

BAB 2

TINJAUAN TEORITIS

2.1 Kajian Pustaka

2.1.1 Keterampilan Literasi Sains

Menurut Holbrook & Rannikmae (2009), definisi dari keterampilan literasi sains adalah pengetahuan dan keterampilan ilmiah berbasis bukti secara tepat, terutama yang relevan dengan kehidupan sehari-hari, dalam memecahkan masalah ilmiah yang secara pribadi menantang namun bermakna, serta membuat keputusan sosial-ilmiah (*socio-scientific decisions*) yang bertanggung jawab. Dijelaskan juga bahwa untuk dapat meningkatkan keterampilan literasi sains bergantung pada keterampilan interaksi kolektif, perkembangan personal, dan pendekatan komunikasi yang sesuai, serta perlunya menunjukkan alasan yang kuat dan meyakinkan dalam menyampaikan argumen sosial-ilmiah. Keterampilan literasi sains dapat diartikan sebagai suatu kemampuan seseorang dalam memahami, mengkomunikasikan, dan menerapkan pengetahuan sains untuk memecahkan masalah serta meningkatkan sikap dan kepekaan terhadap lingkungan, yang tidak hanya menekankan penguasaan konsep dan proses sains, tetapi juga mencakup kemampuan membuat keputusan dan berpartisipasi dalam kehidupan sehari-hari (Irsan, 2021).

2.1.2 Indikator Keterampilan Literasi Sains

Keterampilan literasi sains dalam penelitian ini terdiri atas 9 keterampilan menurut Gormally et al. (2012) yang dijadikan sebagai indikator pengukuran keterampilan literasi sains, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Indikator Keterampilan Literasi Sains

No	Indikator	Deskripsi
1	Mengidentifikasi argumen ilmiah yang valid.	Kemampuan mengidentifikasi argumen yang disusun berdasarkan

No	Indikator	Deskripsi
		data, fakta ilmiah, dan penalaran yang logis.
2	Mengevaluasi kevalidan dari suatu sumber.	Kemampuan menilai tingkat kepercayaan suatu sumber informasi ilmiah berdasarkan asal sumber dan kelayakan isinya.
3	Mengevaluasi penggunaan dan penyalahgunaan informasi ilmiah.	Kemampuan menilai ketepatan penggunaan informasi ilmiah serta mengenali kesalahan atau penyalahgunaan informasi tersebut.
4	Memahami elemen desain penelitian dan bagaimana dampaknya terhadap penemuan ilmiah.	Kemampuan memahami unsur-unsur dasar dalam desain penelitian dan pengaruhnya terhadap hasil atau kesimpulan penelitian.
5	Membuat representasi grafis dari data pertanyaan.	Kemampuan menyajikan data hasil pengamatan atau penelitian ke dalam bentuk grafik atau diagram secara tepat.
6	Membaca dan menafsirkan representasi grafis pertanyaan.	Kemampuan membaca, memahami, dan menafsirkan informasi yang disajikan dalam bentuk grafik atau diagram.
7	Memecahkan masalah menggunakan keterampilan kuantitatif, termasuk probabilitas dan statistik.	Kemampuan menerapkan perhitungan dan konsep statistik sederhana untuk menyelesaikan permasalahan berbasis data.

No	Indikator	Deskripsi
8	Memahami dan menafsirkan statistik dasar.	Kemampuan memahami makna data statistik dasar serta menggunakannya dalam konteks ilmiah.
9	Membenarkan kesimpulan, prediksi, dan simpulan berdasarkan data kuantitatif.	Kemampuan menarik dan membenarkan kesimpulan atau prediksi berdasarkan analisis data kuantitatif yang tersedia.

Sumber: Gormally et al. (2012)

2.1.3 Keterampilan Kolaborasi

Menurut Gentry (2012), keterampilan kolaborasi didefinisikan sebagai kerangka kerja di mana dua individu atau lebih bekerja sama sebagai mitra setara untuk membuat keputusan yang menghasilkan perubahan positif, melalui bekerja sama dalam berbagi sumber daya, keputusan, serta tanggung jawab. Peningkatan keterampilan kolaborasi terjadi karena adanya kesempatan untuk bekerja sama dalam tim, menghargai pendapat antar anggota kelompok, seluruh anggota berpartisipasi aktif dalam memberikan saran dan ide dalam diskusi, bertanggung jawab dalam menyelesaikan permasalahan untuk mencapai keberhasilan kelompok, serta mempunyai keberanian (Aditya & Wahyudi, 2024). Kolaborasi bukan hanya tentang bekerja sama, tetapi juga mencakup kemampuan mendengarkan, memberikan kontribusi yang berarti, menyelesaikan konflik secara konstruktif, dan mencapai tujuan bersama dalam pembelajaran, di mana peserta didik didorong untuk aktif terlibat, berbagi tugas, saling mendukung, serta membina lingkungan belajar kolaboratif yang tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep ilmiah, tetapi juga mengembangkan keterampilan penting seperti kerja tim, berpikir kritis, dan pemecahan masalah (Khoiriyah et.al, 2025).

2.1.4 Indikator Keterampilan Kolaborasi

Keterampilan kolaborasi dalam penelitian ini terdiri atas 11 indikator yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 1.2 Indikator Keterampilan Kolaborasi

No	Indikator	Deskripsi
1	Kontribusi (<i>Contribution</i>).	Kemampuan individu untuk memberikan sumbangan ide, tenaga, atau hasil kerja secara aktif dalam kegiatan kelompok.
2	Motivasi/partisipasi (<i>Motivation/participation</i>).	Kemampuan individu untuk menunjukkan kemauan terlibat secara aktif dan konsisten dalam kegiatan kelompok.
3	Kualitas kerja (<i>Quality of work</i>).	Kemampuan individu menghasilkan pekerjaan yang teliti, sesuai dengan tujuan, dan memenuhi standar yang disepakati kelompok.
4	Pengelolaan waktu (<i>Time management</i>).	Kemampuan individu mengatur waktu secara efektif agar tugas kelompok dapat diselesaikan tepat waktu.
5	Dukungan kelompok (<i>Team support</i>).	Kemampuan individu memberikan bantuan, dorongan, dan dukungan kepada anggota kelompok lain selama bekerja bersama.
6	Persiapan (<i>Preparedness</i>).	Kemampuan individu mempersiapkan diri sebelum kegiatan kelompok, baik dari segi pengetahuan, alat, maupun kesiapan mental.
7	Pemecahan masalah (<i>Problem Solving</i>).	Kemampuan individu berpartisipasi dalam mengidentifikasi masalah dan

No	Indikator	Deskripsi
		mencari solusi secara bersama dalam kelompok.
8	Dinamika kelompok (<i>Team Dynamic</i>).	Kemampuan individu beradaptasi dengan kondisi dan peran dalam kelompok agar kerja sama berjalan harmonis.
9	Interaksi (<i>Interaction with Others</i>).	Kemampuan individu berkomunikasi dan berinteraksi secara efektif dengan anggota kelompok.
10	Fleksibilitas (<i>Role Flexibility</i>).	Kemampuan individu menyesuaikan peran dan tanggung jawab sesuai dengan kebutuhan kelompok.
11	Refleksi (<i>Reflection</i>).	Kemampuan individu melakukan evaluasi terhadap proses dan hasil kerja kelompok untuk perbaikan di masa berikutnya.

