

Pembelajaran 5: Respon Fisiologi Makhluk Hidup

Sumber: Modul PPG (Pendidikan Profesi Guru)

Modul 3, Kegiatan Belajar 4. Respon Fisiologi Makhluk Hidup

Penulis: Dr Martina Restuati, M. Si, dkk

A. Kompetensi

Setelah mempelajari materi ini diharapkan peserta menguasai kompetensi sebagai berikut :

1. Memahami jenis-jenis gerak pada tumbuhan.
2. Memahami respon fisiologi pada hewan.
3. Memahami system imun.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Setelah melaksanakan pembelajaran, guru dapat menunjukkan beberapa indikator tentang Respon Fisiologi Makhluk Hidup berikut ini.

1. Menjelaskan jenis-jenis gerak pada tumbuhan.
2. Menjelaskan respon fisiologi pada hewan.
3. Menjelaskan sistem imun.

C. Uraian Materi

1. Jenis-jenis Gerak pada Tumbuhan

Beberapa gerak yang dilakukan oleh tumbuhan, dihasilkan sebagai respon tumbuhan terhadap sejumlah rangsangan dari dalam atau dari lingkungannya. Gerak pada tumbuhan paling banyak berorientasi pada cahaya dan gravitasi. Berdasarkan atas penyebab timbulnya gerak, dapat dibedakan antara gerak tumbuh dan gerak turgor. Gerak tumbuh adalah gerak yang ditimbulkan oleh adanya pertumbuhan, sehingga menimbulkan perubahan elastis atau *irreversible*. Gerak turgor adalah gerak yang timbul karena terjadi perubahan turgor pada sel-sel tertentu, dan sifatnya elastis atau *reversible*.

Berdasarkan asal rangsangannya, gerak pada tumbuhan dibedakan menjadi tiga,

yaitu: *gerak Higroskopis*, *gerak etionom*, dan *gerak endonom* (autonom). Gerak Higroskopis disebabkan oleh perbedaan kadar air. Gerak etionom merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari luar. Sedangkan gerak endonom (autonom) merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari dalam atau dari tumbuhan itu sendiri.

a. Gerak Higroskopis

Gerakan ini disebabkan oleh perbedaan kadar air. Sel-sel tumbuhan mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menerima dan melepaskan airnya. Jika lingkungan dalam keadaan kering, sel-sel yang lebih cepat melepaskan air akan berkerut, sementara sel-sel yang lainnya relatif tetap. Akibatnya, akan terjadi tarik menarik antara bagian yang kekurangan air dan bagian yang normal. Kekuatan tarik menarik ini akan menentukan arah gerak tumbuhan. Contohnya pada peristiwa pecahnya annulus pada sporangium paku. Annulus merupakan kumpulan sel berdinding tebal disekitar sporangium paku yang berfungsi untuk melepaskan spora. Gerak higroskopis juga ditunjukkan oleh pecahnya kulit buah polong-polongan (Gambar 69).



Gambar 69. Gerak higroskopis pada lamtoro

b. Gerak Etionom

Berdasarkan hubungan antara arah respon gerakan dengan asal rangsangan, gerak etionom dapat dibedakan menjadi: *gerak tropisme*, *gerak nasti*, dan *gerak taksis*.

c. Gerak Tropisme

Tropisme adalah gerak bagian tumbuhan yang arah geraknya dipengaruhi oleh

arah datangnya rangsangan. Bagian yang bergerak itu misalnya cabang, daun, kuncup bunga atau sulur. Gerak tropisme dapat dibedakan menjadi tropisme positif apabila gerak itu menuju sumber rangsangan dan tropisme negatif apabila gerak itu menjauhi sumber rangsangan. Ditinjau dari macam sumber rangsangannya, tropisme dapat dibedakan lagi menjadi fototropisme, geotropisme, hidrotropisme, kemotropisme, tigmotropisme dan gravitropisme.

1. Fototropisme

Fototropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena rangsangan cahaya (Gambar 70). Gerak bagian tumbuhan yang menuju ke arah cahaya disebut fototropisme positif. Misalnya gerak ujung batang tumbuhan membelok ke arah datangnya cahaya.

Telaah mengenai mekanisme fototropisme dimulai oleh percobaan yang dilakukan oleh Charles Darwin dan putranya Francis. Percobaan dilakukan dengan menghilangkan ujung pucuk batang, dan didapatkan hasil bahwa fototropisme tidak terjadi disebabkan hilangnya pucuk tersebut. Begitu pula ketika ujung pucuk di lapisi bahan yang tidak dapat ditembus cahaya. Namun, fototropisme tetap terjadi. Ketika seluruh bagian tumbuhan dikuburkan ke dalam pasir hitam halus dan hanya ujung pucuk yang berada di luar, yang menyebabkan membeloknya batang. Dari percobaan ini dijelaskan bahwa, rangsangan (cahaya) terdeteksi pada suatu tempat (ujung pucuk) dan responnya (pelengkungan) dilaksanakan di tempat lain daerah perpanjangan).



Gambar 70. Gerak fototropisme tumbuhan

Mekanisme fototropisme dijelaskan dari percobaan yang dilakukan oleh Boysen dan Jensen dan disempumakan dengan penemuan tentang auksin oleh RW. Went. Auksin memiliki peran penting dalam pembelokan batang ke arah cahaya. Auksin merupakan zat pengatur tumbuh kimiawi yang berperan dalam penambahan sel dan pertumbuhan. Auksin berada pada ujung pucuk, sehingga ketika cahaya berada di atas tumbuhan, akan terjadi distribusi auksin dari pucuk ke daerah pemanjangan secara vertikal. Namun ketika cahaya diberikan dari salah satu sisi batang, menyebabkan distribusi auksin secara lateral (asimetrik) dari sisi yang mendapatkan cahaya ke sisi yang gelap. Bagian tumbuhan yang tidak disinari mendapatkan konsentrasi auksin yang lebih tinggi. Hal ini menyebabkan sisi batang yang pada daerah gelap akan mengalami pertumbuhan sel lebih cepat, sehingga batang seperti berbelok ke arah datangnya cahaya. Bagian tumbuhan yang tidak disinari mendapatkan konsentrasi auksin yang lebih tinggi.

Diperkirakan distribusi auksin yang asimetrik, disebabkan oleh gabungan tiga mekanisme yang berbeda, yaitu:

- Terjadinya perusakan auksin oleh cahaya (*photodestruction*) pada bagian koleoptil yang terkena cahaya.
- Meningkatnya sintesis auksin pada bagian koleoptil yang gelap
- Adanya angkutan auksin secara lateral dari bagian yang terkena cahaya menuju ke bagian yang gelap.

2. Gravitropisme/Geotropisme

Geotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena pengaruh gravitasi bumi. Jika arah geraknya menuju rangsang disebut geotropisme positif, misalnya gerakan akar menuju tanah. Jika arah geraknya menjauhi rangsang disebut geotropisme negatif, misalnya gerak tumbuh batang menjauhi tanah.

Akar selalu tumbuh ke arah bawah akibat rangsangan gaya tarik bumi (gaya gravitasi). Karena gerak akar diakibatkan oleh rangsangan gaya tarik bumi (gravitasi) dan arah gerak menuju arah datangnya rangsangan, maka gerak tumbuh akar disebut geotropisme positif. Sebaliknya gerak organ tumbuhan lain yang menjauhi pusat bumi disebut geotropisme negatif. Contoh lain dari geotropisme adalah gerak tumbuh pada bunga kacang. Pada waktu bunga

mekar gerakanya menjauhi pusat bumi, maka termasuk geotropisme negatif. Tetapi setelah terjadi pembuahan, gerak bunga kemudian ke bawah menuju tanah ke pusat bumi dan berkembang terus menjadi buah kacang tanah. Dengan demikian, terjadi perubahan gerak tumbuh pada bunga kacang tanah. Sebelum pembuahan adalah geotropisme negatif dan setelah pembuahan adalah geotropisme positif. Pertumbuhan bunga ini dipengaruhi oleh peranan hormon pertumbuhan.

Apabila suatu tumbuhan (*caleoptile*) diletakan secara horizontal, maka akumulasi auksin akan berada di bagian bawah. Hal ini menunjukkan adanya transportasi auksin ke arah bawah sebagai akibat dari pengaruh geotropisme. Untuk membuktikan pengaruh geotropisme terhadap akumulasi auksin, telah dibuktikan oleh Dolk pada tahun, 1936 (dalam Wareing dan Phillips 1970). Dari hasil eksperimennya diperoleh petunjuk bahwa auksin yang terkumpul di bagian bawah memperlihatkan lebih banyak dibanding dengan bagian atas. Sel-sel tumbuhan terdiri dari berbagai komponen bahan cair dan bahan padat. Dengan adanya gravitasi maka letak bahan yang bersifat cair akan berada di atas. Sedangkan bahan yang bersifat padat berada di bagian bawah. Bahan-bahan yang dipengaruhi gravitasi dinamakan statolith (misalnya pati) dan sel yang terpengaruh oleh gravitasi dinamakan statocyste (termasuk statolith).

