

BAB II

KAJIAN TEORI DAN KERANGKA PEMIKIRAN

A. Kajian Teori

Adapun beberapa kajian yang menunjang dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Media Pembelajaran

Media pembelajaran merupakan alat atau sarana yang dipakai dalam proses belajar-mengajar untuk menyampaikan informasi dengan cara yang lebih efektif dan efisien. Media ini meliputi berbagai bentuk seperti visual, audio, dan digital, yang dirancang guna meningkatkan pemahaman serta keterlibatan peserta didik dalam proses pembelajaran. Menurut (Ani Daniyati *et al.*, 2023), media pembelajaran memfasilitasi pemahaman peserta didik terhadap konsep secara lebih jelas, meningkatkan motivasi belajar, dan menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik. Sejalan dengan itu, (Rahmawati, 2022) menekankan bahwa penggunaan media berbasis teknologi semakin berkembang karena bisa menciptakan suasana belajar yang lebih interaktif sekaligus fleksibel. Dalam proses pembelajaran biologi, media pembelajaran berperan penting dalam membantu peserta didik memahami konsep abstrak yang sulit dijelaskan hanya melalui ceramah atau teks tertulis. Penggunaan media pembelajaran dalam dunia pendidikan didukung oleh berbagai teori yang menekankan perannya dalam meningkatkan kualitas pembelajaran. Media ini tidak hanya berperan sebagai sarana komunikasi antara guru dan peserta didik, tetapi juga berfungsi membantu membangun pemahaman yang lebih konkret melalui berbagai representasi, seperti teks, gambar, video, dan simulasi (Kusuma *et al.*, 2023). Selain itu, digitalisasi pendidikan memungkinkan metode pembelajaran yang lebih mandiri dan kolaboratif. Misalnya, *e-learning* berbasis media interaktif dapat meningkatkan keterlibatan peserta didik serta memberikan kesempatan bagi mereka untuk mengeksplorasi materi lebih mendalam melalui berbagai sumber belajar digital (Rahmawati, 2022).

Media pembelajaran memiliki sejumlah keunggulan yang membuatnya relevan dalam sistem pendidikan modern. Salah satu keunggulan utama adalah kemampuannya meningkatkan keterlibatan peserta didik dalam proses belajar. Penggunaan media interaktif, seperti animasi dan simulasi digital, memungkinkan peserta didik lebih aktif dalam memahami materi dan mengembangkan keterampilan pemecahan masalah (Belva Saskia Permana *et al.*, 2024). Selain itu, media pembelajaran memudahkan pemahaman konsep yang kompleks, terutama dalam bidang sains seperti biologi. Dengan bantuan visualisasi, peserta didik dapat memahami hubungan antar konsep yang sulit dijelaskan dengan metode konvensional (Kusuma *et al.*, 2023). Keunggulan lain adalah fleksibilitas pembelajaran, yang memungkinkan peserta didik mengakses materi kapan saja dan di mana saja, terutama melalui *platform* berbasis teknologi. Media pembelajaran yang menarik juga dapat meningkatkan motivasi belajar, sehingga berdampak positif pada hasil belajar peserta didik (Rahmawati, 2022).

Namun, meskipun memiliki banyak keunggulan, media pembelajaran juga memiliki keterbatasan. Salah satu tantangan utama adalah ketergantungan pada teknologi dan infrastruktur, terutama media digital yang memerlukan akses internet dan perangkat yang memadai (Belva Saskia Permana *et al.*, 2024). Selain itu, penggunaannya membutuhkan keterampilan khusus bagi guru dan peserta didik, sehingga diperlukan pelatihan agar media dapat dimanfaatkan secara optimal (Rahmawati, 2022). Potensi distraksi juga menjadi kendala, terutama jika elemen visual atau animasi yang digunakan justru mengalihkan perhatian peserta didik dari inti materi yang dipelajari (Kusuma *et al.*, 2023). Oleh karena itu, perancangan media pembelajaran harus mempertimbangkan relevansi dan efektivitasnya dalam mencapai tujuan pembelajaran. Di era digital saat ini, pemanfaatan media pembelajaran sangat penting untuk meningkatkan kualitas pendidikan. Media yang dirancang dengan baik dapat membantu peserta didik memahami materi secara lebih mendalam, terutama dalam mata pelajaran yang membutuhkan visualisasi, seperti biologi. Selain itu, pembelajaran berbasis media interaktif dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah peserta didik (Kusuma *et al.*, 2023). Oleh karena itu, inovasi dalam pengembangan dan

penggunaan media pembelajaran yang tepat sangat diperlukan untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih efektif, efisien, dan menarik bagi peserta didik.

2. Web Based Berbasis *Multiple Representasi*

Konsep Pembelajaran berbasis *web* (*web-based learning*) merupakan salah satu inovasi dalam dunia pendidikan yang memanfaatkan teknologi sebagai media utama dalam proses pembelajaran. Model ini memberikan fleksibilitas bagi peserta didik untuk mengakses materi pelajaran kapan saja dan di mana saja, sehingga mendukung pembelajaran yang lebih mandiri dan efektif (Nasution *et al.*, 2022). Dalam pembelajaran biologi, pemanfaatan media berbasis *web* telah terbukti meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap konsep - konsep kompleks yang sulit dipahami melalui metode konvensional (Januarisman & Ghufro, 2016). Selain itu, penggunaan *web-based* memungkinkan penyajian berbagai bentuk representasi informasi, seperti teks, gambar, video, audio, serta simulasi interaktif, yang membantu peserta didik membangun pemahaman yang lebih mendalam terhadap materi yang dipelajari (Nasution *et al.*, 2022).

Pendekatan *multiple representasi* dalam pembelajaran berbasis *web* menekankan penyajian materi melalui berbagai bentuk visualisasi yang bertujuan untuk meningkatkan pemahaman peserta didik. Menurut Fauzan *et al.*, (2023), *multiple representasi* mencakup tiga bentuk utama, yaitu makroskopik, mikroskopik, dan simbolik. Representasi makroskopik menampilkan fenomena yang dapat diamati langsung oleh indra, seperti gambar organ tubuh atau ekosistem dalam biologi. Representasi mikroskopik menggambarkan proses yang terjadi pada tingkat seluler atau molekuler, misalnya mekanisme kerja sistem imun melalui simulasi digital. Sementara itu, representasi simbolik disajikan dalam bentuk model konseptual, diagram, atau grafik yang membantu peserta didik memahami hubungan antar konsep dalam suatu sistem (Fauzan *et al.*, 2023). Penggunaan *multiple representasi* dalam pembelajaran berbasis *web* dapat membantu peserta didik menghubungkan berbagai aspek dari suatu konsep, sehingga meningkatkan pemahaman dan keterampilan pemecahan masalah mereka.

Keunggulan utama dari *web-based learning* berbasis *multiple representasi* adalah kemampuannya menyajikan materi secara dinamis dan interaktif. Dengan adanya variasi media pembelajaran, peserta didik dapat memilih format penyajian yang

paling sesuai dengan gaya belajar mereka, sehingga meningkatkan motivasi serta pemahaman yang lebih baik terhadap materi (Nasution *et al.*, 2022). Selain itu, *platform* pembelajaran berbasis *web* memungkinkan guru untuk mengintegrasikan berbagai sumber belajar dalam satu sistem, seperti artikel ilmiah, video demonstrasi, serta simulasi digital, yang membantu peserta didik menghubungkan teori dengan penerapan di dunia nyata (Januarisman & Ghufron, 2016).

Namun, meskipun memiliki banyak manfaat, *web-based* berbasis *multiple* representasi juga memiliki beberapa tantangan. Salah satu kendala utama adalah ketergantungan pada infrastruktur teknologi, seperti akses internet dan perangkat digital yang memadai, yang tidak selalu tersedia di semua lingkungan pendidikan (Fauzan *et al.*, 2023). Selain itu, penggunaan teknologi dalam pembelajaran membutuhkan keterampilan digital baik dari guru maupun peserta didik, sehingga perlu adanya pelatihan agar media ini dapat dimanfaatkan secara optimal (Fauzan *et al.*, 2023). Tantangan lain yang mungkin muncul adalah risiko distraksi, di mana peserta didik lebih tertarik pada elemen visual atau fitur interaktif dibandingkan fokus pada inti materi yang disampaikan (Nasution *et al.*, 2022). Dengan mempertimbangkan berbagai kelebihan dan tantangan yang ada, *web-based* berbasis *multiple* representasi menjadi salah satu pendekatan inovatif dalam meningkatkan kualitas pembelajaran biologi. Dengan mengombinasikan berbagai bentuk representasi, model pembelajaran ini dapat membantu peserta didik memahami materi secara lebih mendalam dan mengembangkan keterampilan pemecahan masalah yang lebih baik. Oleh karena itu, implementasi media pembelajaran berbasis *web* perlu terus dikembangkan dan disesuaikan dengan kebutuhan peserta didik agar dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih efektif di era digital saat ini.

3. Multiple Representasi

Multiple representasi merupakan pendekatan pembelajaran yang menyajikan konsep dalam berbagai bentuk untuk membantu peserta didik memahami materi secara lebih mendalam dan menyeluruh. Pendekatan ini dirancang untuk menyesuaikan dengan perbedaan gaya belajar peserta didik serta mengurangi kemungkinan miskonsepsi akibat keterbatasan dalam satu jenis representasi saja (Fajriani *et al.*, 2021). Penggunaan *multiple* representasi dalam pembelajaran telah

terbukti meningkatkan pemahaman konsep dan memperluas perspektif peserta didik dalam memahami suatu materi, sehingga dapat mengurangi kesalahan konsep yang sering terjadi dalam pembelajaran sains (Haris *et al.*, 2021). Salah satu keunggulan utama dari *multiple* representasi adalah kemampuannya untuk menyampaikan informasi dalam berbagai format, memungkinkan peserta didik untuk memilih metode yang paling sesuai dengan cara mereka belajar. Beberapa peserta didik lebih memahami materi melalui gambar atau simulasi (representasi makroskopik), sementara yang lain lebih terbantu dengan model matematis atau diagram (representasi simbolik). Integrasi berbagai bentuk representasi ini memberikan kesempatan bagi peserta didik untuk membangun pemahaman yang lebih mendalam dan aplikatif dalam penyelesaian masalah (Fajriani *et al.*, 2021).

Dalam pembelajaran berbasis *web*, pendekatan *multiple* representasi menjadi sangat efektif karena mampu menghadirkan berbagai jenis representasi dalam satu *platform* digital. Teknologi berbasis *web* memungkinkan penggabungan gambar, video, simulasi interaktif, serta diagram konsep yang dapat diakses dan dipelajari oleh peserta didik sesuai kebutuhan mereka. Integrasi ketiga jenis representasi ini dalam pembelajaran digital dapat meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap materi biologi yang kompleks, seperti sistem imun, yang melibatkan interaksi antara berbagai komponen biologis dalam skala yang berbeda (Fajriani *et al.*, 2021).

Representasi makroskopik dalam pembelajaran berbasis *web* menggambarkan fenomena yang dapat diamati secara langsung oleh peserta didik. Dalam materi biologi, khususnya sistem imun, bentuk representasi ini dapat berupa gambar struktur organ tubuh yang terlibat dalam sistem kekebalan, seperti kelenjar limfa, sumsum tulang, dan sel darah putih yang dapat diamati menggunakan mikroskop cahaya. Selain itu, representasi ini juga mencakup penggunaan video eksperimen atau animasi yang menggambarkan bagaimana tubuh merespons infeksi. Dengan bantuan representasi makroskopik ini, peserta didik dapat lebih mudah memahami mekanisme sistem imun dalam melawan patogen melalui visualisasi yang konkret dan interaktif (Haris *et al.*, 2021). Representasi mikroskopik dalam pembelajaran berbasis *web* berfokus pada konsep yang terjadi pada tingkat seluler dan molekuler, yang tidak dapat diamati langsung oleh mata telanjang. Dalam konteks sistem imun, representasi ini dapat berupa animasi interaktif yang menggambarkan cara kerja

antibodi, interaksi antigen dengan reseptor sel T, serta proses fagositosis oleh makrofag (Fajriani *et al.*, 2021). Dengan bantuan pembelajaran berbasis *web*, peserta didik dapat mengeksplorasi konsep ini secara lebih interaktif melalui simulasi digital yang memungkinkan mereka untuk mengamati bagaimana sel imun berkomunikasi serta merespons serangan patogen secara real-time. Hal ini menciptakan pengalaman belajar yang lebih dinamis dibandingkan dengan metode konvensional yang hanya mengandalkan teks dan gambar statis dari buku pelajaran. Representasi simbolik dalam pembelajaran berbasis *web* melibatkan penggunaan diagram, grafik, model konsep, serta bagan alur untuk menjelaskan proses biologis yang kompleks. Dalam sistem imun, representasi ini dapat berbentuk diagram jalur aktivasi sel B dan sel T, skema interaksi antigen-antibodi, serta grafik yang menunjukkan perkembangan respons imun terhadap infeksi dari waktu ke waktu (Haris *et al.*, 2021). Dengan adanya representasi simbolik yang terintegrasi dalam *platform* pembelajaran berbasis *web*, peserta didik dapat lebih mudah memahami hubungan antar komponen dalam sistem imun dan menganalisis data dengan lebih sistematis.

