

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN**

#### **A. Kajian Teori**

##### **1. Hakikat Pembelajaran Biologi**

Pembelajaran biologi merupakan bagian dari pendidikan sains yang bertujuan untuk mengembangkan pemahaman peserta didik terhadap konsep-konsep kehidupan, struktur dan fungsi makhluk hidup, serta proses ilmiah yang terjadi di alam. Lebih dari sekadar penyampaian materi, pembelajaran biologi harus menjadi sarana bagi peserta didik untuk membangun keterampilan berpikir ilmiah, yaitu kemampuan untuk mengamati, merumuskan masalah, mengumpulkan dan menganalisis data, serta mengambil kesimpulan berdasarkan bukti Usman Usman et al. (2024) Di era pembelajaran abad ke-21, pembelajaran biologi dituntut untuk memfasilitasi pengembangan keterampilan berpikir kritis, reflektif, dan kreatif peserta didik, terutama dalam menghadapi permasalahan nyata di lingkungan sekitar. Hal ini sejalan dengan tujuan pendidikan sains modern yang tidak hanya menekankan pada aspek kognitif, tetapi juga pada sikap ilmiah dan kemampuan mengambil keputusan berbasis data Chusnunnia et al. (2025). Ketika peserta didik dibimbing melalui proses pembelajaran yang aktif dan kontekstual, mereka tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu mengaitkan ilmu pengetahuan dengan kehidupan sosial, lingkungan, dan kesehatan.

Sebuah penelitian oleh Fadillah (2022) mengungkapkan bahwa pembelajaran biologi yang dirancang dengan pendekatan eksploratif dan reflektif dapat meningkatkan kemampuan berpikir ilmiah peserta didik. Metode ini mendorong peserta didik untuk berperan aktif dalam proses pembelajaran, bukan hanya menerima informasi. Selain itu, pendekatan ilmiah yang dipadukan dengan teknologi dan isu kontekstual menjadikan pembelajaran lebih berarti dan relevan.

Dengan demikian, inti dari pembelajaran biologi bukan hanya berada pada hasil akademis yang dicapai, melainkan juga pada pengembangan kemampuan peserta didik.

## 2. Literasi Sains

Dalam sektor pendidikan sains, literasi sains diartikan sebagai kapasitas individu untuk mengerti berbagai konsep serta proses ilmiah, mengaplikasikannya dengan benar dalam aktivitas sehari-hari, dan membuat pilihan yang bijak mengenai masalah yang berhubungan dengan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kapasitas ini tidak hanya mencakup pemahaman pengetahuan secara teoritis, namun juga mencakup kemampuan untuk berpikir kritis, logis, dan berdasarkan bukti ilmiah Mahanal et al. (2022)

Sebagai bagian dari kompetensi penting di abad ke-21, literasi sains memegang peran sentral dalam membentuk peserta didik yang mampu merespons tantangan global, seperti perubahan iklim, isu kesehatan, dan kemajuan teknologi. Dengan penguasaan ilmu pengetahuan yang baik, peserta didik tidak hanya mengerti tentang kejadian di alam, tetapi juga dapat menilai informasi dengan objektif, merumuskan argumen ilmiah yang sah, dan mengambil keputusan yang memberikan dampak positif baik secara sosial maupun etis OECD (2023)

Dalam konteks pembelajaran biologi, literasi sains diarahkan untuk membentuk pemahaman peserta didik yang mendalam terhadap fenomena kehidupan serta melatih keterampilan berpikir tingkat tinggi yang menyerupai proses berpikir para ilmuwan. Melalui penguatan literasi ini, peserta didik diharapkan mampu mengkaji permasalahan biologis secara sistematis serta merefleksikan pemahaman mereka dalam merespons isu-isu nyata seperti kesehatan, lingkungan hidup, dan bioteknologi

OECD (2023) dalam laporan PISA 2022 mengidentifikasi tiga indikator utama yang mencerminkan literasi sains, yaitu:

- 1) kemampuan menjelaskan fenomena alam menggunakan konsep sains
- 2) kemampuan menganalisis dan menafsirkan data ilmiah secara kritis, serta

- 3) kemampuan merancang dan menilai penyelidikan ilmiah berdasarkan metode yang relevan.

Ketiga indikator itu dipakai untuk menilai sejauh mana peserta didik memahami konsep-konsep sains dan bagaimana mereka mengaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari.

Literasi sains memainkan peran yang signifikan dalam membantu peserta didik menjadi pemikir yang reflektif dan kritis. Individu dengan literasi sains yang baik dapat merespons informasi dengan objektif, membangun argumen berdasarkan bukti yang kuat, dan tidak gampang terpengaruh oleh informasi yang keliru. Mereka juga biasanya lebih peduli terhadap akibat sosial dan lingkungan dari tindakan yang mereka lakukan.

Sayangnya, kondisi saat ini menunjukkan bahwa tingkat literasi sains peserta didik di Indonesia masih relatif rendah. Berdasarkan laporan dari OECD melalui Program PISA dan data yang dirilis oleh Kemdikbudristek, banyak peserta didik masih mengalami hambatan dalam memahami serta mengaplikasikan konsep sains dalam konteks kehidupan sehari-hari (Kementerian Pendidikan, 2021; OECD, 2023). Salah satu faktor penyebabnya adalah karena pendekatan pembelajaran yang diterapkan di sekolah belum sepenuhnya menumbuhkan aktivitas berpikir ilmiah secara mendalam.

Untuk menjawab tantangan tersebut, diperlukan inovasi dalam pembelajaran yang mampu memfasilitasi peningkatan literasi sains. Salah satu pendekatan yang direkomendasikan adalah *Problem Based Learning* (PBL), yang memungkinkan peserta didik memecahkan masalah nyata secara aktif. Selain itu, penggunaan teknologi digital seperti ChatGPT dapat menjadi alat bantu yang efektif dalam membantu peserta didik mengeksplorasi konsep ilmiah secara mandiri dan interaktif Amran et al. (2023).