Sumber: Ofstedal & Dahlberg (2009)

2.1.5 Model *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE)

Model pembelajaran *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE) dikembangkan oleh Savander-Ranne dan Kolari sebagai pengembangan dari model POE (*Predict, Observe, Explain*). Model ini terdiri atas enam tahapan berurutan, yaitu *Predict, Discuss I, Explain I, Observe, Discuss II, dan Explain II*. Pendekatan PDEODE didasarkan pada pandangan konstruktivisme, di mana pengetahuan baru dibangun dari pengetahuan awal melalui proses pengonstruksian makna berdasarkan berbagai fenomena alam yang dekat dengan kehidupan peserta didik (Coştu, 2008). Penerapan konstruktivisme tampak ketika guru mendorong peserta didik untuk mengemukakan pengetahuan awal, memberi ruang bertanya, membimbing mereka menemukan solusi, serta memberikan penguatan, hingga akhirnya mampu membangun pengetahuannya sendiri (Romadhona et al., 2023). Model ini memberi

kesempatan kepada peserta didik untuk menyampaikan pengetahuan awal terkait materi, bekerja sama selama diskusi, saling bertukar pendapat, dan mengalami perubahan konseptual pada pengetahuan yang mereka miliki (Kolari et al., 2005). Proses diskusi dan bertukar pendapat tersebut mampu mendorong peningkatan keterampilan kolaborasi peserta didik. Strategi pembelajaran PDEODE mendorong peserta didik aktif membangun pengetahuannya melalui pemikiran logis berbasis proposisi dan hipotesis serta pengambilan keputusan dari kesimpulan yang mereka buat, sementara masalah dan percobaan yang diberikan dikaitkan dengan lingkungan sekitar agar peserta didik dapat mencari solusi sesuai perkembangan kognitifnya (Dipalaya et al., 2016). Proses tersebut mampu meningkatkan keterampilan literasi sains peserta didik.

2.1.6 Sintaks Model *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE)

Model pembelajaran *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE) terdiri dari 6 tahapan dalam proses pembelajarannya, berikut dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 1.3 Sintaks Model PDEODE

No	Sintaks	Deskripsi
1	<i>Predict</i> (Prediksi)	Guru menyajikan sebuah fenomena kepada peserta didik sehingga mereka dapat memprediksi hasil fenomena tersebut secara individu dan memberikan alasan atas prediksi mereka.
2	<i>Discuss I</i> (Diskusi I)	Peserta didik diminta untuk berdiskusi dalam kelompok untuk saling berbagi ide dan memikirkannya bersama.
3	<i>Explain I</i> (Menjelaskan I)	Peserta didik dalam setiap kelompok diminta untuk mencapai solusi bersama mengenai fenomena tersebut dan menyampaikan hasilnya

		kepada kelompok lain melalui diskusi kelas secara keseluruhan.
4	<i>Observe</i> (Observasi)	Peserta didik bekerja dalam kelompok untuk melakukan eksperimen dan mencatat secara individu apa yang mereka amati. peserta didik mengamati perubahan pada fenomena, dan guru harus membimbing mereka untuk melakukan observasi yang relevan dengan konsep target.
5	<i>Discuss II</i> (Diskusi II)	Peserta didik diminta untuk mencocokkan prediksi mereka dengan hasil observasi yang mereka peroleh pada langkah sebelumnya. Di sini peserta didik diminta untuk menganalisis, membandingkan, mengontraskan, serta mengkritisi temuan teman sekelompoknya.
6	<i>Explain II</i> (Menjelaskan II)	Peserta didik mulai mengubah atau memperbaiki pemahaman awalnya yang mungkin kurang tepat. Jadi, mereka meninggalkan keyakinan awal yang salah dan membangun pemahaman baru yang lebih benar berdasarkan bukti dari percobaan.

Sumber: Coştu (2008)

2.1.7 Kelebihan Model *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE)

Model pembelajaran model *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE) menurut Maulana (dalam Mukharayyah, 2015:30, dalam Wahyuni, 2020) memiliki beberapa kelebihan, diantaranya:

- Mendorong keaktifan peserta didik selama proses belajar, yaitu karena setiap tahapannya mengharuskan mereka terlibat langsung. Mulai dari membuat prediksi,

berdiskusi, hingga mengamati fenomena, peserta didik terus berpartisipasi sehingga pembelajaran berlangsung dinamis dan tidak pasif.

- b. Membantu peserta didik membangun atau mengonstruksi pemahaman secara mandiri melalui fenomena yang mereka amati, dimana peserta didik membangun pemahaman secara mandiri. Saat prediksi dan membandingkan dengan hasil observasi, peserta didik terdorong memperbaiki dan menyusun ulang konsep yang mereka miliki berdasarkan pengalaman nyata.
- c. Meningkatkan motivasi serta kreativitas belajar, yaitu karena mereka diajak menebak, mengamati, dan mencari penjelasan atas fenomena. Ketidaksesuaian antara prediksi dan kenyataan memunculkan rasa penasaran yang membuat peserta didik lebih antusias dan kreatif.
- d. Memfasilitasi terjadinya diskusi baik antar peserta didik maupun antara peserta didik dan guru, dimana model ini mendorong terjadinya diskusi karena terdapat dua tahap khusus untuk bertukar pendapat. Peserta didik dapat menyampaikan ide, mendengarkan pendapat teman, dan berdialog dengan guru, sehingga interaksi kelas menjadi lebih hidup dan terbuka.
- e. Memungkinkan guru menggali pengetahuan awal yang dimiliki peserta didik, karena adanya tahap prediksi yang memungkinkan guru memahami pengetahuan awal peserta didik. Dari jawaban yang muncul, guru dapat menilai konsep yang sudah benar maupun yang masih perlu diluruskan untuk mengarahkan pembelajaran secara lebih tepat.
- f. Menyediakan pengalaman belajar yang bersifat nyata, karena tahap observasi dalam PDEODE memberikan pengalaman belajar nyata, seperti melalui percobaan atau demonstrasi. Pengalaman langsung ini membuat konsep lebih mudah dipahami dan dapat diterapkan peserta didik dalam situasi lain, termasuk kegiatan laboratorium atau kehidupan sehari-hari.

2.1.8 Kekurangan Model *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE)

Model pembelajaran *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE) tidak hanya memiliki kelebihan, adapun kekurangannya menurut Maulana (dalam Mukharayyah, 2015:30, dalam Wahyuni, 2020), diantaranya:

- a. Model ini membutuhkan persiapan yang lebih matang, terutama dalam merancang persoalan pembelajaran IPA serta kegiatan eksperimen yang digunakan untuk menguji prediksi peserta didik;
- b. Pelaksanaan eksperimen menuntut ketersediaan alat, bahan, dan ruang yang memadai;
- c. Eksperimen juga memerlukan kemampuan dan keterampilan khusus dari guru, sehingga guru harus bekerja dengan lebih profesional.