Meskipun memiliki berbagai manfaat, penerapan *multiple* representasi dalam pembelajaran berbasis *web* juga menghadapi sejumlah tantangan. Salah satu kendala utama adalah kesulitan dalam merancang media pembelajaran yang mampu mengakomodasi berbagai jenis representasi secara efektif. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa jika tidak dirancang dengan baik, peserta didik justru dapat mengalami kebingungan dalam menghubungkan berbagai bentuk representasi yang disajikan (Haris *et al.*, 2021). Selain itu, diperlukan keterampilan khusus bagi pendidik untuk mengimplementasikan pendekatan ini secara optimal, sehingga pelatihan yang memadai bagi guru menjadi faktor penting dalam keberhasilannya.

4. Kemampuan Problem Solving

Kemampuan *problem solving* merupakan keterampilan berpikir yang esensial dalam pembelajaran sains, termasuk biologi. Keterampilan ini tidak hanya berfokus pada penyelesaian masalah akademik, tetapi juga berperan dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan analitis yang diperlukan dalam menghadapi berbagai tantangan kehidupan sehari-hari (Damayanti *et al.*, 2021). Menurut penelitian (Tresnawati *et al.*, 2024), penerapan pembelajaran berbasis digital dapat

membantu meningkatkan keterampilan *problem solving* peserta didik melalui kegiatan eksploratif, seperti observasi, analisis data, dan penyusunan kesimpulan yang sistematis (Tresnawati *et al.*, 2024).

Dalam konteks pembelajaran sains, *problem solving* melibatkan beberapa tahapan penting, yaitu memahami masalah, mengidentifikasi informasi yang relevan, merancang strategi penyelesaian, menerapkan strategi tersebut, dan mengevaluasi hasil yang diperoleh (Damayanti *et al.*, 2021). Namun, banyak peserta didik masih mengalami kendala dalam mengembangkan keterampilan ini karena mereka lebih sering menghafal konsep tanpa memahami hubungan antar informasi. Selain itu, kurangnya kesempatan untuk menerapkan teori dalam situasi nyata serta minimnya metode pembelajaran berbasis eksplorasi turut menjadi faktor yang menghambat peningkatan kemampuan *problem solving* (Tresnawati *et al.*, 2024).

Penelitian juga menunjukkan bahwa tingkat pemahaman awal peserta didik memengaruhi efektivitas mereka dalam menyelesaikan masalah. Peserta didik dengan pemahaman konsep yang baik lebih mudah mengaitkan informasi baru dengan pengetahuan yang telah dimiliki, sehingga lebih efektif dalam memecahkan masalah. Sebaliknya, peserta didik dengan pemahaman awal yang terbatas cenderung menggunakan metode trial and error dan mengalami kesulitan dalam menghubungkan variabel-variabel yang terlibat dalam suatu permasalahan (Damayanti *et al.*, 2021).

Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan inovasi dalam strategi pembelajaran. Salah satu pendekatan yang terbukti efektif adalah penggunaan media digital interaktif, seperti **Interactive Digital Teaching Material (IDTM)**, yang memungkinkan peserta didik belajar melalui studi kasus dan simulasi berbasis teknologi. Metode ini tidak hanya membantu peserta didik memahami konsep secara lebih aplikatif, tetapi juga meningkatkan keterampilan berpikir analitis dan evaluatif mereka dalam *problem solving* (Tresnawati *et al.*, 2024).

Menurut Johnson yang dikutip oleh (Tawil, M., 2013) indikator-indikator pemecahan masalah adalah sebagai berikut :

- a. Kemampuan dalam mendefinisikan masalah, yaitu merumuskan suatu persoalan dari peristiwa tertentu yang mengandung isu konflik sehingga peserta didik dapat memahami masalah yang akan dieksplorasi.
- b. Kemampuan dalam mendiagnosis masalah, yaitu mengidentifikasi penyebab munculnya masalah serta menganalisis berbagai faktor, termasuk yang dapat mendukung penyelesaian masalah.
- c. Kemampuan dalam merumuskan alternatif strategi, yaitu menguji setiap tindakan yang telah dirumuskan melalui diskusi di kelas. Mengatasi masalah bisa dilakukan dengan berbagai pendekatan sesuai tingkat kesulitan masalah tersebut.
- d. Kemampuan dalam menentukan dan menerapkan strategi yang dipilih, yaitu membuat keputusan mengenai strategi yang akan dilakukan. Pengambilan keputusan sangat penting dalam memecahkan suatu masalah karena menentukan pilihan strategi terbaik dari berbagai alternatif yang tersedia.
- e. Kemampuan dalam melakukan evaluasi, baik evaluasi terhadap proses maupun hasil. Evaluasi dilakukan untuk memperbaiki kesalahan yang terjadi selama proses ataupun hasil ketika menyelesaikan masalah.

Indikator Problem Solving menurut (Hodiyanto, 2017):

1. Memecahkan masalah

Kemampuan peserta didik dalam memahami permasalahan yang diberikan, kemudian berusaha menemukan cara atau langkah untuk menyelesaikannya. Ini mencakup proses berpikir logis, kritis, dan sistematis untuk mencari solusi.

2. Mendiskusikan masalah untuk diselesaikan

Peserta didik tidak hanya bekerja sendiri, tetapi juga aktif berdiskusi dengan teman atau guru. Kegiatan ini mendorong munculnya ide-ide baru dan membiasakan peserta didik berpikir kolaboratif dalam menyelesaikan permasalahan.

3. Menuliskan jawaban atau solusi dari permasalahan

Setelah melalui proses berpikir dan diskusi, peserta didik diharapkan mampu menyampaikan atau mengomunikasikan solusi yang mereka temukan dalam bentuk tertulis secara runtut, logis, dan dapat dipahami. Ini menunjukkan penguasaan konsep dan kemampuan komunikasi matematis/sains.

Menurut (Yuwono, 2019), kemampuan pemecahan masalah dapat ditingkatkan melalui proses berpikir yang terstruktur, yang mencerminkan cara peserta didik menganalisis dan menyelesaikan suatu permasalahan secara logis. Proses ini diawali dengan **memahami masalah**, yaitu tahap di mana peserta didik harus mampu mengidentifikasi informasi penting, menentukan apa yang diketahui dan apa yang ditanyakan dalam soal. Pemahaman yang tepat menjadi dasar utama untuk tahap selanjutnya, karena kesalahan dalam memahami masalah dapat menyebabkan strategi penyelesaian yang keliru.

Tahap kedua adalah **merencanakan penyelesaian**, yakni saat peserta didik mulai menyusun langkah-langkah berdasarkan informasi yang telah diperoleh. Dalam proses ini, peserta didik dituntut untuk memilih metode yang tepat, seperti menggambar, membuat tabel, mencari pola, atau strategi logis lainnya. Kemampuan untuk menganalisis informasi dan menyusun langkah secara efisien sangat diperlukan pada tahap ini.

Kemudian dilanjutkan dengan **melaksanakan rencana**, yaitu penerapan dari strategi yang telah dirancang. Pada tahap ini, peserta didik harus menjalankan langkah-langkah secara sistematis dan akurat, serta menunjukkan pemanfaatan pengetahuan yang mereka miliki dalam menyelesaikan masalah. Ketelitian dan konsistensi menjadi kunci keberhasilan dalam tahapan ini.

Tahap terakhir adalah **memeriksa kembali hasil**, yang menunjukkan kemampuan peserta didik dalam melakukan evaluasi terhadap solusi yang telah diberikan. Peserta didik perlu meninjau kembali proses yang telah dilakukan, mengidentifikasi kemungkinan kesalahan, dan mempertimbangkan strategi alternatif untuk memastikan bahwa jawaban yang dihasilkan benar dan sesuai dengan persoalan yang dihadapi.

Untuk mendorong kemampuan peserta didik dalam menyelesaikan masalah dengan baik, tidak cukup hanya dengan memberikan pemahaman konsep, tetapi juga diperlukan tahapan pembelajaran yang sistematis guna mengembangkan keterampilan tersebut. Dalam konteks pembelajaran sains, termasuk mata pelajaran biologi, peserta didik perlu diberikan stimulus berupa permasalahan kontekstual yang menuntut mereka untuk melalui tahapan memahami masalah, merancang strategi, melaksanakan penyelesaian, serta melakukan evaluasi terhadap solusi yang

diambil. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh (Fariz & Dewi, 2022), peningkatan keterampilan pemecahan masalah dapat diwujudkan melalui pembuatan media pembelajaran interaktif yang dirancang khusus untuk membantu peserta didik berpikir mandiri dan teratur dalam setiap langkah penyelesaian masalah.

Sejalan dengan hal tersebut, penggunaan media berbasis teknologi, khususnya *web-based learning* yang dilengkapi dengan *multiple* representasi, dipandang sebagai solusi potensial dalam mengatasi rendahnya kemampuan *problem solving* peserta didik. Media pembelajaran berbasis digital memungkinkan penyajian materi yang beragam dan menarik secara visual, seperti melalui animasi, simulasi, grafik, serta soal interaktif yang dikembangkan untuk mendukung pemahaman konsep secara menyeluruh dan terarah. Temuan (Fariz & Dewi, 2022) menunjukkan bahwa penggunaan media interaktif yang dikembangkan melalui perangkat lunak Articulate Storyline 3 secara efektif mampu meningkatkan kemampuan pemecahan masalah melalui penyajian materi yang bertahap dan berorientasi pada pendekatan konstruktivistik.

Berhubungan dengan penelitian ini, pembuatan media pembelajaran berbasis *web* dengan pendekatan berbagai representasi bertujuan sebagai upaya inovatif untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah peserta didik, terutama dalam mempelajari materi sistem imun. Dengan mengadaptasi pendekatan yang telah terbukti efektif pada pembelajaran matematika, penelitian ini berupaya mengimplementasikannya dalam pembelajaran biologi yang memiliki tantangan serupa, yaitu kompleksitas konsep dan kebutuhan akan visualisasi yang representatif (Fariz & Dewi, 2022).

Kemampuan dalam memecahkan masalah adalah bagian penting dari keterampilan berpikir tingkat lanjut yang sangat penting dalam pendidikan saat ini. Dalam pembelajaran sains, terutama biologi, kemampuan ini menjadi kunci untuk melatih peserta didik agar mampu menghadapi situasi tidak biasa dengan berpikir secara logis dan sistematis. Peserta didik yang menguasai kemampuan ini akan mampu mengenali masalah secara tepat, merancang solusi, dan menilai efektivitas dari solusi yang dipilih. Namun, kemampuan ini tidak muncul secara alami,

melainkan perlu dikembangkan melalui proses pembelajaran yang terstruktur dan terarah (Syarif, 2019).

Salah satu pendekatan yang dianjurkan untuk membangun kemampuan ini adalah Creative Problem Solving (CPS), yakni metode pemecahan masalah secara kreatif melalui langkah-langkah sistematis. CPS menggabungkan dua jenis berpikir: berpikir divergen digunakan untuk menciptakan berbagai macam solusi, sedangkan berpikir konvergen membantu dalam memilih solusi yang paling sesuai. Dalam praktik pembelajaran, CPS mendorong peserta didik untuk tidak hanya menemukan solusi konvensional, tetapi juga mengembangkan cara berpikir yang fleksibel, terbuka, dan terorganisir (Syarif, 2019). Model CPS mencakup enam tahapan utama, yaitu: (1) menemukan permasalahan (*mess finding*), (2) mengumpulkan informasi (*data finding*), (3) merumuskan permasalahan (*problem finding*), (4) mencari ide solusi (*idea finding*), (5) memilih solusi terbaik (*solution finding*), dan (6) merencanakan penerapan solusi (*acceptance finding*). Setiap tahap dirancang agar peserta didik dapat berpikir menyeluruh dan reflektif selama proses pemecahan masalah (Syarif, 2019).