### **3. Model Pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL)**

Model pembelajaran *Problem Based Learning* (PBL) adalah metode yang bersifat konstruktif, di mana masalah dijadikan sebagai titik awal dalam proses pembelajaran. Tujuannya adalah untuk membantu peserta didik membangun

pengetahuan mereka melalui kegiatan penyelidikan, diskusi, dan refleksi. Dalam pembelajaran sains, PBL berperan dalam menghubungkan konsep-konsep ilmiah dengan masalah nyata, yang mendorong peserta didik untuk berpikir kritis, bersinergi, dan terencana dalam mencari jawaban Indrawati & Siregar (2022)

Ciri utama dari PBL adalah adanya masalah yang nyata yang diperkenalkan di awal pembelajaran. Masalah tersebut tidak hanya berupa soal yang harus dijawab melainkan berfungsi sebagai pemicu yang mendorong peserta didik untuk mencari informasi, bertanya, menjelajahi konsep, dan menyusun pemahaman baik secara individu maupun dalam kelompok. Proses pembelajaran menjadi lebih berarti, karena peserta didik terlibat aktif dalam membangun pemahaman mereka sendiri berdasarkan pengalaman belajar yang relevan Zamzami & Yuliati (2023)

Secara umum, karakteristik utama dari model *Problem Based Learning* (PBL) terletak pada penggunaan masalah sebagai pemicu proses pembelajaran, di mana peserta didik didorong untuk menyelesaikan persoalan yang relevan dengan kehidupan nyata. Pembelajaran ini bersifat kolaboratif, melibatkan kerja sama dalam kelompok kecil guna mendiskusikan dan mencari solusi bersama. Dalam prosesnya, pendidik berperan sebagai fasilitator yang membantu mengarahkan alur berpikir peserta didik tanpa memberikan jawaban secara langsung. Penerapan model ini umumnya mengikuti lima tahapan inti (sintaks), yaitu:

- 1) Identifikasi masalah: peserta didik dikenalkan pada suatu fenomena yang memicu pertanyaan dan rasa ingin tahu;
- 2) Pengumpulan data dan informasi: peserta didik melakukan eksplorasi sumber belajar, baik dari buku, internet, maupun observasi langsung;
- 3) Analisis dan sintesis: peserta didik mengevaluasi informasi yang diperoleh, lalu merumuskan solusi atau kesimpulan awal;
- 4) Penyusunan solusi atau jawaban: berdasarkan hasil analisis, kelompok menyusun pemecahan masalah yang logis dan ilmiah;
- 5) Presentasi dan refleksi: peserta didik menyampaikan hasil temuannya

dan melakukan refleksi terhadap proses belajar yang telah dilalui (Hidayatullah et al. (2022)

Dalam pembelajaran biologi, khususnya pada topik sistem imun, PBL sangat relevan digunakan karena memungkinkan peserta didik memahami mekanisme pertahanan tubuh dengan pendekatan berbasis masalah yang aktual dan kontekstual. Misalnya, dengan mempelajari kasus tentang vaksinasi, penyakit autoimun, atau infeksi virus, peserta didik dapat mengintegrasikan konsep-konsep imunologi dengan isu-isu kesehatan yang sedang terjadi. Hal ini membuat pemahaman menjadi lebih dalam dan aplikatif, serta memicu mereka untuk berpikir ilmiah dan bertanggung jawab secara sosial Utami & Aini (2023)

#### **4. Chat Generative Pre-Trained Transformer sebagai Alat Bantu Pembelajaran**

ChatGPT (*Generative Pre-Trained Transformer*) merupakan aplikasi kecerdasan buatan berbasis teks yang dikembangkan untuk memungkinkan interaksi manusia-mesin dalam berbagai konteks, termasuk penyelesaian tugas secara otomatis. Menurut Lund et al. (2023), penggunaan ChatGPT berpotensi mendorong pergeseran dari pendekatan akademik dan kepustakaan yang tradisional, dengan menawarkan strategi-strategi inovatif dalam mendukung proses pembelajaran dan pengembangan pengetahuan.

Meski demikian, penggunaan teknologi ini perlu dilakukan dengan penuh tanggung jawab dan etika, agar dapat dimanfaatkan secara optimal dalam meningkatkan kualitas kerja, menghasilkan pengetahuan ilmiah yang baru, serta berperan dalam pendidikan calon profesional masa depan.

Dalam konteks pendidikan, fitur utama ChatGPT terletak pada kemampuannya memberikan respons cepat, ringkas, dan sesuai konteks, sehingga membantu peserta didik memahami konsep-konsep ilmiah secara lebih jelas. Kemampuannya menjawab berbagai pertanyaan dengan bahasa natural juga memungkinkan peserta didik untuk menggali pengetahuan tanpa bergantung sepenuhnya pada kehadiran guru Almasaad et al. (2024) Di sisi lain, guru juga terbantu dalam menyusun skenario pembelajaran PBL berbasis

kasus yang lebih menarik dan relevan.

Lebih lanjut, potensi ChatGPT dalam model PBL terlihat jelas saat digunakan untuk membantu peserta didik mengeksplorasi informasi ilmiah, menyusun hipotesis, serta mengembangkan solusi terhadap masalah yang disajikan dalam pembelajaran (Almasaad et al., 2024; Liu et al., 2024). Penelitian di ranah pendidikan medis mengungkapkan bahwa peserta didik yang terlibat dalam pembelajaran menggunakan kombinasi Problem Based Learning (PBL) dan ChatGPT menunjukkan peningkatan pemahaman konsep serta keterampilan klinis yang lebih baik dibandingkan dengan kelompok yang tidak menggunakan pendekatan tersebut Liu et al. (2024)

Namun, penting untuk disadari bahwa penggunaan ChatGPT tidak lepas dari tantangan dan risiko. Salah satunya adalah validitas informasi karena jawaban yang diberikan tidak selalu berdasarkan sumber ilmiah yang terverifikasi. Selain itu, ketergantungan berlebih juga menjadi risiko apabila peserta didik tidak diajak berpikir kritis dan hanya menerima jawaban tanpa verifikasi Wang & Fan (2025). Jadi, peran guru tetap diperlukan untuk membimbing dan memastikan penggunaan ChatGPT dilakukan secara etis, kritis, dan bertanggung jawab.

## 5. Materi Sistem Imun

mata pelajaran sesuai minat dan bakatnya. Dalam fase ini, peserta didik dapat menguasai materi biologi yang lebih mendalam termasuk struktur sel, bioproses, sistem organ dan sistem imun. Sistem imun merupakan materi pelajaran yang memiliki tingkat kontekstual tinggi karena dimiliki peserta didik dan peristiwa yang berkaitan dengan sistem imun terjadi di kehidupan sehari-hari.

