yang tetap terlindung dari pengaruh buruk dari luar. Karena dinding sel bersifat lebih kaku, maka dengan menempatkan bakteri dalam larutan hipertonis protoplasma akan mengerut dan terlepas dari dinding sel sehingga dinding sel akan terlihat dengan jelas.

b. Protoplasma (Sitoplasma)

Protoplasma merupakan bagian dari sel. Terdapat dalam lingkungan sel.

c. Membran Sitoplasma

Membran sitoplasma merupakan bagian terluar dari sitoplasma yang melekat pada dinding sel. Struktur membran sitoplasma atau membran sel berada di sebelah dalam dari dinding sel. Oleh karena itu, jika dilihat dari struktur lapisan pada sel-sel bakteri, membran plasma dilindungi oleh dinding sel bakteri, yang mana sifat dinding sel bakteri yang lebih kaku, jika dibandingkan dengan membran sitoplasma.

Mesosom merupakan struktur di mana membran sitoplasma yang melipat ke dalam (invaginasi) sitoplasma. Mesosom berfungsi dalam sintesis dinding sel, dan pembelahan nukleus sel bakteri.

Membran sitoplasma penting untuk mengendalikan lalu lintas substansi kimiawi dalam larutan, masuk ke dalam dan ke luar sel. Substansi-substansi (solut) dapat melewati membran sitoplasma dapat dengan cara sebagai berikut :

1) Difusi Pasif

Proses difusi pasif, tidak bersifat spesifik untuk setiap solut, tetapi akan terjadi jika terdapat perbedaan konsentrasi zat terlarut di luar sel dengan di dalam sel bakteri. Pada proses ini, terjadi pergerakan substansi kimia (solut) yang melintasi membran sitoplasma, dari area yang berkonsentrasi tinggi ke area yang berkonsentrasi yang lebih rendah. Difusi pasif berfungsi untuk menyamakan konsentrasi solut di kedua sisi membran sitoplasma.

## 2) Transpor Aktif

Proses transpor aktif bersifat sangat spesifik (memperlakukan solut secara spesifik). Transpor aktif berfungsi untuk menyimpan solut di dalam sel dengan konsentrasi yang lebih tinggi daripada di luar sel. Sel membran merupakan bagian yang sangat penting untuk kehidupan bakteri karena hal berikut :

- a) Bersifat semipermeable dan aktif mengambil zat-zat yang diperlukan dan menolak zat-zat makanan yang tidak dibutuhkan ataupun bersifat racun bagi bakteri
- b) Membentuk enzim-enzim hydrolytis (exoenzim) yang berguna untuk menghancurkan zat-zat makanan yang ada di sekitarnya sehingga dapat diserap.
- c) Bertugas dalam mempertahankan elektrolit kadar air dan keasaman (pH) dari sitoplasma
- d) Bersifat antigen jadi dapat merangsang dibentuknya antibodi
- e) Sangat aktif dalam pembentukan kapsul, lendir, perubahan ke bentuk spora ataupun pembelahan sel

## d. Nukleoid

Sel-sel prokariot tidak memiliki nukleus sebagai tempat tersimpannya materi genetik seperti pada eukariotik yang ada adalah suatu daerah yang disebut nukleoid yang tidak dikelilingi oleh membran dan tidak mengadakan mitosis dan meiosis. Strukturnya merupakan suatu masa amorf (tak berbentuk) yang lobuler terdiri dari banyak kromatin yang fibriler.

Nukleoid terdiri dari molekul DNA mengandung informasi genetika dari sel bakteri. Bakteri juga mengandung DNA yang membentuk lingkaran kecil disebut plasmid. Plasmid mengandung materi genetika yang tidak penting bagi pertumbuhan sel dan bisa hilang tanpa mengakibatkan sel mati.

Fibril-fibril yang tampak pada nukleotid merupakan DNA yang panjang (sekitar 1400 nm) dan tipis (3 nm), fleksibel dan sirkuler. Filamen sirkuler DNA semacam ini pada umumnya disebut *kromosom bakteri*.

Pada bakteri DNA ekstrakromosom yang berbentuk cincin-cincin kecil, dapat bereplikasi secara autonom (tidak seirama dengan kromosom) dan dapat juga bertindak sebagai determinan genetik dinamakan episom (plasmid). Setiap jenis bakteri selalu mempunyai sifat yang tetap, yaitu suatu hal yang hanya mungkin bila sifat-sifat itu dipegang teguh oleh inti karena di dalam inti terdapat pembawa sifat (kromosom).

e. Kapsul

Banyak sekali jenis bakteri mampu membentuk lendir secara tebal dan merupakan selaput yang membungkus sel. Selaput lendir yang membungkus sel. Selaput lendir yang membungkus seluruh permukaan bakteri. Dan merupakan bagian dari sel bakteri disebut kapsul. Kapsul atau selubung lendir merupakan suatu lapisan di permukaan luar sel yang terbentuk dari akumulasi senyawa-senyawa yang kaya akan air. Contohnya bakteri yang memiliki kapsul terdapat pada bakteri *Pneumccocus sp.*

Kapsul mempunyai batas yang tegas dan mempunyai bentuk tertentu sesuai dengan bentuk bakterinya. Kapsul bersifat antigen dan diduga merupakan pelindung bakteri terhadap zat-zat anti yang berada di dalam cairan badan. Kapsul dapat menyebabkan timbulnya sifat virulen atau infeksi terhadap inangnya. Jika bakteri kehilangan kapsul maka ia dapat kehilangan virulensinya.

Bentuk kapsul pada bakteri dapat dilihat dengan menggunakan metode pengecatan negatif memakai tinta china atau nigrosin. Setelah diwarnai kapsul akan tampak transparan diantara background yang berwarna gelap. Kapsul tersusun atas

polisakarida yang terdiri atas glukosa, gula amino, rhamnosa, serta asam organik seperti asam piruvat dan asam asetat. Ada pula yang mengandung peptida yaitu kapsul pada bakteri *Bacillus sp.* Kapsul juga merupakan faktor yang menentukan keganasan bakteri.

f. Flagel

Flagella (tunggal = flagellum) adalah filamen yang memanjang ke arah luar sel. Flagel (bulu cambuk) merupakan alat gerak bakteri sehingga bakteri dapat bergerak dan berputar. Flagel disusun oleh unit-sub unit protein disebut flagelin. Ukuran flagel berdiameter 12-18 nm dan panjangnya lebih dari 20 nm. Flagella yang agak kaku berfungsi sebagai poros yang mendorong sel dengan cara memutar searah atau berlawanan arah dengan jarum jam.

Berdasarkan letak dan jumlah flagel dapat dibagi menjadi :

- 1) Atriaks ialah bakteri yang tidak memiliki flagel. Contoh : *Klebsiella sp, Shigella sp*
- 2) Monotriks ialah bakteri yang memiliki flagel tunggal pada salah satu ujungnya. Contoh : *Vibrio*
- 3) Lopotriks ialah bakteri yang memiliki banyak flagella pada salah satu ujungnya. Contoh : *Rhodospirillum rubrum*
- 4) Amfitrik ialah bakteri yang memiliki flagel pada kedua ujungnya. Contoh : *Pseudomonas aeruginosa*
- 5) Peritriks ialah bakteri yang memiliki flagel yang terletak pada seluruh permukaan sel. Contoh : *Salmonella*

### A. 3 Bentuk Bakteri

a. Kokus (coccus)

Kokus adalah bakteri yang mempunyai bentuk bulat-bulat seperti bola-bola kecil. Kelompok ini ada yang bergerombol dan yang bergandeng-gandengan membentuk koloni. Berdasarkan

jumlah koloni, kokus dapat dibedakan menjadi beberapa kelompok, yaitu :

- 1) Monokokus (monococcus), bila kokus hidup menyendiri
- 2) Diplokokus (diplococcus), bila kokus membentuk koloni terdiri dari dua kokus
- 3) Streptokokus (streptococcus), bila koloni berbentuk seperti rantai
- 4) Stafilokokus (staphylococcus), bila koloni bakteri kokus membentuk untaian seperti buah anggur
- 5) Tetrakokus (tetracoccus)

b. Basil (bacillus)

Basil dari bacillus merupakan bakteri yang mempunyai bentuk tongkat pendek atau batang kecil dan silindris. Sebagian bakteri berbentuk basil. Basil dapat bergandeng-gandengan panjang, bergandengan dua-dua atau terlepas satu sama lain.

c. Spiral (Spirillum)

Spiral merupakan bakteri yang berbentuk bengkok atau berbengkok-bengkok seperti spiral. Bakteri yang berbentuk spiral sangat sedikit jenisnya.