Sebagai contoh, dalam tahap *mess finding*, peserta didik dilatih untuk mengenali persoalan dari lingkungan sekitarnya yang relevan untuk dikaji. Sedangkan pada tahap *idea finding*, peserta didik didorong untuk mengembangkan berbagai ide melalui *brainstorming* atau diskusi terbuka. Dengan demikian, mereka dapat melihat permasalahan dari berbagai perspektif tanpa terpaku pada satu jawaban saja (Syarif, 2019). Agar kompetensi ini dapat berkembang optimal, pendidik perlu menciptakan suasana belajar yang stimulatif dan memotivasi agar murid terlibat secara aktif. Proses belajar bisa dilakukan dengan diskusi kelompok, eksperimen, atau proyek yang berbasis masalah. Dalam pendekatan CPS, guru bertindak sebagai fasilitator yang mendukung dan mengarahkan proses berpikir peserta didik, bukan sekadar sebagai sumber informasi. Dukungan berupa pertanyaan terbuka, umpan balik reflektif, dan penghargaan terhadap ide-ide kreatif menjadi faktor penting dalam menumbuhkan kemampuan *problem solving* peserta didik (Syarif, 2019).

Web-based menjadi salah satu media yang sangat mendukung implementasi CPS. Lewat media ini, berbagai bentuk informasi bisa disajikan, mulai dari teks, gambar, video, animasi, hingga simulasi yang interaktif. Peserta didik dapat

memecahkan studi kasus, mengakses materi secara mandiri, dan menguji solusi melalui simulasi digital. Pada materi biologi seperti sistem imun, integrasi berbagai representasi makroskopik, mikroskopik, dan simbolik sangat efektif untuk membantu peserta didik memahami konsep-konsep kompleks (Syarif, 2019).

Creative Problem Solving juga sejalan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan pada pengembangan kemampuan berpikir yang kritis, kreatif, kolaboratif, dan komunikatif. Melalui alur berpikir CPS, peserta didik menjadi lebih siap menghadapi tantangan, lebih mampu menyusun solusi, dan lebih terbuka terhadap ide baru. Pendekatan ini tidak hanya menekankan hasil akhir, tetapi juga menghargai proses berpikir sebagai bagian penting dari pembelajaran (Syarif, 2019).

Kesimpulannya, *Creative Problem Solving* bukan sekadar strategi untuk menjawab soal, tetapi merupakan pendekatan pembelajaran yang mampu membentuk peserta didik menjadi pribadi reflektif, solutif, dan adaptif. Ketika diintegrasikan dengan media pembelajaran berbasis *web*, CPS memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas proses belajar sekaligus membekali peserta didik dengan keterampilan berpikir abad ke-21, khususnya dalam memahami konsep biologi yang kompleks (Syarif, 2019).

5. Sistem Imun

Silakan isi *pre-test* ini dengan cermat dan sesuai dengan pemahaman Anda. *Pre-test* ini bertujuan untuk mengukur pengetahuan awal Anda tentang sistem pertahanan tubuh sebelum memulai pembelajaran. Jawablah setiap pertanyaan dengan sebaik mungkin. Tidak perlu khawatir jika ada pertanyaan yang belum Anda ketahui jawabannya, karena hasil ini akan digunakan sebagai bahan evaluasi untuk meningkatkan proses pembelajaran. Semangat mengerjakan!

Problem Solving: <https://forms.gle/XDJ79rrb7jmep81k9>

Pertanyaan Pemantik:

1. Bagaimana gaya hidup seperti pola makan dan olahraga dapat mempengaruhi kekuatan sistem pertahanan tubuh?
2. Mengapa istirahat yang cukup bisa membuat tubuh lebih sehat?

Kita dikelilingi oleh virus, bakteri, jamur, dan berbagai organisme lain yang bisa masuk ke tubuh kita dan menimbulkan penyakit. Ketika terserang penyakit, kita

merasa tidak enak badan atau mengalami sakit. Ini menandakan bahwa tubuh kita telah terinfeksi virus atau organisme penyebab penyakit. Namun, meskipun selalu ada virus atau organisme semacam itu di sekitar kita, kita tidak selalu jatuh sakit. Tubuh kita mampu mencegah atau menolak penyakit agar tidak masuk. Bagaimana hal ini bisa terjadi? (Aryulina, 2007)

Tubuh kita dilengkapi dengan sistem imun. Sistem ini terdiri dari sel-sel serta jaringan yang membentuk kekebalan terhadap infeksi atau penyakit. Organisme penyebab penyakit (patogen) dapat masuk ke dalam tubuh dan memasuki jaringan atau sel-sel dalam tubuh (Aryulina, 2007). Patogen juga dapat menghancurkan sistem imun dalam tubuh kita dan menggandakan diri di dalam tubuh. Patogen juga dapat menghancurkan jaringan-jaringan dalam tubuh kita dengan melepaskan racun. Apabila pertahanan tubuh dapat dilumpuhkan oleh patogen, ini berarti tubuh kita terserang penyakit.

Penting bagi kita untuk mempelajari sistem imun agar bisa memahami cara menjaga imunitas serta mencegah penyakit menyerang tubuh. Selain itu, pengetahuan ini juga membantu kita mengerti pentingnya imunisasi saat masih balita. Dalam bidang kedokteran, sistem imun telah dimanfaatkan untuk pengembangan vaksin, transplantasi organ, dan terapi kanker.

Simaklah video mengenai sistem pertahanan tubuh dengan cara mengklik link berikut ini:

Link : https://youtu.be/SD8gzVYDNhg?si=6rsA_D5NbgW5TD7i

Setelah menyimak video di atas tentang gangguan pada sistem pertahanan tubuh, kini saatnya Anda memperhatikan gambar di bawah ini.

Perhatikan gambar penyakit sistem pertahanan tubuh berikut!

Tubuh manusia memiliki sistem kekebalan tubuh yang bertugas melindungi dari infeksi dan penyakit. Namun, dalam kondisi tertentu, sistem imun dapat kehilangan kendali dan mulai menyerang sel serta jaringan sehat dalam tubuh sendiri. Kondisi inilah yang dikenal sebagai penyakit autoimun.



Gambar 2. 1 Penyakit Autoimun

(Sumber: Bayasari, 2023)

A. Pengertian Sistem Imun

Bacalah teks dibawah ini dengan seksama!

1. Pengertian Sistem Pertahanan Tubuh

Istilah "sistem imun" merupakan gabungan dari dua kata terkait erat maknanya. Kata "sistem" berakar dari bahasa Latin "systema" dan bahasa Yunani "systēma", yang berarti satu kesatuan atau sekumpulan elemen yang saling terkait, dan kemudian diserap ke bahasa Indonesia melalui bahasa Inggris "system". Di sisi lain, kata "imun" berasal dari bahasa Latin "immunis", yang berarti kebal atau terjaga, yang kemudian diadopsi ke dalam bahasa Inggris sebagai "immune" sebelum akhirnya menjadi "imun" dalam bahasa Indonesia, mengacu pada daya tahan tubuh terhadap penyakit. Gabungan kedua kata ini membentuk istilah "**sistem imun**", yang menggambarkan mekanisme pertahanan tubuh dalam mengenali dan melawan ancaman seperti infeksi dan penyakit (Aryulina, 2007).

Sistem imun, sering disebut sebagai sistem pertahanan tubuh, merupakan mekanisme perlindungan yang terdiri dari jaringan, sel, dan molekul yang berinteraksi untuk menjaga tubuh dari infeksi, penyakit, serta segala zat asing. Sistem ini bekerja dengan mengenali, melawan, dan mengeliminasi patogen seperti bakteri, virus, dan parasit, sambil memastikan keseimbangan tetap terjaga dalam tubuh. Sistem imun ini membangun kemampuan tubuh untuk menangkis bibit penyakit dengan menolak masuknya berbagai zat asing, sehingga tubuh terhindar dari terkena penyakit.

B. Fungsi Sistem Pertahanan Tubuh

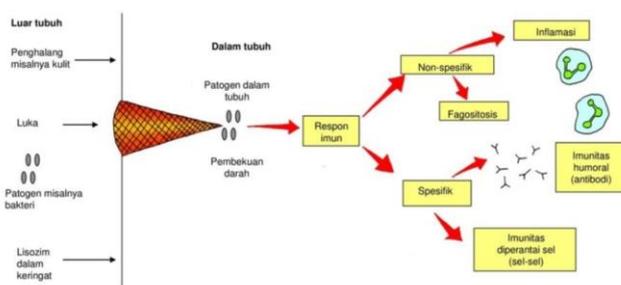
Bacalah teks dibawah ini dengan seksama!

2. Fungsi Utama Sistem Pertahanan Tubuh

- Pertahanan terhadap patogen: Virus, bakteri, dan mikroorganisme lainnya.
- Perlindungan terhadap zat eksternal: Misalnya serbuk sari, rambut hewan, dan polutan.
- Perbaikan jaringan: Mempercepat penyembuhan luka dan perbaikan sel yang rusak.
- Pengenalan dan penghancuran sel abnormal: Seperti sel kanker.

Sistem kekebalan tubuh terdiri dari berbagai macam komponen yang berperan untuk menjalankan fungsinya dan tidak bisa berfungsi secara terpisah, melainkan harus bersinergi dalam satu kesatuan yang utuh. Pada dasarnya, jika sistem kekebalan tubuh seseorang berfungsi secara optimal, orang tersebut cenderung tidak mudah jatuh sakit dan keseimbangan sistem dalam tubuhnya juga akan terjaga dengan baik.

Namun, sistem kekebalan tidak dapat terbentuk dengan cepat. Respon kekebalan alami terhadap serangan patogen baru akan muncul dalam waktu 24 jam. Tubuh kita dapat menghadapi infeksi patogen karena keberadaan sistem kekebalan tubuh. Tubuh kita mampu melawan infeksi patogen berkat adanya sistem pertahanan tubuh atau sistem imunitas. Sistem imun ini terdiri dari dua jenis, yaitu pertahanan alami tubuh dan pertahanan yang diperoleh dari sel darah putih (Aryulina, 2007). Cara kerja sistem imun bisa dilihat pada gambar berikut.

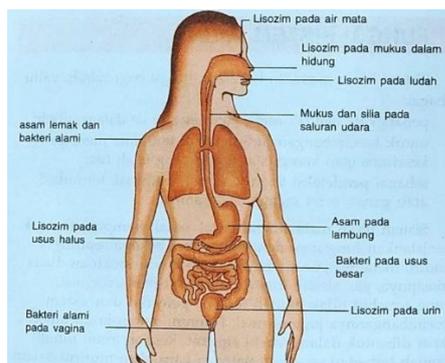


Gambar 2. 2 Proses Sistem Imun Bekerja

(Sumber: Aryulina, 2007)

Pertahanan Tubuh Alami

Beragam patogen di sekitar kita mengalami hambatan untuk masuk ke dalam tubuh berkat sistem pertahanan alami yang telah dimiliki oleh tubuh kita. Andai sistem imun tubuh tidak bekerja menolak invasi patogen tersebut, kita akan lebih sering mengalami sakit. Terdapat empat jenis mekanisme pertahanan tubuh terhadap patogen yang berusaha masuk, yakni pertahanan secara fisik, mekanis, kimiawi, dan biologis. Silakan melihat gambar di bawah ini.



Gambar 2. 3 Sistem Pertahanan Tubuh Alami

(Sumber: Aryulina, 2007)

Pertahanan Fisik

Kulit memberikan penghalang fisik bagi jalan masuknya patogen ke dalam tubuh. Lapisan terluar dari sel-sel kulit mati yang keras mengandung keratin dan hanya sedikit air, membuat pertumbuhan mikroorganisme patogen terhambat. Kulit juga mengeluarkan berbagai zat yang menghalangi perkembangan bakteri, antara lain:

a. Air mata

Kelenjar lakrimal melepas air mata, yang berfungsi melarutkan dan membilas mikroorganisme serta bahan kimia yang dapat menyebabkan iritasi mata.

b. Sebum (minyak)

Disekresikan oleh kelenjar sebaceous, sebum mengandung asam lemak yang bersifat antimikroba.

c. Mukus

Mukus adalah sekresi dari sel-sel goblet yang berada di sepanjang saluran pernapasan. Mukus ini berbentuk cairan lendir yang kental sehingga efektif dalam menjebak patogen yang terbawa udara.