### 1) Sistem Pertahanan Tubuh Eksternal dan Internal

Tubuh manusia memiliki berbagai mekanisme pertahanan diri dalam mengatasi potensi penyakit termasuk infeksi mikroorganisme. Mikroorganisme yang dapat menimbulkan penyakit dikenal sebagai patogen. Mekanisme pertahanan tubuh tersebut ada yang ditujukan untuk mencegah masuknya patogen ke dalam jaringan tubuh, disebut

sebagai pertahanan eksternal. Selain itu, ada juga mekanisme pertahanan yang ditujukan untuk mengatasi infeksi patogen yang sudah terlanjur masuk ke dalam jaringan tubuh, yang disebut sebagai pertahanan internal. Pertahanan eksternal dan internal tubuh ini dapat bersifat bawaan (*innate*) dan selalu bersiap siaga mengantisipasi munculnya potensi penyakit, bahkan walau tidak terjadi infeksi. Disisi lain, juga terdapat mekanisme pertahanan internal yang bersifat adaptif, yang secara spesifik hanya aktif ketika terjadi infeksi saja.

a) Pertahanan Eksternal *Non*-spesifik

Pertahanan eksternal mencegah patogen masuk ke dalam jaringan tubuh sehingga dapat mengurangi risiko terjadinya gangguan kesehatan lebih jauh. Walau tidak dapat mencegah paparan patogen secara total, namun adanya pertahanan eksternal sangat penting bagi tubuh manusia. Bentuk pertahanan ini dapat berupa pertahanan fisik, kimiawi, dan pertahanan di tingkat sel.

a. Pertahanan fisik

Adanya lapisan pelindung permukaan tubuh yang membatasi dengan lingkungan luar. Jaringan epitel yang melapisi saluran pernapasan, pencernaan dan organ lainnya adalah penghalang fisik yang efektif untuk mencegah atau meminimalisasi masuknya patogen

b. Pertahanan kimiawi

Pertahanan kimia berupa sekresi sejumlah senyawa kimia oleh kelenjar tubuh untuk meminimalisir jumlah patogen yang masuk ke dalam tubuh. Sebut saja sekresi Hidrogen Klorida di lambung untuk mengatasi patogen terbawa bersama makanan; sekresi lendir di saluran pernapasan untuk menangkap debu dan patogen; serta sekresi lisozim (enzim perusak dinding sel bakteri) pada komposisi air mata, air liur, dan keringat.

c. Pertahanan di tingkat sel

Peran sejumlah sel khusus dalam menurunkan risiko

pemaparan patogen seperti dalam mekanisme penutupan luka oleh trombosit (keping darah). Mekanisme ini dapat mencegah masuknya patogen melalui jaringan yang terbuka pada area luka

Pertahanan eksternal adalah mekanisme pertahanan umum yang tidak secara khusus membedakan jenis patogen. Dengan kata lain, pertahanan ini tidak spesifik. Kurangnya pengenalan patogen berarti bahwa efektivitas pertahanan eksternal terbatas. Misalnya, efek HCl lambung akan sama untuk semua patogen yang terbawa bersama makanan. Meskipun kondisi asam umumnya dapat menghambat atau bahkan menghentikan aktivitas sel, namun jika ada patogen yang dapat beradaptasi dengan kondisi asam, HCl tentu tidak akan efektif dalam menghentikan patogen tersebut. Oleh karena itu, tubuh memerlukan mekanisme pertahanan lanjutan yang dapat mengantisipasi masuknya patogen ke dalam jaringan tubuh dan mencegah dampak buruk selanjutnya

a) Pertahanan Internal Spesifik (Antigen-Antibodi)

Sistem pertahanan internal spesifik ditandai dengan pengenalan terhadap patogen spesifik oleh sejumlah tipe sel darah putih (leukosit). Tipe leukosit tertentu akan membedakan mana komponen yang “aman” untuk tubuh, serta mana komponen “asing” yang berpotensi membahayakan tubuh hingga perlu dihancurkan. Leukosit akan mengenali partikel khas dari patogen yang disebut antigen. Antigen dapat berupa protein, glikoprotein, lipid, polisakarida, dan berbagai zat yang dihasilkan oleh patogen tersebut. Antigen ditemukan sebagai bagian struktur sel patogen maupun partikel yang terpisah dari selnya. Saat suatu antigen terdeteksi atau bahkan dikenali keberadaannya di dalam jaringan tubuh, maka tubuh akan menciptakan respon imun. Respon imun yang bersifat bawaan (*innate*) akan berlaku umum untuk semua tipe antigen, misal respon demam dan peradangan. Beragam jenis

infeksi virus dapat memicu terjadinya demam dan peradangan. Sementara itu respon imun yang adaptif akan memberikan respon yang lebih spesifik dengan pembentukan antibodi untuk setiap antigen yang dikenali. Respon imun yang spesifik ditandai dengan pembentukan antibodi oleh leukosit, khususnya dari tipe limfosit. Antibodi adalah molekul glikoprotein yang berfungsi menandai dan melawan antigen spesifik.

Respon imun dalam pertahanan internal tubuh tidak hanya dipicu oleh pengenalan patogen. Pada kasus alergi atau imunitas yang terlalu sensitif, respon imun dapat dipicu oleh hadirnya molekul-molekul non patogen (contoh: zat kitin, debu, serbuk sari, dan lain-lain) ke dalam tubuh, atau bahkan perubahan kondisi tubuh yang umum (contoh: kedinginan). Dengan demikian antigen juga diartikan sebagai molekul apa pun yang dapat memicu respon imun, baik yang berasal dari patogen maupun non-patogen. Jika kehadiran suatu molekul memicu respon imun, maka molekul tersebut dianggap asing dan perlu direspon lebih lanjut oleh tubuh

| Golongan Darah                       | Golongan Darah A  | Golongan Darah B  | Golongan Darah AB  | Golongan Darah 0 (Nol)  |
|--------------------------------------|---|---|--|---|
| Tipe Sel Darah Merah                 |  |  |  |  |
| Antigen di Permukaan Sel Darah Merah | Antigen A atau Aglutinogen A  | Antigen B atau Aglutinogen B  | Antigen atau Aglutinogen A dan B   | Tidak ada Antigen/ Aglutinogen  |
| Antibodi di Plasma Darah             | Anti B atau Aglutinin B   | Anti A atau Aglutinin A   | Tidak ada Antibodi / Aglutinin   | Anti A dan B atau Aglutinin A dan B   |

**Tabel 2.1** Penggolongan darah Sistem AB0

Selain sistem golongan darah AB0, terdapat ratusan sistem penentuan golongan darah lainnya. Namun, sistem AB0 lebih umum digunakan karena ketidaksesuaian golongan ini dapat menimbulkan reaksi yang berbahaya, seperti penggumpalan darah. Di samping itu, sistem Rhesus (Rh) juga memiliki peran penting

dalam kecocokan darah karena dapat memicu reaksi serupa. Seseorang dikatakan memiliki darah rhesus positif jika terdapat antigen rhesus pada membran sel eritrositnya. Individu dengan rhesus positif tidak membentuk antibodi terhadap antigen tersebut, sehingga tidak menimbulkan reaksi imun. Sebaliknya, individu dengan rhesus negatif tidak memiliki antigen tersebut dan dapat membentuk antibodi apabila terjadi paparan antigen rhesus. Oleh karena itu, dalam prosedur transfusi darah, kecocokan rhesus antara pendonor dan penerima menjadi sangat krusial untuk mencegah terjadinya penggumpalan. Penjelasan mengenai sistem golongan darah ini penting untuk dipahami sebagai dasar dalam praktik transfusi yang aman.