2.1.9 Deskripsi Materi Bakteri

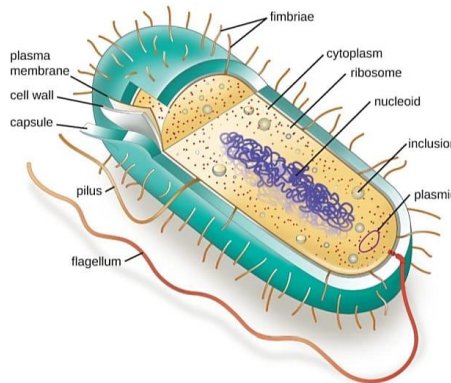
2.1.9.1 Pengertian Bakteri

Kata “bakteri” sendiri berasal dari *bakterion* yang berarti “batang kecil”. Bakteri merupakan organisme bersel satu (uniseluler), tidak memiliki membran inti sel (prokariotik), dan umumnya memiliki dinding sel tetapi tidak mengandung klorofil. Ukurannya berkisar 0,5–10 mikrometer. Mereka hidup hampir di semua habitat, seperti tanah, udara, lumpur, dan perairan. Bentuk dasarnya bulat, batang, atau lengkung. Pola hidupnya beragam, ada yang hidup bebas, menjadi parasit, bersifat saprofit, atau menjadi patogen bagi manusia, hewan, maupun tumbuhan. Bakteri pertama kali diamati pada tahun 1674 oleh Antony van Leeuwenhoek yakni ilmuwan Belanda penemu mikroskop lensa tunggal, sementara istilah *bacteria* diperkenalkan pada tahun 1828 oleh Ehrenberg. Cabang ilmu yang mempelajari bakteri disebut bakteriologi (Susilo, 2022:42-59).

2.1.9.2 Struktur Sel Bakteri

Menurut Bintari et al., (2023:6-14), struktur bakteri secara umum terbagi menjadi 2 yaitu struktur dasar dan struktur tambahan. Struktur dasar adalah struktur yang dimiliki sebagian besar jenis bakteri, meliputi dinding sel, membran plasma,

sitoplasma, ribosom, dan DNA. Struktur tambahan adalah struktur yang dimiliki hanya oleh jenis bakteri tertentu, meliputi kapsul, flagel, fimbria/pili, dan endospora. Struktur bakteri dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Bakteri
Sumber: Ardiyantoro et al. (2025)

- a. Dinding sel: memiliki fungsi dalam memberi bentuk pada bakteri dan melindungi bagian luar sel bakteri.
- b. Membran plasma: memiliki peran dalam mengatur pertukaran zat antara sel dan lingkungannya.
- c. Sitoplasma: berupa cairan sel tempat berlangsungnya reaksi metabolisme sel guna memperoleh energi.
- d. Ribosom: tempat terjadinya proses sintesis protein yang dibantu oleh RNA.
- e. DNA (*deoxyribonucleic acid*): memiliki peran sebagai pembawa informasi genetik
- f. Kapsul: lapisan terluar dinding sel yang berperan melindungi sel, seperti dari fagositosis ataupun kondisi lingkungan (radiasi, kekeringan).
- g. Flagel: merupakan alat gerak bagi beberapa jenis bakteri.
- h. Fimbria/pili: berupa benang-benang sangat halus yang menonjol dari dinding sel dengan ukuran sekitar 0,004–0,008 μm . Dibandingkan dengan flagela, fimbria memiliki bentuk yang lebih lurus, lebih tipis, dan lebih pendek. Fimbria berfungsi

membantu proses adaptasi, mempertahankan kelangsungan hidup, serta memfasilitasi interaksi dengan sel inang.

- i. Endospora: berbentuk bulat atau lonjong yang bersifat sangat resisten terhadap ancaman, sehingga merupakan struktur yang berperan dalam strategi dalam mengatasi kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan.

2.1.9.3 Penggolongan Bakteri

Bakteri menurut Susilo (2022:42-59) diklasifikasikan menjadi:

a. Berdasarkan Cara Hidup

- 1) Heterotrof: terdiri dari bakteri parasit dan saprofit.
- 2) Autotrof: meliputi fotoautotrof dan kemoautotrof.

b. Berdasarkan Kebutuhan Oksigen

- 1) Aerob (obligat/fakultatif)

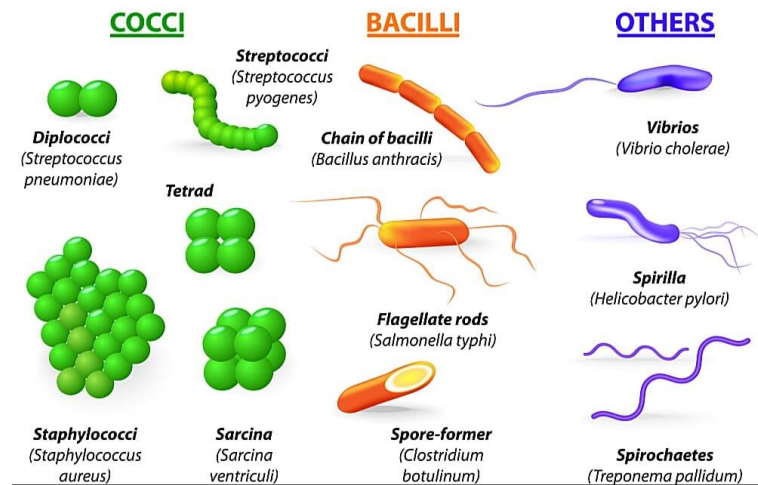
Organisme aerob membutuhkan oksigen untuk metabolisme. Pada respirasi sel, oksigen digunakan untuk mengoksidasi substrat seperti gula dan lemak guna menghasilkan energi. Contoh: *Nitrosococcus sp.*, *Nitrosomonas sp.*, dan *Nitrobacter sp.*

- 2) Anaerob (obligat/fakultatif)

Anaerob berarti hidup tanpa oksigen. Bakteri anaerob tumbuh pada lingkungan minim oksigen dan biasanya hidup normal di mulut, saluran pencernaan, vagina, serta kulit. Mereka dapat menyebabkan penyakit seperti gas gangren, tetanus, dan botulisme. Infeksi anaerob sering muncul ketika barier tubuh mengalami kerusakan (misalnya karena luka atau operasi). Jaringan yang rusak atau miskin oksigen menjadi tempat ideal untuk pertumbuhan bakteri anaerob.

c. Berdasarkan Bentuk Sel

Klasifikasi bakteri berdasarkan bentuknya dapat dibagi menjadi tiga, yaitu coccus (bulat), basilus (batang), dan spirillum (lengkung/spiral). Ketiga jenis baentuk bakteri tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Klasifikasi Bakteri Berdasarkan Bentuk
Sumber: Ardiyantoro et al. (2025)

1) Coccus (bulat)

Bakteri dengan bentuk bulat dikenal sebagai coccus. Bakteri berbentuk coccus dibedakan menjadi enam, yaitu *mikrococcus*, *diplococcus*, *tetracoccus*, *sarcina*, *staphylococcus*, dan *streptococcus*.