Pertahanan Mekanik

Rambut hidung bekerja sebagai penyaring udara yang melewati saluran hidung. Bakteri dan partikel lain yang terperangkap dalam mukus akan dikeluarkan dari paru-paru oleh silia. Silia adalah rambut-rambut halus yang bergerak seperti gelombang. Lihatlah gambar berikut.



Gambar 2. 4 Sistem Pertahanan Tubuh Alami

(Sumber: Aryulina, 2007)

Pertahanan Kimia

Tetes air mata, lendir, air liur, dan keringat semua memiliki bahan kimia yang menghalangi perkembangan mikroorganisme. Lisozim adalah suatu enzim yang ditemukan pada kebanyakan hasil sekresi tersebut. Enzim lisozim bertindak sebagai katalis dalam proses hidrolisis pada molekul dinding sel bakteri. Selain lisozim, keringat juga mengandung laktat yang berguna dalam memperlambat perkembangan bakteri. Pada lambung, asam hidroklorik berfungsi mematikan sebagian besar mikroorganisme yang memasuki area tersebut. Bakteri tidak berbahaya yang ada di vagina mengubah karbohidrat menjadi laktat, yang dapat menyingkirkan bakteri patogen.

Pertahanan Biologis

Sejumlah bakteri alami yang tidak berbahaya menetap di kulit dan membran mukosa, menghalangi pertumbuhan banyak bakteri berbahaya. Bakteri ini

melindungi tubuh kita dengan bersaing mendapatkan nutrisi dengan bakteri patogen. Penggunaan antibiotik spektrum luas bisa menghilangkan bakteri menguntungkan ini, sehingga melemahkan pertahanan alami tubuh.

Pertahanan Tubuh Oleh Sel Darah Putih

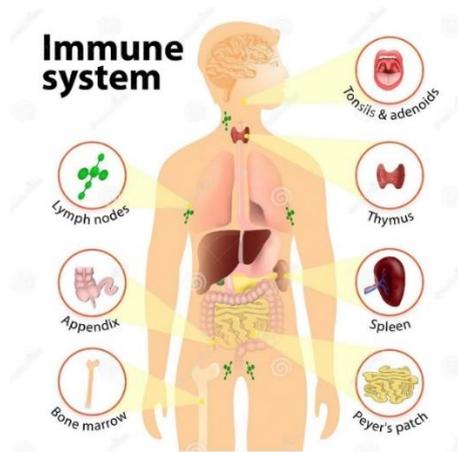
Sel darah putih bertugas mempertahankan tubuh dari patogen. Ada lima tipe sel darah putih yang semuanya berawal dari pembelahan sel-sel stem dari sumsum tulang. Sel-sel tersebut adalah neutrofil, eosinofil, basofil, monosit, dan limfosit.

Neutrofil dikenal dengan nukleus yang berlobus dan merupakan sel darah putih terbesar. Fungsinya termasuk fagositosis, yaitu menelan mikroorganisme dan sisa-sisa sel mati. Eosinofil berperan dalam reaksi alergi. Basofil bisa melepaskan zat-zat kimia seperti histamin yang memicu inflamasi atau pembengkakan. Monosit, berukuran besar dengan nukleus mirip ginjal, akan berkembang menjadi makrofag yang juga menjalankan fagositosis. Limfosit, kecil dengan nukleus bulat besar, memiliki dua tipe yaitu limfosit B dan T, berperan penting dalam sistem kekebalan tubuh. Limfosit B berperan dalam imunitas yang diperantarai antibodi, sementara limfosit T berperan dalam imunitas yang diperantarai sel. Kedua jenis ini bermigrasi dari sumsum tulang ke nodus limfe dan limpa, di mana mereka akan matang. Limfosit T melewati timus selama perjalanannya, tempat mereka memperoleh kemampuan mengenali antigen spesifik (zat kimia pada permukaan sel mikroorganisme dan benda asing). Neutrofil dan limfosit membentuk 90% dari sel darah putih dalam tubuh, sedangkan 10% sisanya terdiri dari monosit, eosinofil, dan basophil (Aryulina, 2007).

C. Organ Sistem Pertahanan Tubuh

Perhatikan gambar dan bacalah penjelasan dibawah ini!

3. Organ Sistem Pertahanan Tubuh



Gambar 2. 5 Organ Sistem Pertahanan Tubuh

(Sumber: Ttsz, 2020)

Berikut penjelasan fungsi organ-organ sistem pertahanan tubuh yang terlihat pada gambar:

a. Tonsils and Adenoids (Tonsil dan Adenoid)

Fungsi: Melindungi tubuh dari patogen yang masuk melalui mulut atau hidung. Tonsil adalah bagian dari sistem limfatik yang membantu menangkap bakteri atau virus.

b. Thymus (Timus)

Fungsi: Tempat pematangan limfosit T, yang berperan penting dalam imunitas adaptif. Timus membantu melatih sel imun untuk mengenali antigen yang spesifik.

c. Lymph Nodes (Nodus Limfa)

Fungsi: Menyaring cairan limfa dari patogen dan partikel asing. Nodus limfa mengaktifkan sel darah putih untuk melawan infeksi.

d. Spleen (Limpa)

Fungsi: Menghilangkan sel darah merah yang rusak dan menghasilkan sel darah putih untuk melawan infeksi. Limpa juga menyimpan trombosit dan antibodi.

e. *Appendix* (Usus Buntu)

Fungsi: Meskipun kecil, appendix berperan dalam imunitas dengan membantu mendukung populasi bakteri baik di usus dan mendukung jaringan limfatik di dekatnya.

f. *Bone Marrow* (Sumsum Tulang)

Fungsi: Tempat produksi sel darah, termasuk sel darah putih (leukosit) yang merupakan komponen utama sistem imun.

g. *Peyer's Patch* (Plak Peyer)

Fungsi: Terletak di usus halus, struktur ini membantu memonitor dan melawan mikroorganisme yang masuk melalui saluran pencernaan (Aryulina, 2007).

D. Mekanisme Sistem Pertahanan Tubuh Spesifik & Non-spesifik

Bacalah teks dibawah ini dengan seksama!

4. Mekanisme Sistem Pertahanan Tubuh

Sistem pertahanan tubuh terdiri dari dua mekanisme utama, yaitu pertahanan non-spesifik dan pertahanan spesifik. Masing-masing mekanisme ini memiliki peran yang sangat penting dalam melindungi tubuh dari infeksi atau serangan patogen, serta menjaga keseimbangan tubuh. Proses ini melibatkan berbagai organ, sel, dan molekul yang bekerja sama secara terkoordinasi.

a. Pertahanan Non-Spesifik (*Innate Immunity*)

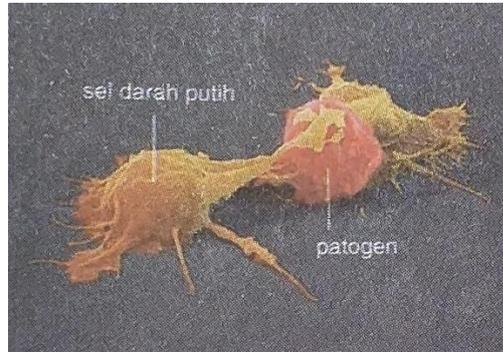
Pertahanan non-spesifik merupakan sistem pertahanan tubuh pertama yang bekerja melawan patogen atau ancaman lainnya. Respons ini bersifat cepat, tetapi tidak mengenal spesifik patogen yang masuk. Beberapa mekanisme pertahanan non-spesifik adalah:

1) Penghalang Fisik dan Kimiawi:

- a) Kulit merupakan penghalang pertama yang melindungi tubuh dari infeksi. Kulit memiliki lapisan keratin yang keras dan mengandung asam lemak serta enzim seperti lysozyme yang membunuh patogen.
- b) Mukosa memiliki sel-sel epitel yang berfungsi untuk menghalangi patogen masuk, serta menghasilkan mukus yang dapat menjerat patogen. Saluran pencernaan, saluran pernapasan, dan saluran urogenital dilapisi mukosa.

- c) Sekresi Tubuh berupa air mata, air liur, dan lendir mengandung enzim seperti *lysozyme* yang berfungsi untuk menghancurkan dinding sel bakteri dan mencegah infeksi (Aryulina, 2007).

2) Fagositosis



Gambar 2. 6 Fagositosis sel darah putih terhadap pathogen

(Sumber: Aryulina, 2007)

Makrofag dan neutrofil yaitu sel-sel yang berfungsi untuk mengidentifikasi, menelan, dan mencerna patogen seperti bakteri atau virus yang masuk ke dalam tubuh. Fagositosis dimulai dengan pengenalan patogen melalui reseptor khusus pada permukaan sel fagosit, yang kemudian mengelilingi dan memfagositosis patogen tersebut.

3) Peradangan (Inflamasi)



Gambar 2. 7 Inflamasi (Pembengkakan jaringan)

(Sumber: Aryulina, 2007)

Peradangan atau pembengkakan jaringan merupakan respons cepat terhadap kerusakan jaringan. Baik itu sebagai reaksi terhadap luka, gigitan serangga, atau

cedera akibat pukulan keras, tanda-tanda terjadinya peradangan tetap sama, yaitu sebagai berikut.

- a) Muncul warna kemerahan. Ini terjadi karena pembuluh darah melebar, meningkatkan aliran darah ke area jaringan yang terluka.
- b) Timbul rasa panas. Penyebabnya adalah meningkatnya aliran darah ke area yang terkena.
- c) Terjadi pembengkakan. Aliran darah yang meningkat menyebabkan lebih banyak cairan mengalir ke dalam jaringan yang rusak, menyebabkan pembengkakan.
- d) Terasa sakit. Pembengkakan pada jaringan menekan reseptor dan saraf. Selain itu, bahan kimia yang dihasilkan oleh sel-sel di area terluka juga merangsang saraf.

Peradangan sangat bermanfaat untuk pertahanan tubuh, sebab reaksi ini mencegah penyebaran infeksi ke jaringan lain dan mempercepat proses penyembuhan. Reaksi ini juga memberi informasi pada komponen sistem kekebalan lainnya tentang adanya infeksi. Ketika jaringan tubuh terluka atau terinfeksi, sel-sel yang terlibat dalam peradangan (seperti mast cells, makrofag, dan neutrofil) akan mengeluarkan zat kimia, termasuk histamin, yang menyebabkan pembuluh darah melebar. Hal ini memudahkan sel imun untuk mencapai lokasi infeksi. Peradangan menyebabkan gejala seperti kemerahan, pembengkakan, rasa sakit, dan demam, yang berfungsi untuk menanggulangi infeksi.

4) Komplemen

Sistem komplemen adalah sekumpulan protein plasma yang dapat diaktifkan oleh patogen atau sel yang terinfeksi. Protein-protein ini bekerja dengan membentuk pori pada membran patogen atau sel yang terinfeksi, mengarah pada lisis (kerusakan) sel tersebut, serta mengaktifkan lebih banyak sel-sel imun (Aryulina, 2007).

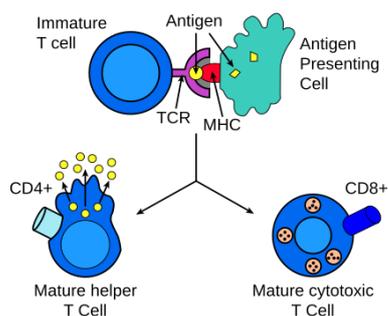
a) Pertahanan Spesifik (*Adaptive Immunity*)

Pertahanan spesifik, atau imun adaptif adalah mekanisme pertahanan tubuh yang lebih lambat tetapi sangat efektif dan spesifik dalam mengenali dan mengatasi patogen tertentu. Pertahanan ini melibatkan dua komponen utama: limfosit T dan limfosit B.