#### **A. 4 Media Pertumbuhan dan Pembiakan Bakteri**

a. Pertumbuhan

Pertumbuhan bakteri bukan mengenai ukuran sel melainkan tentang pertambahan jumlah sel. Pertumbuhan bakteri merupakan pertambahan jumlah bakteri dan berakumulasi sebagai koloni yang merupakan populasi yang terdiri atas miliaran sel. Koloni bakteri dapat dilihat dengan mata telanjang tanpa bantuan mikroskop.

Pertumbuhan adalah peningkatan secara teratur jumlah semua komponen suatu organisme.. Tidak dapat dikatakan sebagai suatu pertumbuhan jika terjadi peningkatan ukuran sel ketika sebuah sel memasukkan air atau menyimpan lipida atau polisakarida.

Multiplikasi sel merupakan akibat dari pertumbuhan. Pada organisme uniseluler pertumbuhan mengarah pada suatu peningkatan dalam jumlah individu-individu yang menghasilkan suatu populasi.

#### b. Pembiakan

Umumnya bakteri hanya mengenal satu macam pembiakan saja, yaitu pembiakan secara aseksual atau vegetatif. Pembiakan ini berlangsung cepat, jika faktor-faktor luar menguntungkan. Pelaksanaan pembiakan yaitu dengan pembelahan diri atau division. Pembelahan diri dapat dibagi atas 3 fase yaitu :

- 1) Fase pertama dimana sitoplasma terbelah oleh sekat yang tumbuh tegak lurus pada arah memanjang
- 2) Sekat tersebut diikuti oleh suatu dinding melintang. Dinding melintang ini tidak selalu merupakan penyekat yang sempurna; ditengah-tengah sering ketinggalan suatu lubang kecil, dimana protoplasma kedua sel baru masih tetap berhubung-hubungan. Hubungan protoplasma ini disebut plasmodesmida.
- 3) Fase terakhir ialah terpisahnya kedua sel. Terdapat bakteri yang segera berpisah, yaitu satu yang terlepas sama sekali daripada yang lain setelah dinding melintang menyekat secara sempurna. Bakteri yang semacam ini merupakan koloni yang merata, jika dipelihara dalam medium yang padat. Sebaliknya, bakteri-bakteri yang dindingnya lebih kokoh itu tetap bergandeng-gandengan setelah pembelahan.

### **A.5 Jenis-jenis Bakteri**

Definisi mikroorganisme atau mikroba adalah organisme yang berukuran kecil atau organisme bersel tunggal yang hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Kelompok mikroba antara lain protozoa, alga, jamur, bakteri, dan virus. Dunia mikroorganisme

sangat luas sehingga perlu dikelompokkan atau pengklasifikasian untuk mempermudah menggolongkannya.

Sejarah perkembangan klasifikasi menurut Whittaker (1969) sistem klasifikasi 5 kingdom yaitu prokariotik (monera), eukariotik uniseluler (protista), eukariotik multiseluler, multinukleat (fungi, animalia, plantae). Sistem klasifikasi terbaru dikemukakan oleh Carl Woese yang membagi organisme menjadi tiga kingdom yaitu *Archae/Archaeobacteria*, *Eubacteria/bakteri*, *Eucarya*. Pembagian kingdom ini dikembangkan berdasarkan makromolekul organisme terutama ribosom RNA. Pada tingkatan genetis molekuler bahwa archae, bakteri, eukarya memiliki perbedaan yang besar. Sistem klasifikasi sampai tahun 2015 oleh Ruggiero mengklasifikasikan menjadi 7 kingdom.

Klasifikasi adalah penyusunan ataupun penataan organisme ke dalam kelompok taksonomi menurut kemiripannya. Sedangkan sistematika mikroba yaitu pengklasifikasian, penamaan, dan pengidentifikasian mikroba, biasanya untuk mengklasifikasikan bakteri secara terperinci menggunakan buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Pembagian grup atau kelompok bakteri berdasarkan buku *Bergey's Manual* dapat digolongkan menjadi :

a. Bakteri Berbentuk Kokus (bulat)

1) Bakteri Kokus Gram Positif (grup 14)

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

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

2) Bakteri Kokus Gram Negatif

Aerobik : *Neisseria*, *Moraxella*, *Acinetobacter*, *Paracoccus* (grup 10)

Anaerobik : *Veilonella*, *Acidaminococcus*, *Megasphaera* (grup 11)

b. Bakteri berbentuk batang

1) Bakteri Gram Positif

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

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

b) Bakteri Coryneform dan Actinomycetes (grup 17)

Aerobik Coryneform : *Corynebacterium*, *Arthrobacter*,  
*Brevibacterium*, *Cellulomonas*, *Propionibacterium*,  
*Eubacterium*, *Bifidobacterium*.

Aerobik Actinomycetes : *Mycobacterium*, *Nocardia*,  
*Actinomyces*, *Frankia*, *Actinoplanes*, *Dermatophilus*,  
*Micromonospora*, *Microbispora*, *Streptomyces*,  
*Streptosporangium*.

c) Bakteri Pembentuk Endospora (grup 15)

Aerobik : *Bacillus*, *Sporolactobacillus*, *Sporosarcina*,  
*Thermoactinomyces*

Anaerobik : *Clostridium*, *Desulfotomaculum*, *Oscillospira*

c. Bakteri Gram Negatif

1) Bakteri Gram Negatif Aerobik (grup 7)

Aerobik : *Pseudomonas*, *Xanthomonas*, *Zooglea*,  
*Gluconobacter*, *Acetobacter*, *Azotobacter*, *Azomonas*,  
*Beijerinckia*, *Derxia*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Alcaligenes*,  
*Brucella*, *Legionella*, *Thermus*.

2) Bakteri Gram Negatif Aerobik Khemolitotrofik (grup 12)

Aerobik : *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus*, *Nitrosomonas*,  
*Nitrosospira*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobus*. Bakteri ini  
umumnya berfungsi pada proses nitrifikasi di dalam tanah.  
Contohnya *Thiobacillus*, *Sulfolobus*, *Thiobacterium*, *Thiovolum*  
yang merupakan bakteri yang berperan dalam proses oksidasi  
sulfur di alam.

3) Bakteri Berselubung (grup 3)

Aerobik : *Sphaerotilus*, *Leptothrix*, *Cladothrix*, *Crenothrix*.  
Bakteri *Sphaerotilus* biasanya hidup di saluran-saluran air. *Leptothrix* dan *Cladothrix* merupakan bakteri yang mampu mengoksidasi besi atau penyebab korosi.

4) Bakteri Gram Negatif Fakultatif Anaerobik (grup 8)

Fakultatif Anaerobik : *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Salmonella*, *Shigella*, *Proteus*, *Serratia*, *Erwinia*, *Yersinia*, *Vibrio*, *Aeromonas*, *Photobacterium*.

5) Bakteri Gram Negatif Anaerobik (grup 9)

Anaerobik : *Bacteroides*, *Fusobacterium*, *Leptotrichia*.

6) Bakteri Methanogens dan Arkaebakteria (grup 13)

Anaerobik : *Methanobacterium*, *Methanothermus*, *Methanosarcina*, *Methanothrix*, *Methanococcus*. Bakteri ini merupakan pembentuk metan ( $\text{CH}_4$ ) dari hasil perombakan bahan organik secara anaerobik.

Aerobik : *Halobacterium*, *Halococcus*, *Thermoplasma*. Bakteri ini ada yang tahan hidup pada kadar garam tinggi dan ada yang tahan pada suhu tinggi.

Anaerobik : *Thermoproteus*, *Pyrodictium*, *Desulforococcus*.

d. Bakteri Berbentuk Lengkung

1) Bakteri Gram Negatif Spiral dan Lengkung (grup 6)

Aerobik : *Spirillum*, *Aquaspirillum*, *Azospirillum*, *Oceanospirillum*, *Campylobacter*, *Bdellovibrio*, *Microcylus*, *Pelosigma*.