- Mikrococcus*: tunggal dan kecil
- Diplococcus*: berpasangan dua
- Tetracoccus*: berkelompok empat membentuk bujur sangkar
- Sarcina*: bakteri berbentuk bulat yang berkelompok empat sehingga seperti kubus
- Staphylococcus*: bakteri berbentuk bulat yang bergerombol mirip anggur
- Streptococcus*: bakteri berbentuk bulat yang berkelompok memanjang seperti rantai

2) Basilus (batang)

Bakteri dengan bentuk batang dikenal sebagai basil, yang berasal dari kata *bacillus* yang artinya batang. Bakteri bentuk basil dibedakan menjadi tiga, yaitu *monobacillus*, *diplobacillus*, dan *streptobacillus*.

- Monobacillus*: berbentuk satu batang Tunggal
- Diplobacillus*: berbentuk batang yang bergandengan 2

c) *Streptobacillus*: berbentuk batang yang bergandengan panjang membentuk rantai

3) Spirillum (lengkung/spiral)

Bakteri dengan bentuk spiral dibedakan menjadi tiga, yaitu vibrio, spiral, dan spiroseta.

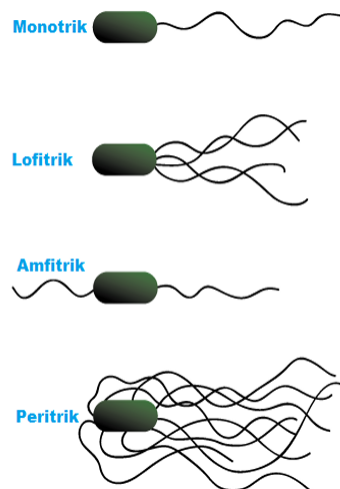
a) Vibrio: bentuk koma

b) Spiral: lengkung lebih dari setengah lingkaran, seperti spiral

c) Spiroseta: spiral fleksibel, bersifat lentur serta saat bergerak dapat memanjang dan mengerut

d. Berdasarkan Jumlah dan Letak Flagela

Bakteri berdasarkan jumlah dan letak flagel dibedakan menjadi lima, yaitu atrik, monoatrik, lofotrik, amfitrik, dan peritrik. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Beberapa Tipe Flagel Sel
Sumber: Susilo (2022:42-59)

1) Atrik: tanpa flagel

2) Monotrik: satu flagel di salah satu ujung

3) Lofotrik: sekelompok flagel pada satu ujung

4) Amfitrik: satu flagel di masing-masing ujung

- 5) Peritrik: flagel tersebar di seluruh permukaan sel

e. Berdasarkan Pewarnaan Gram

Metode pewarnaan gram digunakan untuk identifikasi bakteri, terutama di bidang kesehatan.

- 1) Gram positif berwarna ungu, memiliki dinding sel yang tebal karena tersusun atas banyak peptidoglikan dan rendah lipid, sehingga dinding selnya lebih kaku. Pada bagian luarnya terdapat asam teikhoat.
- 2) Gram negatif berwarna merah, hanya memiliki sedikit peptidoglikan dengan tinggi lipid serta memiliki membran luar tambahan yang mengandung lipoprotein, fosfolipid, dan lipopolisakarida..

2.1.9.4 Sifat Fisiologi Bakteri

Agar mampu bertahan hidup, bakteri membutuhkan aktivitas fisiologis tertentu yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan di sekitarnya. Berikut beberapa faktor lingkungan yang dapat mempengaruhi sifat fisiologis yang berperan dalam kehidupan bakteri menurut Rini & Rochmah (2020), antara lain:

a. Suhu/Temperatur: Suhu merupakan faktor utama yang memengaruhi laju pertumbuhan mikroorganisme. Setiap jenis bakteri memiliki suhu optimal untuk tumbuh cepat serta rentang suhu tertentu yang masih memungkinkan pertumbuhan berlangsung. Terdapat suhu minimum (suhu terendah yang masih memungkinkan bakteri hidup), suhu optimum (suhu terbaik untuk pertumbuhan), dan suhu maksimum (suhu tertinggi yang masih dapat ditoleransi mikroba). Suhu optimum biasanya mencerminkan kondisi lingkungan alami tempat mikroba hidup. Bakteri patogen manusia umumnya tumbuh paling baik pada suhu tubuh manusia yaitu 37°C. Suhu rendah biasanya menghambat metabolisme bakteri sehingga pertumbuhan melambat, sedangkan suhu tinggi dapat membunuh bakteri akibat denaturasi protein dan kerusakan enzim. Berdasarkan rentang temperatur, bakteri digolongkan menjadi:

- 1) Psikrofilik: hidup pada suhu rendah, sekitar -5°C hingga 30°C, dengan suhu optimum 10–20°C.

- 2) Mesofilik: tumbuh pada kisaran 10–45°C, suhu optimum 20–40°C.
 - 3) Termofilik: mampu berkembang dengan baik pada suhu 25–80°C, dengan suhu optimum 50–60°C.
- b. pH:** Derajat keasaman (pH) medium kultur memengaruhi kecepatan pertumbuhan bakteri. Setiap bakteri memiliki rentang pH serta pH optimum tertentu. Pada bakteri patogen, pH optimum berkisar 7,2–7,6. Walaupun pH medium awal dapat disesuaikan, pertumbuhan bakteri lama-kelamaan dapat menurunkan atau menaikkan pH akibat produk metabolit. Berdasarkan toleransi pH, mikroba dibedakan menjadi:
- 1) Asidofil: tumbuh pada pH 2–5.
 - 2) Neutrofil: tumbuh pada pH 5,5–8.
 - 3) Alkalofil: tumbuh pada pH 8,4–9,5.
- c. Kelembaban:** Mikroorganisme memerlukan kelembaban optimum agar dapat tumbuh dengan baik. Mikroba dapat berkembang pada lingkungan yang basah atau udara yang lembap. Nilai kadar air bebas (aw) yang dibutuhkan bakteri umumnya berada pada kisaran 0,90 hingga 0,999.
- d. Ketersediaan Oksigen**
- 1) Aerobik: hanya tumbuh jika terdapat oksigen bebas.
 - 2) Anaerob: hanya tumbuh jika tidak ada oksigen.
 - 3) Anaerob fakultatif: dapat hidup baik dengan maupun tanpa oksigen.
 - 4) Mikroaerofilik: memerlukan oksigen dalam jumlah sangat sedikit.
- e. Tekanan Osmosis:** Tekanan osmosis lingkungan sangat menentukan keadaan sel bakteri. Pada lingkungan hipertonis (tekanan osmosis lebih tinggi dari dalam sel), sel dapat mengalami plasmolisis, yaitu keluarnya cairan sel melalui membran sitoplasma. Sebaliknya, pada lingkungan hipotonis, sel dapat membengkak dan bahkan pecah. Karena itu, bakteri harus berada pada kondisi osmotik yang sesuai, meskipun mereka memiliki kemampuan adaptasi tertentu. Berdasarkan tekanan osmosis yang mendukung pertumbuhan, mikroba dibedakan menjadi:
- 1) Osmofil: tumbuh pada kadar gula yang tinggi.