Pengaruh gravitasi diterima oleh tudung akar maupun pucuk batang. Namun penerimaan rangsangan gravitasi oleh ujung akar dan ujung batang tidak sama. Suatu rangsangan gravitasi diterima oleh sel yang mengandung statolit disebut statosit. Statolit adalah badan-badan kecil dengan berat jenis tinggi, yang mengendap ke dasar sel. Badan-badan yang mengendap pada sitoplasma meliputi inti sel, diktiosom, mitokondria dan butir-butir pati (amiloplas). Di antara badan-badan sel menunjukkan bahwa amiloplas merupakan statolit di dalam sel yang menerima rangsangan gravitasi.

Pada Percobaan R Went dan N. Cholodny menjelaskan adanya pembelokan pucuk ke arah atas di sebabkan distribusi auksin yang asimetris (tidak merata) pada tanaman dalam posisi horizontal. Pengaruh gravitasi menyebabkan konsentrasi auksin bagian bawah menjadi bertambah. Peningkatan kadar auksin akan merangsang pertumbuhan lebih cepat, sehingga pucuk akan membelok ke atas. Begitupun pada akar yang memiliki asam absisat (ABA) pada tudung

akar. Akibat pengaruh gravitasi menyebabkan akumulasi ABA lebih banyak pada bagian bawah, sehingga meningkatkan penghambatan pertumbuhan. Akibatnya bagian sebelah atas yang ABA lebih sedikit, akan tumbuh lebih cepat dan akar akan membelok ke bawah.

3. Hidrotropisme

Hidrotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena rangsangan air. Jika gerakan itu mendekati air maka disebut hidrotropisme positif. Misalnya, akar tumbuhan tumbuh bergerak menuju tempat yang banyak airnya di tanah. Jika tumbuhan tumbuh menjauhi air disebut hidrotropisme negatif. Misal gerak pucuk batang tumbuhan yang tumbuh ke atas air. Respon tumbuhan ditentukan oleh stimulus gradient atau konsentrasi air (kelembaban). Kelembaban menyebabkan membeloknya akar ke daerah yang mengandung air dengan konsentrasi yang lebih besar.

4. Kemotropisme

Kemotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena rangsangan zat kimia. Jika gerakannya mendekati zat kimia tertentu disebut kemotropisme positif. Misalnya gerak akar menuju zat di dalam tanah. Jika gerakannya menjauhi zat kimia tertentu disebut kemotropisme negatif. Contohnya gerak akar menjauhi racun.

5. Tigmotropisme

Tigmotropisme adalah gerak bagian tumbuhan karena adanya rangsangan sentuhan satu sisi atau persinggungan. Contoh: gerak membelit ujung batang atau sulur dari cucurbitaceae dan passiflora. Contoh tanaman yang bersulur adalah ercis, anggur, markisa, semangka dan mentimun.

Sulur akan terus tumbuh memanjang mencari struktur pendukung untuk mengokohkan tegaknya tanaman tersebut. Sulur sangat sensitif terhadap sentuhan. Terjadinya kontak antara sulur dengan suatu benda akan merangsang sulur tersebut tumbuh membengkok ke arah benda yang tersentuh tadi, disebabkan terjadi perbedaan kecepatan pertumbuhan karena di duga sel-sel yang terkena kontak sentuhan akan memproduksi ABA yang menghambat pertumbuhan sedangkan sisi yang berlawanan menghasilkan auksin sehingga pertumbuhannya menjadi lebih cepat. Akibatnya sulur membelok dan melilit sumber sentuhan. Respon sulur sebagian melibatkan perubahan turgor. Diduga telah terjadi perubahan kandungan ATP dan fosfat anorganik yang cepat akibat rangsangan sentuhan pada sulur.

d. Gerak Nasti

Gerak nasti adalah gerak tumbuhan yang arahnya tidak dipengaruhi oleh arah datangnya rangsangan, tetapi ditentukan oleh tumbuhan itu sendiri, misalnya karena perubahan tekanan turgor.

1) Fotonasti

Fotonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh rangsangan cahaya. Misalnya, gerakan mekarnya bunga pukul empat (*Mirabilis jalapa*) di sore hari (Gambar 71).



Gambar 71. Bunga *Mirabilis jalapa*

2) Niktinasti

Niktinasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh suasana gelap, sehingga disebut juga gerak tidur. Misalnya, pada malam hari daun-daun tumbuhan polong-polongan akan menutup dan akan membuka keesokan harinya ketika matahari terbit (Gambar 72).

A.W.Galston dan kawan-kawan mendeteksi adanya perpindahan ion kalium dari bagian atas ke bagian bawah pulvinus dan sebaliknya. Perpindahan ion kalium telah menyebabkan perubahan potensial osmotik yang besar pada sel-sel motor yang mengakibatkan daun bergerak ke atas atau ke bawah. Diduga auksin terlibat dalam kegiatan ini. IAA yang diproduksi pada siang hari terutama diangkut ke bagian bawah petiol. Ion kalium akan bergerak ke arah di mana memiliki kandungan IAA lebih tinggi, air masuk ke bagian bawah pulvinus dan daun bangun. Angkutan auksin berkurang pada malam hari, terjadi reaksi

sebaliknya. Auksin yang diberikan ke bagian atas atau bagian bawah pulvinus akan menyebabkan tidur dan bangunnya daun secara berturut-turut. Sejumlah sel di pulvinus yang menggebu saat membuka disebut ekstensor, sedangkan sel yang mengerut dinamakan fleksor. Gerak ini terjadi pada tumbuhan polong-polongan.



Gambar 72. Niktinasti pada daun Turi (*Sesbania grandiflora*)

3) Tigmonasti atau Seismonasti

Tigmonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh rangsang sentuhan atau getaran. Contoh gerak menutupnya daun putri malu (*Mimosa pudica*) jika disentuh (Gambar 95). Jika hanya satu anak daun dirangsang dengan sentuhan, rangsangan itu diteruskan ke seluruh tubuh tumbuhan sehingga anak daun lain ikut mengatup. Tumbuhan ini memberikan respon sangat cepat yaitu sekitar 0,1 detik setelah rangsangan diberikan, dan penyebaran reaksi terhadap rangsangan ini ke bagian atas dan bawah tumbuhan berjalan antara 40-50 cm/detik. Jika ujung daun putri malu disentuh maka akan terjadi aliran air yang menjauhi daerah sentuhan. Adanya aliran air ini menyebabkan kadar air di daerah sentuhan berkurang, sehingga tekanan turgomya mengecil. Akibatnya daun putri malu akan menutup dan tampak seperti layu. Lamanya waktu menutup tergantung pada suhu dan keras halusnya getaran.

Jika hanya satu anak daun dirangsang, rangsangan itu diteruskan ke seluruh tumbuhan, sehingga anak daun lain ikut mengatup. Kegunaan respon ini diduga bahwa pelipatan anak daun akan mengagetkan dan mengusir serangga sebelum mereka sempat memakan daunnya. Pelipatan terjadi karena air diangkut keluar

dari sel motor pada pulvinus, kejadian yang berhubungan dengan keluarnya K^+ . Penyebaran isyarat Mimosa telah bertahun-tahun diteliti, terbukti ada dua macam mekanisme, elektrik dan kimiawi. Potensial kerja disebabkan oleh aliran sejumlah ion tertentu melintasi sel parenkim (yang dihubungkan oleh plasmodesmata) xylem dan floem, dengan kecepatan sampai sekitar 2 cm s^{-1} . Potensial kerja tidak akan melewati pulvinus dari satu anak daun ke anak daun lainnya, kecuali bila respon kimiawi juga terlibat sehingga hanya beberapa anak daun saja yang terlipat. Hal ini disebabkan oleh suatu bahan yang bergerak melalui pembuluh xylem bersamaan dengan aliran transpirasi. Bahan aktif ini dikenal sebagai turgorin.

4) Termonasti

Termonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh rangsangan suhu, seperti mekarnya bunga tulip. Bunga-bunga tersebut mekar jika mengalami kenaikan suhu dan akan menutup kembali jika suhu turun.



Gambar 73. Tigmonasti pada *Mimosa pudica* (kiri), termonasti pada bunga tulip (kanan)

5) Haptonasti

Haptonasti merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh sentuhan serangga. Contohnya pada tumbuhan *Dionaea* (sejenis tumbuhan perangkap lalat). Bila ada lalat yang menyentuh bagian dalam daun, daun akan segera menutup sehingga lalat akan terperangkap di antara kedua belahan daun. Cara kerja perangkap ini karena adanya "*nerve-like signal*" atau rambut epidermis-sensori

yang dapat menimbulkan potensial kerja pada perangkap. Potensial kerja bergerak dari rambut itu ke jaringan daun bercuping rangkap dan mengakibatkan cuping tersebut mengatup dengan cepat dalam waktu kira-kira setengah detik. Tumbuhan tersebut memerangkap serangga, yang kemudian dicerna oleh enzim yang dikeluarkan daun untuk menghasilkan nitrogen dan fosfat bagi tumbuhan.

6) Nasti Kompleks

Merupakan gerak nasti yang disebabkan oleh beberapa faktor sekaligus, seperti karbon dioksida, pH, suhu dan kadar kalsium. Contohnya: gerak membuka dan menutupnya stomata pada daun.

e. Gerak Taksis

Taksis adalah gerak seluruh tubuh atau bagian dari tubuh tumbuhan yang berpindah tempat dan arah perpindahannya dipengaruhi rangsangan. Gerakan yang arahnya mendekati sumber rangsangan disebut taksis positif dan yang menjauhi sumber rangsangan disebut taksis negatif. Umumnya terjadi pada tumbuhan tingkat rendah.