2) Bakteri Gram Negatif Lengkung Anaerobik (grup 9)

Anaerobik : *Desulfovibrio*, *Succinivibrio*, *Butyrivibrio*, *Selenomonas*

3) Spirochaeta (grup 5)

Aerobik dan Anaerobik : *Spirochaeta*, *Cristispira*, *Treponema*, *Borrelia*, *Leptospira*. Bakteri ini berbentuk benang tipis dan

terulir. Dinding sel tipis dan lentur. Bakteri ini dapat bergerak dengan cara kontraksi sel menurut garis sumber selnya. Selnya berukuran  $0,1 - 3 \mu\text{m} \times 4 - 8 \mu\text{m}$ .

e. Bakteri Yang Termasuk Kelompok Khusus

1) Bakteri yang Merayap (Meluncur) (Grup 2)

Bakteri ini dapat merayap walaupun tidak berflagela. Bakteri ini selalu bersifat gram negatif. Dalam kelompok ini termasuk beberapa ganggang biru, beberapa bakteri kemoorganotrof dan beberapa bakteri belerang (sulfur). Kelompok bakteri yang menjadi anggota bakteri merayap (meluncur) sebagai berikut :

- a) Bakteri yang mengandung sulfur intraselular, berbentuk benang. Contoh : *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Achromatium*
- b) Bakteri bebas sulfur, membentuk trikoma (bulu). Contoh : *Vitreoscilla*, *Leucothrix*, *Saprospira*.
- c) Bakteri uniselular, bentuk batang pendek. Contoh : *Cytopaga*, *Flexibacter*, *Myxobacteria*.
- d) Bakteri fototrof yang bergerak merayap. Contoh : *Chloroflexus*
- e) Cyanobacteria yang bergerak merayap. Contoh : *Oscillatoria*
- f) Bakteri Bertangkai atau Bertunas (grup 4)

Bakteri ini mempunyai struktur mirip tangkai atau tunas yang merupakan tonjolan dari sel, atau hasil pengeluaran lendir. Contoh : *Hypomicrobium*, *Caulobacter*, *Prosthecomicrobium*, *Ancalomicrobium*, *Gallionella*, *Nevskia*.

- g) Bakteri Parasit Obligat: Rickettsiae dan Chlamydiae (grup 18)

Merupakan bakteri yang berukuran paling kecil, tetapi lebih besar dari virus, yaitu  $0,3 \times 2 \mu$ . Bentuk sel pleomorfik, dapat berupa batang, kokus, atau filamen. Bakteri ini cara hidupnya

sebagai parasit sejati (parasit obligat) di dalam sel jasad lain dan bersifat patogen. Hidupnya intraselular di dalam sitoplasma dan inti sel binatang dan manusia. Oleh karena itu bakteri kelompok ini merupakan penyebab penyakit, yang biasanya ditularkan oleh vektor serangga. Contoh: *Rickettsia prowazekii*, *Chlamydia trachomatis*, *Coxiella burnetii*.

h) Mycoplasma (Klas Mollicutes) (grup 19)

Mycoplasma disebut juga PPLO (Pleuropneumonia Like Organisms). Cirinya yaitu tidak mempunyai dinding sel, atau merupakan bentuk L dari bakteri sejati (Eubakteria) atau bentuk speroplas sel eubakteria, sehingga sifatnya mirip bakteri sejati. Mycoplasma berukuran 0,001 – 7  $\mu$ . Contoh: *Mycoplasma mycoides*, *M. Homonia*, *M. orale*, *Acholeplasma*, *Spiroplasma*.

2) Bakteri Anaerobik Anoksigenik Fototrofik (grup 1)

Bakteri ini mempunyai ciri berpigmen fotosintetik. Ada yang berbentuk kokus, batang, dan lengkung. Berdasarkan sifat fisiologinya dapat dibagi menjadi :

- a) Familia Thiorhodaceae (bakteri sulfur ungu). Contoh : *Thiospirillum sp.*, *Chromatium sp.*
- b) Familia Athiorhodaceae/Rhodospirillaceae (bakteri sulfur non-ungu). Contoh : *Rhodospirillum*, *Rhodopseudomonas*.
- c) Familia Chlorobiaceae (bakteri sulfur hijau). Contoh : *Chlorobium*, *Chloropseudomonas*, *Chlorochromatium*.

3) Bakteri Aerobik Oksigenik Fototrofik: Cyanobacteria (grup 20)

Bakteri ini termasuk Myxophyceae. atau Cyanophyceae.. Sifatnya yang mirip bakteri adalah dinding selnya terdiri mukokompleks, tidak berdinding inti, tidak ada mitokondria dan kloroplas. Sifatnya yang berbeda adalah dapat berfotosintesa mirip tumbuhan tingkat tinggi, dan menghasilkan O<sub>2</sub>. Bakteri ini mempunyai klorofil a dan fikobilin (fikosianin dan fikoeritrin). Bentuk selnya tunggal (uniseluler), koloni dan benang-benang

(filamen). Selnya dapat bergerak meluncur tetapi sangat lambat (250  $\mu$  per menit), meskipun tidak berflagela. Cara hidupnya bebas dan berasosiasi simbiosis. Contoh : *Gloeobacter*, *Gloeocapsa*, *Dermocarpa*, *Spirulina*, *Nostoc*, *Anabaena*, *Oscillatoria*, *Calothrix*, *Cylindrospermum*.

#### **A.6 Jenis-jenis Bakteri pada Air**

Secara alamiah bakteri dapat ditemukan pada air, baik air tawar dan air laut. Air tawar dan air laut memiliki banyak perbedaan. Beberapa diantaranya kadar garam, suhu rata-rata, kedalaman dan jenis nutrisi. Namun, keduanya merupakan habitat yang baik untuk mikroorganisme (Madigan et al., 2021).

Pada air tawar baik organisme yang memproduksi oksigen maupun yang menggunakan oksigen dapat hidup. Mikroorganisme inilah termasuk bakteri yang berkontribusi pada siklus alami oksigen, karbon dan nutrisi lainnya seperti nitrogen, fosfor dan unsur mineral logam (Madigan et al., 2021).

Air laut diketahui memiliki kandungan nutrisi yang lebih rendah dari air tawar. Oleh karenanya sebagian besar mikroorganisme yang ada di laut memiliki sel yang kecil, ciri khas sel yang bertahan hidup pada lingkungan dengan nutrisi yang rendah. Temperatur air laut umumnya lebih dingin dari air tawar dan lebih stabil sesuai dengan musim. Hal ini juga menjadi salah satu sebab rendahnya jumlah total sel mikroorganisme yang ada di lautan sekitar  $10^6$  / ml dibandingkan dengan  $10^7$  / ml pada air tawar (Madigan et al., 2021).

Manusia mengkonsumsi air sebanyak dua sampai empat liter per hari. Air yang layak minum seharusnya tidak mengandung mikroorganisme. Ketika air yang kita pakai terkontaminasi oleh limbah baik dari manusia maupun hewan maka air tersebut berpotensi menyebabkan penyakit pada manusia.

Penyakit diare terjadi utamanya karena kontaminasi bakteri pada makanan dan minuman. Penyakit ini telah banyak memakan korban setidaknya sebanyak 3,1 juta orang di dunia dimana sebagian besar adalah anak-anak. Diare yang sering terjadi disebabkan karena air tanah dan air permukaan yang tidak dibersihkan terlebih dahulu. Penyakit lainnya karena mengkonsumsi air tanah dan air permukaan terkait dengan saluran pencernaan (Bitton, 2014). Beberapa bakteri patogen yang sering ditemukan pada air sebagai penyebab penyakit pada manusia yaitu : *Salmonella spp*, *Shigella spp.*, *Escherichia coli*, *Vibrio cholera*, *Campylobacter jejuni*, *Leptospira*, *Legionella spp*. *Francisella tularensis*, *Yersinia enterocolitica* dan *Helicobacter pylori* (Brown & Smith, 2017; Mara & Horan, 2003).

Feses manusia dan hewan mengandung milyaran bakteri sampai dengan sekitar  $10^{12}$  per gram feses. Sebagian dari bakteri yang berada pada feses merupakan patogen dan dapat disebarkan oleh air dan media lainnya (Bitton, 2014; Mara & Horan, 2003). Penyakit ini yang umumnya ditimbulkan karena infeksi bakteri tersebut adalah demam tifoid dan kolera namun infeksi lainnya juga dapat terjadi. Bakteri patogen yang ditemukan pada air yang terkontaminasi sebagian besar dari kelompok enterobacteriaceae. Beberapa bakteri tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Vibrio Cholerae*

*Vibrio cholera* adalah Gram negatif, berbentuk koma dengan satu flagellum polar. Bakteri ini bersifat fakultatif anaerobik. Bakteri ini menyebabkan penyakit kolera. Penyakit ini disebabkan karena enterotoksin dari *V. Cholera*. Enterotoksin inilah yang menyebabkan diare ringan sampai parah diikuti muntah serta kehilangan cairan tubuh dan mineral. Sebanyak 3 sampai 5 juta orang terinfeksi kolera dan sebanyak 100.000 – 120.000

kematian per tahunnya sebagian besar di negara Asia (Bitton, 2014).