- 2) Halofil: tumbuh pada kadar garam tinggi.
 - 3) Halodurik: mampu bertahan pada kadar garam hingga 30%, namun tidak dapat tumbuh di dalamnya.
- f. Nutrisi:** Mikroba membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi dan bahan penyusun sel. Unsur penting yang dibutuhkan antara lain karbon, nitrogen, hidrogen, oksigen, sulfur, fosfor, serta unsur mikro seperti besi dan sejumlah logam lain. Kekurangan nutrisi dapat menghambat pertumbuhan hingga menyebabkan kematian. Berdasarkan sumber karbon dan energinya, bakteri dibagi menjadi:
- 1) Kemoheterotrof: membutuhkan bahan organik seperti karbohidrat, protein, dan lipid.
 - 2) Kemoautotrof: memperoleh sebagian karbon dari CO_2 .
 - 3) Fototrof: seluruh sumber karbon berasal dari CO_2 . Nitrogen dan sulfur diperlukan untuk sintesis protein, sedangkan fosfor dan nitrogen diperlukan untuk pembentukan DNA dan RNA.
- g. Ion-Ion Lain:** Selain unsur utama seperti C, H, N, S, dan P, bakteri juga memerlukan unsur mikro seperti Zn, Fe, dan Cu. Logam berat seperti merkuri (Hg), perak (Ag), tembaga (Cu), emas (Au), dan timbal (Pb) dapat menjadi racun meskipun dalam jumlah kecil karena memiliki daya oligodinamik, yaitu kemampuan membunuh mikroba pada konsentrasi rendah. Ion-ion lain seperti sulfat, tartrat, klorida, nitrat, dan benzoat dapat menghambat pertumbuhan mikroba tertentu sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengawet. Senyawa seperti asam benzoat, asam asetat, dan asam sorbat juga dapat memengaruhi aktivitas fisiologis mikroba.
- h. Radiasi:** Radiasi yang paling berbahaya bagi mikroorganisme adalah radiasi pengion, yaitu radiasi berenergi tinggi dengan panjang gelombang sangat pendek sehingga mampu melepaskan elektron dari atom (ionisasi). Pada tingkat rendah, radiasi pengion dapat menyebabkan mutasi, sedangkan pada paparan yang lebih tinggi dapat menyebabkan kematian sel mikroba.

2.1.9.5 Peranan Bakteri

Peranan bakteri menurut Susilo (2022:42-59), diantaranya sebagai berikut:

a. Peran Bakteri yang Menguntungkan

- 1) **Sayuran Terfermentasi:** hampir seluruh jenis sayuran dapat mengalami fermentasi tipe asam laktat. Proses ini umumnya melibatkan berbagai spesies *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, dan *Pediococcus*. Mikroorganisme tersebut mengubah kandungan gula pada sayuran menjadi asam laktat sehingga menghasilkan cita rasa khas pada sayuran fermentasi. Produk akhir sering disebut sebagai “sayuran teracarkan”, seperti acar bit, acar kacang hijau, maupun acar wortel.
- 2) **Sauerkraut (Kubis Asin):** sauerkraut merupakan hasil fermentasi asam laktat dari kubis yang diparut. Kubis segar secara alami telah mengandung berbagai spesies *Leuconostoc* dan *Lactobacillus*, sehingga proses fermentasinya dapat berlangsung tanpa penambahan bakteri starter.
- 3) **Zaitun:** zaitun hijau terlebih dahulu direndam dalam larutan alkali 1–2% selama sekitar 24 jam untuk mengurangi rasa pahitnya. Setelah itu, zaitun dicuci hingga bersih untuk menghilangkan sisa alkali, lalu dimasukkan ke dalam tong berisi larutan garam 6–9%. Fermentasi asam laktat kemudian berlangsung selama 6–10 bulan sebelum zaitun dipilah dan dikemas.
- 4) **Daging Terfermentasi:** sosis merupakan produk daging yang mengalami fermentasi. Sosis yang sudah diolah disimpan pada suhu sekitar 8°C selama lebih dari 40 hari. Selama penyimpanan, terjadi pembentukan asam laktat dan pengurangan kadar air. Kombinasi kadar garam tinggi dan asam laktat mencegah pertumbuhan mikroorganisme perusak.
- 5) **Makanan Terfermentasi dari Timur:** kecap dihasilkan dari kedelai yang dimasak lalu difermentasi. Enzim yang dikeluarkan oleh kapang *Aspergillus* menguraikan karbohidrat dan protein kedelai, menghasilkan cita rasa khas kecap. *Lactobacillus delbrueckii* memfermentasi karbohidrat dan menghasilkan asam

kojat yang membantu menjaga produk dari kerusakan. Bakteri asam laktat lain serta beberapa jenis khamir juga berkontribusi pada rasa akhir kecap.

- 6) Protein Sel Tunggal:** protein sel tunggal (Single Cell Protein, SCP) merupakan protein dari mikroorganisme yang dapat dikonsumsi manusia atau hewan. SCP dapat berasal dari khamir, alga, atau bakteri, meskipun dalam praktiknya khamir lebih banyak digunakan. Teknologi ini memungkinkan pemanfaatan bahan karbohidrat murah untuk menghasilkan produk berprotein sampai 70% dan kaya vitamin B (Volk, 1990).

Berbagai proses fermentasi klasik kini telah digantikan oleh teknik baru berbasis mikroba. Karotenoid dan steroid dapat diperoleh dari fungi. Penemuan bahwa *Corynebacterium glutamicum* mampu menghasilkan glutamat dalam jumlah tinggi dari gula dan garam amonium telah mendorong pengembangan mutan-mutannya untuk memproduksi asam amino, nukleotida, serta berbagai senyawa biokimia dalam skala besar. Bakteri juga digunakan oleh para kimiawan untuk membantu katalisis pada bagian tertentu dalam sintesis kimia yang panjang. Enzim seperti pektinase dalam industri sari buah diperoleh dari kultivasi bakteri.