(a) Kemotaksis

Kemotaksis merupakan gerak taksis yang disebabkan oleh rangsangan zat kimia. Contohnya : gerak gamet jantan berflagela (spermatozoid) yang dihasilkan oleh anteridium lumut ke arah gamet betina (sel telur) di dalam arkegonium. Spermatozoid bergerak karena tertarik oleh sukrosa atau asam malat. Pergerakan ini terjadi karena adanya zat kimia pada sel gamet betina.

(b) Fototaksis

Fototaksis merupakan gerak taksis yang disebabkan oleh rangsangan berupa cahaya. Contohnya pada ganggang hijau yang langsung menuju cahaya yang intensitasnya sedang. Tetapi bila intensitas cahaya meningkat, maka akan tercapai batas tertentu dan ganggang hijau tiba-tiba akan berbalik arah dan berenang menjauhi cahaya. Sehingga terjadi perubahan yang semula gerak fototaksis positif menjadi fototaksis negatif.

f. Gerak Endonom (autonom)

Gerak endonom adalah gerak yang belum/tidak diketahui sebabnya. Oleh karena itu diduga disebabkan oleh rangsangan yang berasal dari dalam tubuh tumbuhan itu sendiri. Dengan kata lain, gerak autonom adalah gerak yang tidak disebabkan oleh rangsangan dari luar. Misalnya pada aliran plasma sel.

2. Respon Fisiologi pada Hewan

Perilaku adalah tindakan atau aksi yang mengubah hubungan antara organisme dan lingkungannya. Perilaku dapat terjadi akibat stimulus dari luar. Reseptor diperlukan untuk mendekati stimulus, saraf diperlukan untuk mengkoordinasikan respon dan efektor untuk melaksanakan aksi. Perilaku dapat juga terjadi karena adanya stimulus dari dalam, misalnya rasa lapar, memberikan motivasi akan aksi yang akan diambil bila makanan benar-benar terlihat atau tercium.

Umumnya perilaku suatu organisme merupakan gabungan stimulus dari dalam dan luar.

1. Perilaku Sederhana dan Kompleks

Perilaku sederhana memiliki sifat yang sama dengan perilaku bawaan merupakan perilaku yang dihasilkan oleh gen dan faktor-faktor lingkungan. Perilaku memperlihatkan suatu kisaran variasi fenotip (norma reaksi) yang bergantung pada lingkungan, dimana genotype itu diekspresikan. Faktor-faktor lingkungan yang memengaruhi perilaku adalah semua kondisi dimana gen yang mendasari perilaku itu diekspresikan. Hal ini meliputi lingkungan kimiawi di dalam sel dan juga semua kondisi hormonal, kondisi kimiawi dan fisik yang dialami oleh seekor hewan yang sedang berkembang di dalam sebuah sel telur atau di dalam rahim. Perilaku kompleks merupakan perilaku yang dilakukan karena adanya keinginan individu untuk melindungi diri dari lingkungan hidup yang tidak sesuai.

2. Perilaku Yang Dipelajari, *Habitus*, *Imprinting*, *Learning*, dan *Spiritual Learning* Perilaku Belajar (*Learning Behavior*).

Merupakan perilaku hasil belajar berdasarkan pengalaman yang didapat selama hidupnya. Ciri-cirinya: Adaptif terhadap lingkungan diperoleh dari pengalaman

diturunkan dalam skala waktu evolusi. Contoh :

- a. *Imprinting* (perekaman): merupakan pola perilaku belajar sederhana, terutama pada aves & mammalia berupa pembelajaran yang didapatkan hewan setelah dilahirkan atau menetas dalam masa kritis. contoh: perilaku anak itik yang abru menetas yang mengikuti objek yang dijumpainya selama masa kritis, \pm 36 jam.
- b. *Habituation* (pembiasaan): merupakan respon membiasakan perilaku yang dihasilkan dari pengalaman awal, contoh: anak burung membiasakan otot-ototnya agar bisa terbang.
- c. *Cassical conditioning*: merupakan mengkondisikan respon otomatis dan menciptakan asosiasi antara pengalaman yang telah dimiliki dengan pengalaman baru, contoh: beruang menunggu ikan salmon).
- d. *Instrumental conditioning*: merupakan penggunaan alat dalam merespon stimulus, melibatkan motivasi intrinsik. Contoh: kera pemakan serangga menggunakan ranting untuk menangkap semut.
- e. *Trial and Error*: merupakan memilih stimulus yang sesuai kebutuhan, hewan mampu mengenali karakteristik stimulus dan lingkungan. Contoh: pemilihan labirin yang berisi makanan oleh tikus.
- f. *Reasoning*: merupakan perilaku dengan penalaran terlebih dahulu, contoh: pada manusia.

3. Perilaku Bawaan, Taksis, Refleks, dan Insting.

Bentuk perilaku dapat dibedakan menjadi:

(a) Perilaku bawaan

Perilaku bawaan merupakan perilaku yang dihasilkan oleh gen dan faktor-faktor lingkungan. Perilaku memperlihatkan suatu kisaran variasi fenotip (norma reaksi) yang bergantung pada lingkungan, dimana genotype itu diekspresikan. Factor-faktor lingkungan yang mempengaruhi perilaku adalah semua kondisi dimana gen yang mendasari perilaku itu diekspresikan. Hal ini meliputi lingkungan kimiawi di dalam sel dan juga semua kondisi hormonal, kondisi kimiawi dan fisik yang dialami oleh seekor hewan yang sedang berkembang di dalam sebuah sel telur atau di dalam rahim.

(b) Taksis

Taksis merupakan reaksi terhadap stimulus dengan bergerak secara otomatis langsung mendekati atau menjauh dari atau pada suatu tertentu terhadapnya.

(c) Refleks

Refleks merupakan respon bawaan paling sederhana yang dijumpai pada hewan yang mempunyai system saraf. Refleks adalah respon otomatis dari sebagian tubuh terhadap suatu stimulus. Respon terbawa sejak lahir artinya sifatnya ditentukan oleh pola reseptor saraf dan efektor yang diwariskan. Refleks rentan akan pemberian mekanisme pengendalian yang teratur dengan baik yang mengarahkan kontraksi refleks otot, menghambat kontraksi otot-otot antagonis dan terus-menerus memonitor keberhasilan yang dengannya perintah-perintah dari otak diteruskan, dan dengan cepat serta otomatis membuat setiap penyesuaian sebagai pengganti yang perlu.

(d) Naluri (Insting)

Naluri merupakan pola perilaku kompleks yang sebagaimana refleks, merupakan bawaan, bersifat agak tidak fleksibel dan mempunyai nilai bagi hewan untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Naluri lebih rumit dibandingkan dengan refleks dan dapat melibatkan serangkaian aksi. Pelepasan Perilaku naluriah. Sekali tubuh siap di bagian dalam untuk tipe perilaku naluriah tertentu, maka diperlukan stimulus luar untuk mengawali respon. Isyarat yang memicu aksi naluriah disebut pelepasan. Begitu respon tertentu dilepaskan, biasanya langsung selesai walaupun stimulus efektif segera diadakan.

4. Perilaku terajar

Perilaku terajar adalah perilaku yang lebih kurang diperoleh atau dimodifikasikan permanen sebagai akibat dari pengalaman individu.

(a) Kebiasaan, merupakan perilaku hampir semua hewan mampu belajar untuk tidak bereaksi terhadap stimulus berulang yang telah dibuktikan tidak merugikan. Fenomena ini dikenal sebagai kebiasaan/habitulasi dan merupakan suatu contoh belajar sejati.

- (b) Keterpatria/tanggap tiru imprinting, merupakan pembelajaran yang terbatas pada suatu waktu tertentu dalam kehidupan seekor hewan dan pada umumnya tidak balik/*irreversible*. Ikatan antara induk dan anak pada spesies yang merawat anak merupakan suatu bagian kritis dalam siklus reproduksi. Jika itu gagal, induk tidak akan memelihara anaknya. Hasilnya adalah kematian keturunannya dan hilangnya kelestarian reproduksi bagi induk tersebut.
- (c) Respon yang diperlazimkan, merupakan perilaku terajar yang paling sederhana, yang pada dasarnya adalah respon sebagai hasil pengalaman. Disebabkan oleh suatu stimulus yang berbeda dengan yang semula memicunya. Pelaziman terjadi paling cepat bila stimulus yang bukan diperlazimkan dan stimulus yang diperlazimkan sering diberikan bersama sama, tidak ada pengalihan perhatian dan diberikan semacam hadiah/imbalan untuk penampilan/prestasi yang berhasil terhadap respon masyarakat tadi.
- (d) Pelaziman instrumental, merupakan prinsip pelaziman dapat dipakai melatih hewan melakukan tugas yang bukan pembawaan lahir. Dalam hal ini hewan ditempatkan pada suatu keadaan sehingga dapat bergerak bebas dan melakukan sejumlah kegiatan perilaku yang berlain-lain.