## 2. Salmonella

*Salmonella* disebarkan melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi (ayam, susu, telur). *Salmonella* yang menyebabkan demam tifoid antara lain *Salmonella typhi* dan *Salmonella paratyphi*. Kedua jenis bakteri tersebut sering menyebabkan penyakit pada manusia dari air yang terkontaminasi. Infeksi *Salmonella* dapat menyebabkan demam, mual dan diare selama tiga sampai lima hari, jika tidak diobati dengan baik dapat berakibat fatal (Bitton, 2014).

## 3. Shigella

*Shigella* adalah anggota kelompok *enterobacteriaceae*. *Shigella* dapat menyebabkan penyakit *shigellosis*. Penyakit ini menginfeksi usus besar, menyebabkan kram, diare, demam, dan feses yang dihasilkan mengandung darah. Hal ini disebabkan karena peradangan pada mukosa usus. *Shigella* termasuk ke dalam kelompok bakteri Gram negatif berbentuk batang (Bitton, 2014).

## 4. Escherichia Coli

*E. coli* merupakan flora normal pada usus besar manusia dan beberapa hewan berdarah panas. *E. coli* adalah Gram negatif anaerob fakultatif. Kebanyakan *E. coli* tidak bersifat patogen namun ada *E. Coli* yang memiliki sifat patogen dan menyebabkan diare. *E. coli* yang dapat menyebabkan penyakit adalah *enterotoxigenic E. coli* (ETEC), *enteropathogenic E. coli* (EPEC), *enterohemorrhagic E. coli* (EHEC), *enteroinvasive E. coli* (EIEC), dan *enteroaggregative E. coli* (EaggEC) (Bitton, 2014).

## 5. *Yersinia*

*Yersinia* merupakan genus anggota kelompok *enterobacteriaceae*. *Yersinia enterocolitica* adalah Gram negatif, berbentuk batang yang dapat menyebabkan radang pada saluran pencernaan. Bakteri ini telah diisolasi dari air sungai, air minum dan air selokan. Sebagian besar bakteri yang berhasil diisolasi dari air minum tidak memiliki sifat patogen. Penyebaran diduga melalui pembuangan dari manusia dan hewan (Bitton, 2014; Cornelissen et al., 2013).

## 6. *Campylobacter*

Beberapa *Campylobacter* yang dapat menyebabkan infeksi antara lain *Campylobacter jejuni* dan *Campylobacter fetus*. Bakteri ini masuk ke dalam kelompok Gram negatif, termotoleran (tidak tumbuh di bawah 30°C). Bakteri ini menginfeksi manusia dan hewan. Hewan yang menjadi reservoir bakteri ini yaitu unggas, burung liar, dan hewan ternak. Penyebaran penyakit terjadi dari makanan yang tidak dimasak dengan baik, konsumsi susu mentah dan air minum yang tercemar *Campylobacter* (Bitton, 2014).

# B. Bakteri *Escherichia Coli*

## B.1 Pengertian

*Escherichia* adalah bakteri patogen pada usus hewan dan manusia, bakteri ini merupakan jenis bakteri gram negatif yang ditemukan oleh Theodor Escherich. Genus *Escherichia* merupakan bagian dari *Escherichiae* yang termasuk pada famili *Enterobacteriaceae*. *Escherichia coli* mempunyai bentuk batang dengan ukuran berkisar antara 1.0 – 1.5 µm x 2.0 – 0.6 µm, tidak motil atau motil dengan flagela serta dapat tumbuh dengan atau tanpa oksigen, bersifat fakultatif anaerobik dan dapat tahan pada media yang rendah nutrisi. Karakteristik biokimia *E. coli* lainnya

adalah kemampuannya untuk memproduksi indol, kurang mampu memfermentasi sitrat, bersifat negatif pada analisis *urease*.

Secara fisiologi, *E. coli* memiliki kemampuan untuk bertahan hidup pada kondisi lingkungan yang sulit. *Escherichia coli* tumbuh dengan baik di air tawar, air laut, atau di tanah. Pada kondisi tersebut *E. coli* terpapar lingkungan abiotik dan biotik. Penyakit yang ditimbulkan oleh *E. coli* disebabkan karena kemampuannya untuk beradaptasi dan bertahan pada lingkungan yang berbeda. Ada beberapa jenis kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan bagi *E. coli* untuk dapat tetap bertahan, misalnya lingkungan asam (pH rendah) seperti pada saluran pencernaan manusia, perubahan suhu, serta tekanan osmotik. Kemampuan *E. coli* untuk bertahan hidup selama pendinginan dan pembekuan telah terbukti menjadikan *E. coli* toleran terhadap kondisi kering.

*Escherichia coli* dapat hidup dan bertahan pada tingkat keasaman yang tinggi di dalam tubuh manusia. *E. coli* juga dapat hidup dan bertahan di luar tubuh manusia yang penyebarannya melalui feses. Kedua habitat hidup *E. coli* ini cukup berlawanan. Saluran pencernaan manusia merupakan habitat yang relatif stabil, hangat, bersifat anaerob, dan kaya nutrisi. Sementara itu, di luar saluran pencernaan, kondisi lingkungan dapat sangat beragam, jauh lebih dingin, aerobik, serta kandungan nutrisi yang lebih sedikit.

*Escherichia coli* memiliki waktu generasi sekitar 30 sampai 87 menit tergantung pada suhu. Waktu generasi merupakan waktu yang dibutuhkan bagi sel *E. coli* untuk membelah diri menjadi dua kali lipat. Suhu optimum bagi pertumbuhan *E. coli* adalah 37°C dengan waktu generasi tersingkat, yaitu selama 30 menit.

## B.2 Taksonomi Escherichia Coli

Menurut (Martani, 2020) klasifikasi bakteri *Escherichia coli* sebagai berikut :

|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| Kingdom | : <i>Bacteria</i>             |
| Filum   | : <i>Proteobacteria</i>       |
| Kelas   | : <i>Gamma Proteobacteria</i> |
| Ordo    | : <i>Enterobacteriales</i>    |
| Famili  | : <i>Enterobacteriaceae</i>   |
| Genus   | : <i>Escherichia</i>          |
| Spesies | : <i>Escherichia coli</i>     |

## B.3 Morfologi Escherichia Coli

Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri yang hidupnya di saluran pencernaan manusia dan hewan, *Escherichia coli* juga bakteri *anaerobik fakultatif* yang bisa tumbuh dalam keadaan aerob maupun anaerob, bakteri yang tergolong dalam anaerob fakultatif adalah bakteri patogen yang sering ditemui. *Escherichia coli* mempunyai bentuk batang pendek yang ukuran 0,4 – 0,7  $\mu\text{m}$  x 1,4  $\mu\text{m}$ , bersifat motil (dapat bergerak), bahkan tidak memiliki nukleus, dan organel eksternal yakni vili yang merupakan filamen tipis dan lebih panjang (Soegijanto, 2016).

Bakteri *Escherichia coli* merupakan bakteri gram negatif yang ditunjuk dengan morfologi yaitu, berbentuk batang pendek dan berwarna merah setelah proses pewarnaan (Rahman dkk, 2018). EMBA sebagai media selektif terhadap pertumbuhan *Escherichia coli*. Perubahan media yang semula berwarna merah tua kehitaman menjadi hijau metalik dikarenakan peningkatan keasaman agar, dan pengambilan warna oleh proses fermentasi *Escherichia coli* (Sabudi dkk, 2017).

#### **B.4 Fisiologi Escherichia Coli**

*Escherichia coli* tumbuh pada media sederhana dengan pH 7,2. Bakteri ini dapat tumbuh pada suhu 10 – 40°C dengan suhu optimal 37,5°C. *Escherichia coli* mengurai glukosa menjadi asam dan gas, memfermentasi 6 laktosa, dan manitol, terkadang indol positif, membentuk koloni yang khas pada EMBA (Eosin Methylen Blue Agar), beberapa jenis dapat menghemolisis dan tumbuh pada suasana aerob dan anaerob (Kuswiyanto, 2015).

#### **B.5 Sifat Pertumbuhan Escherichia Coli**

Bakteri *Escherichia coli* dapat tumbuh berlebihan jika mengonsumsi makanan yang terkontaminasi oleh bakteri seperti daging mentah, daging yang tidak masak sempurna dalam proses pengolahan, susu, dan air yang terkontaminasi bakteri *Escherichia coli* dapat menjadi patogen jika dalam jumlah yang banyak. Bakteri *Escherichia coli* dapat menjadi patogen jika dimasukkan dalam jumlah besar dan dapat tumbuh hidup pada rentang suhu 20 – 40°C, namun pertumbuhan *Escherichia coli* lebih optimal pada suhu antara 35°C – 37°C.