## 2) Komponen Sistem Pertahanan Tubuh

Leukosit memiliki berbagai jenis dan peran dalam sistem kekebalan tubuh. Namun, secara umum dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu fagosit dan limfosit.

### a) Fagosit

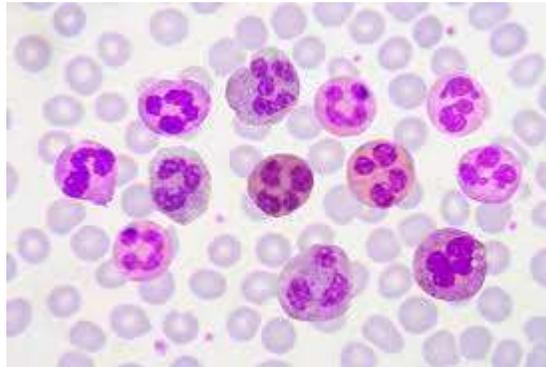
Fagosit secara harfiah berarti “sel pemakan”, secara fungsional sel ini akan menghancurkan patogen dengan cara mencernanya di dalam sel. Sel-sel fagosit dibentuk di dalam sumsum tulang, khususnya tulang pipa. Mereka disimpan dalam sumsum tulang sebelum didistribusikan sebelum beredar bersama aliran darah dan cairan limfa ke seluruh bagian tubuh.

Dalam proses perkembangannya, fagosit merupakan hasil diferensiasi dari beberapa tipe sel, namun secara umum terdapat dua tipe fagosit yang sering ditemukan dalam respon imun tubuh, yaitu neutrofil dan makrofag.

#### a. Neutrofil

Neutrofil adalah jenis fagosit yang paling banyak ditemukan dan 60% komposisi leukosit dalam darah. Mereka dapat

berpindah tempat ke seluruh bagian tubuh melalui pembuluh darah. Pada kondisi tertentu, seringkali neutrofil meninggalkan pembuluh darah dengan cara menyusup melalui dinding kapiler untuk 'berpatroli' di jaringan ikat. Kemampuan "menembus" pembuluh darah ini disebut diapedesis.



**Gambar 2. 1** a) sekelompok neutrofil (ditunjuk anak panah); b) basofil; c) sel Mast

**Sumber :** <https://flebo.in/health/wp-content/uploads/2022/06/Neutrophils-Count-What-is-it-Diagnosis-Treatment.jpg>

Neutrofil memulai peran fagositiknya dengan menempel pada patogen. Membran permukaan sel neutrofil akan membentuk kantung vesikula yang membawa patogen (fagosom) masuk ke dalam sel secara endositosis. Enzim pencernaan akan disekresikan oleh Badan Golgi ke dalam lisosom. Lisosom kemudian bergabung dengan fagosom membentuk struktur vakuola fagositik atau vakuola makanan dan menghancurkan patogen. Secara keseluruhan, proses ini dikenal sebagai fagositosis.

Meskipun dihasilkan dalam jumlah yang banyak, namun neutrofil memiliki masa hidup yang singkat. Setelah melawan patogen, sel ini akan mati. Neutrofil yang telah mati biasanya dikumpulkan pada sebuah lokasi infeksi untuk membentuk nanah.

Ketika terjadi infeksi pada jaringan, neutrofil akan dilepaskan dalam jumlah besar dari tempat penyimpanannya di

sumsum tulang. Tipe sel lainnya, yaitu basofil dan sel Mast dari jaringan ikat turut merespon dengan memproduksi histamin. Histamin akan memicu pelebaran pembuluh darah dan pembengkakan jaringan dimana kondisi tersebut akan mempermudah pergerakan neutrofil. Histamin dan juga zat kimia yang dilepaskan oleh patogen itu sendiri akan menarik respon neutrofil yang lewat ke lokasi infeksi. Jika infeksi bukan yang pertama kali atau disebabkan oleh patogen yang telah dikenali, ada kemungkinan sejumlah antibodi akan mengenali antigen dan terkonsentrasi di area infeksi. Kehadiran antibodi ini juga dapat “mengundang” neutrofil. Gerakan neutrofil yang dipicu oleh rangsangan kimia ini disebut kemotaksis.

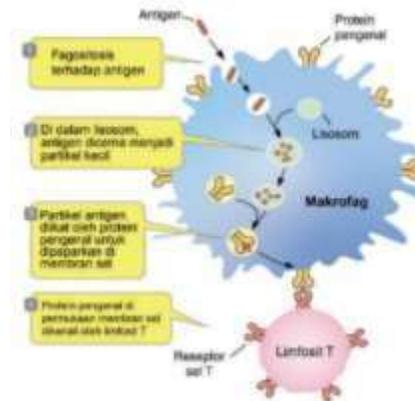
b. Makrofag

Jenis sel fagosit berikutnya adalah makrofag. Makrofag memiliki ukuran lebih besar dibanding neutrofil. Daripada beredar di pembuluh darah, makrofag lebih sering menetap pada organ-organ tertentu seperti paru-paru, hati, limpa, ginjal, dan nodus limfa. Setelah dibentuk di dalam sumsum tulang, makrofag akan beredar dalam darah sebagai monosit, yang berkembang menjadi makrofag ketika meninggalkan darah dan menetap dalam organ.

Berbeda dengan neutrofil, makrofag adalah sel yang masa hidupnya cukup panjang dan memiliki peran penting dalam menginisiasi respons imun spesifik lainnya. Makrofag tidak menghancurkan patogen sepenuhnya, tapi memecahnya menjadi partikel kecil yang dijadikan sampel antigen. Partikel sampel tersebut akan menjadi bagian struktur luar dari membran sel makrofag untuk kemudian dikenali oleh limfosit.