Bakteri lain yang memiliki manfaat, seperti *Enterobacter aerogenes*, *Erwinia herbicola*, dan *Leuconostoc plantarum*, berperan penting dalam pembuatan sauerkraut. *Streptococcus thermophilus* dan *Lactobacillus bulgaricus* terlibat dalam pembuatan yogurt. *Pedicoccus cerevisiae* dan *Micrococcus* digunakan dalam pembuatan sosis, sedangkan *Acetobacter xylinum* digunakan untuk membuat nata de coco.

b. Peran Bakteri yang Merugikan

Bakteri Mengonsumsi makanan yang terkontaminasi bakteri patogen dapat menyebabkan berbagai penyakit atau infeksi. Infeksi makanan timbul ketika seseorang memakan makanan yang mengandung organisme hidup yang dapat tumbuh atau membentuk spora dalam saluran pencernaan. Beberapa penyakit yang sering muncul berkaitan dengan organisme yang umumnya ada dalam lingkungan, dan dapat dikelompokkan menjadi dua jenis besar.

1) Infeksi Makanan

Infeksi jenis ini terjadi ketika seseorang mengonsumsi makanan yang terkontaminasi bakteri seperti *Clostridium perfringens*, *Vibrio parahaemolyticus*, dan berbagai spesies *Salmonella*. Untuk cara mencegahnya, makanan tidak boleh dibiarkan terbuka pada suhu kamar karena kondisi tersebut memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme.

- a) *Salmonella* sp.: reservoir utama *Salmonella* berada pada saluran cerna hewan seperti burung, ternak, reptil, serta manusia. Penularan pada manusia terjadi melalui makanan dan minuman yang terkontaminasi. Infeksi biasanya berasal dari daging yang terkontaminasi atau melalui kontak tangan yang membawa bakteri dari sumber terinfeksi.
- b) *Clostridium perfringens*: bakteri ini menghasilkan berbagai jenis eksotoksin dan mampu membentuk spora dalam usus. Toksin penyebab keracunan dilepaskan selama proses pembentukan endospora. Daging dan produk daging merupakan sumber kontaminasi paling umum. Gejala berupa nyeri perut dan diare terjadi 8–24 jam setelah konsumsi.
- c) *Vibrio parahaemolyticus*: kerang-kerangan yang dikonsumsi mentah atau kurang matang merupakan sumber utama infeksi ini. Meskipun mekanisme terjadinya diare belum sepenuhnya dipahami, tingkat fatalitas infeksi dapat mencapai 7–8%.

2) Keracunan Makanan

Untuk pengendalian atau langkah mencegah keracunan makanan, makanan tidak boleh dibiarkan terbuka pada suhu kamar karena kondisi tersebut memungkinkan pertumbuhan mikroorganisme. Beberapa kasus keracunan bukan disebabkan oleh bakteri hidup, tetapi oleh toksin yang mereka hasilkan di dalam makanan. Walaupun bakterinya mungkin sudah mati, toksinnya tetap dapat menyebabkan keracunan berat. Organisme penghasil toksin antara lain *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulinum*, dan *Bacillus cereus*.

- a) *Staphylococcus aureus*: keracunan oleh bakteri ini disebabkan oleh stafilocokus gram positif kecil yang juga sering menyebabkan infeksi nosokomial. Bakteri ini

mudah tumbuh pada media nutrisi sederhana. Gejala khas keracunan berupa muntah hebat, diare, dan nyeri perut. Masa inkubasinya sangat singkat, hanya 2–4 jam.

- b) *Bacillus cereus*: merupakan batang gram positif pembentuk spora yang banyak ditemukan di lingkungan. Jika makanan terkontaminasi, gejala berupa nyeri perut dan diare muncul dalam 24 jam. Bakteri ini sering dijumpai pada tanah, bahan makanan mentah, serta beras yang belum dimasak.
- c) *Clostridium botulinum*: bakteri gram positif besar penyebab botulisme, suatu bentuk keracunan makanan yang sangat mematikan akibat konsumsi eksotoksin yang diproduksi dalam makanan.
- d) *Epidemiologi Botulisme*: bakteri ini tersebar luas pada tanah, dasar danau, serta tumbuhan membusuk, sehingga banyak sayuran dan daging mudah terkontaminasi. Hewan juga sering mati karena menelan bahan yang mengandung bakteri ini dalam kondisi terfermentasi.
- e) *Patogenesis Botulisme*: gejala mulai muncul 18–36 jam setelah konsumsi toksin, meliputi mual, muntah, gangguan penglihatan, kesulitan menelan, hingga kelumpuhan otot.
- f) *Diagnosis Botulisme*: pada tahap awal, toksin bebas dapat ditemukan dalam darah penderita. Tikus digunakan sebagai hewan uji karena sangat sensitif terhadap toksin ini.

Walaupun endospora bakteri ini resisten, toksinnya sangat mudah dihancurkan oleh panas. Sayuran kalengan rumahan sebaiknya direbus selama 15 menit sebelum disajikan untuk menonaktifkan toksin yang mungkin ada. Keracunan makanan dapat terjadi akibat eksotoksin yang diproduksi bakteri saat tumbuh pada makanan. Ada pula jenis keracunan yang berasal dari racun sel bakteri yang dikonsumsi.

3) Kerusakan Bahan Pangan

Banyak bakteri saprofit yang tumbuh pada bahan makanan dapat merusak dan menurunkan kualitasnya. Beberapa contoh bakteri perusak makanan:

- a) *Pseudomonas cocovenenans* menghasilkan asam bongkrek pada tempe bongkrek.

- b) *Clostridium botulinum* menghasilkan toksin pada makanan dan minuman kalengan.
- c) *Erwinia*, *Bacillus*, dan *Clostridium* bersifat pektolitik sehingga menyebabkan busuk lunak (soft rot) pada sayuran dan buah serta merusak kemampuan pembentukan gel pada sari buah.
- d) *Alcaligenes viscolactis* dan *Enterobacter aerogenes* menyebabkan susu menjadi berlendir.
- e) *Lactobacillus plantarum* menimbulkan pelendiran pada produk buah, sayuran, cider, sauerkraut, dan bir.

2.3 Hasil Penelitian yang Relevan

Pertama, akan dibahas mengenai penelitian yang relevan dengan keterampilan literasi sains. Penelitian terdahulu mengenai keterampilan literasi sains pernah dilakukan oleh Djatmiko & Mahbubah (2022) pada materi asam basa, dengan sampel peserta didik kelas 11 MIA Madrasah Aliyah. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peserta didik memiliki kemampuan menganalisis literasi pada tingkat pengetahuan prosedural paling tinggi yaitu 63,63% dibandingkan dengan tingkat kemampuan epistemik sebesar 24,79% dan konten sebesar 57,85%. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik mampu merancang langkah-langkah penyelesaian masalah dan mengurutkan tindakan yang diperlukan. Sementara itu, indikator epistemik memiliki persentase paling rendah, yang berarti banyak peserta didik masih kesulitan memahami kebenaran ilmiah yang didasarkan pada penjelasan dan pembuktian.