#### **B.6 Patogenesis Escherichia Coli**

Patogenitas merupakan kemampuan suatu organisme untuk menimbulkan penyakit. *E. coli* dapat menimbulkan suatu gejala penyakit bila mampu masuk ke tubuh inangnya dan mampu beradaptasi serta bertahan di dalam tubuh manusia, kemudian menyerang sistem imun dan akhirnya menimbulkan penyakit. Mekanisme patogenesis ini dilakukan melalui beberapa tahapan seperti bakteri patogen lainnya. Tahapan tersebut adalah kolonisasi pada titik tertentu di bagian sel permukaan usus (sel mukosa), pembelahan sel, kerusakan sel usus, melintasi sel usus dan

memasuki aliran darah, penambatan ke organ target dan akhirnya menyebabkan kerusakan organ. Pada kondisi yang telah menimbulkan penyakit seperti diare dapat dipengaruhi oleh jumlah koloni pada saluran pencernaan dan karakteristik virulensinya. Berdasarkan sifat virulensinya bakteri *Escherichia coli* digolongkan menjadi beberapa golongan menurut (Romadhon, 2016) yaitu :

a. Enteropathogenic *Escherichia Coli* (EPEC)

Bakteri ini merupakan penyebab penting diare pada anak, khususnya di negara berkembang. Mekanismenya adalah dengan cara meletakkan dirinya pada sel mukosa usus kecil dan membentuk *filamentous actin pedestal* sehingga menyebabkan diare cair yang dapat sembuh dengan sendirinya atau berlanjut menjadi kronis. Diare seperti ini dapat disembuhkan dengan pemberian antibiotik.

b. Enterotoxigenic *Escherichia Coli* (ETEC)

Bakteri ini juga merupakan penyebab diare umum pada anak di negara berkembang seperti Indonesia. Berbeda dengan EPEC, *Escherichia coli* jenis ini memproduksi beberapa jenis eksotoksin yang tahan maupun tidak tahan panas dibawah control genotip plasmid. Pada umumnya eksotoksin yang dihasilkan bekerja dengan cara merangsang sel epitel usus untuk menyekresi banyak cairan sehingga terjadi diare.

c. Enteroinvasive *Escherichia Coli* (EIEC)

Bakteri ini menyebabkan penyakit yang sangat mirip dengan *Shigelosis*. Penyakit ini paling umum terjadi pada anak-anak di negara berkembang. Seperti *Shigella*, galur EIEC bersifat non motil dan tidak memfermentasi laktosa. EIEC menyebabkan penyakit dengan cara menginvasi sel epitel mukosa usus.

d. Enterohaemorrhagic *Escherichia Coli* (EHEC)

Galur yang memproduksi verotoksin (VTEC). VTEC menyebabkan sejumlah kejadian luar biasa (KLB) diare dan

kronis hemoragik. Penyakit ini bersifat akut dan daya sembuh spontan.

e. Enteroaggregative *Escherichia Coli* (EAEC)

Bakteri ini menyebabkan diare akut dan kronik (durasi > 14 hari) pada masyarakat di negara berkembang. Galur *Escherichia coli* ini ditandai oleh pola perlekatannya yang khas pada sel manusia.

## **C. Parameter Kualitas Air Bersih**

### **C.1 Parameter Kualitas Fisik Air**

Air merupakan salah satu sumber daya alam (SDA) yang memiliki fungsi sangat penting bagi kehidupan manusia sehingga merupakan modal dasar dan faktor utama pembangunan masyarakat. Air yang bersifat universal atau menyeluruh dari setiap aspek kehidupan menjadikan sumber daya tersebut berharga, baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Air yang berkualitas adalah air yang memenuhi baku mutu air minum yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 dimana air harus terbebas dari segala macam mikroorganisme yang patogen maupun apatogen dan bahan kimia berbahaya lainnya (Veronica & Fasa, 2022).

Air dalam hal ini adalah air dengan kualitas tertentu yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya berbeda dengan kualitas air minum. Air yang memenuhi baku mutu dapat digunakan untuk mencuci pakaian, mencuci alat masak, membersihkan perabot, mandi cuci kakus (MCK), mengepel, menyiram tanaman, dan sebagainya. Air yang menjadi bahan baku air minum harus melalui pengolahan tertentu sehingga dapat memenuhi syarat kualitas (Tamjidillah, 2021).

Kualitas fisik air untuk keperluan Higiene dan Sanitasi bagi rumah tangga yang mengakses secara mandiri atau yang memiliki sumber

air sendiri untuk keperluan sehari-hari tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene, Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum. Namun peraturan ini telah dicabut setelah diberlakukannya Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023.

Pemerintah Republik Indonesia juga telah mengatur pengawasan kualitas fisik air tersebut sesuai yang tercantum dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan. Standar baku mutu kualitas fisik air dapat dilihat dalam tabel berikut :

**Tabel 2.1**  
**Standar Baku Mutu Kualitas Fisik Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi (Kemenkes, 2023)**

| No. | Parameter Wajib                                    | Satuan | Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum) | Metode Pengujian              |
|-----|----------------------------------------------------|--------|------------------------------------|-------------------------------|
| 1.  | Kekeruhan                                          | NTU    | < 3                                | SNI atau yang setara SNI/APHA |
| 2.  | Warna                                              | TCU    | 10                                 |                               |
| 3.  | Zat padat terlarut ( <i>Total Dissolve Solid</i> ) | mg/L   | < 300                              |                               |
| 4.  | Suhu                                               | °C     | Suhu udara $\pm$ 3                 | SNI/APHA                      |
| 5.  | Bau                                                | -      | Tidak berbau                       | APHA                          |

a) Kekeruhan

Turbiditas merupakan kata lain dari tingkat kekeruhan air. Kekeruhan atau turbiditas (dalam bahasa inggris disebut sebagai *Turbidity*) ini merupakan salah satu parameter fisik yang diuji dalam analisis air. Tingkat kekeruhan air umumnya diukur dalam satuan NTU (Nephelometer Turbidity Unit) menggunakan

alat turbidimeter setelah dilakukan pengujian aplikasi (Puspitarini dan Ismawati, 2022).

Air dikatakan keruh apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan warna atau rupa yang berlumpur dan kotor. Bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan ini meliputi tanah liat, lumpur, dan organisme perairan seperti mikroorganisme. Keberadaan organisme sebagai bahan tersuspensi dalam perairan, pada tingkat tertentu dapat menjadi indikator adanya pencemaran. Oleh karena itu, kekeruhan air dapat memengaruhi atau menentukan hal-hal berikut :

- A. Terganggunya proses respirasi
- B. Menurunkan kadar oksigen dalam air
- C. Membatasi daya lihat (visual) organisme akuatik
- D. Terganggunya habitat perairan
- E. Menghambat penetrasi sinar matahari ke dalam air
- F. Menurunkan efektivitas desinfeksi pengolahan air

b) Warna

Warna juga merupakan parameter fisika pada kualitas air yang memiliki hubungan dengan kekeruhan. Warna dalam air diakibatkan oleh keberadaan partikel yang berasal dari pembusukan bahan organik, ion-ion logam seperti besi dan mangan, limbah industri, humus, plankton, dan tanaman air.

Air memiliki warna yang disebabkan proses alami, baik itu berasal dari proses biologis maupun non-biologis. Produk-produk dari proses biologis dapat berupa zat humus, gambut, dan sejenisnya, sementara produk-produk dari proses non-biologis dapat berupa senyawa kimia yang mengandung unsur-unsur seperti Fe, Ni, Co, Mn, dan lain-lain. Selain itu, perubahan warna air juga dapat disebabkan oleh aktivitas manusia yang menghasilkan limbah berwarna. Kehadiran warna tertentu

dalam air dapat mengganggu kehidupan biota akuatik, terutama fitoplankton dan beberapa jenis organisme. bentos (Kemendikbud, 2013).

Pengukuran parameter warna pada sampel air dilakukan dengan perbandingan secara visual warna sampel dengan larutan standar warna yang telah diketahui konsentrasinya. Nilai warna yang diperoleh dinyatakan dalam satuan *True Color Unit* (TCU).

c) Zat Padat Terlarut (*Total Dissolve Solid*)

*Total Dissolve Solid* (TDS) adalah kandungan zat terlarut, baik itu bersifat organik maupun anorganik yang terdapat dalam suatu larutan. Zat pada terlarut (TDS) merupakan residu dalam sampel air yang berupa ion atau senyawa yang tak dapat dilihat secara kasat mata. TDS mengindikasikan jumlah zat terlarut dalam satuan *part per million* (ppm) atau miligram per liter (mg/L).

d) Suhu

Suhu adalah suatu parameter yang mengindikasikan sejauh mana kepanasan suatu objek, biasanya digambarkan sebagai ukuran energi kinetik molekul. Secara umum, suhu diungkapkan dalam satuan derajat Celsius atau Fahrenheit. Perubahan suhu memiliki dampak pada proses fisik, kimia, dan biologi dalam lingkungan air. Suhu juga memainkan peran penting dalam mengatur kondisi ekosistem perairan. Suhu air, baik secara langsung maupun tidak langsung memengaruhi kelarutan oksigen, dan kelarutan oksigen tersebut secara langsung memengaruhi kehidupan organisme seperti tumbuhan dan reproduksi biota (Taufiqullah, 2022). Suhu menjadi pengatur utama dalam proses fisik dan kimia yang terjadi pada air.