(1) Proses Aktivasi Limfosit:

Ketika patogen memasuki tubuh dan dikenali oleh sistem imun, patogen ini dipecah menjadi fragmen-fragmen kecil yang disebut antigen. Antigen ini dikenali oleh limfosit T dan B yang memiliki reseptor spesifik untuk masing-masing antigen. Sistem imun mengenali sel tubuh yang terinfeksi atau patogen berdasarkan adanya antigen di permukaan sel tersebut.

(a) Limfosit T (Sel T):



Gambar 2. 8 Limfosit T

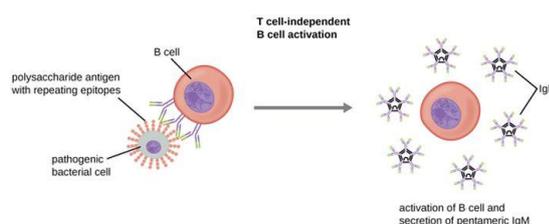
(Sumber: Fred, 2014)

1. Limfosit T Pembantu (*Helper T Cells*, Th) adalah sel yang berfungsi untuk mengaktifkan sel B dalam produksi antibodi, serta mengaktifkan sel lainnya seperti makrofag dan limfosit T sitotoksik. Th mengenali antigen yang terikat pada molekul MHC II yang berada di permukaan sel penyaji antigen seperti sel dendritik atau makrofag.
2. Limfosit T Sitotoksik (*Cytotoxic T Cells*, Tc) merupakan sel yang mendeteksi sel tubuh yang terinfeksi oleh virus atau yang berkaner. Mereka bekerja dengan mengenali antigen yang melekat pada molekul MHC I yang ada di permukaan sel yang terinfeksi. Setelah aktivasi, sel T sitotoksik menghancurkan sel yang terinfeksi melalui pelepasan enzim atau dengan memicu apoptosis, yaitu kematian sel terprogram.
3. Limfosit T pembunuh (*Killer T Cell*) atau juga dikenal sebagai sel T sitotoksik, secara langsung menyerang sel tubuh yang terinfeksi dan sel-sel patogen yang ukurannya relatif besar, seperti parasit. Pada saat

interaksi, kedua sel berhadap-hadapan, dan sel T killer akan melubangi membran sel target. Sel yang terinfeksi atau sel parasit kemudian kehilangan sitoplasmanya dan mati.

4. Limfosit T supresor (*Suppressor T Cell*), berfungsi untuk mengurangi dan mengakhiri respons imun. Mekanisme ini diperlukan ketika respons imun telah melebihi yang diperlukan atau saat infeksi sudah tertangani. Mekanisme ini penting, karena jika tubuh terus memproduksi antibodi dan mendorong sel B dan sel T untuk terus membelah tanpa henti, komponen sistem imun tersebut dapat merusak jaringan tubuh sendiri. (Aryulina, 2007).

(b) Limfosit B (Sel B):



Gambar 2. 9 Limfosit B

(Sumber: Utami, 2023)

1. Limfosit B bertugas menghasilkan antibodi yang mampu mengenali dan berikatan dengan antigen pada patogen. Setiap limfosit B memiliki reseptor yang unik untuk antigen tertentu. Ketika sudah aktif dengan bantuan dari sel T, sel B akan berubah menjadi sel plasma yang memproduksi antibodi dalam jumlah besar.
2. Antibodi kemudian akan melekat pada antigen patogen, membantu mencegah patogen menginfeksi sel tubuh, serta memberi tanda pada patogen supaya dihancurkan oleh sel imun lainnya.
3. Seperti pabrik, sel plasma limfosit B mengeluarkan antibodi ke dalam sistem sirkulasi tubuh. Setiap antibodi spesifik hanya terhadap satu antigen

patogenik. Sel plasma sangat cepat dalam memproduksi antibodi, mencapai sekitar 2000 per detik untuk setiap sel, dan sel plasma yang aktif ini dapat bertahan hidup selama 4 sampai 5 hari.

4. Limfosit B memori bertahan lama dalam darah. Sel ini tidak memproduksi antibodi, tetapi diprogram untuk mengingat antigen tertentu dan akan merespon dengan cepat saat ada infeksi kembali.
5. Limfosit B pembelah berfungsi untuk memperbanyak jumlah limfosit B.

Saat patogen mencoba untuk menyerang tubuh pertama kalinya, setiap antigen yang dibawa patogen tersebut akan mengaktifkan satu sel B, yang kemudian membelah dengan cepat untuk membentuk populasi sel yang besar. Semua sel baru tersebut identik (disebut klon) dan masing-masing akan mengeluarkan antibodi spesifik terhadap patogen yang menyerang. Tindakan antibodi terhadap antigen meliputi:

1. Menciptakan ikatan antarantigen (aglutinasi).
2. Merangsang aksi fagositosis oleh neutrofil.
3. Bertindak sebagai antitoksin dan mengendapkan toksin bakteri
4. Menghambat bakteri patogen agar tidak menempel pada membran sel tubuh.

Setelah infeksi berakhir, sel B penghasil antibodi akan mati. Seluruh proses ini dinamakan respon imun primer. Meski demikian, sel B memori yang telah 'mengingat' patogen bertahan hidup bertahun-tahun di dalam tubuh. Jika patogen yang sama mencoba menyerang kembali, sel B tersebut akan cepat membelah, menghasilkan lebih banyak sel B aktif yang semuanya dapat mengeluarkan antibodi spesifik. Respon ini disebut respon imun sekunder dan jauh lebih efektif serta cepat dibandingkan respon imun primer.

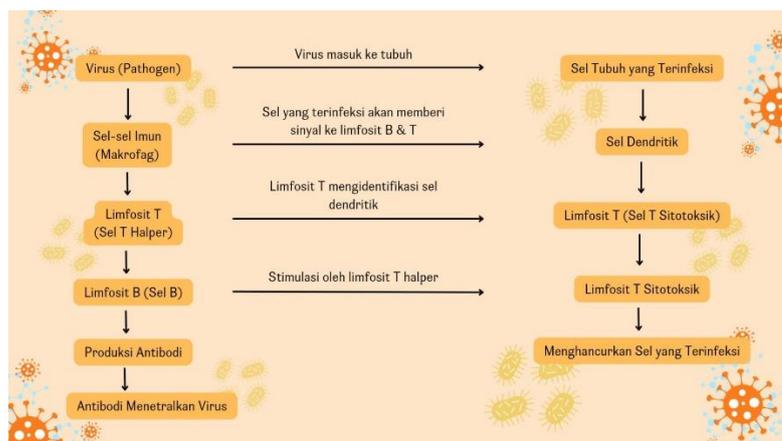
Jenis Limfosit	Fungsi Utama	Mekanisme	Hasil Akhir
Limfosit B	Memproduksi antibodi untuk melawan antigen secara spesifik	<ul style="list-style-type: none"> • Mengenal antigen melalui reseptor pada permukaan sel • Diferensiasi menjadi sel plasma (penghasil antibodi) dan sel memori 	<ul style="list-style-type: none"> • Antibodi yang beredar di darah dan cairan tubuh mengenali serta menetralkan antigen • Imunisasi jangka panjang oleh sel memori
Limfosit T	Menghancurkan sel tubuh yang terinfeksi dan membantu mengaktifkan komponen imun lainnya	Terdiferensiasi menjadi Sel T Pembantu (Helper) dan Sel T Pembunuh (Sitotoksik)	<ul style="list-style-type: none"> • Sel T Pembantu: Mengaktifkan sel B, makrofag, dan sel imun lainnya • Sel T Sitotoksik: Membunuh sel terinfeksi atau kanker

Gambar 2. 10 Perbedaan Limfosit B dan Limfosit T

(c) Pembentukan Memori Imun

Setelah tubuh mengatasi infeksi, beberapa limfosit T dan B akan berkembang menjadi sel memori. Sel-sel ini akan tetap berada dalam tubuh dan siap untuk merespons dengan cepat jika terjadi infeksi ulang oleh patogen yang sama. Memori imun memungkinkan tubuh untuk memberikan respons yang lebih cepat dan kuat pada infeksi yang sama di masa depan.

Perhatikan diagram alur berikut!



Gambar 2. 11 Diagram Alur Limfosit B dan T ketika melawan Patogen

(d) Respon Imun Terhadap Infeksi

Imun humoral melibatkan antibodi yang diproduksi oleh sel B untuk mengikat dan menetralkan patogen di dalam tubuh. Antibodi dapat mengikat patogen di luar sel (seperti bakteri dalam darah) untuk mencegah penyebaran infeksi. Imun seluler melibatkan limfosit T yang bekerja langsung dengan menyerang dan menghancurkan sel yang terinfeksi atau sel tumor. Limfosit T sitotoksik adalah komponen utama dalam respons imun seluler (Aryulina, 2007).

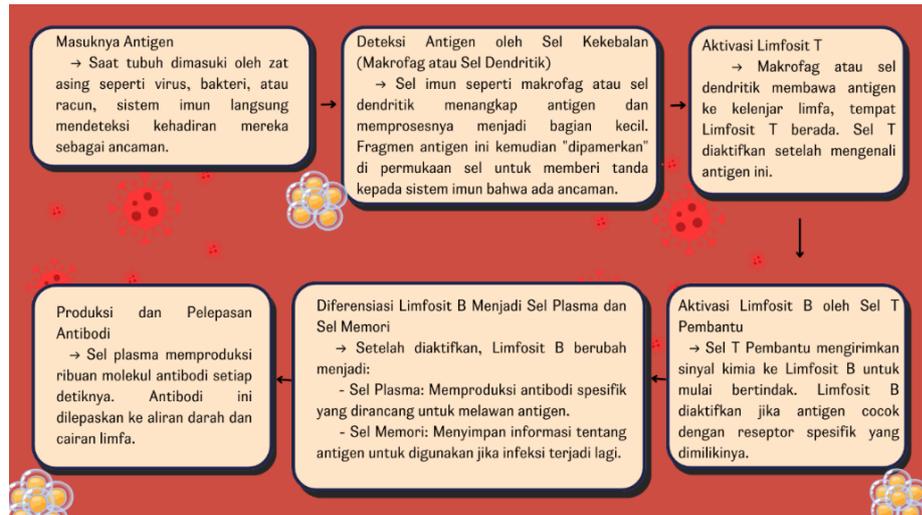
Selanjutnya, simak video studi kasus mengenai penyakit pada sistem pertahanan tubuh dengan cara mengklik link berikut ini :

Link : <https://youtu.be/ftNCj06d7KE?si=OxpAZG6NsmbF5Rjw>

Selanjutnya, simak video mengenai cara kerja sistem pertahanan tubuh dengan cara mengklik link berikut ini:

Link: <https://youtu.be/48H59dwQO8Y?si=B8yjeQEyoHTHQ9Ng>

Perhatikan mekanisme diagram alur berikut!



Gambar 2. 12 Diagram Alur Mekanisme Sistem Pertahanan Tubuh

E. Faktor yang Mempengaruhi Sistem Pertahanan Tubuh

Perhatikan tabel faktor yang mempengaruhi sistem pertahanan tubuh berikut!

Faktor	Penjelasan	Dampak terhadap Sistem Pertahanan Tubuh
Genetik (Keturunan)	Faktor genetik berperan dalam menentukan kemampuan tubuh melawan penyakit.	Dapat mengalami kelemahan sistem imun, sehingga tubuh rentan terhadap infeksi dari patogen
Usia	Sistem imun berkembang seiring bertambahnya usia. Anak-anak dan lansia cenderung memiliki sistem imun yang lebih lemah.	Anak-anak rentan terhadap infeksi baru, sementara lansia berisiko terhadap infeksi berat seperti pneumonia dan kanker.
Nutrisi	Asupan vitamin, mineral, dan protein sangat penting untuk mendukung fungsi optimal sistem imun.	Kekurangan nutrisi seperti vitamin C, D, atau zinc dapat melemahkan respon imun tubuh.
Hormon	Perbedaan hormon antara pria dan wanita dapat memengaruhi imunitas. Contohnya, hormon estrogen lebih tinggi pada wanita.	Wanita cenderung lebih rentan terhadap penyakit autoimun, sementara pria memiliki risiko infeksi tertentu yang lebih tinggi.
Olahraga	Olahraga yang teratur dapat meningkatkan aliran darah, sementara olahraga berlebihan justru dapat melemahkan imun tubuh.	Olahraga teratur memperkuat sistem imun, tetapi olahraga berat tanpa istirahat cukup dapat memicu peradangan dan penurunan fungsi imun.
Lingkungan	Polusi, paparan bahan kimia berbahaya, dan gaya hidup dapat memengaruhi imunitas tubuh.	Paparan zat kimia dan polutan dapat meningkatkan stres oksidatif, sehingga melemahkan kemampuan tubuh untuk melawan infeksi.
Penggunaan Obat	Penggunaan antibiotik berlebihan dapat membunuh bakteri baik di tubuh dan membuat bakteri menjadi resisten.	Resistensi antibiotik meningkatkan risiko infeksi berat dan membuat tubuh sulit melawan mikroorganisme patogen.
Penyakit	Penyakit seperti diabetes atau HIV dapat menekan sistem kekebalan tubuh dan mengurangi efektivitasnya.	Sistem imun yang melemah tidak dapat merespons infeksi secara efisien, sehingga meningkatkan risiko komplikasi serius.