Dengan demikian antigen dapat terus dikenali sekaligus menjadi sinyal ‘membutuhkan bantuan’ yang dapat menstimulasi respon imun spesifik lainnya. Karena

kemampuannya dalam menampilkan antigen di bagian permukaan sel ini makrofag disebut juga sebagai sel penyaji antigen (Antigen-Presenting Cells/APCs).



**Gambar 2. 2** Makrofag sebagai sel penyaji antigen

**Sumber :** [https://asset-](https://asset-2.tstatic.net/palembang/foto/bank/thumbnails2/Soal-penilaian-harian-Biologi-kelas-11-SMA-Sistem-Pertahanan-Tubuh.jpg)

[2.tstatic.net/palembang/foto/bank/thumbnails2/Soal-penilaian-harian-Biologi-kelas-11-SMA-Sistem-Pertahanan-Tubuh.jpg](https://asset-2.tstatic.net/palembang/foto/bank/thumbnails2/Soal-penilaian-harian-Biologi-kelas-11-SMA-Sistem-Pertahanan-Tubuh.jpg)

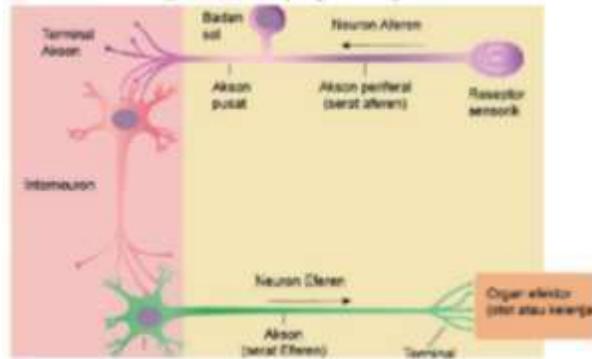
#### b) Limfosit dan Respon Imun Spesifik

Limfosit adalah tipe sel darah putih yang berperan penting dalam sistem pertahanan tubuh khususnya dalam respon imun spesifik adaptif. Terdapat dua jenis limfosit, keduanya telah dibentuk sejak sebelum kelahiran di dalam sumsum tulang janin.

- Limfosit B (sel B) tetap berada dalam sumsum tulang hingga cukup matang kemudian menyebar ke seluruh tubuh, terutama di nodus limfa dan limpa (organ di sisi kiri lambung).
- Limfosit T (sel T) meninggalkan sumsum tulang dan berkumpul serta menjadi matang di timus. Timus adalah sebuah kelenjar yang terdapat di rongga dada, tepat di bawah tulang dada (sternum). Ukurannya menjadi dua kali lebih besar di masa antara kelahiran dan masa pubertas, tetapi setelah pubertas ukuran timus akan tereduksi.

##### a. Limfosit B (Sel B) dan respon imun spesifik humoral

Limfosit B memberikan respon imun dengan membentuk antibodi. Setiap sel B yang telah teraktivasi akan membentuk kelompok kecil (klon) berdasarkan jenis antibodi yang dibuatnya.



**Gambar 2. 3** Mekanisme kerja limfosit B

**Sumber :** [https://asset-](https://asset-2.tstatic.net/palembang/foto/bank/images/Kunci-Jawaban-Biologi-kelas-11-SMA-hal-151.jpg)

[2.tstatic.net/palembang/foto/bank/images/Kunci-Jawaban-Biologi-kelas-11-SMA-hal-151.jpg](https://asset-2.tstatic.net/palembang/foto/bank/images/Kunci-Jawaban-Biologi-kelas-11-SMA-hal-151.jpg)

Pada awalnya molekul antibodi hanya menempel di permukaan membran sel B, hingga kemudian dapat dilepas dan beredar di plasma darah dan limfa. Antibodi beredar di plasma darah dan cairan tubuh lainnya untuk mengenali antigen spesifik yang masuk ke dalam tubuh. Atas dasar ini lah respon limfosit B disebut juga respon imun spesifik humoral (humor = cairan tubuh).

Kehadiran antigen mengaktivasi limfosit B yang berdiferensiasi menjadi dua tipe sel, yaitu sel plasma dan sel B memori. Sel plasma dapat memproduksi molekul antibodi dengan cepat, hingga mencapai jumlah beberapa ribu dalam 1 detik. Pada infeksi pertama (respon primer), sel plasma memulai pengenalan antigen dan membentuk antibodi. Karena memiliki masa hidup yang singkat, respon sel plasma akan dilanjutkan oleh sel memori. Sel ini akan bersirkulasi dalam tubuh dalam waktu lama. Apabila terdapat antigen yang sama

dan dikenali kembali (respon sekunder), sel memori akan membelah secara cepat dan berkembang menjadi sel plasma dan sel memori yang lebih banyak lagi. Hal ini terjadi berulang dalam setiap kehadiran antigen yang sama, yang berarti infeksi dapat ditanggulangi sebelum terus perkembangan.

Molekul antibodi yang diproduksi sel B berupa protein yang disebut immunoglobulin (Ig). Molekul immunoglobulin berbentuk seperti huruf Y, dengan dua sisi ujung sebagai situs pengikatan dan pengenalan antigen. Untuk memungkinkan sistem imun mengenali jutaan antigen yang berbeda, situs pengikatan antigen di kedua ujung immunoglobulin juga memiliki variasi yang sama banyaknya. Terdapat lima tipe antibodi yang banyak ditemukan di dalam tubuh, yaitu IgA, IgD, IgE, IgG, atau IgM.

b. Limfosit T (Sel T) dan respon imun spesifik seluler

Tipe limfosit kedua adalah limfosit T. Dinamai sel T karena sel ini menjadi matang di timus. Berbeda dengan sel B yang menghasilkan antibodi sebagai respon imun spesifiknya, sel limfosit T memiliki reseptor permukaan sel yang spesifik disebut reseptor sel T. Meskipun demikian, reseptor sel T memiliki sifat yang mirip dengan antibodi dalam hal kemampuan mengenali antigen spesifik. Karena respon imun yang diberikan bertumpu pada reseptor permukaan sel, maka respon imun sel T disebut juga respon imun spesifik seluler.