Suhu merupakan faktor fisik yang memiliki signifikansi di seluruh dunia. Peningkatan suhu dapat mempercepat reaksi

kimia. Hal ini sesuai dengan hukum Van't Hoff yang menyatakan setiap kenaikan suhu sebesar  $100^{\circ}\text{C}$  akan menggandakan kecepatan reaksi, meskipun hal ini tidak selalu berlaku. Sebagai contoh, proses metabolisme akan meningkat hingga mencapai puncaknya kenaikan suhu, kemudian akan menurun kembali. Setiap perubahan suhu cenderung memengaruhi sejumlah proses kimia yang terjadi secara bersamaan dalam jaringan tumbuhan dan hewan, sehingga juga berdampak pada organisme secara keseluruhan.

Suhu air dipengaruhi oleh sinar matahari baik secara langsung maupun tidak langsung. Perubahan panas dalam air mengalami perubahan secara perlahan dari siang ke malam hari dan setiap pergantian musim. Selain itu, air memiliki sifat khusus di mana densitas maksimum terjadi pada suhu  $40^{\circ}\text{C}$ , bukan pada titik beku air. Selain faktor sinar matahari (pancaran radiasi matahari, meningkatnya suhu air dapat dipengaruhi oleh kondensasi dari uap air, panas dari pusat bumi, panas dari atmosfer, dan panas dari hasil reaksi kimia dalam air. Sedangkan faktor-faktor yang dapat menurunkan suhu air adalah penguapan (evaporasi, pemantulan atau pelepasan panas kembali, dan pemantulan kembali sinar matahari dari permukaan air ke atmosfer) (Taufiqullah, 2022). Suhu diukur dengan menggunakan thermometer, yang dapat berupa thermometer raksa atau thermometer digital.

#### e) Bau

Hidrogen sulfida dan senyawa organik yang dihasilkan dari dekomposisi anaerob adalah beberapa sumber utama bau air. Selain menyebabkan ketidaknyamanan, bau juga dapat menjadi indikator adanya gas beracun atau kondisi yang berpotensi membahayakan kesehatan dan lingkungan.

Air yang memiliki bau yang tidak normal, seperti bau logam dan bau busuk, menunjukkan bahwa kualitas air tersebut buruk dan dapat membahayakan kesehatan. Bau ini disebabkan oleh adanya bahan organik yang mengalami pembusukan, kehadiran organisme tertentu dan senyawa seperti fenol. Sumber-sumber bau bervariasi, misalnya bau amis disebabkan oleh pertumbuhan algae yang berlebihan atau kontaminasi limbah, bau khlor dari proses desinfeksi air PDAM, dan bau busuk disebabkan oleh dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme air. Air yang memiliki bau tidak normal selain tidak estetik juga tidak disukai oleh masyarakat (Sari dan Huljana, 2019) (Latuperissa dan Manuhutu, 2020).

## **C. 2 Parameter Kualitas Kimia Air**

Air bersih yang baik adalah air yang tidak tercemar secara berlebihan oleh zat-zat kimia yang berbahaya bagi kesehatan antara lain Besi (Fe), Mangan (Mn), Derajat Keasaman (pH), Nitrit (NO<sub>2</sub>), Nitrat (NO<sub>3</sub>), dan zat-zat lainnya. Kandungan zat kimia dalam air bersih yang digunakan sehari-hari hendaknya tidak melebihi kadar maksimum yang diperbolehkan untuk standar baku mutu air minum dan air bersih. Berikut ini adalah standar baku mutu parameter kualitas kimia air bersih untuk keperluan higiene sanitasi berdasarkan Peraturan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023.

**Tabel 2. 2**  
**Standar Baku Mutu Kualitas Kimia Air (Kemenkes, 2023)**

| No | Jenis Parameter                                | Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum) | Satuan | Metode Pengujian |
|----|------------------------------------------------|------------------------------------|--------|------------------|
| 1. | pH                                             | 6,5 – 8,5                          | -      | SNI/APHA         |
| 2. | Nitrat (sebagai NO <sup>3</sup> ) (terlarut)   | 20                                 | mg/L   | SNI/APHA         |
| 3. | Nitrit (sebagai NO <sub>2</sub> ) (terlarut)   | 3                                  | mg/L   | SNI/APHA         |
| 4. | Kromium Valensi (Cr <sup>6+</sup> ) (terlarut) | 0,01                               | mg/L   | SNI/APHA         |
| 5. | Besi (Fe) (terlarut)                           | 0,2                                | mg/L   | SNI/APHA         |
| 6. | Mangan (Mn) (Terlarut)                         | 0,1                                | mg/L   | SNI/APHA         |

a) Derajat Keasaman (pH)

Nilai pH atau tingkat keasaman pada air menyatakan jumlah ion H<sup>+</sup> yang terkandung dalam suatu sampel air. Ion H<sup>+</sup> banyak berperan pada berbagai reaksi kimiawi yang terjadi di lingkungan perairan dan mengindikasikan keseimbangan antara asam dan basa. Standar ideal pH air berada pada kisaran 6-8. Pengukuran pH air dapat dilakukan dengan menggunakan alat pH meter dan kertas pH. Pada umumnya, nilai pH dipersyaratkan pada standar baku mutu kualitas air, pemandian umum, air limbah domestik, hingga limbah industri.

Pada umumnya air yang memiliki pH dibawah 6 dapat dinyatakan tercemar, karena mengindikasikan adanya ion atau

senyawa lain yang tidak diinginkan, seperti sulfat dan fosfor. Khusus untuk air minum atau air hygiene sanitasi, air dengan pH rendah dapat berdampak pada kesehatan. Lingkungan perairan yang memiliki pH lebih dari 8 juga diindikasikan tercemar. Air yang sangat basa umumnya mengandung padatan larutan tinggi. Sifat-sifat ini dapat berpengaruh pada menurunnya kegunaan keperluan air, seperti air pada tangki uap, pengolahan makanan, dan irigasi saluran air (Saeni, 1989).

b) Nitrat

Nitrat merupakan senyawa yang dapat larut dalam air, senyawa ini merupakan bentuk senyawa nitrogen yang stabil, senyawa ini diperoleh melalui oksidasi yang sempurna senyawa nitrogen di perairan, keberadaan nitrat pada perairan disebabkan karena adanya amonia yang bisa berasal dari alam sendiri atau buangan dari manusia, adanya nitrat berlebih menyebabkan oksigen menjadi berkurang yang menyebabkan populasi ikan menurun, bau busuk, dan rasa air menjadi tidak enak (Afidin, 2021). Nitrat merupakan hasil dari oksidasi nitrit dengan bantuan bakteri *Nitrobacter*.

c) Nitrit

Nitrit merupakan bentuk nitrogen yang hanya sebagian teroksidasi. Nitrit tidak dapat bertahan lama dan merupakan keadaan proses sementara proses oksidasi antara amoniak dan nitrat. Nitrit merupakan hasil oksidasi dari amonia dengan bantuan bakteri *Nitrisomonas*. Nitrit bersumber dari bahan-bahan yang bersifat korosif dan banyak dipergunakan di pabrik-pabrik. Pengaruh nitrit kepada kesehatan manusia yaitu, dapat menyebabkan *methaemoglobinemia* dan efek racun kandungan nitrit dalam air lebih besar dari 0 (nol) mg/L. Nitrit sangat berbahaya untuk tubuh manusia khususnya bagi bayi di

bawah umur tiga bulan, karena dapat menyebabkan *methaemoglobinemia* yaitu kondisi dimana nitrit akan mengikat *haemoglobin* (Hb) darah sehingga menghalangi ikatan Hb dengan oksigen.

d) Besi (Fe)