Gambar 2. 13 Tabel Faktor yang Mempengaruhi Sistem Pertahanan Tubuh

Perhatikan gambar gangguan/penyakit sistem pertahanan tubuh dibawah ini!



Gambar 2. 14 Penyakit Autoimun

(Sumber: Bayasari, 2023)

F. Pencegahan dan Gangguan Sistem Pertahanan Tubuh

Penyakit yang disebabkan oleh patogen dapat dicegah melalui mekanisme kekebalan atau pertahanan tubuh yang ada dalam sistem imun. Vaksinasi atau imunisasi juga merupakan cara pencegahan penyakit.

1. Kekebalan Tubuh

Kekebalan tubuh terhadap penyakit atau patogen bisa diklasifikasikan menjadi kekebalan tubuh aktif dan pasif. Kekebalan tubuh aktif adalah hasil dari aktivasi limfosit oleh antigen yang terdapat pada permukaan sel patogen. Karena aktivasi ini berlangsung saat infeksi patogen secara alami, tipe kekebalan ini disebut kekebalan tubuh aktif alami. Kekebalan tubuh juga dapat dirangsang secara buatan dengan cara menyuntikkan antigen ke dalam tubuh. Kekebalan yang dihasilkan dari proses ini dikenal sebagai kekebalan tubuh aktif buatan, lebih populer sebagai vaksinasi (Aryulina, 2007).

Kekebalan tubuh pasif terjadi ketika seseorang memperoleh kebal sementara terhadap antigen karena mendapatkan antibodi dari orang lain. Kekebalan tubuh pasif alami terjadi ketika antibodi dari ibu diteruskan kepada bayinya melalui plasenta dan ASI. Kekebalan ini bersifat sementara untuk melindungi bayi sampai sistem imunnya berkembang dan mampu

memproduksi antibodi sendiri. Sebaliknya, kekebalan tubuh pasif buatan terjadi ketika antibodi yang diekstrak dari satu individu disuntikkan ke orang lain sebagai serum. Kekebalan ini bersifat sangat singkat, tetapi berguna untuk penyembuhan cepat, seperti pada individu yang digigit ular berbisa atau anjing gila. (Aryulina, 2007).

2. Vaksinasi

Vaksinasi adalah proses memasukkan vaksin ke dalam tubuh. Vaksin adalah sejenis antigen yang dapat diberikan dengan cara disuntikkan atau secara oral (melalui mulut), yang memacu tubuh untuk mengembangkan kekebalan aktif pada individu yang divaksin. Dengan cara ini, sejumlah kecil antigen diperkenalkan ke tubuh untuk memicu produksi antibodi, mirip seperti ketika ada infeksi alami. Kekebalan yang diperoleh dari vaksinasi ini bersifat tahan lama karena tubuh bisa membentuk sel-sel memori yang akan "mengingat" antigen yang masuk ke tubuh. Sebelum diberikan kepada individu, antigen dalam vaksin sudah dibuat tidak berbahaya. Vaksin bisa berasal dari beberapa sumber sebagai berikut.

- a. Mikroorganisme patogen yang sudah dimatikan, seperti bakteri yang menyebabkan batuk rejan. Mikroorganisme ini dibunuh melalui pemanasan atau dengan senyawa kimia yang mengubah enzim sel mikroorganisme. Patogen yang sudah mati tidak akan menimbulkan penyakit, namun masih memiliki antigen pada permukaan selnya untuk dikenali oleh limfosit T dan limfosit B, sehingga tubuh dapat membentuk antibodi.
- b. Strain hidup yang tidak berbahaya, seperti virus yang menyebabkan rubella. Vaksin yang dihasilkan ini sering disebut vaksin dilemahkan. Patogen dilemahkan supaya tidak menyebabkan infeksi parah. Contohnya termasuk vaksin BCG untuk mencegah tuberkulosis dan vaksin Sabin untuk mencegah poliomyelitis.
- c. Toksin yang telah dimodifikasi, seperti vaksin melawan difteri dan tetanus. Dalam kasus ini, toksin yang dihasilkan oleh bakteri diubah menjadi tidak berbahaya dan kemudian digunakan untuk merangsang produksi antibodi tanpa risiko infeksi.

- d. Antigen hasil isolasi, yang dipisahkan dari patogen, misalnya pada vaksin influenza. Antigen penting diambil dari mikroorganisme dengan memecah strukturnya dan mengambil glikoprotein. Vaksin influenza berisi campuran beberapa antigen dari berbagai strain virus influenza untuk mengatasi variasi yang ada. Variasi ini muncul karena mikroorganisme bermutasi dengan cepat.
- e. Antigen hasil rekayasa genetik, seperti untuk vaksin hepatitis B. Antigen ini diperoleh dengan mengekstraksi gen pengkode antigen tertentu dari patogen dan memasukkannya ke dalam plasmid mikroorganisme lain, seperti bakteri yang tidak berbahaya. Sel bakteri tersebut kemudian akan bereplikasi dan menghasilkan antigen dalam jumlah besar (Aryulina, 2007).

Perhatikan tabel gangguan sistem pertahanan tubuh dibawah ini!

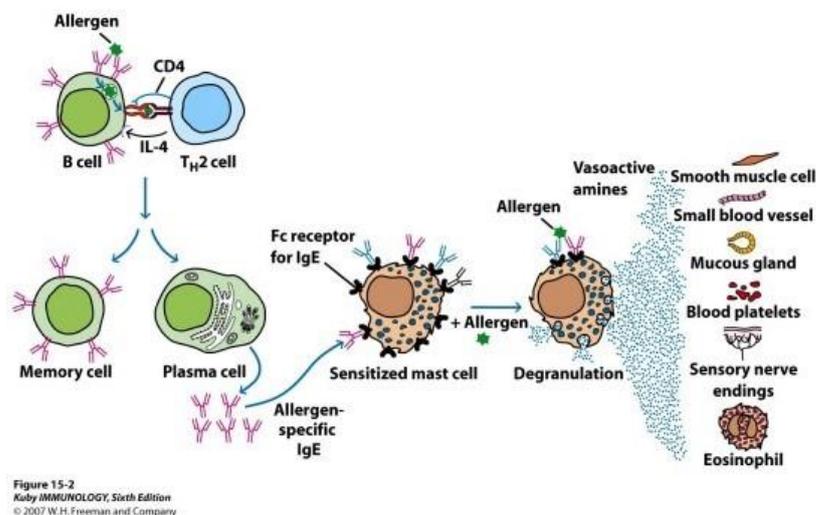
No	Gangguan Sitem Pertahanan Tubuh	Dampak Utama
1.	Hipersensitivitas (Alergi)	Reaksi berlebihan atau peningkatan sensitivitas sistem pertahanan tubuh terhadap anti gen, reaksi ini menyebabkan gatal-gatal, ruam, mata merah, sulit bernafas, kram berlebihan, serum sicnes dan steven Johnson synsrome (Alergi pada kelenjar kulit dan mukosa yang berbahaya dan dapat menimbulkan kematian). Gangguan ini disebabkan oleh virus <i>Epstein-Barr</i> .
2.	Autoimun	Dampak utamanya yaitu penyakit diabetes melitus, myasthenia gravis dan Addison's disease. Autoimun ini disebabkan karena menderita infeksi bakteri atau virus, misalnya infeksi virus <i>Epstein Barr</i> atau virus hepatitis.
3.	Imunodefisiensi	Menurunnya efektivitas sistem imunitas atau ketidakmampuan sistem imunitas untuk merespons antigen. Imunodefisiensi ini dapat disebabkan oleh infeksi virus HIV dan HTLV-1.
4.	HIV - AIDS	Penurunan fungsi sistem pertahanan tubuh yang disebabkan oleh virus Human Immunodeficiency Virus (HIV) yaitu virus yang menyerang pertahanan tubuh manusia.

Gambar 2. 15 Tabel Gangguan Sistem Pertahanan Tubuh

1) Hipersensitivitas

Hipersensitivitas adalah keadaan di mana sistem kekebalan bereaksi terlalu berlebihan terhadap paparan benda atau zat tertentu yang sebetulnya tidak berbahaya (alergen). Hipersensitivitas adalah respon imun yang tidak tepat, yang justru memicu sel imun untuk merusak, bukan melindungi sel dari penyakit. Berdasarkan cara respon dan mekanismenya, hipersensitivitas dibagi menjadi 4 tipe. Berikut penjelasannya:

a) Hipersensitivitas Tipe 1

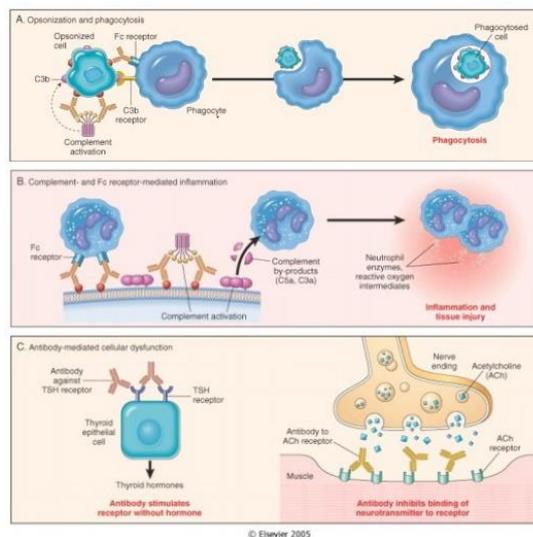


Gambar 2. 16 Hipersensitivitas Tipe 1

(Sumber: Tamam, 2017)

Hipersensitivitas tipe 1 juga dikenal sebagai alergi, atau dikenal sebagai reaksi hipersensitivitas tipe cepat. Dikatakan "cepat" karena tubuh merespons dalam waktu kurang dari satu jam setelah terkena alergen. Reaksi ini terjadi karena antibodi IgE yang melapisi sel mast dan basofil berinteraksi dengan antigen bebas. Akibat dari interaksi ini, terjadi degranulasi sel yang kemudian melepaskan histamin dan mediator inflamasi lain, seperti prostaglandin, leukotrien, triptase, serta platelet-activating factor, dan lainnya. Pelepasan histamin ini dapat menyebabkan otot berkontraksi, sehingga terjadi bronkospasme, kram, rhinitis, hingga hipovolemia dan hipoksia.

b) Hipersensitivitas Tipe 2



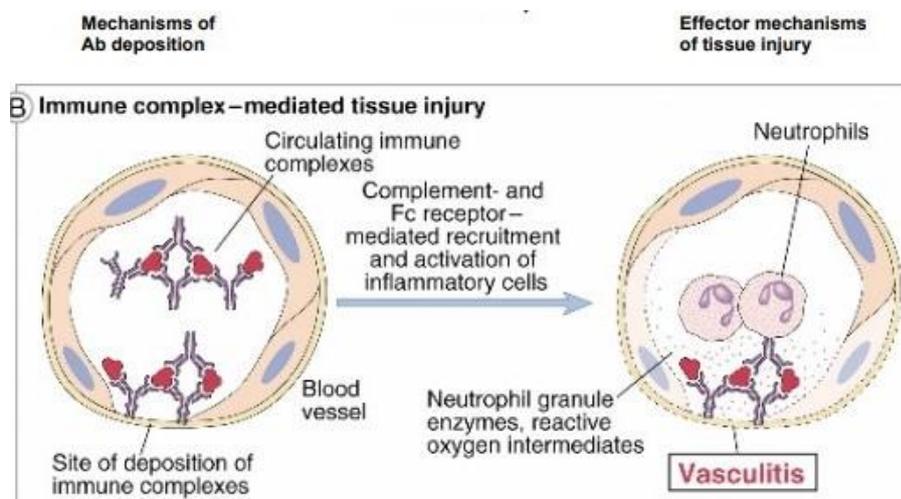
Gambar 2. 17 Hipersensitivitas Tipe 2

(Sumber: Tayuwijaya, 2020)

Hipersensitivitas tipe kedua dikenal juga sebagai reaksi hipersensitivitas sitotoksik, di mana sel-sel tubuh yang sehat secara keliru dihancurkan oleh sistem kekebalan tubuh sendiri. Kondisi ini terjadi karena IgM atau IgG berikatan dengan antigen pada sel sehat di jaringan tertentu. Setelah itu, sistem komplemen akan diaktifkan untuk memicu proses fagositosis dan lisis pada sel yang telah berikatan tersebut.