Penelitian di kelas 11 SMAN 7 Mataram yang dilakukan oleh Manzulina et al. (2024) juga serupa yakni mengenai analisis keterampilan literasi sains yaitu pada materi ekosistem. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa 54% peserta didik berada pada kategori rendah dengan jumlah 51 orang peserta didik, serta tidak ada peserta didik yang berada pada kategori tinggi. Peserta didik yang tergolong kategori sedang sebanyak 44 orang peserta didik dengan persentase 46%. Rata-rata kemampuan literasi sains biologi peserta didik secara keseluruhan yaitu 32,82, termasuk dalam kategori rendah. Pada indikator interpretasi data dan memastikan data secara ilmiah

memperoleh persentase paling rendah diantara indikator yang lain, karena peserta didik umumnya belajar dengan menghafal.

Penelitian serupa untuk mengetahui tingkat literasi sains juga dilakukan oleh Sri Wulan Sari et al. (2025) pada materi virus, dengan sampel sebanyak 229 peserta didik kelas X SMA Negeri 1 Rasau Jaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan literasi sains peserta didik berada dalam kategori cukup yaitu sebesar 60%. Indikator menjelaskan fenomena secara ilmiah memperoleh persentase 56,16% yang dikategorikan dalam tingkat cukup. Indikator mengevaluasi dan merancang penyelidikan ilmiah sebesar 56,68% yang juga berada pada kategori cukup. Lalu, indikator menafsirkan data dan bukti secara ilmiah memperoleh skor tertinggi, yaitu 67,60% dan termasuk dalam kategori baik.

Kedua, mengenai penelitian yang relevan dengan keterampilan kolaborasi. Penelitian mengenai keterampilan kolaborasi sering juga dilakukan seperti oleh Najaah (2021), dengan sampel peserta didik kelas 8 MTs Negeri 1 Wonogiri pada mata pelajaran IPA. Hasil angket keterampilan kolaborasi menunjukkan bahwa sebagian besar pada indikator kerja tim, fleksibilitas, dan tanggung jawab dari 280 peserta didik berada dalam kriteria kurang, sedangkan kompromi dan komunikasi nilai dalam kriteria cukup. Oleh karena itu, peneliti tersebut menyarankan adanya upaya untuk meningkatkan keterampilan kolaborasi.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Firman et al. (2023) dengan sampel peserta didik kelas 11 MIPA SMA Negeri 1 Wonomulyo, yang melakukan penelitian mengenai analisis keterampilan kolaborasi pada pembelajaran biologi. Meskipun secara mayoritas masuk ke dalam kategori baik yaitu 36 peserta didik, berada pada kategori sangat baik dengan persentase 53,7% dan 31 peserta didik berada pada kategori baik dengan persentase 46,3%, namun masih ada indikator yang rendah yakni indikator ketiga yaitu kompromi dengan skor rata-rata 3,25. Peneliti tersebut menyebutkan bahwa hasil tersebut dipengaruhi oleh pola interaksi belajar yang individual dan kompetitif, sehingga berdampak pada capaian biologi yang kompleks dan dianggap sulit. Padahal materi tersebut memerlukan keterlibatan beberapa peserta didik,

sehingga kerja sama sangat dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan dan tugas yang diberikan.

Penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2024) dengan sampel kelas XI MIPA 1 SMA Negeri 2 Halmahera Barat juga serupa yaitu, mengenai analisis keterampilan kolaborasi peserta didik pada materi biologi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tiga indikator meliputi berkontribusi secara aktif, bekerja secara produktif, dan bertanggung jawab. Hasil penelitian berdasarkan analisis deskriptif menunjukkan bahwa dari 40 siswa, keterampilan kolaborasi pada indikator berkontribusi secara aktif sebesar 75% (kategori rendah), bekerja secara produktif sebesar 87,5% (kategori rendah), dan bertanggung jawab sebesar 62,5% (kategori sedang). Temuan ini menunjukkan bahwa mayoritas siswa dari total 40 peserta didik masih berada pada kategori rendah pada setiap indikator.

Ketiga, mengenai penelitian yang relevan dengan model pembelajaran PDEODE. Model PDEODE adalah salah satu model pembelajaran yang berpotensi tinggi untuk meningkatkan berbagai keterampilan pada peserta didik yang ditunjukkan oleh penelitian-penelitian terdahulu, seperti penelitian yang dilakukan oleh Heryani et al. (2021) dengan sampel peserta didik kelas 10 Mipa SMA Negeri 5 Kota Cirebon pada materi pencemaran lingkungan. Penelitian ini membahas dua hal yaitu aktivitas peserta didik di kelas eksperimen, serta mengenai keterampilan berpikir kritis. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata aktivitas peserta didik pada pertemuan pertama yaitu mencapai 80% kemudian pada pertemuan kedua terjadi peningkatan hingga mencapai 82% dan pertemuan ketiga terjadi peningkatan kembali hingga mencapai 84%. Selama tiga pertemuan, terlihat adanya peningkatan pada setiap pertemuannya. Hal ini terjadi karena model PDEODE memberikan banyak kesempatan bagi peserta didik untuk terlibat langsung dalam aktivitas pembelajaran, sehingga mereka terlatih untuk lebih aktif. Kemudian, terdapat perbedaan peningkatan keterampilan berpikir kritis yang signifikan antara kelas eksperimen yang menggunakan model pembelajaran PDEODE dan kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional yakni rata-rata N-Gain kelas eksperimen mencapai 0,492, sedangkan kelas kontrol hanya 0,382.

Peningkatan hasil belajar juga pernah diteliti melalui model PDEODE, yaitu oleh Haloho & Theo (2024) yang dilakukan di kelas 11 IPA SMA Negeri 2 Percut Sei Tuan pada materi laju reaksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil belajar peserta didik mengalami peningkatan setelah diberi perlakuan model PDEODE. Kelas eksperimen yang menerima pembelajaran menggunakan model PDEODE menunjukkan peningkatan yang jelas yakni sebelum perlakuan nilai rata-rata pretest sebesar 30,94 dengan standar deviasi 7,23 dan setelah pembelajaran menggunakan PDEODE diterapkan, nilai rata-rata posttest meningkat menjadi 81,25 dengan standar deviasi 6,22. Sementara itu, pada kelas kontrol yang mendapatkan pembelajaran konvensional, nilai rata-rata pretest sebesar 31,25 dengan standar deviasi 8,61, kemudian meningkat menjadi 76,56 pada posttest dengan standar deviasi 6,89.

Penelitian serupa mengenai model PDEODE juga pernah dilakukan oleh Dewi et al. (2025) dengan sampel kelas 10 SMAN 1 Bulutaba pada materi usaha dan energi. Hasil menunjukkan bahwa nilai N-Gain pada kelompok eksperimen mencapai 65,37, sedangkan pada kelompok kontrol hanya 53,10. Dengan demikian, dapat terlihat bahwa peningkatan hasil belajar pada kelompok yang menggunakan model pembelajaran PDEODE lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol. Peneliti menyimpulkan bahwa model PDEODE dapat meningkatkan ketertarikan peserta didik dalam belajar, dan berdasarkan hasil analisis data, model tersebut dinilai cukup efektif dalam mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi peserta didik.