3. Sistem Imun

Pernahkah Anda demam atau flu? Apakah Anda menyadari bahwa naiknya suhu tubuh kita tersebut adalah suatu mekanisme dari sistem pertahanan tubuh kita. Selain itu, apakah Anda pernah bersin? Bersin merupakan salah satu mekanisme pertahanan tubuh kita. Jika terdapat benda asing masuk ke tubuh kita, benda asing tersebut akan dikeluarkan melalui bersin. Kekebalan tubuh mampu melindungi tubuh dari serangan bakteri, virus, dan berbagai macam penyakit.

Penyakit dapat berdatangan dari segala tempat, bahkan dari udara yang Anda hirup dan benda-benda yang Anda sentuh. Akan tetapi, sering kali Anda tidak menyadari adanya peperangan di dalam tubuh Anda. Hal itu karena sistem pertahanan tubuh Anda sangat efektif sehingga Anda tidak langsung sakit jika ada kuman yang masuk. Bisa Anda perhatikan ada orang yang mudah sakit, ada

pula orang yang jarang sakit. Hal ini ada kaitannya dengan sistem pertahanan yang dimiliki seseorang.

Tubuh kita sangat rentan terkena penyakit. Penyakit dapat mengganggu kita dalam bekerja atau bahkan bisa memperpendek umur kita. Maka dari itu, kita butuh sistem kekebalan tubuh untuk menjaga tubuh kita dari berbagai bakteri atau virus yang merugikan. Sistem kekebalan atau imunitas adalah suatu sistem pertahanan yang digunakan untuk melindungi tubuh dari infeksi penyakit atau kuman. Zat-zat yang merangsang timbulnya reaksi kekebalan tubuh disebut **antigen**. Penyakit atau kuman ini berupa protein asing yang berbeda dari protein tubuh kita. Karena dianggap sesuatu yang asing, maka antigen ini harus disingkirkan, dinetralisir, atau dihancurkan. Reaksi kekebalan tubuh yang normal dapat mengenali antigen, mengerahkan kekuatan untuk bertahan melawan antigen tersebut, dan menyerangnya. Yang bertugas melakukan ini salah satunya adalah sistem pertahanan tubuh yang dikenal dengan **antibodi**.

A. Pengertian Sistem Pertahanan Tubuh

Sistem pertahanan tubuh (sistem imunitas) adalah sistem pertahanan yang berperan dalam mengenal, menghancurkan, serta menetralkan benda-benda asing atau sel-sel abnormal yang berpotensi merugikan bagi tubuh. Sistem pertahanan tubuh atau sistem imunitas merupakan sistem perlindungan pengaruh luar biologis yang dilakukan oleh sel dan organ khusus pada suatu organisme. Jika sistem pertahanan tubuh bekerja dengan benar, sistem ini akan melindungi tubuh terhadap infeksi bakteri dan virus, serta menghancurkan sel kanker dan zat asing lain dalam tubuh. Jika sistem pertahanan tubuh melemah, kemampuannya melindungi tubuh juga berkurang, sehingga menyebabkan patogen, termasuk virus yang menyebabkan demam dan flu, dapat berkembang dalam tubuh. Sistem kekebalan juga memberikan pengawasan terhadap sel tumor, dan terhambatnya sistem ini juga telah dilaporkan meningkatkan resiko terkena beberapa jenis kanker. Kemampuan bagi tubuh untuk menahan atau menghilangkan benda asing serta sel-sel abnormal disebut imunitas (kekebalan).

1. Fungsi Sistem Pertahanan Tubuh

Fungsi dari sistem imunitas atau kekebalan tubuh adalah untuk mempertahankan tubuh terhadap patogen dan lainnya. Hal ini terjadi terutama melalui tindakan sel darah putih. Fagosit menghancurkan sel-sel non-pribumi dan organisme, sedangkan limfosit belajar dari infeksi dan memungkinkan tubuh untuk melawan infeksi berulang lebih mudah. Banyak gejala penyakit yang penderita mengasosiasikan dengan virus tertentu atau infeksi bakteri. Pada kenyataannya, sistem kekebalan tubuh sendiri mencoba untuk membersihkan sistem dari penyusup. Sebagai contoh, ketika tubuh mendeteksi rhinovirus flu, memicu membran untuk menghasilkan kelebihan lendir untuk mencegah penyusup lebih lanjut dan untuk membersihkan mereka yang sudah dalam tubuh. Peningkatan suhu tubuh membantu untuk merusak serangan mikroorganisme, dan respon batuk meningkat membantu untuk membersihkan paru-paru.

Sistem kekebalan tubuh juga dapat menjadi penghalang, dalam beberapa kasus. Beberapa penyakit dan alergi disebabkan oleh sistem kekebalan tubuh yang terlalu aktif, menargetkan sel-sel tubuh sendiri atau penyusup yang relatif tidak berbahaya bukan patogen potensial. Alergi adalah kegagalan fungsi imunitas atau kekebalan tubuh dimana seseorang mengalami sensitifitas berlebihan terhadap suatu bahan atau zat. Nah, munculnya penyakit alergi ini ada kaitannya dengan sistem pertahanan tubuh. Jadi, apa sebenarnya fungsi dari sistem pertahanan tubuh itu?

Sistem pertahanan tubuh memiliki beberapa fungsi, yaitu :

- Mempertahankan tubuh dari patogen invasif (dapat masuk ke dalam sel inang), misalnya virus dan bakteri.
- Melindungi tubuh terhadap suatu agen dari lingkungan eksternal yang berasal dari tumbuhan dan hewan (makanan tertentu, serbuk sari, rambut hewan, dll) serta zat kimia (obat-obatan dan polutan).
- Menyingirkan sel-sel yang sudah rusak akibat suatu penyakit atau cedera, sehingga memudahkan penyembuhan luka dan perbaikan jaringan.
- Mengenali dan menghancurkan sel abnormal (mutan) seperti kanker.

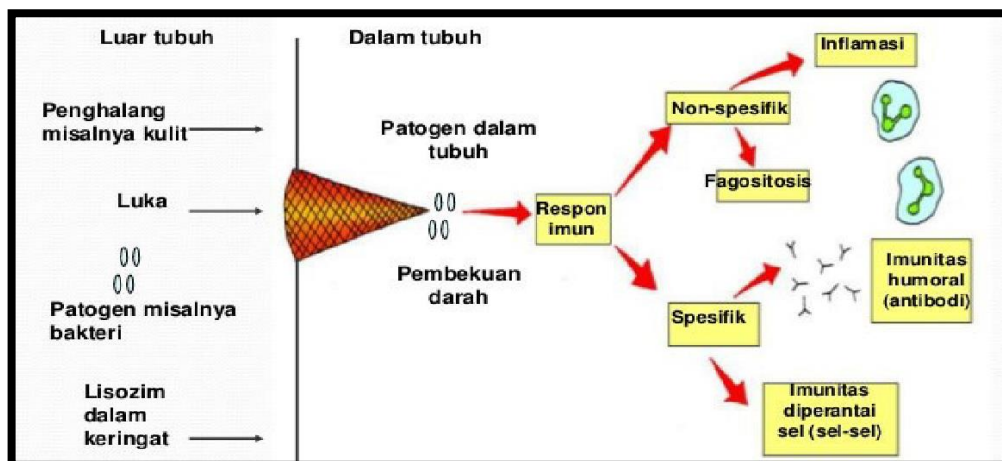
Namun, sistem pertahanan tubuh atau imunitas dapat melakukan respons imunitas yang tidak pada tempatnya, sehingga terjadi alergi atau penyakit

autoimun. Penyakit autoimun adalah penyakit yang timbul ketika tubuh membentuk antibodi yang melawan sel miliknya.

2. Mekanisme Pertahanan Tubuh

Di dalam tubuh Anda ada mekanisme perlindungan yang luar biasa yang disebut sistem kekebalan tubuh atau imunitas. Hal ini dirancang untuk membela Anda terhadap jutaan bakteri, mikroba, virus, racun dan parasit yang akan senang untuk menyerang sistem kekebalan tubuh. Tubuh Anda, yang terdiri dari sel-sel khusus, protein, jaringan, dan organ, membela orang terhadap kuman dan mikroorganisme setiap hari. Dalam kebanyakan kasus, sistem kekebalan tubuh melakukan pekerjaan yang besar menjaga orang sehat dan mencegah infeksi.

Tapi kadang-kadang masalah dengan sistem kekebalan tubuh dapat menyebabkan penyakit dan infeksi. Salah satu penyakit yang, autoimun, disebabkan ketika ketika sel-sel di dalam tubuh Anda menyerang satu sama lain. Ketika tubuh Anda melawan penyakit menggunakan sel-sel darah putih untuk menyerang penyakit. Bagian ini di dalam tubuh adalah salah satu yang paling penting untuk menjaga tubuh Anda sehat dan bugar.



Gambar 74. Bagan Mekanisme Pertahanan Tubuh
Sumber: <http://Fiskadiana.blogspot.co.id>. 2015

Mekanisme pertahanan tubuh terjadi karena masuknya patogen atau antigen ke dalam tubuh dan tubuh akan melakukan respon meliputi produksi sel-sel atau zat kimia yang berfungsi untuk mempertahankan tubuh melawan pathogen. Tubuh

manusia memiliki dua macam respon atau mekanisme pertahanan tubuh, yaitu *pertahanan nonspesifik* (alamiah) dan *pertahanan spesifik* (adaptif).