Sistem komplemen terdiri dari protein yang beredar dalam darah dalam bentuk prekursor yang tidak aktif. Ketika ada rangsangan, seperti ikatan IgM atau IgG dengan sel, sistem komplemen akan teraktivasi dan mendukung aktivasi antibodi tersebut. Bila antibodi dalam keadaan aktif, mereka akan mengganggu fungsi normal dari sel yang terikat (Aryulina, 2007).

c) Hipersensitivitas Tipe 3

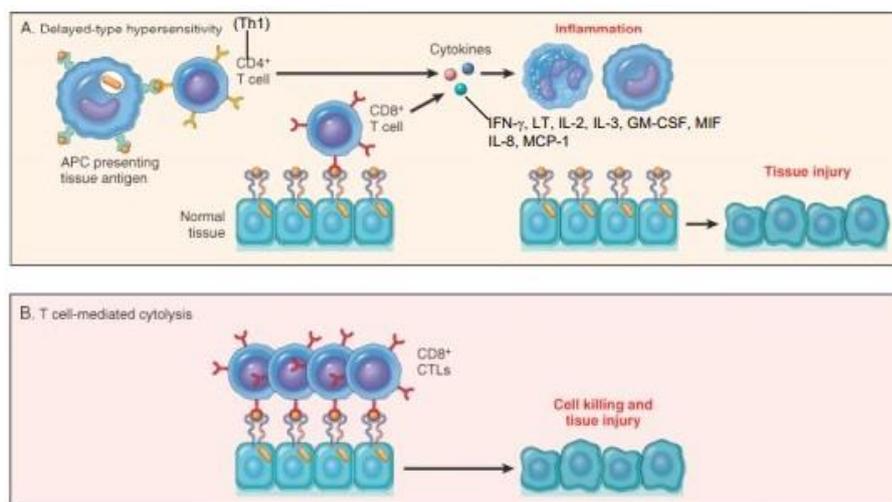


Gambar 2. 18 Hipersensitivitas Tipe 3

(Sumber: Tayuwijaya, 2020)

Jenis hipersensitivitas ini juga dikenal sebagai penyakit kompleks imun. Tipe 3 dari hipersensitivitas ini terjadi ketika antibodi IgG berikatan dengan antigen, membentuk kompleks imun yang akhirnya mengendap di jaringan tertentu. Kompleks imun ini umumnya menumpuk di jaringan seperti pembuluh darah, sehingga merangsang kaskade komplemen untuk melepaskan enzim lisosom dari netrofil. Enzim ini bertugas menghancurkan sel-sel yang terdapat dalam endapan kompleks imun tersebut. Dampaknya, dapat terjadi inflamasi yang mengarah pada vaskulitis, yaitu peradangan pada dinding pembuluh darah.

d) Hipersensitivitas Tipe 4



Gambar 2. 19 Hipersensitivitas Tipe 4

(Sumber: Tayuwijaya, 2020)

Hipersensitivitas tipe 4 dikenal sebagai reaksi hipersensitivitas tipe lambat karena reaksinya terjadi lebih lambat dibandingkan dengan tipe hipersensitivitas lainnya. Jenis hipersensitivitas ini dipicu oleh sensitisasi saat kontak pertama, di mana agen penyebab diidentifikasi oleh sel Langerhans, yang kemudian merangsang limfosit T agar menjadi sensitif terhadap agen tersebut. Ketika limfosit T terpapar kembali dengan agen ini, sel T segera merangsang sekresi limfokin dan sitokin, seperti IFN- γ dan TNF- α . Akibatnya, makrofag diaktifkan dan terjadi reaksi inflamasi pada jaringan (Aryulina, 2007).

2) AIDS – HIV

AIDS disebabkan oleh virus yang dikenal sebagai Human Immunodeficiency Virus atau HIV. Virus ini menargetkan sel-sel T pembantu dalam sistem kekebalan tubuh. HIV dapat tetap tidak aktif selama bertahun-tahun sebelum mulai memperbanyak diri dan menghancurkan sel inang. Dengan menyerang dan mengurangi jumlah sel T pembantu, HIV melemahkan kemampuan tubuh untuk melawan infeksi. Orang yang terinfeksi HIV dapat berisiko meninggal dunia jika terserang berbagai penyakit akibat sistem kekebalan tubuh yang lemah. AIDS

adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kumpulan berbagai penyakit yang muncul akibat kekuatan sistem imun yang menurun.

Gejala dan Penularan AIDS

Dari setiap 100 orang terinfeksi HIV, sebanyak 12 orang menunjukkan tanda-tanda atau gejala AIDS. Gejala awal yang sering muncul menyerupai penyakit flu, seperti pembengkakan kelenjar limfa dan demam. Setelah ini, ada periode tanpa gejala yang bisa berlangsung berbulan-bulan atau bahkan bertahun-tahun. Gejala lainnya yang dapat muncul termasuk kanker kulit atau pneumonia. Penularan HIV dapat terjadi melalui darah atau cairan semen. Virus ini masuk ke dalam tubuh melalui luka terbuka atau penggunaan jarum suntik yang terkontaminasi darah mengandung HIV (Aryulina, 2007). Berikut beberapa cara penularan HIV:

- a) Penggunaan jarum suntik yang dipakai bergantian di kalangan pecandu narkotika. Jarum ini dapat membawa darah yang terkontaminasi HIV, dan bila digunakan oleh orang lain, virus tersebut bisa memasuki aliran darah orang tersebut.
- b) Transfusi darah. Ketika darah yang tercemar HIV dipindahkan ke tubuh penerima, virus dapat menular.
- c) Hubungan seksual yang berganti-ganti pasangan atau antara pasangan homoseksual. Memiliki banyak pasangan seksual meningkatkan risiko terpapar HIV jika salah satunya terinfeksi. Pasangan homoseksual juga berisiko, terutama karena hubungan seksual melalui anus dapat menimbulkan luka, memungkinkan penularan HIV jika salah satu terinfeksi.
- d) Penularan HIV dari ibu hamil ke bayinya atau melalui pemberian ASI. Virus ini dapat ditransfer dari ibu ke janin melalui plasenta, atau melalui penyerapan ASI yang mengandung HIV ke tubuh bayi (Aryulina, 2007).

Penanggulangan dan Pencegahan HIV

Sampai saat ini, belum ada obat atau vaksin yang ditemukan untuk menyembuhkan HIV. Para peneliti berusaha mengembangkan obat-obatan yang dapat membuat HIV menjadi tidak aktif. Namun, kendala yang dihadapi adalah obat-obatan tersebut bisa merusak limfosit. Kerusakan atau penurunan jumlah

limfosit dapat menyebabkan penderita rentan terhadap infeksi penyakit lain. Salah satu obat yang sedang dikembangkan adalah zidovudine (AZT), yang berfungsi untuk menghentikan replikasi HIV dan menghambat aktivitasnya. Meski begitu, obat ini dapat menyebabkan efek samping seperti anemia. Upaya untuk menciptakan vaksin bagi HIV terus dilakukan, tetapi tantangannya adalah HIV mampu berubah protein yang menyusunnya, sehingga sulit untuk menciptakan vaksin yang benar-benar efektif (Aryulina, 2007). Ada beberapa cara untuk mencegah penularan HIV:

- e) Tidak menggunakan jarum suntik secara bergantian
- f) Tidak berganti-ganti pasangan dalam hubungan seksual
- g) Memastikan darah dari donor bebas dari kontaminasi HIV
- h) Mengadakan program pendidikan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang penularan HIV dan cara pencegahannya.

Simaklah video mengenai gangguan dan penyakit pada sistem pertahanan tubuh dengan mengklik link berikut ini:

Link: <https://youtu.be/ftNCj06d7KE?si=f086ItlOtREeAzPF>

Simaklah video mengenai gangguan dan penyakit pada sistem pertahanan tubuh dengan mengklik link berikut ini:

Link: <https://youtu.be/jkNxmTrrZSk?si=LOdiQv--GohaJVHQ>

3) Gangguan Sistem Pertahanan Tubuh Oleh Virus Corona

Virus corona (SARS-CoV-2) merupakan jenis virus yang mampu menimbulkan penyakit COVID-19. Virus ini mengincar sistem pernapasan dan dapat menimbulkan gangguan serius pada sistem kekebalan tubuh. Berikut adalah cara virus corona mempengaruhi sistem imun:

a) Menginfeksi Sel Tubuh

Virus corona menyerang sel-sel tubuh, terutama di saluran pernapasan, dengan menempel pada reseptor ACE2 di permukaan sel. Setelah masuk, virus akan menggandakan dirinya di dalam sel dan merusaknya.

b) Menekan Respons Sistem Imun

Virus corona dapat melemahkan fungsi sel imun seperti limfosit T dan B, sehingga tubuh kesulitan melawan infeksi dan infeksi berat dapat menyebabkan

badai sitokin, yaitu pelepasan zat kimia imun secara berlebihan, yang justru merusak jaringan tubuh.

c) Menurunkan Efisiensi Sel Pertahanan Tubuh

Limfosit T, yang bertugas mengenali dan menghancurkan sel yang terinfeksi, jumlahnya bisa menurun drastis pada pasien COVID-19. Sel imun lainnya, seperti makrofag, juga dapat kewalahan melawan peradangan yang disebabkan oleh virus.

d) Dampak Jangka Panjang

Infeksi COVID-19 dapat meninggalkan dampak seperti penurunan fungsi organ (paru-paru, jantung, ginjal) dan membuat sistem imun lebih lemah terhadap infeksi lainnya.

Setelah mempelajari gangguan dan penyakit pada sistem pertahanan tubuh, silakan jawab pertanyaan - pertanyaan berikut berbasis pemecahan masalah (*problem solving*) dengan cermat dan sesuai dengan analisis Anda.

Problem Solving: <https://forms.gle/aL5hBtbhsoLoYiLz6>

Silakan isi *posttest* ini dengan cermat dan sesuai dengan pemahaman Anda. Posttest ini bertujuan untuk mengukur pemahaman Anda tentang sistem pertahanan tubuh setelah mengikuti pembelajaran. Jawablah setiap pertanyaan dengan sebaik mungkin sebagai refleksi dari materi yang telah dipelajari. Semangat mengerjakan!