2.3 Kerangka Konseptual

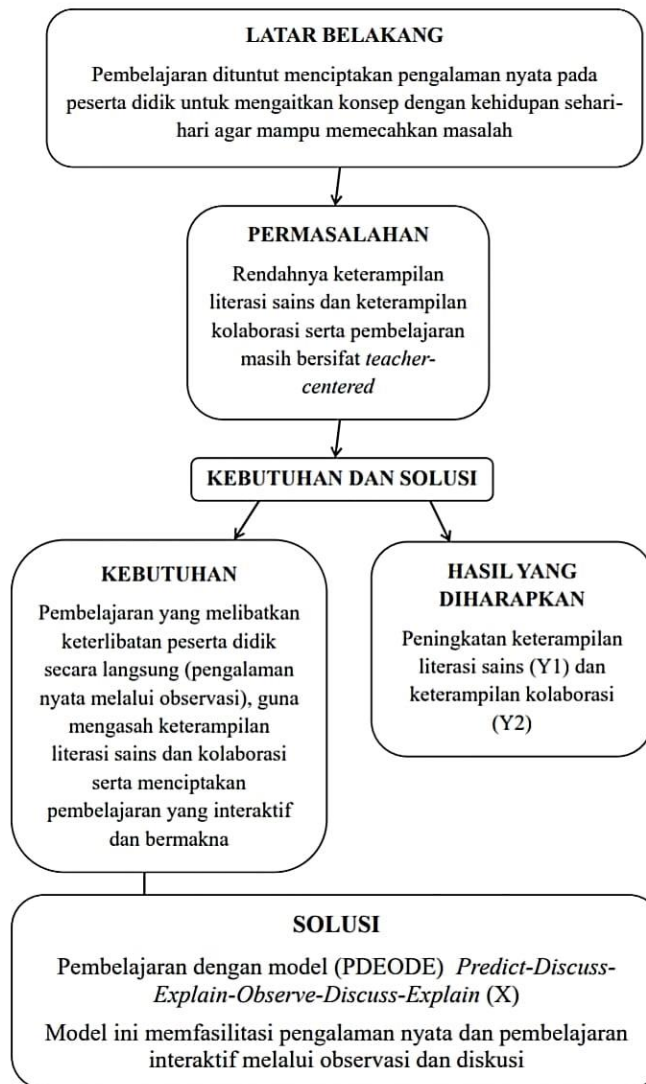
Pembelajaran biologi menuntut peserta didik untuk mampu mengaitkan konsep dengan fenomena nyata melalui pendekatan ilmiah, sehingga literasi sains dan kolaborasi menjadi keterampilan yang perlu dikembangkan. Akan tetapi, praktik pembelajaran yang masih dominan bersifat *teacher-centered* membuat peserta didik kurang terlibat aktif, minim interaksi, serta tidak memiliki banyak kesempatan untuk melakukan pengamatan, berdiskusi, dan menarik kesimpulan berbasis bukti. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya model pembelajaran yang mampu mengaktifkan proses berpikir, memfasilitasi pertukaran ide, dan memberikan pengalaman observasi.

Model PDEODE dianggap sesuai dengan kebutuhan tersebut karena sintaksnya yang meliputi *predict*, *discuss*, *explain*, *observe*, *discuss*, dan *explain* mampu mendorong peserta didik untuk mengaktifkan pengetahuan awal, menyampaikan prediksi, berargumen, melakukan pengamatan, serta menyusun kembali pemahaman berdasarkan data yang ditemukan. Rangkaian aktivitas tersebut secara teoretis mendukung peningkatan keterampilan literasi sains, terutama pada tahap *predict*, *discuss*, dan *observe*. Pada tahap *predict*, indikator keterampilan literasi sains yang dilatih yaitu mengidentifikasi argumen ilmiah yang valid serta membenarkan kesimpulan, prediksi, dan simpulan berdasarkan data kuantitatif. Pada tahap *discuss*, indikator keterampilan literasi sains yang dilatih yaitu mengevaluasi kevalidan dari suatu sumber, mengevaluasi kevalidan dari suatu sumber, serta mengevaluasi penggunaan dan penyalahgunaan informasi ilmiah. Pada tahap *observe*, indikator literasi sains yang dilatih cukup banyak meliputi, memahami elemen desain penelitian dan bagaimana dampaknya terhadap penemuan ilmiah, membuat representasi grafis dari data pertanyaan, membaca dan menafsirkan representasi grafis pertanyaan, memecahkan masalah menggunakan keterampilan kuantitatif, termasuk probabilitas dan statistik, serta memahami dan menafsirkan statistik dasar. Selain itu, keberadaan tahap diskusi pada beberapa fase PDEODE memberikan ruang keterlibatan antar anggota kelompok, kerja sama dalam menyelesaikan tugas, dialog untuk menyamakan persepsi, serta pengambilan keputusan kolektif yang dapat memfasilitasi berkembangnya keterampilan kolaboratif.

Pemilihan materi bakteri dalam konteks ini juga sangat relevan karena sifatnya yang abstrak dan seringkali menimbulkan miskonsepsi terkait pemahaman yang beranggapan semua bakteri bersifat patogen apabila disampaikan hanya melalui metode ceramah. Melalui implementasi PDEODE, peserta didik dapat mengamati fenomena yang berkaitan dengan aktivitas bakteri di lingkungan sekitar, seperti perubahan pada bahan pangan, sehingga konsep yang dipelajari menjadi lebih konkret dan dapat dipahami secara lebih mendalam. Dalam penelitian ini tahapan *observe* akan dilakukan melalui objek langsung (biakan koloni bakteri) dan melalui video.

Keterlibatan peserta didik dalam proses observasi dan diskusi membuat pembelajaran lebih bermakna serta memperkuat kedua keterampilan yang menjadi fokus penelitian.

Berdasarkan uraian tersebut, kerangka konseptual penelitian ini menempatkan model PDEODE sebagai variabel bebas yang diasumsikan memiliki pengaruh terhadap peningkatan keterampilan literasi sains dan keterampilan kolaborasi sebagai variabel terikat. Hubungan antar variabel digambarkan bersifat positif, di mana semakin optimal penerapan PDEODE, maka semakin besar peningkatan kedua keterampilan tersebut. Dengan demikian, kerangka konseptual ini menunjukkan bahwa pembelajaran yang memadukan prediksi, diskusi, observasi, dan penjelasan berbasis bukti dapat menjadi landasan bagi pengembangan keterampilan literasi sains dan keterampilan kolaborasi dalam pembelajaran biologi. Untuk kerangka konseptual penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Kerangka Konseptual Penelitian

2.1 Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

- H_{a1} : Terdapat pengaruh model *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE) terhadap keterampilan literasi sains peserta didik.
- H_{a2} : Terdapat pengaruh model *Predict, Discuss, Explain, Observe, Discuss, Explain* (PDEODE) terhadap keterampilan kolaborasi peserta didik.