Tabel 6 Mekanisme pertahanan tubuh nonspesifik dan spesifik

Pertahanan Tubuh Nonspesifik		Pertahanan Tubuh Spesifik
Pertahanan Pertama	Pertahanan Kedua	Pertahanan Ketiga
<ul style="list-style-type: none">- Kulit- Membran mukosa- Cairan sekresi dari kulit dan membran mukosa.	<ul style="list-style-type: none">- Inflamasi- Sel-sel fagosit- Protein antimikrobia	<ul style="list-style-type: none">- Limfosit- Antibodi

A. Pertahanan Nonspesifik (Alamiah)

Pertahanan nonspesifik merupakan imunitas bawaan sejak lahir, berupa komponen normal tubuh yang selalu di temukan pada individu sehat, dan siap mencegah serta menyingkirkan dengan cepat antigen yang masuk kedalam tubuh. Pertahanan ini disebut nonspesifik karena tidak ditujukan untuk melawan antigen tertentu, tetapi dapat memberi respon langsung terhadap berbagai antigen untuk melindungi tubuh.

Mekanisme pertahanan nonspesifik disebut juga komponen nonadaptif atau *innate*, atau imunitas alamiah, artinya mekanisme pertahanan yang tidak ditujukan hanya untuk satu jenis antigen, tetapi untuk berbagai macam antigen. Imunitas alamiah sudah ada sejak bayi lahir dan terdiri atas berbagai macam elemen non spesifik. Jadi bukan merupakan pertahanan khusus untuk antigen tertentu.

Pertahanan tubuh tidak spesifik terdiri atas pertahanan eksternal dan pertahanan internal. Pertahanan eksternal merupakan pertahanan tubuh sebelum mikroorganisme atau zat asing memasuki jaringan tubuh. Pertahanan internal merupakan pertahanan tubuh yang terjadi di dalam jaringan tubuh setelah mikroorganisme atau zat asing masuk ke dalam tubuh.

1. Pertahanan Tubuh Nonspesifik Eksternal

Pertahanan tubuh nonspesifik eksternal meliputi pertahanan fisik, mekanis, dan kimia terhadap agen infeksi.

a. Kulit

Kulit ditutupi sel-sel epitel yang sangat rapat. Kulit yang normal tidak dapat ditembus oleh bakteri dan virus. Mikroorganisme hanya dapat masuk melalui kulit jika sudah terluka. Kulit memiliki kondisi sedikit asam dengan pH 5 dan temperatur kurang dari 37°C. Kondisi menyulitkan bakteri dan virus untuk dapat tetap hidup di permukaan kulit. Selain itu, lapisan sel-sel yang mati membuat permukaan kulit selalu berganti sehingga bakteri yang berada di permukaan kulit tersebut juga selalu terbuang dengan sel yang mati.

Kulit yang sehat dan utuh, menjadi garis pertahanan pertama terhadap antigen (Gambar 97). Sebaliknya, kulit yang rusak atau hilang (misalnya akibat luka bakar), akan meningkatkan resiko infeksi. Luka kecil jarang menyebabkan infeksi yang parah, karena luka kecil dapat diatasi oleh respons imunitas kulit.



Gambar 75. Kulit sebagai pertahanan tubuh

Sumber: <http://sourceflame.blogspot.co.id/2011/07/keajaiban-sistem-pertahanan-tubuh.html>

b. Membran Mukosa

Membran mukosa yang melapisi permukaan bagian dalam tubuh, mengeksresikan mukus sehingga dapat menarangkap antigen, serta menutup jalan masuk ke sel epitel. Contohnya, partikel yang besar dalam saluran

pernafasan akan dikeluarkan saat bersin dan batuk. Partikel kecil dan mikroorganisme yang mungkin lolos dari pertahanan mukus akan ditangkap oleh silia sel epitel untuk dikeluarkan atau ditelan bersama mukus ke dalam saluran pencernaan.

c. Cairan tubuh yang mengandung zat kimia antimikroba

Zat kimia tersebut membentuk lingkungan yang buruk bagi beberapa mikroorganisme. Contohnya, lisozim yang terkandung dalam keringat, ludah, air mata, dan air susu ibu (ASI), dapat menghancurkan lapisan peptidoglikan dinding sel bakteri. Laktoosidase dan asam neuraminat dalam ASI dapat menghancurkan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus sp.* Zat antimikroba lainnya adalah HCl dalam lambung, enzim proteolitik, empedu dalam usus halus, serta keasaman cairan vagina.

d. Pembilasan oleh air mata, saliva dan urine, berperan dalam perlindungan terhadap infeksi

2. Pertahanan Tubuh Nonspesifik Internal

Tidak semua mikroorganisme atau mikroba asing dapat ditahan oleh kulit ataupun lapisan mukosa sehingga mereka dapat lolos masuk ke dalam tubuh. Selanjutnya, mikroba asing tersebut akan bertemu dengan pertahanan tubuh tidak spesifik internal yang terdiri dari aksi fagositosis, respon peradangan dan senyawa antimikroba.

a. Fagositosis

Fagositosis merupakan garis pertahanan ke-2 bagi tubuh terhadap agen infeksi. Fagositosis meliputi proses penelanan dan pencernaan mikroorganisme dan toksin yang berhasil masuk ke dalam tubuh. Proses ini dilakukan oleh **neutrofil** dan **makrofag** (derivate monosit). Neutrofil dan makrofag bergerak ke seluruh jaringan secara kemotaksis, yang dipengaruhi oleh zat kimia. Kenaikan permeabilitas kapiler darah menyebabkan neutrofil berpindah dari darah ke cairan luar sel. Neutrofil ini akan menyerang bakteri yang menginfeksi sel. Selanjutnya, neutrofil dan monosit berkumpul di tempat yang terluka dan mendesak hingga menembus dinding kapiler. Setelah itu, neutrofil mulai memakan bakteri dan monosit berubah menjadi makrofag (sel yang berukuran

besar). Makrofag berfungsi fagositosis dan merangsang pembentukan jenis sel darah putih yang lain.

Makrofag disebut juga *big eaters* karena berukuran besar, mempunyai bentuk tidak beraturan, dan membunuh bakteri dengan cara memakannya. Anda dapat mengingat kembali cara makan amoeba, seperti itulah cara makrofag memakan bakteri. Makrofag yang memakan bakteri dapat dilihat pada Gambar 98.



Gambar 76. Makrofag yang Memakan Bakteri
Sumber: <https://www.google.co.id/search>

Bakteri yang berada di dalam makrofag kemudian dihancurkan dengan enzim lisosom. Makrofag ini juga bertugas untuk mengatasi infeksi virus dan partikel debu yang berada di dalam paru-paru. Sebenarnya di dalam tubuh keberadaan makrofag ini sedikit, tetapi memiliki peran sangat penting. Setelah infeksi tertanggulangi, beberapa neutrofil akhirnya mati seiring dengan matinya jaringan sel dan bakteri. Setelah ini sel-sel yang masih hidup membentuk nanah. Terbentuknya nanah ini merupakan indikator bahwa infeksi telah sembuh. Jadi reaksi inflamatori ini sebagai sinyal adanya bahaya dan sebagai perintah agar sel darah putih memakan bakteri yang menginfeksi tubuh. Selain sel monosit yang berubah menjadi makrofag juga terdapat sel neutrofil yang akan membunuh bakteri (mikroorganisme asing lainnya).

b. Inflamasi

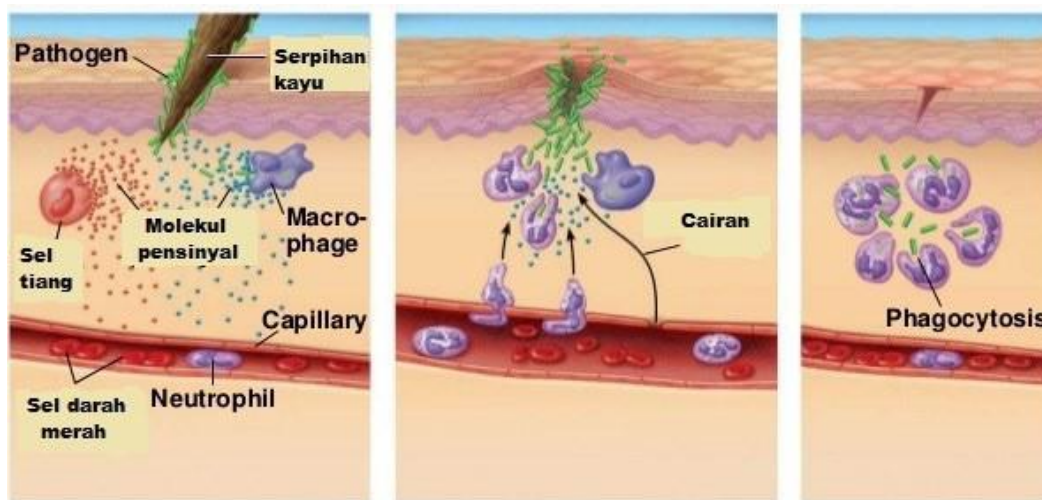
Inflamasi adalah reaksi lokal jaringan terhadap infeksi atau cedera. Penyebabnya antara lain terbakar, toksin, produk bakteri, gigitan serangga, atau pukulan keras. Inflamasi dapat bersifat akut (jangka pendek) atau kronik (berlangsung lama). Tanda-tanda lokal respons inflamasi, yaitu kemerahan, panas, pembengkakan, nyeri, atau kehilangan fungsi. Efek inflamasi

Modul Belajar Mandiri

menyebabkan demam (suhu tubuh tinggi abnormal) hingga infeksi teratasi, dan leukositosis (peningkatan jumlah leukosit dalam darah) karena produksi leukosit dalam sumsum tulang meningkat.