Besi merupakan salah satu unsur yang terkandung di dalam air. adanya kandungan besi di dalam air ini sangat baik karena merupakan unsur yang dibutuhkan oleh tubuh untuk metabolisme tubuh serta pembentukan sel-sel darah merah. Kandungan besi yang melebihi standar yang telah ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 yaitu sebesar 0,2 mg/L, dapat menyebabkan warna air menjadi kemerah-merahan akibat terjadinya ferri oksida atau hidroksida, memberikan rasa yang tidak enak pada air. konsentrasi unsur besi yang berlebihan juga dapat menimbulkan noda-noda pada peralatan dan bahan-bahan yang berwarna putih. Adanya unsur ini dapat pula menimbulkan bau dan warna pada air minum.

e) Mangan (Mn)

Mangan terbentuk secara alami di sumber air permukaan dan air tanah, terutama dalam kondisi oksidasi yang rendah (WHO, 2004). Air yang mengandung mangan (Mn) berlebih dapat menimbulkan rasa, warna, dan kekeruhan yang sama dengan zat besi (Febrina dan Astrid, 2014). Mangan mampu menimbulkan keracunan kronis pada manusia hingga berdampak menimbulkan lemah pada kaki dan otot, muka kusam dan dampak lanjutan bagi manusia yang keracunan Mangan (Mn), bicaranya lambat dan hiperrefleksi (Pahlevi, dalam Amalia, 2014). Mangan mempunyai warna putih kelabu dan menyerupai besi. Mangan adalah logam keras dan sangat

rapuh. Logam mangan dan ion-ion biasanya mempunyai daya magnet yang kuat.

### **C.3 Parameter Kualitas Biologi Air**

Parameter biologi merupakan parameter kualitas air yang ditinjau dari mikroorganisme yang ada di dalam air tersebut. Pada umumnya mikroorganisme yang dimaksud adalah bakteri patogen yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Sejumlah besar penyakit menular dapat ditularkan melalui air, diantaranya tipus dan kolera.

Pemeriksaan mikroorganisme pada sampel air dilakukan dengan analisa mikrobiologi. Terdapat beberapa jenis metode analisa mikrobiologi yang spesifik untuk mikroba jenis tertentu. Contohnya untuk analisa bakteri total digunakan metode *Total Plate Count*, sedangkan untuk bakteri *Escherichia coli tinja* digunakan metode filter membran dan tabung fermentasi (Alaerts dan Santika, 1984). Disamping itu, untuk bakteri *Coliform* dapat dianalisa dengan metode filter membran, *Most Probable Number* (MPN), dan *Coli Count* (Weiner dan Matthews, 2003).

Coliform merupakan suatu kelompok bakteri yang menjadi sebuah indikator untuk menentukan mutu atau kualitas dari air. Ciri bakteri tersebut yaitu kelompok bakteri gram negatif, aerob, berbentuk batang, dan mampu memfermentasikan laktosa dengan membentuk gas. Bakteri coliform merupakan suatu kelompok bakteri yang dicirikan sebagai bakteri yang berbentuk batang, gram negatif, tidak membentuk spora, aerobik dan anaerobik yang dapat memfermentasi laktosa yang dapat menghasilkan gas dan asam dalam waktu 48 jam pada suhu 35°C. Ketika berada pada lingkungan, bakteri coliform biasanya hidup dalam kondisi ada oksigen maupun

tidak ada oksigen tetapi lebih memilih adanya oksigen (Sandra dan Jasin, 2022).

Bakteri coliform merupakan indikator mikrobiologis terpenting dalam kualitas air, kelompok bakteri coliform yang terdiri dari *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* yang dapat menimbulkan beberapa penyakit tertentu meskipun tidak melalui kontak fisik secara langsung. Bakteri ini dapat ditemukan di saluran pencernaan manusia dan hewan. Hal ini sejalan dengan pernyataan Waluyo, Sastrawijaya, Soemirat dalam (Trisnawati dan Siregar, 2021) yang mengatakan bahwa mikroorganisme seperti coliform biasa tinggal di dalam usus manusia maupun hewan berdarah panas. Berikut ini merupakan standar baku mutu parameter biologi untuk higiene sanitasi adalah :

**Tabel 2.3**  
**Standar Baku Mutu Kualitas Biologi Air (Kemenkes, 2023)**

| No. | Jenis Parameter         | Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum) | Satuan    | Metode Pengujian |
|-----|-------------------------|------------------------------------|-----------|------------------|
| 1.  | <i>Escherichia coli</i> | 0                                  | CFU/100ml | SNI/APHA         |
| 2.  | <i>Total Coliform</i>   | 0                                  | CFU/100ml | SNI/APHA         |

#### **D. Air Rendaman Tahu**

Kata Tahu berasal dari China *tao-hu*, *teu-hu*, atau *tokwa*. Kata “tao” atau “teu” berarti kacang. Untuk membuat tahu menggunakan kacang kedelai (kuning, putih), sedangkan “hu” atau “kwa” artinya rusak atau hancur menjadi bubur, jadi tahu adalah makanan yang dibuat pakan salah satu bahan olahan dari kedelai yang dihancurkan menjadi bubur (Kastyanto, 1999). Tahu adalah makanan yang dibuat dari kacang

kedelai. Berbeda dengan tempe yang asli dari Indonesia, tahu berasal dari China, seperti halnya kecap, taucu, bakpao, dan bakso. Tahu pertama kali muncul di Tiongkok sejak zaman Dinasti Han sekitar 2200 tahun lalu. Penemunya adalah Liu An yang merupakan seorang bangsawan, anak dari Kaisar Han Gaouzu, Liu Bang yang mendirikan Dinasti Han (Kastyanto, 1999).

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 3142:2018), Tahu adalah produk berupa padatan yang dibuat melalui proses sari kedelai atau bubuk kedelai (*Glycine max*) yang ditambahkan air menggunakan bahan tambahan pangan koagulan atau air asam dengan atau tanpa penambahan bahan pangan lain dan bahan tambahan pangan yang diizinkan. Kualitas tahu sangat bervariasi karena perbedaan bahan penggumpalan dan perbedaan proses pembuatan. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia Nomor 3142 Tahun 2018 tentang Tahu, ditetapkan standar mengenai syarat mutu tahu. Syarat mutu tahu dapat dijelaskan sebagai berikut :

**Tabel 2.5 Syarat Mutu Tahu**

| No. | Jenis Uji       | Satuan          | Persyaratan            |
|-----|-----------------|-----------------|------------------------|
| 1.  | Keadaan         |                 |                        |
| 1.1 | Bau             | -               | Normal                 |
| 1.2 | Rasa            | -               | Normal                 |
| 1.3 | Warna           | -               | Normal                 |
| 1.4 | Penampakan      | -               | Normal tidak berlendir |
| 2.  | Formalin (HCHO) | -               | Tidak boleh ada        |
| 3.  | Kadar Air       | Fraksi massa, % | Maks. 92               |

| No. | Kriteria Uji               | Satuan          | Persyaratan     |
|-----|----------------------------|-----------------|-----------------|
| 4.  | Protein (Nx5,71)           | Fraksi massa, % | Min. 3,5        |
| 5.  | Abu tidak larut dalam asam | Fraksi massa, % | Maks. 0,1       |
| 6.  | Serat Kasar                | Fraksi massa, % | Maks. 0,1       |
| 7.  | Cemaran Logam              |                 |                 |
| 7.1 | Timbal (Pb)                | mg/Kg           | Maks. 0,25      |
| 7.2 | Kadmium (Cd)               | mg/Kg           | Maks. 0,05      |
| 7.3 | Timah (Sn)                 | mg/Kg           | Maks. 40,0      |
| 7.4 | Merkuri (Hg)               | mg/Kg           | Maks. 0,03      |
| 7.5 | Cemaran arsen (As)         | mg/Kg           | Maks. 0,1       |
| 8.  | Cemaran Mikroba            |                 | Lihat tabel 2.6 |

**Tabel 2.6 Kriteria Mikrobiologi Tahu**

| No.     | Jenis Cemar<br>Mikroba                                           | N | C | m                        | M                        |
|---------|------------------------------------------------------------------|---|---|--------------------------|--------------------------|
| 1.      | Escherichia coli                                                 | 5 | 0 | < 3 APM/g                | NA                       |
| 2.      | Staphylococcus aureus                                            | 5 | 2 | 10 <sup>2</sup> koloni/g | 10 <sup>3</sup> koloni/g |
| 3.      | Salmonella                                                       | 5 | 0 | Negative/25<br>g         | NA                       |
| CATATAN |                                                                  |   |   |                          |                          |
| n       | adalah jumlah sampel yang diambil dan dianalisis                 |   |   |                          |                          |
| c       | adalah jumlah maksimum sampel yang boleh melampaui batas mikroba |   |   |                          |                          |
| m, M    | adalah batas mikroba                                             |   |   |                          |                          |
| NA      | adalah Not applicable.                                           |   |   |                          |                          |

Tahu diproduksi dengan memanfaatkan sifat protein, yaitu akan menggumpal bila bereaksi dengan asam. Penggumpalan protein oleh asam cuka akan berlangsung secara cepat dan serentak di seluruh bagian cairan sari kedelai, sehingga sebagian besar air yang semula tercampur dalam sari kedelai akan terperangkap didalamnya. Pengeluaran air yang terperangkap tersebut dapat dilakukan dengan memberikan tekanan, semakin banyak air yang dapat dikeluarkan dari gumpalan protein, gumpalan protein itulah yang disebut sebagai "tahu".