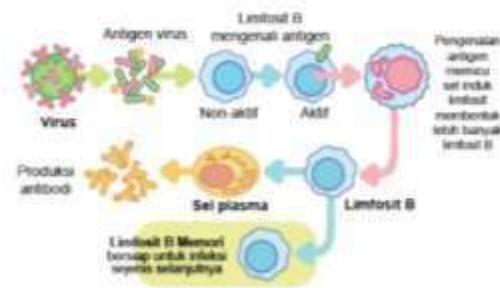
Sel T aktif tidak hanya mengenali antigen, namun juga mengenali sel-sel tubuh yang terinfeksi. Seperti pada infeksi virus, dimana nukleotida dan protein virus berada di dalam sel inangnya, maka sel T juga akan mengenali sel inang sebagai target yang harus dihancurkan. Pada kasus sel-sel tubuh yang berubah menjadi kanker, sel T akan mengenalinya dan mencegah pertumbuhannya lebih lanjut.

Saat terjadi infeksi patogen, sel T yang memiliki reseptor

yang mengenali antigen akan merespon dengan memperbanyak diri. Seperti halnya pada sel B, penambahan jumlah sel T akan melalui tahapan pembentukan dan perbanyak klon sel. Selain bertambah banyak, sel T juga berdiferensiasi menjadi dua tipe sel, yaitu yaitu sel T pembantu (helper) dan sel T pembunuh (Sel T sitotoksik). Selain itu, masingmasing bentuk sel T dapat menjadi sel memori yang bertahan lama untuk diaktivasi kembali saat terjadi infeksi patogen yang sama pada kesempatan berikutnya.

Sel T pembantu dinamai demikian berdasarkan perannya dalam membantu mengaktifkan respon imun lainnya. Ketika sel T pembantu aktif, mereka akan melepaskan kelompok senyawa kimia yang disebut sitokin. Sitokin akan menstimulasi sel B untuk melakukan pembelahan, dan berkembang menjadi sel plasma serta mensekresi antibodi. Beberapa sel T pembantu mensekresi sitokin yang menstimulasi makrofag untuk lebih aktif melakukan fagositosis.

Sel T pembunuh mencari sel tubuh yang diserang patogen dan menampilkan antigen asing dari patogen pada membran permukaan selnya. Sel T pembunuh akan mengenali antigen, menempelkan diri pada permukaan sel yang terinfeksi dan mensekresikan substansi beracun seperti hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ), untuk membunuh sel tubuh dan patogen di dalamnya.



**Gambar 2. 4** Mekanisme kerja limfosit T

**Sumber :** <https://interactivebiology.com/wp-content/uploads/2022/02/B-Cell-lymphocyte.png>

### 3) Imunitas Tubuh dan Kelainannya

Saat sistem pertahanan tubuh berfungsi dengan baik, maka tubuh akan tetap terlindungi dari infeksi. Kemampuan tubuh untuk mengatasi infeksi patogen ini dikenal sebagai imunitas. Upaya menjaga fungsi imunitas tubuh tidak hanya terjadi secara alami tapi juga dapat dilakukan secara buatan melalui tindakan medis atau imunisasi.

#### a) Imunitas Aktif dan Pasif

Saat seseorang dalam kondisi sehat, imunitas tubuhnya dapat dengan optimal merespon setiap paparan patogen dan mencegah terjadinya kondisi sakit. Saat patogen datang, jumlah yang memasuki tubuh akan diminimalisasi oleh pertahanan eksternal tubuh yang nonspesifik. Jika masih terdapat patogen yang berhasil masuk, maka pertahanan internal spesifik diaktifkan. Sel limfosit B dalam tubuh mengenali antigen dan membentuk antibodi. Imunitas yang terbentuk pada proses ini disebut imunitas aktif alami. Disebut alami karena respon imun muncul akibat infeksi patogen dan disebut aktif karena antibodi diproduksi oleh tubuh sendiri. Pada permulaan abad ke-19, seorang dokter asal Inggris bernama Edward Jenner, melakukan penelitian untuk mengamati respon imun tubuh manusia. Jenner menemukan bahwa respon imun dapat muncul tanpa seseorang harus terinfeksi patogen terlebih dahulu. Jenner melakukan penelitiannya pada kasus infeksi virus cacar. Orang

yang disuntik komponen virus cacar pada tubuhnya, terbukti lebih “kebal” terhadap infeksi virus tersebut. Inilah pertama kali teknik vaksinasi ditemukan. Temuan Edward Jenner tersebut dapat dijelaskan sebagai sistem imun tubuh yang terstimulasi untuk membentuk antibodi tanpa harus terinfeksi.

Stimulasi respon imun baik secara alami oleh infeksi maupun secara buatan dengan vaksin memerlukan waktu untuk mencapai jumlah antibodi optimal. Pada kondisi yang amat rentan, seperti pada bayi yang sangat mudah terinfeksi patogen atau pada pasien kritis akibat penyakit infeksi, waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi antibodi sendiri tidak sebanding dengan besarnya risiko infeksi yang dihadapi. Oleh karenanya diperlukan masukan antibodi dari luar sesegera mungkin menciptakan imunitas tubuhnya.

Imunitas yang terbentuk karena pemasukan antibodi dari luar tubuh disebut imunitas pasif. Imunitas pasif tidak bertahan lama, tergantung dari lama ketersediaan antibodi di dalam tubuh. ASI (air susu ibu) yang diproduksi di awal pasca persalinan (disebut colostrum) diketahui banyak mengandung antibodi dari ibu. Dengan demikian secara alami, bayi memperoleh imunitas pasif dengan mendapat suplai antibodi dari ASI. Pada kasus pasien yang kritis atau mengalami penurunan respon imun, suplai antibodi dapat diberikan secara buatan dengan donor plasma. Individu yang sehat dengan produksi antibodi yang melimpah dapat mendonorkan plasma darahnya tersebut pada individu lain.

b) Kelainan Sistem Pertahanan dan Indikasinya

Seperti sistem organ lainnya, sistem imun dapat mengalami berbagai gangguan, baik karena infeksi patogen, faktor genetik, atau kelainan lainnya. Gangguan pada struktur dan fungsi sistem imun tubuh dapat meningkatkan kerentanan tubuh terhadap

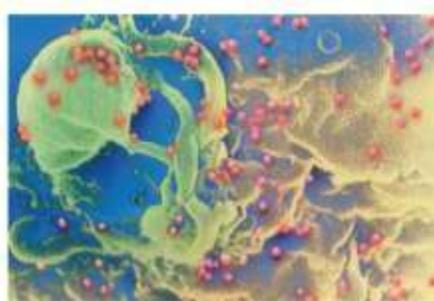
penyakit. Beberapa jenis kelainan pada sistem kekebalan tubuh adalah sebagai berikut:

a. Alergi

Alergi adalah munculnya respon imun berlebih terhadap zat atau kondisi tertentu yang normalnya tidak berbahaya bagi tubuh. Respon yang paling umum adalah dibentuknya histamin oleh leukosit meskipun tidak terjadi infeksi. Reaksi tersebut dapat menimbulkan berbagai gejala, seperti pilek, ruam kulit yang gatal, atau bahkan sesak napas. Alergi terjadi karena terlalu sensitifnya sistem imun tubuh. Zat yang dapat memicu respons alergi disebut dengan alergen.