Tujuan akhir inflamasi adalah membawa fagosit dan protein plasma ke jaringan yang terinfeksi/rusak untuk mengisolasi, menghancurkan, menginaktivkan agen penyerang, membersihkan debris (sel-sel yang rusak atau mati), serta mempersiapkan proses penyembuhan dan perbaikan jaringan.

Jika mikroba telah merusak jaringan, sel-sel jaringan yang telah rusak tersebut kemudian akan mengirimkan sinyal. Sinyal yang diberikan oleh sel terinfeksi akan ditangkap oleh sel darah putih jenis basofil yang kemudian akan melepaskan histamin ke jaringan. Histamin menyebabkan pembuluh darah prakapiler sekitar jaringan membesar, sedangkan pembuluh vena mengecil. Dengan keadaan demikian jaringan mengalami pembengkakan atau peradangan. Mekanisme peradangan dan perbaikan jaringan dapat dilihat pada gambar 77 berikut.



Gambar 77. Mekanisme pertahanan tubuh dengan respon inflamatori
Sumber: Campbell, N.A & Reece, J.B. 2010)

Berdasarkan gambar diatas mekanisme pertahanan tubuh secara inflamasi dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Jaringan mengalami luka dan merangsang pengeluaran histamin.
2. Histamin menyebabkan terjadinya pelebaran pembuluh darah serta peningkatan aliran darah yang menyebabkan permeabilitas pembuluh darah meningkat, hal ini menyebabkan perpindahan sel-sel fagosit (neutrofil, monosit, dan eosinofil)
3. Sel-sel fagosit kemudian memakan patogen.

Setelah infeksi tertanggulangi, neutrofil dan sel-sel fagosit akan mati seiring dengan matinya sel-sel tubuh dan patogen. Sel-sel fagosit yang hidup atau mati serta sel-sel tubuh yang rusak akan membentuk nanah. Inflamasi mencegah infeksi ke jaringan lain serta mempercepat proses penyembuhan.

Peradangan jaringan meningkatkan permeabilitas kapiler dan meningkatkan migrasi sel-sel fagositosis dari kapiler darah ke jaringan. Jaringan yang meradang juga melepaskan senyawa kemokin yang merupakan sinyal kimiawi untuk merangsang sel fagositosis mendatangi jaringan. Dengan masuknya sel-sel fagositosis ke jaringan yang meradang maka proses perbaikan dimulai. Sel-sel fagositosis segera akan menelan semua sel mikroba dan juga membersihkan jaringan tersebut dari senyawa yang berbahaya.

Peradangan juga mengakibatkan demam karena sel-sel leukosit melepaskan senyawa pirogen. Senyawa ini akan merangsang tubuh untuk menaikkan suhu dengan demikian meningkatkan pertahanan tubuh, menghambat pertumbuhan beberapa jenis mikroba, memudahkan fagositosis, mempercepat reaksi tubuh, dan mempercepat perbaikan jaringan.

c. Zat Antimikroba Nonspesifik

Zat antimikroba nonspesifik ini dapat bekerja tanpa adanya interaksi antigen dan antibodi sebagai pemicu:

- Interferon (IFN), protein antivirus yang dapat disintesis oleh sebagian besar sel tubuh sebagai respons terhadap infeksi virus, stimulasi imunitas, dan stimulus kimia. Interferon berfungsi menghalangi multiplikasi virus. Contohnya, IFN- α (diproduksi oleh leukosit yang terinfeksi virus) dan IFN- β (diproduksi oleh fibroblas yang terinfeksi virus).

- Komplemen, beberapa jenis protein plasma yang tidak aktif, tetapi dapat diaktifkan oleh berbagai bahan dari antigen, seperti liposakarida bakteri. Aktivasi komplemen bertujuan untuk menghancurkan mikroorganisme atau antigen asing, tetapi terkadang menimbulkan kerusakan jaringan tubuh sendiri.

3. Respon Tubuh Terhadap Sistem Pertahanan Tubuh Nonspesifik

Infeksi mikroba patogen direspons oleh tubuh dengan reaksi peradangan (inflamasi) dan demam. Radang merupakan reaksi tubuh terhadap kerusakan sel-sel tubuh yang disebabkan oleh infeksi, zat-zat kimia, ataupun gangguan fisik lainnya, seperti benturan dan panas. Gejala radang dapat berupa sakit, panas, bengkak, kulit memerah dan gangguan fungsi dari daerah yang terkena radang. Bisul, bengkak, dan gatal merupakan beberapa bentuk peradangan.

Demam merupakan salah satu respons tubuh terhadap radang. Ketika demam, suhu tubuh akan naik melebihi suhu tubuh normal. Bakteri, virus, sel-sel kanker, dan sel-sel yang mati menghasilkan zat yang disebut *pyrogenexogen*. Zat tersebut merangsang makrofag dan monosit mengeluarkan zat *pyrogen-endogen* yang merangsang hipotalamus menaikkan suhu tubuh sehingga timbul perasaan dingin, menggigil, dan suhu tubuh yang meningkat.

Suhu tubuh yang tinggi menguntungkan karena bakteri dan virus akan lemah sehingga mati pada suhu yang tinggi. Metabolisme, reaksi kimia, dan sel-sel darah putih akan lebih aktif dan cepat sehingga mempercepat penyembuhan. Namun, terhadap efek lain dari naiknya suhu tubuh ini seperti sakit kepala, pusing, lesu, kejang, dan kerusakan otak permanen yang membahayakan tubuh dapat terjadi akibat kenaikan suhu tubuh.

B. Pertahanan Spesifik

Bila pertahanan non spesifik belum dapat mengatasi invasi mikroorganisme maka imunitas spesifik akan terangsang. **Mekanisme pertahanan spesifik** adalah mekanisme pertahanan yang diperankan oleh sel limfosit, dengan atau tanpa bantuan komponen sistem imun lainnya seperti sel makrofag dan komplemen.

Pertahanan spesifik merupakan sistem kompleks yang memberikan respons imun terhadap antigen yang spesifik. Antigen spesifik contohnya bakteri, virus, toksin atau zat lain yang dianggap asing. Pertahanan spesifik mampu mengenal benda asing bagi dirinya dan memiliki memori (kemampuan mengingat kembali) terhadap kontak sebelumnya dengan suatu agen tertentu. Benda asing yang pertama kali terpajan dalam tubuh segera dikenaldan menimbulkan sensitisasi (kontak pertama kali), sehingga jika antigen yang sama masuk kedalam tubuh untukkeduakalinya. Maka akan segera dikenal dan dihancurkan lebih cepat.

Pertahanan spesifik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu **imunitas yang diperantarai antibodi** dan **imunitas yang diperantarai oleh sel**. Imunitas yang diperantarai oleh antibodi disebut **imunitas humoral** yang melibatkan pembentukan antibodi oleh selplasma (turunan limfosit B), sementara itu, imunitas seluler melibatkan pembentukan limfosit T aktif yang secara langsung menyerang antigen.

1. Komponen Respon Imunitas Spesifik

Respons imunitas spesifik melibatkan dua komponen yaitu antigen dan antibodi.

a) Antigen

Antigen merupakan substansi asing yang masuk ke dalam tubuh dan berfungsi merangsang respons imunitas terutama dalam menghasilkan antibodi. Antigen meliputi molekul yang dimiliki virus, bakteri, fungi, protozoa, dan cacing parasit. Apabila antigen tersebut masuk ke dalam tubuh, secara otomatis tubuh meningkatkan system pertahanannya. Pada umumnya antigen berupa zat dengan berat molekul besar dan kompleks, seperti protein dan polisakarida. Permukaan bakteri mengandung banyak protein dan polisakaria yang bersifat antigen, sehingga antigen dapat berupa bakteri, virus, protein, karbohidrat, sel-sel kanker atau racun. Antigen memiliki bagian-bagian sebagai berikut:

- **Determinan antigen (epitop)**, bagian antigen yang dapat membangkitkan respons imunitas (dapat menginduksi pembentukan antibodi). Suatu antigen dapat memiliki dua atau lebih molekul determinan antigen.
- **Hapten**, molekul kecil yang jika sendirian tidak dapat menginduksi produksi antibodi. Namun, hapten akan bersifat imunogenik (mampu menginduksi produksi antibodi) jika bergabung dengan carrier yang bermolekul besar. Contohnya, penisilin akan memicu respons imunitas jika bergabung dengan

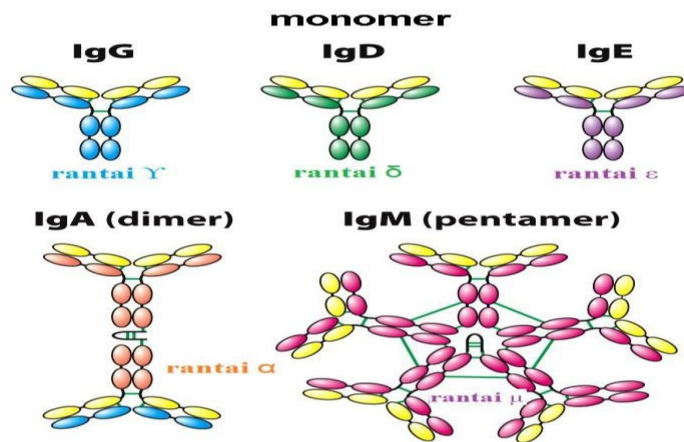
protein serum.