Problem Solving: <https://forms.gle/qyT6w26TqCSuyptt9>

B. Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Erina Krisnaningsih, Maharani Ayu Nurdiana Putri, Tsabitamia Irba, Nadi Suprpto, Utama Alan Deta, Eko Hariyono (2021)	<i>Bibliometric Analysis of Multi Representation Based on Problem-Solving Skills Using VOSviewer</i> (Analisis Bibliometrik Multi Representasi Berdasarkan Keterampilan Pemecahan Masalah Menggunakan VOSviewer)	Universitas Negeri Surabaya, Indonesia	Analisis bibliometrik menggunakan data dari database <i>Scopus</i> dan <i>VOSviewer</i>	Publikasi tentang keterampilan pemecahan masalah berbasis multi-representasi meningkat dari 2016 hingga 2020. Indonesia merupakan negara dominan dalam publikasi, sementara institusi di Jerman menerbitkan dokumen terbanyak. Penelitian menghasilkan empat kluster utama terkait multi-representasi, yaitu berkaitan dengan peserta didik, kelas, masalah, serta model dan proses
2	Ghaisha Hanna Nafisah, Milla Listiawati, Astri Yuliawati / 2023	Kemampuan Pemecahan Masalah peserta didik Menggunakan Model <i>Project Based Learning</i> pada Materi Sistem Imun	Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung	<i>One group pretest-posttest design</i>	Terdapat peningkatan keterampilan pemecahan masalah peserta didik dari nilai rata-rata <i>pretest</i> 40 menjadi <i>posttest</i> 89.5, dengan nilai N-gain 0.82 yang menunjukkan peningkatan kategori tinggi

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
3	Irvan Permana, Zulhijatiningsih, Surti Kurniasih (2021)	Efektivitas E-Modul Sistem Pencernaan Berdasarkan <i>Problem Solving</i> Terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah	SMPIT Kaifa, Bogor, Indonesia	Penelitian ini menggunakan model pengembangan ADDIE (<i>Analyze, Design,</i> <i>Develop,</i> <i>Implementation,</i> <i>Evaluation</i>) untuk mengembangkan e- modul interaktif yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah peserta didik kelas VIII SMPIT Kaifa Bogor	E-modul yang dikembangkan terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan pemecahan masalah peserta didik, dengan rata-rata <i>N-Gain</i> sebesar 0,57 yang dikategorikan sebagai sedang. Hasil <i>posttest</i> menunjukkan peningkatan signifikan dalam pemahaman peserta didik mengenai materi sistem pencernaan
4	Muhammad Ardiansyah, Khairuna, Lailatun Nur Kamalia Siregar (2022)	Pembelajaran Berbasis Masalah Diintegrasikan dengan Teknik Pemetaan Pikiran: Pengaruhnya terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah peserta didik pada Materi Sistem Imun	MAN 3 Medan	Kuasi eksperimen, <i>Post-</i> <i>test Control Group</i>	Terdapat pengaruh signifikan model pembelajaran berbasis masalah dengan teknik pemetaan pikiran terhadap kemampuan pemecahan masalah peserta didik pada materi sistem imun, dengan pengaruh sebesar 91,4%

No	Nama Peneliti / Tahun	Judul	Tempat Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
5	Sri Dyah Ayu Purwaningsih, Ibnul Mubarak (2021)	<p><i>Biological Science Curriculum Study 5E Model Based on Multiple Representations in Ecosystem Materials on Problem Solving and Metacognitive Abilities</i></p> <p>(Studi Kurikulum Ilmu Biologi Model 5E Berbasis Representasi Berganda pada Materi Ekosistem tentang Pemecahan Masalah dan Kemampuan Metakognitif)</p>	Universitas Negeri Semarang, Indonesia	Penelitian ini menggunakan desain <i>pre-experiment dengan model One-Shot Case Study</i> . Metode pengumpulan data meliputi tes, wawancara, dan kuesioner.	Kemampuan pemecahan masalah peserta didik berada di kategori "sedang" (rata-rata skor 58,8), sedangkan kemampuan metakognitif mereka termasuk "baik" (rata-rata skor 60,4). Terdapat hubungan signifikan antara kedua kemampuan tersebut, dengan kontribusi kemampuan pemecahan masalah terhadap kemampuan metakognitif sebesar 26%. Penerapan model pembelajaran BSCS 5E berbasis representasi ganda memberikan hasil yang sangat baik di kalangan peserta didik.

Penelitian terdahulu menunjukkan penerapan model pembelajaran berbasis representasi berganda, pemecahan masalah, dan teknologi pembelajaran dapat meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap materi tertentu, seperti sistem imun, sistem pencernaan, dan ekosistem. Beberapa penelitian, seperti yang dilakukan oleh Krisnaningsih *et al.* (2021), menunjukkan tren peningkatan publikasi terkait pemecahan masalah berbasis representasi berganda. Hal ini mendukung penggunaan metode serupa dalam penelitian yang berfokus pada peningkatan keterampilan pemecahan masalah peserta didik dalam materi sistem imun.

Penelitian Nafisah *et al.* (2023) dan Permana *et al.* (2021) menunjukkan bahwa model pembelajaran berbasis masalah dan teknologi, seperti *e-modul* dan pembelajaran berbasis proyek, dapat meningkatkan kemampuan pemecahan masalah peserta didik. Kedua penelitian ini relevan dengan penerapan *web-based* yang diusulkan dalam penelitian ini untuk meningkatkan kemampuan peserta didik dalam memecahkan masalah pada materi sistem imun.

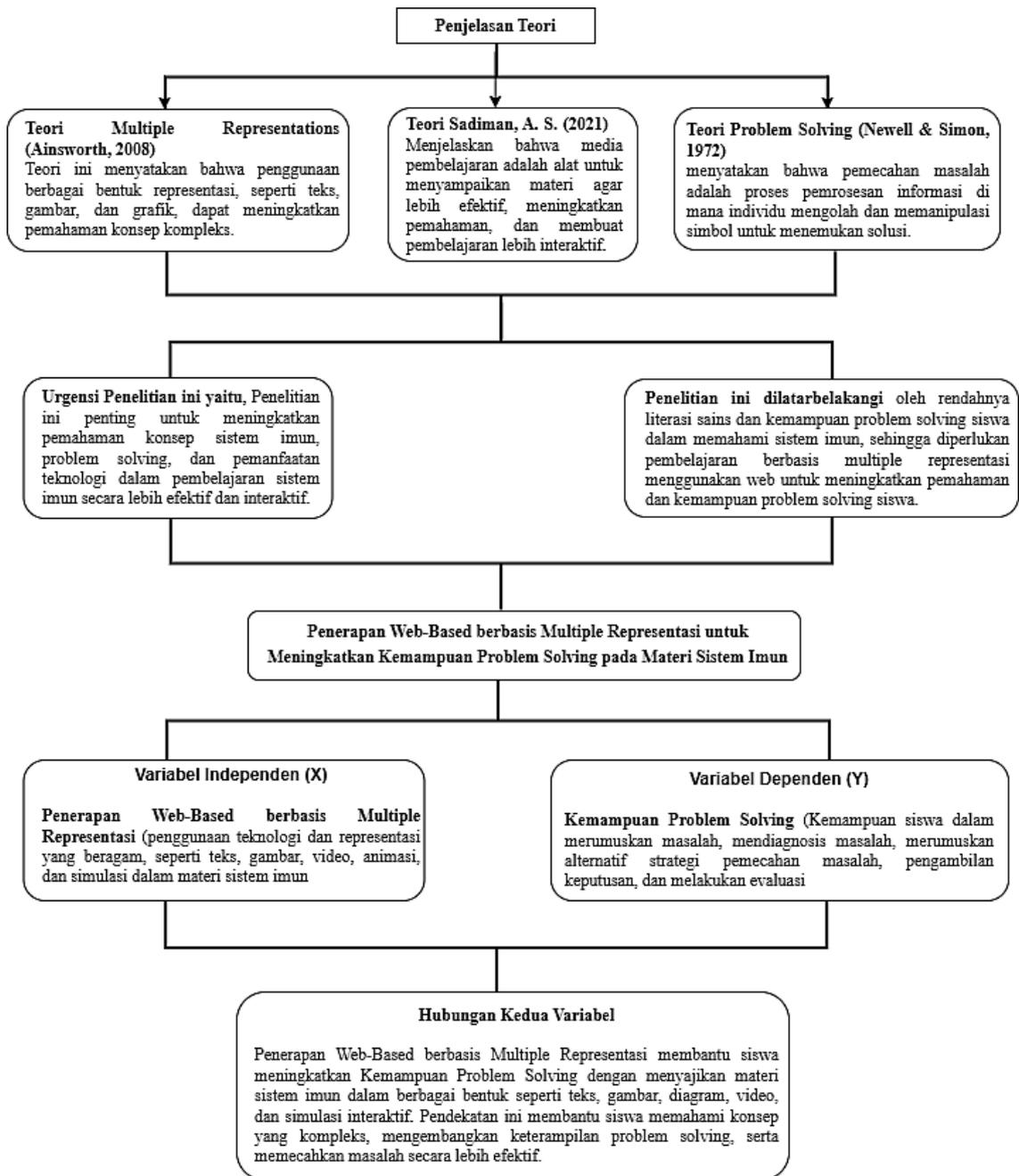
Selain itu, penelitian Purwaningsih & Mubarok, (2021) mengungkapkan bahwa penggunaan representasi berganda dalam pembelajaran dapat meningkatkan keterampilan pemecahan masalah peserta didik. Temuan ini semakin memperkuat pentingnya pendekatan berbasis representasi berganda dan *web* dalam mendukung pengembangan keterampilan *problem solving* peserta didik pada materi sistem imun.

C. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini berangkat dari permasalahan rendahnya literasi sains dan kemampuan *problem solving* peserta didik dalam memahami konsep sistem imun. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan metode pembelajaran yang lebih interaktif dan efektif, salah satunya dengan menerapkan *Web-Based* berbasis *Multiple Representasi*. Penggunaan multiple representasi sangat penting dalam membantu peserta didik memahami konsep-konsep abstrak. Pendekatan ini merujuk pada Teori multiple representasi Ainsworth, yang menyatakan bahwa berbagai bentuk representasi seperti teks, gambar, grafik, video, dan simulasi dapat meningkatkan pemahaman terhadap konsep-konsep kompleks. Hal ini sejalan dengan Ainsworth (2006, dikutip dalam

Marpaung & Setiawan, 2016), yang menekankan efektivitas multiple representasi dalam pembelajaran konsep-konsep ilmiah abstrak. Selain itu, teori (Sadiman, 2021) menegaskan bahwa media pembelajaran dapat meningkatkan efektivitas penyampaian materi, membantu peserta didik memahami konsep dengan lebih baik, serta menjadikan pembelajaran lebih interaktif. Sementara itu, teori *Problem Solving* (Newell A & Simon H A, 1972) menyebutkan bahwa *problem solving* merupakan proses kognitif yang melibatkan pemrosesan informasi untuk menemukan solusi, di mana individu mengolah dan memanipulasi simbol untuk menyelesaikan masalah.

Berdasarkan teori-teori tersebut, penelitian ini berasumsi bahwa Penerapan *Web-Based* berbasis *Multiple Representasi* (Variabel X) dapat meningkatkan Kemampuan *Problem Solving* peserta didik (Variabel Y). Penyajian materi sistem imun dalam berbagai bentuk representasi memungkinkan peserta didik memahami konsep yang kompleks secara lebih jelas, mengembangkan keterampilan berpikir kritis, serta melatih kemampuan mereka dalam memecahkan masalah. Dengan menggunakan kombinasi teks, gambar, video, animasi, dan simulasi interaktif, peserta didik dapat lebih mudah mengidentifikasi masalah, menganalisis informasi, merumuskan alternatif penyelesaian, mengambil keputusan, serta mengevaluasi solusi yang telah diterapkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa penggunaan *Web-Based* berbasis *Multiple Representasi* dapat menjadi strategi pembelajaran yang efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep sistem imun serta keterampilan *problem solving* peserta didik.



Bagan 2. 1 Hubungan Kedua Variabel dalam Penerapan *Web-Based* Berbasis *Multiple Representasi* untuk Meningkatkan Kemampuan *Problem Solving* pada Materi Sistem Imun

D. Asumsi dan Hipotesis

1. Asumsi

Asumsi dalam penelitian ini adalah bahwa penerapan media pembelajaran berbasis *web* dengan *multiple* representasi dapat meningkatkan kemampuan

problem solving peserta didik dengan memberikan pengalaman belajar yang lebih fleksibel, interaktif, dan adaptif. Melalui integrasi representasi makroskopik, mikroskopik, dan simbolik, pembelajaran berbasis *web* membantu peserta didik memahami konsep abstrak dengan lebih efektif, sehingga memperkuat pemahaman mereka. Selain itu, adanya umpan balik yang cepat dalam sistem pembelajaran ini turut mendukung peningkatan pemahaman dan efektivitas proses belajar peserta didik (Haris *et al.*, 2021).

2. Hipotesis

- a. Hipotesis Alternatif (H_1): Penerapan pembelajaran *web-based* berbasis *multiple* representasi secara signifikan meningkatkan kemampuan *problem solving* peserta didik pada materi sistem imun.
- b. Hipotesis Nol (H_0): Penerapan pembelajaran *web-based* berbasis *multiple* representasi tidak meningkatkan kemampuan *problem solving* peserta didik pada materi sistem imun secara signifikan.