b. HIV-AIDS

HIV (*Human Immunodeficiency Virus*) virus yang menyerang sistem kekebalan tubuh, khususnya sel limfosit T, sehingga daya tubuh semakin melemah dan rentan diserang berbagai penyakit. Infeksi HIV dapat berkembang menjadi AIDS (*Acquired Immune Deficiency Syndrome*), kondisi dimana tubuh mengalami berbagai gangguan kesehatan akibat penurunan fungsi sistem imun. Penyakit ringan pada orang dengan imunitas normal dapat menjadi mematikan jika terjadi pada penderita AIDS.



**Gambar 2. 5** Virus HIV (warna merah) menginfeksi limfosit

**Sumber :** <https://media.sciencephoto.com/image/m0500719/225>

c. Penyakit Autoimun

Penyakit autoimun adalah kondisi ketika sistem pertahanan tubuh seseorang menyerang tubuhnya sendiri. Umumnya terjadi pada sistem imun spesifik yang kehilangan kemampuan dalam pengenalan sel-sel tubuh. Ada lebih dari 80 penyakit yang digolongkan penyakit autoimun. Beberapa di antaranya memiliki gejala serupa, seperti kelelahan, nyeri otot, dan demam.

## B. Penelitian Terdahulu

**Tabel 2. 2** Tabel Hasil Penelitian terdahulu

| <b>No</b> | <b>Penulis dan Tahun</b> | <b>Judul Penelitian</b>  | <b>Metode</b>                                 | <b>Hasil</b>   | <b>Persamaan</b>  | <b>Perbedaan</b>   |
|-----------|--------------------------|--|---|--|---|--|
| 1         | Jesminarti et al. (2025) | Pengaruh Pembelajaran Berbasis Masalah dengan Bantuan ChatGPT terhadap Hasil Belajar Biologi Siswa | Pra-eksperimen (satu kelas, pretest–posttest) | Penerapan PBL dengan ChatGPT meningkatkan hasil belajar dan motivasi siswa       | Sama-sama mengintegrasikan ChatGPT dalam model PBL pada pembelajaran biologi                              | Fokus penelitian mereka pada hasil belajar, sedangkan penelitian ini menyoroti literasi sains        |
| 2         | In'am et al. (2024)      | Implementasi AI ChatGPT melalui PBL dengan pendekatan TaRL dalam meningkatkan kemampuan            | Penelitian tindakan kelas (2 siklus)          | Terjadi peningkatan kemampuan berpikir kritis dan jumlah siswa yang mencapai KKM | Keduanya memanfaatkan ChatGPT dalam pendekatan berbasis masalah untuk mengembangkan keterampilan berpikir | Subjek penelitian berbeda (SMP), serta pendekatan tambahan TaRL tidak digunakan dalam penelitian ini |

|   |                          |  |  |  |   |  |
|---|--------------------------|--|--|--|---|--|
|   |                          | berpikir kritis siswa  |  |  |   |  |
| 3 | Rukmini & Astutik (2023) | Penggunaan ChatGPT untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep dalam Pembelajaran IPA    | Kuasi eksperimen                                       | ChatGPT terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep IPA   | Sama-sama mengeksplorasi kontribusi ChatGPT dalam pembelajaran sains    | Tidak mengimplementasikan PBL, dan konteks pembelajarannya lebih fokus pada pemahaman konsep, bukan literasi sains |
| 4 | Fajriani & Ananda (2023) | Efektivitas Penggunaan ChatGPT terhadap Kemandirian Belajar dan Minat Baca Siswa | Deskriptif kuantitatif                                 | Ditemukan peningkatan signifikan pada minat baca dan kemandirian belajar siswa setelah menggunakan ChatGPT | Meneliti dampak penggunaan ChatGPT terhadap perilaku belajar siswa      | Tidak menggunakan model pembelajaran PBL dan tidak mengukur aspek literasi sains                                   |
| 5 | Putri & Sari (2024)      | Pengaruh Penerapan PBL terhadap Literasi Sains Siswa SMA pada Materi Sistem Imun | Kuasi eksperimen (dengan kelas kontrol dan eksperimen) | PBL berkontribusi positif terhadap peningkatan literasi sains siswa pada materi sistem imun                | Relevan dari sisi model PBL dan topik materi sistem imun yang digunakan | Penelitian mereka tidak menggunakan bantuan teknologi ChatGPT seperti dalam penelitian ini                         |

### C. Kerangka Berpikir

Rendahnya literasi sains peserta didik masih menjadi permasalahan penting dalam pendidikan sains di Indonesia. Hal ini semakin diperparah dengan kompleksitas