b) Antibodi

Antibodi merupakan sistem pertahanan yang dilakukan untuk merespon keberadaan suatu antigen atau melawan serangan-serangan dari organisme dan substansi asing dan kemudian akan bereaksi dengan antigen tersebut dengan cara dengan memproduksi suatu zat sejenis protein atau polisakarid. Antibodi tersusun atas protein plasma. Pada umumnya, antibodi terletak dan melekat pada permukaan sel. Namun, apabila tidak melekat, antibodi berada dalam darah dan dalam sekresi jaringan eksokrin. Awalnya, antibodi ditemukan pada serum darah, yakni cairan darah yang dipisahkan dari sel-selnya. Oleh karena itu, banyak penyakit yang dapat didiagnosis dengan keberadaan antibodi khusus dalam serum. Antibodi merupakan protein plasma yang disebut **Imunoglobulin (Ig)**. Terdapat 5 macam Imunoglobulin didalam tubuh (Gambar 100), yaitu :

- **Imunoglobulin A (IgA)**, berfungsi untuk melawan mikroorganisme yang masuk ke dalam tubuh. IgA berjumlah sekitar 15% dari semua antibodi dalam serum darah serta dapat ditemukan dalam zat ekskresi seperti keringat, ludah, air mata, ASI, pernafasan dan sekresi usus.
- **Imunoglobulin D (IgD)**, berfungsi membantu memicu respon imunitas . IgD banyak ditemukan dalam limfosit B. IgD dalam serum darah dan limfa berjumlah relative sedikit.
- **Imunoglobulin E (IgE)**, terikat pada reseptor sel mast dan basofil. IgE menyebabkan pelepasan histamine dan mediator kimia lainnya. IgE dapat ditemukan dalam darah dengan konsentrasi yang rendah. Namun, kadarnya akan meningkat selama reaksi alergi dan pada penyakit parasitik tertentu.
- **Imunoglobulin G (IgG)**, berjumlah paling banyak 80% dari keseluruhan antibodi yang bersirkulasi. IgG dapat menembus plasenta dan memberikan imunitas pada bayi yang baru lahir.
- **Imunoglobulin M (IgM)**, antibodi yang pertama kali tiba dilokasi infeksi. IgM menetap didalam pembuluh darah dan tidak masuk ke jaringan. IgM berumur relative pendek dan berfungsi mengaktivasi komplemen dan memperbanyak fagositosis. Untuk melihat bentuk dari ke lima tipe Imunoglobulin, kalian bisa

perhatikan gambar 78 dibawah ini!



Gambar 78. Bentuk Immunoglobulin
Sumber: <https://www.dictio.id/t/apa-fungsi-antibodi/6330>

Tabel 7 Macam antibodi dan fungsinya

Macam antibodi	Fungsi
IGM	Aglutinasia, mengaktifkan protein komplemen, merangsang fagositosis mikroba oleh makrofaga.
IgG	Mengaktifkan protein komplemen dan makrofaga, memelihara janin (fetus) dari serangan penyakit.
IgA	Mengikat mikroba (pada daerah permukaan saluran pernapasan dan saluran makanan), mencegah mikroba masuk ke tubuh, mengeluarkan mikroba dari dalam tubuh bersama nukleus dan sekresi lainnya.
IgE	Proteksi terhadap serangan parasit dan bersama IgG mengikat serta mengusir antigen alergi.
IgD	Mengaktifkan sel B.

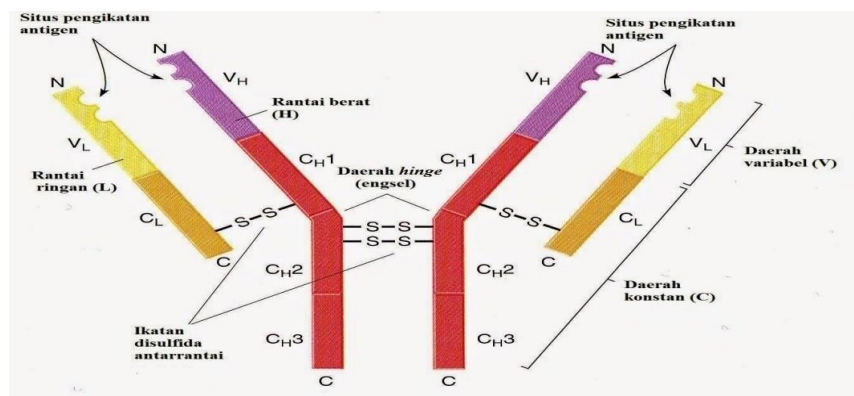
1. Struktur Antibodi

Pada umumnya, molekul antibodi berbentuk seperti huruf Y (Gambar 101), yang terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut.

- Dua rantai berat dan dua rantai ringan yang dihubungkan oleh jembatan disulfida.
- Daerah variabel (V) antarmolekul memiliki rangkaian asam amino yang

berbeda dan membentuk suatu reseptor untuk antigen spesifik.

- Daerah konstan (C) menstabilkan sisi pengikat antigen.
- Daerah *hinge* (engsel) memungkinkan kedua lengan Y dapat membuka atau menutup untuk mengakomodasi pengikat terhadap dua determinan antigen yang terpisah pada jarak tertentu seperti yang ditemukan pada permukaan bakteri.



Gambar 79. Struktur Antibodi

Sumber: <https://mtspantar.files.wordpress.com/2017/05/0901a-3.jpg>

2. Interaksi Antibodi dan Antigen

Cara kerja antibodi dalam mengikat antigen ada empat macam (Gambar 102). Prinsipnya adalah terjadi pengikatan antigen oleh antibodi, yang selanjutnya antigen yang telah diikat antibodi akan dimakan oleh sel makrofag. Berikut ini adalah cara pengikatan antigen oleh antibodi.

a. Fiksasi komplemen (aktivitas sistem komplemen)

Fiksasi komplemen yaitu aktivasi sistem komplemen oleh kompleks antigen-antibodi. Pada saat terjadi infeksi, protein pertama dalam rangkaian protein komplemen diaktifkan, selanjutnya memicu serangkaian aktivasi protein komplemen berikutnya (jalur berantai atau *cascade*). Hasil dari rangkaian reaksi komplemen tersebut menyebabkan lisisnya banyak jenis virus dan sel-sel patogen. Penghancuran sel-sel patogen oleh komplemen yang dipicu oleh pengikatan antibodi-antigen disebut **jalur klasik**. Efek dari fiksasi komplemen, yaitu sebagai berikut:

- **Opsonisasi.** Partikel antigen diselubungi antibodi atau komponen-komplemen yang dapat meningkatkan pertautan makrofag ke mikroorganisme sehingga

memfasilitasi dan meningkatkan fagositosis.

- **Sitolisis.** Kombinasi dari faktor-faktor komplemen dapat menghancurkan lapisan polisakarida dinding sel patogen sehingga terbentuk lubang-lubang pada membran sel, yang menyebabkan lisozim dapat masuk, sitoplasma keluar, dan sel patogen akan hancur (lisis).
- **Inflamasi.** Produk komplemen berkontribusi dalam inflamasi akut melalui aktivasi sel tiang, basofil, dan trombosit darah.

b. Netralisasi

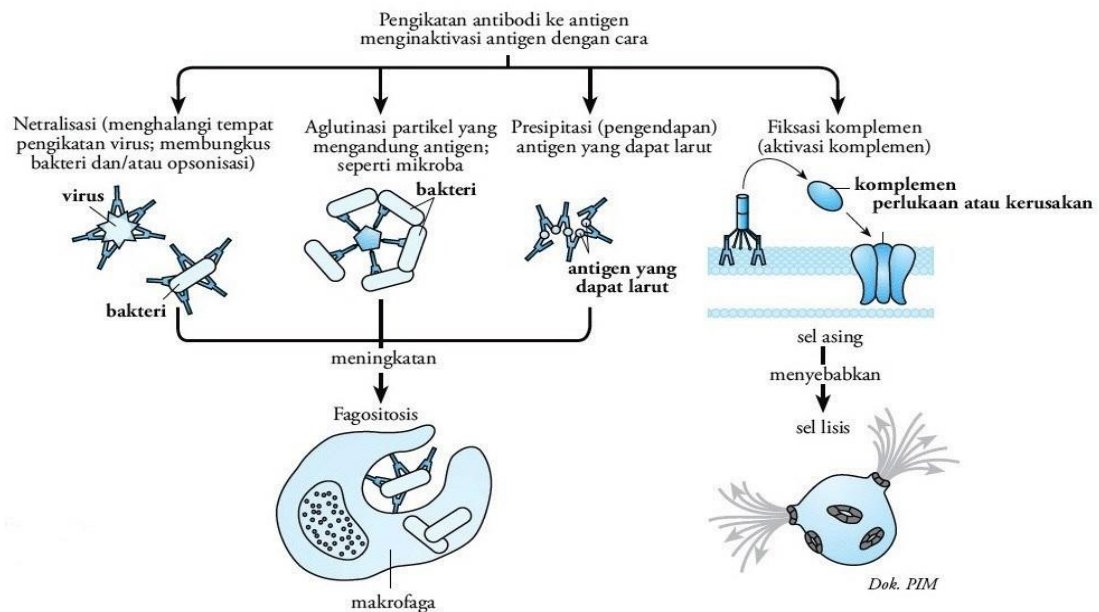
Antibodi menonaktifkan antigen dengan cara memblok bagian tertentu antigen. Antibodi juga menetralkan virus dengan cara mengikat bagian tertentu virus pada sel inang. Dengan terjadinya netralisasi maka efek merugikan dari antigen atau toksik dari patogen dapat dikurangi.