Air adalah senyawa kimia dengan rumus kimia H<sub>2</sub>O, artinya satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air mempunyai sifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar. Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting karena mampu melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam, gula, asam, beberapa jenis gas dan senyawa organik (Scientist N., 2010).

Jumlah air cukup untuk memenuhi kebutuhan domestik dan rumah tangga. Air digunakan untuk mendukung hampir seluruh kegiatan manusia. Sebagai contoh, air digunakan untuk minum, memasak, mandi, mencuci dan membersihkan air lingkungan rumah. Air memenuhi standar yang sudah ditentukan oleh Badan Kesehatan Dunia (WHO) atau Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

Tahu merupakan salah satu bahan makanan pokok yang termasuk dalam empat sehat lima sempurna. Tahu memiliki masa simpan yang singkat, pada suhu ruangan daya simpannya rata-rata 1-2 hari, upaya pengawetan dengan cara pengukusan dan penyimpanan dalam lemari pendingin hanya mampu mengawetkan selama 1 hari (Safitri, 2015). Tahu juga merupakan makanan yang mengandung banyak gizi dan mudah diproduksi.

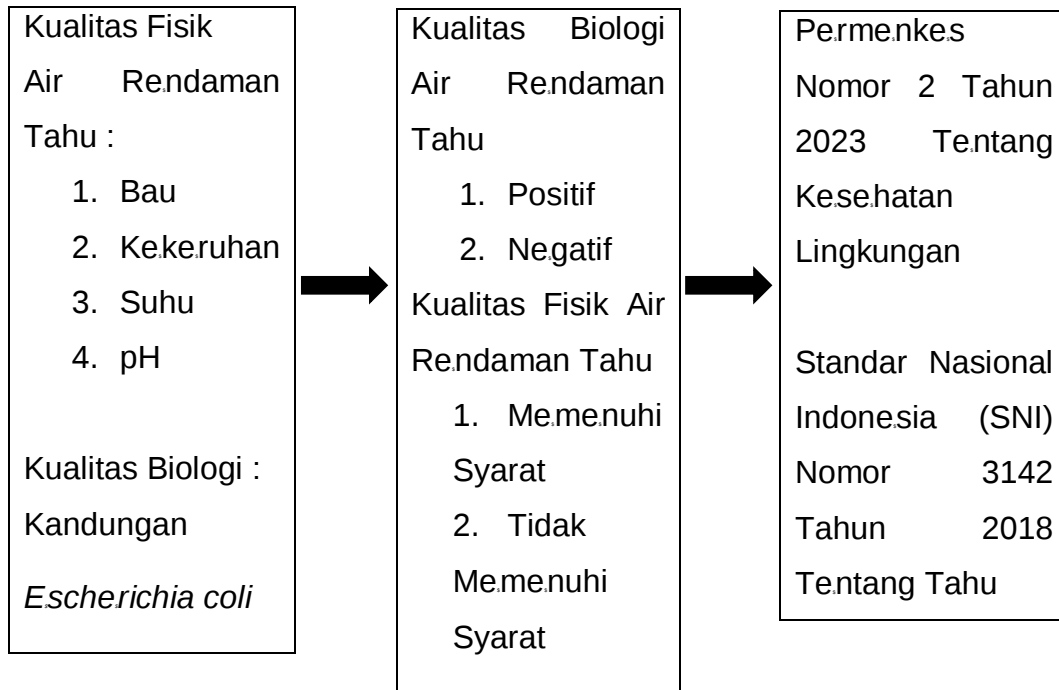
Air rendaman tahu merupakan air yang digunakan sebagai rendaman pada tahu yang dijual. Tahu memiliki kandungan air dan protein yang tinggi, hal ini menyebabkan tahu mudah rusak oleh bakteri. Bakteri yang umumnya ditemukan pada tahu adalah *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas spp*, *Bacillus cereus*, *Coliform*, *Klebsiella spp*, dan *Salmonella* (Sofyan A., dkk, 2016). *Coliform* dapat menyebabkan diare yang disertai muntah-muntah, sedangkan *Salmonella* dapat menyebabkan penyakit thypus, dengan gejala meliputi demam, mual-mual, muntah dan bahkan dapat menimbulkan kematian. *Escherichia coli* bersifat zoonosis terhadap manusia karena mampu mengeluarkan racun yang dapat menimbulkan kerusakan pada lapisan usus (*Gastroenteritis*) dengan beberapa gejala mulai dari diare ringan sampai *hemolytic uremic syndrome*, gagal ginjal, dan yang lebih parah lagi dapat menyebabkan kematian (Amin, A.I, dkk., 2015). Sumber cemaran bakteri *Staphylococcus aureus* dapat berasal dari biji kedelai, sedangkan bakteri *Escherichia coli* dapat berasal dari air yang digunakan. Kedua

jenis bakteri tersebut adalah bakteri yang keberadaannya mendominasi.

Produsen tahu kebanyakan menjual tahunya dalam keadaan terendam oleh air. Air rendaman memiliki manfaat untuk mempertahankan tekstur tahu yang dijual, sehingga air tahu yang digunakan haruslah memenuhi syarat air bersih yang baik agar kualitas tahu tetap terjaga. Untuk memproduksi tahu bahan-bahan yang dibutuhkan hanya berupa kacang kedelai.

Tahu termasuk bahan makanan yang berkadar air tinggi. Besarnya kadar air dipengaruhi oleh bahan penggumpal yang dipakai pada saat pembuatan tahu. Bahan penggumpal asam menghasilkan tahu dengan kadar air lebih tinggi dibanding garam kalsium. Bila dibandingkan dengan kandungan airnya, jumlah protein tahu tidak terlalu tinggi, hal ini disebabkan oleh kadar airnya yang sangat tinggi. Makanan-makanan yang berkadar air tinggi umumnya kandungan protein agak rendah. Selain air, protein juga merupakan media yang baik untuk pertumbuhan mikroorganisme pembusuk yang menyebabkan bahan mempunyai daya awet rendah.

### E. Kerangka Konsep



Gambar 2.1  
Kerangka Konsep

## F. Definisi Operasional

**Tabel 2.7 Definisi Operasional**

| No. | Variabel  | Definisi                                                                                                                             | Alat Ukur   | Hasil Ukur                                                                                               | Skala Ukur |
|-----|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.  | Kekeruhan | Kekeruhan adalah ukuran seberapa jernih atau keruhnya air, yang disebabkan oleh partikel-partikel tersuspensi pada air rendaman tahu | Pemeriksaan | 1. Memenuhi Syarat apabila < 3 NTU<br>2. Tidak Memenuhi Syarat apabila melebihi 3 NTU                    | Ordinal    |
| 2.  | pH        | pH adalah ukuran tingkat keasaman atau kebasaan pada air rendaman tahu                                                               | Pemeriksaan | 1. Memenuhi Syarat apabila nilai pH 6,5 – 8,5<br>2. Tidak Memenuhi Syarat apabila nilai pH <6,5 dan >8,5 | Ordinal    |
| 3.  | Suhu      | Suhu adalah besaran yang menyatakan derajat panas                                                                                    | Pemeriksaan | 1. Memenuhi Syarat<br>2. Tidak Memenuhi Syarat                                                           | Ordinal    |

|    |                  |                                                                                                                                                                         |                  |                              |         |
|----|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|---------|
|    |                  | dingin pada air rendaman tahu                                                                                                                                           |                  |                              |         |
| 4. | Bau              | Bau adalah senyawa kimia yang dalam kondisi normal berwujud gas, yang berasal dari uap air rendaman tahu                                                                | Observasi        | 1. Normal<br>2. Tidak Normal | Ordinal |
| 5. | Escherichia Coli | <i>Escherichia coli</i> merupakan bakteri berbentuk batang bersifat Gram-negatif, fakultatif aerob, tidak membentuk spora, yang umumnya hidup di usus manusia dan hewan | Uji Laboratorium | 1. Positif<br>2. Negatif     | Rasio   |

---