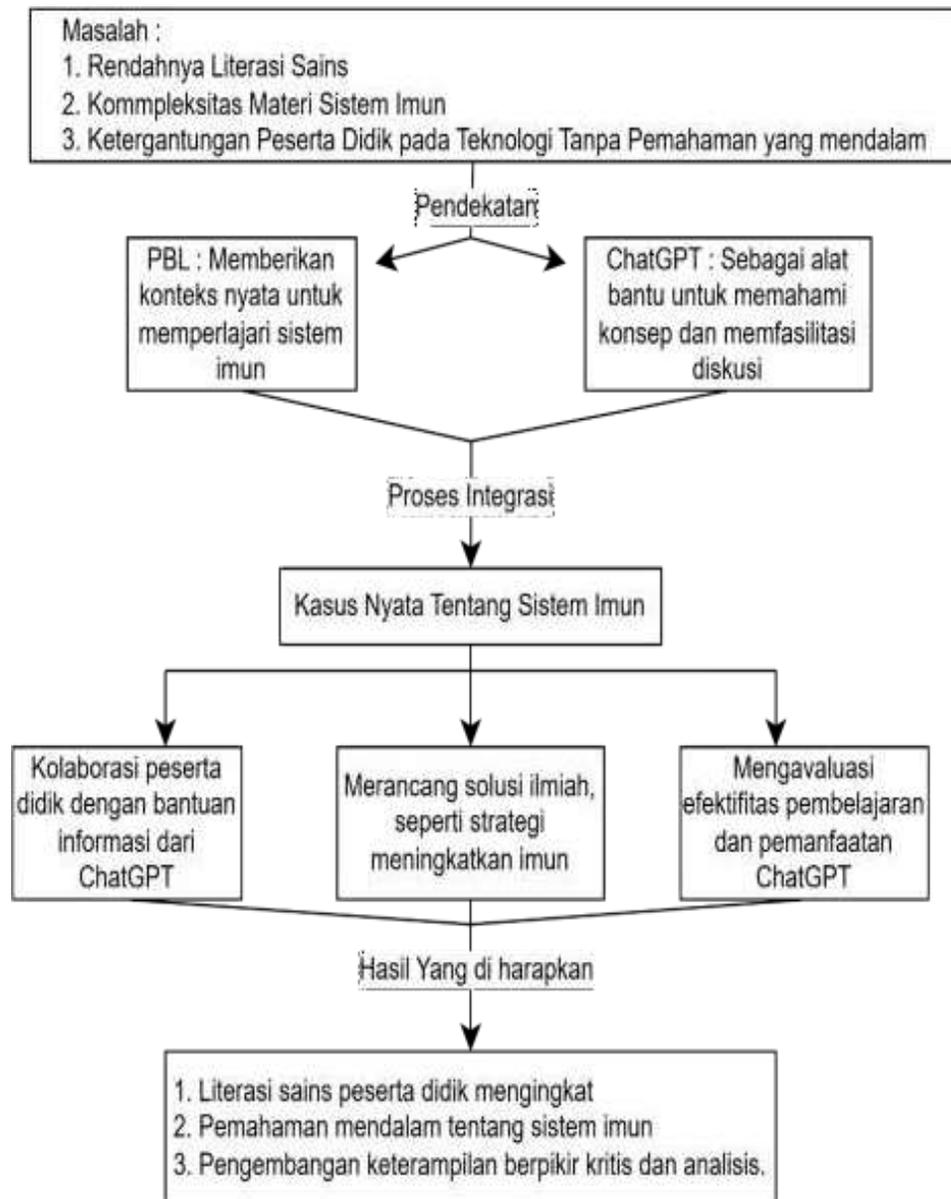
materi biologi tertentu, seperti sistem imun, yang tidak hanya menuntut pemahaman konseptual tetapi juga penalaran ilmiah dan kemampuan mengaitkan konsep dengan fenomena nyata. Di sisi lain, pesatnya perkembangan teknologi digital seperti ChatGPT memang memberikan akses informasi secara instan, namun tidak jarang menimbulkan ketergantungan tanpa diimbangi dengan pemahaman yang mendalam dan berpikir kritis. Hal ini menimbulkan kekhawatiran bahwa peserta didik menjadi pasif dalam belajar, hanya bergantung pada jawaban instan tanpa proses kognitif yang kuat.

Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengintegrasikan dua pendekatan utama, yaitu model pembelajaran Problem Based Learning (PBL) dan pemanfaatan teknologi berbasis AI berupa ChatGPT. Model PBL dipilih karena mampu menyajikan konteks nyata yang relevan dengan kehidupan peserta didik dan mendorong keterlibatan aktif mereka dalam proses belajar. Melalui PBL, peserta didik dihadapkan pada suatu masalah nyata yang mendorong mereka untuk mengeksplorasi konsep, berdiskusi, dan menyusun solusi secara ilmiah. Sementara itu, ChatGPT digunakan sebagai alat bantu yang mendukung proses pembelajaran dengan cara menyediakan penjelasan konsep, menjawab pertanyaan secara langsung, serta memfasilitasi eksplorasi mandiri dalam memahami materi sistem imun yang kompleks.

Integrasi kedua pendekatan ini dilakukan melalui penyajian kasus nyata mengenai sistem imun, yang mendorong peserta didik untuk melakukan kolaborasi, menganalisis informasi dengan bantuan ChatGPT, serta merancang solusi ilmiah yang relevan, misalnya dalam bentuk strategi peningkatan imunitas tubuh. Peserta didik juga diajak untuk merefleksikan dan mengevaluasi efektivitas pembelajaran yang telah mereka lakukan, termasuk bagaimana ChatGPT membantu dalam memahami materi

Melalui proses ini, penelitian ini diharapkan mampu mencapai beberapa hasil utama, yaitu meningkatnya literasi sains peserta didik, terbentuknya pemahaman yang lebih mendalam tentang sistem imun, serta berkembangnya keterampilan berpikir kritis dan analisis ilmiah sebagai bekal menghadapi Melalui proses ini,

penelitian ini diharapkan mampu mencapai beberapa hasil utama, yaitu meningkatnya literasi sains peserta didik, terbentuknya pemahaman yang lebih mendalam tentang sistem imun, serta berkembangnya keterampilan berpikir kritis dan analisis ilmiah sebagai bekal menghadapi tantangan abad ke-21



**Gambar 2. 6** Penggunaan ChatGPT Terhadap Kemampuan Literasi Sains Peserta Didik

## **D. Asumsi dan Hoptesis Penelitian**

### **1. Asumsi**

Penelitian ini diasumsikan bahwa peserta didik memiliki akses terhadap teknologi digital, seperti smartphone atau laptop, yang memungkinkan penggunaan ChatGPT dalam proses pembelajaran. Selain itu, ChatGPT diyakini mampu memberikan informasi yang akurat, relevan, dan mudah dipahami untuk mendukung pembelajaran materi sistem imun. Model pembelajaran Problem Based Learning (PBL) dianggap efektif dalam melibatkan peserta didik untuk berpikir kritis, berkolaborasi, dan menyelesaikan masalah secara mandiri. Kemampuan dasar peserta didik dalam menggunakan aplikasi berbasis teknologi digital diasumsikan memadai untuk mencari, memahami, dan memanfaatkan informasi yang diberikan oleh ChatGPT. Dengan integrasi ChatGPT dalam PBL, penelitian ini juga berasumsi bahwa literasi sains peserta didik dapat ditingkatkan, baik dalam pemahaman konsep maupun pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

### **2. Hipotesis**

H1: Penggunaan ChatGPT dalam pembelajaran berbasis masalah (PBL) meningkatkan literasi sains peserta didik pada materi sistem imun.

H0: Penggunaan ChatGPT dalam pembelajaran berbasis masalah (PBL) tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap literasi sains peserta didik pada materi sistem imun