c. Aglutinasi (Penggumpalan)

Penggumpalan partikel-partikel antigen dapat dilakukan karena struktur antibodi yang memungkinkan untuk melakukan pengikatan lebih dari satu antigen. Molekul antibodi memiliki sedikitnya dua tempat pengikatan antigen yang dapat bergabung dengan antigen- antigen yang berdekatan. Gumpalan atau kumpulan bakteri akan memudahkan sel fagositik (makrofag) untuk menangkap dan memakan bakteri secara cepat.

d. Presipitasi (Pengendapan)

Prinsip pengendapan hampir sama dengan penggumpalan, tetapi pada pengendapan antigen yang dituju berupa antigen yang larut. Pengikatan antigen- antigen tersebut membuatnya dapat diendapkan, sehingga sel-sel makrofag mudah dalam menangkapnya.



Gambar 80. Mekanisme Pengikatan antibodi ke antigen

Sumber: <http://www.nafiun.com/2012/12/pembentukan-antigen-dan-antibodi-mekanisme-proses.html>

Sel-sel yang Terlibat dalam Respons Imunitas

Terdapat empat jenis sel yang berperan penting dalam imunitas, yaitu sel B (Limfosit B, sel T (limfosit T), makrofag dan sel pembunuh alami (NK=*Natural Killer*).

1. Sel B (limfosit B, B = *bone marrow*)

Limfosit yang berfungsi membentuk antibodi untuk melawan antigen.

- Sel B matang terdapat pada organ limfa seperti limfa, nodus limfa, tonsil dan bercak peyer saluran pencernaan. Saat sel B teraktivasi oleh antigen, sel B akan terdiferensiasi menjadi **sel plasma**, selanjutnya sel plasma memproduksi molekul antibodi.
- Sel memori B adalah sel yang berasal dari pecahan limfosit B yang teraktivasi dan tidak terdiferensiasi. Sel memori B menetap pada jaringan limfoid dan berfungsi dalam **respons imunitas sekunder** (merespon antigen perangsang pada perjalanan selanjutnya).

2. Sel T (limfosit T, T=Timus)

Sel darah putih limfosit yang mampu mengenali dan membedakan jenis antigen atau pathogen spesifik. Jika terdapat antigen, maka sejumlah sel T teraktivasi menjadi sel memori yang mampu berproliferasi dengan cepat untuk melawan infeksi yang mungkin terulang kembali. Sel T tidak memproduksi antibodi.

- Sel T memproduksi **limfokin** (zat aktif imunologis), yang berfungsi untuk membantu limfosit B mengenali antigen dan meningkatkan aktivasi makrofag memfagosit antigen.
- Saat pengenalan antigen asing, sel T berdiferensiasi menjadi **sel T memori** dan sel **T efektor**. sel T efektor ada tiga jenis, yaitu :
 - a) Sel T sitotoksik** (sel T pembunuh, CTL= *cytotoxic T lymphocytes*), untuk mengenali dan menghancurkan sel yang memperlihatkan antigen asing pada permukaannya. Sel ini juga dapat mengenali antigen **MHC (major histocompatibility complex) kelas I** yang dapat ditemukan pada semua permukaan sel berinti.
 - b) Sel T penolong** (helper), tidak berperan langsung dalam pembunuhan sel, tetapi berfungsi mengenali antigen **MHC kelas II** yang menelan antigen asing, seperti sel B dan makrofag.
 - c) Sel T supresor**, setelah diaktivasi oleh sel T penolong akan menelan sel B dan sel T.

3. Makrofag (*macros* = pemakan besar)

Makrofag merupakan sel fagosit besar dalam jaringan, berasal dari perkembangan sel darah putih monosit yang diproduksi di sumsum tulang belakang dan berfungsi menelan antigen atau bakteri untuk dihancurkan secara enzimatik. Makrofag mencerna antigen untuk menghasilkan fragmen determinan antigen, selanjutnya meletakkan fragmen tersebut pada permukaan selnya sehingga terjadi kontak dengan limfosit T dan mengaktifkan limfosit B.

4. Sel Pembunuh Alami (NK = *natural killer*)

Sel pembunuh alami merupakan sekumpulan limfosit non T dan non B yang bersifat sitotoksik. Sel ini tidak perlu berinteraksi dengan antigen atau limfosit untuk menghancurkan sel tertentu. Sel ini berperan untuk menghancurkan sel-sel kanker pada lokasi primer (metastatis), virus, jamur dan parasit lainnya.

Tabel 8 Perbedaan Pertahanan Nonspesifik (Alamiah) Dengan Pertahanan Spesifik

No.	Objek Pembeda	Pertahanan Nonspesifi	Pertahanan Spesifik
1.	Mekanisme kerja	Cepat	Lebih lambat
2.	Waktu respons	Menit hingga jam, selalu siap	Dalam hitungan hari, tidak siap sampai
3.	Pajanan (kontak dengan antigen)perlu	Tidak	Harus ada pajanan sebelumnya
4.	Respons memori	Tidak ada	Memori menetap, respons lebih baik pada infeksi serupa berikutnya
5.	Resistensi	Tidak berubah oleh infeksi	Membaik oleh infeksi berulang (memori)
6.	Sasaran reaksi	Pada umumnya efektif terhadap semua	Spesifik
7.	Protein darah	Komplemen	Limfosit
8.	Komponen cairan darah	Banyak peptid e antimikroba	Antibodi

D. Rangkuman

- Gerak pada tumbuhan dihasilkan sebagai respon tumbuhan terhadap sejumlah rangsangan dari dalam atau dari lingkungannya,
- Berdasarkan arah rangsangannya, gerak pada tumbuhan dibedakan menjadi tiga, yaitu: gerak Higroskopis, gerak etionom, dan gerak endonom (autonom).
- Gerak Higroskopis disebabkan oleh perbedaan kadar air. Gerak etionom merupakan reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari luar. Sedangkan gerak endonom (autonom) merupakan

reaksi gerak tumbuhan yang disebabkan oleh adanya rangsangan dari dalam atau dari tumbuhan itu sendiri.

- Jenis perilaku yang terdapat pada hewan ada dua macam, yaitu: perilaku bawaan (Innate Behaviour) merupakan perilaku yang dikendalikan secara genetik. Perilaku hasil pembelajaran (Learned Behaviour) merupakan perilaku hasil pembelajaran berdasarkan pengalaman yang didapatkan organisme dan menghasilkan perubahan perilaku. Adapun jenis-jenis dari perilaku bawaan yaitu taksis, refleksi, dan naluri. Jenis-jenis perilaku hasil pembelajaran meliputi imprinting, habituation, classical conditioning, instrumental conditioning, trial and error, reasoning.
- Sistem pertahanan tubuh (sistem imunitas) adalah sistem pertahanan yang berperan dalam mengenal, menghancurkan, serta menetralkan benda-benda asing atau sel-sel abnormal yang berpotensi merugikan bagi tubuh. Sistem pertahanan tubuh atau sistem imunitas merupakan sistem perlindungan pengaruh luar biologis yang dilakukan oleh sel dan organ khusus pada suatu organisme.
- Kemampuan bagi tubuh untuk menahan atau menghilangkan benda asing serta sel-sel abnormal disebut imunitas (kekebalan).
- Mekanisme pertahanan tubuh terjadi karena masuknya patogen atau antigen ke dalam tubuh dan tubuh akan melakukan respon meliputi produksi sel-sel atau zat kimia yang berfungsi untuk mempertahankan tubuh melawan pathogen
- Tubuh manusia memiliki dua macam respon atau mekanisme pertahanan tubuh, yaitu pertahanan nonspesifik (alamiah) dan pertahanan spesifik (adaktif).
- Pertahanan tubuh tidak spesifik terdiri atas pertahanan eksternal dan pertahanan internal. Pertahanan eksternal merupakan pertahanan tubuh sebelum mikroorganisme atau zat asing memasuki jaringan tubuh. Contohnya kulit dan membrane mukosa pada beberapa organ.
- Pertahanan internal merupakan pertahanan tubuh yang terjadi di dalam jaringan tubuh setelah mikroorganisme atau zat asing masuk ke dalam tubuh. Contohnya fagositosis dan respon peradangan.
- Pertahanan spesifik dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu imunitas yang diperantarai antibodi dan imunitas yang diperantarai oleh sel. Imunitas

yang diperantarai oleh antibodi disebut imunitas humoral yang melibatkan pembentukan antibodi oleh selplasma (turunan limfosit B), sementara itu, imunitas seluler melibatkan pembentukan limfosit T aktif yang secara langsung menyerang antigen.