

Biologi Sel

Unit Terkecil Penyusun Tubuh Makhluk Hidup

Rahmadina, M.Pd

Husnarika Febriani, S.Si.,M.Pd

Editor:

Kartika Manalu, M.Pd

CV. Selebar Papyrus

BIOLOGI SEL

Unit Terkecil Penyusun Tubuh Makhluk Hidup

RAHMADINA, M.Pd

HUSNARIKA FEBRIANI, S.Si., M.Pd

EDITOR

KARTIKA MANALU, M.Pd

Cv. Selebar Papyrus

BIOLOGI SEL

Unit Terkecil Penyusunan Tubuh Makhluk Hidup

Penulis : Rahmadina, M.Pd
Husnarika Febriana, S.Si.,M.Pd
Editor : Kartika Manalu, M.Pd
Desain cover : Dian Kristyanto, M.IP
Penerbit : CV. Selemba Papyrus
Manyar Sabrangan 19 Surabaya
Email. selembarpapyrus@gmail.com
Site. www.Selembarpapyrus.com

ISBN: 978-602-50521-3-2

Cetakan Pertama, Desember 2017

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang.

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan Rahmat Allah SWT yang telah memberikan petunjuk serta hidayah bagi Penulis sehingga Penulis diberi kemudahan dan kelancaran dalam menyelesaikan penulisan buku Biologi Sel ini meskipun telah mengalami beberapa kali perubahan dalam pengerjaannya, namun pada akhirnya dapat terselesaikan juga dengan baik. Semoga buku pegangan Biologi Sel ini dapat memberikan manfaat bagi semua orang yang telah membacanya. Mengingat bahwa Biologi Sel ini merupakan salah satu cabang ilmu yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari – hari sehingga setiap orang wajib mempelajarinya agar ketergantungan hidup antar sesama makhluk hidup dapat terjalin dengan baik tanpa mengganggu kehidupan yang lainnya.

Ketika penulis mempersiapkan buku pegangan ini, penulis banyak mengalami pertimbangan dalam hal tujuan yang akan dicapai dari hasil pembelajarannya. Salah satunya yaitu penulis berharap agar materi pada bidang yang disampaikan ini dapat berkembang dengan pesat dan mengikuti perkembangan secara *up to date*. Penulis juga berharap agar materi yang disampaikan ini dapat mudah dipahami oleh berbagai kalangan yang membacanya. Walaupun buku ini dapat dijadikan salah satu buku teks utama dalam biologi, tetapi buku ini juga dapat dijadikan sebagai buku pendamping dalam menambah wawasan mengenai Biologi secara umum meskipun pembahasan yang akan diuraikan nantinya akan lebih spesifik hanya dalam kehidupan sel saja.

Penulis sangat berterima kasih pada teman – teman yang memberikan semangat dan juga dorongan sehingga buku ini dapat selesai dengan baik. Penulis juga sangat berterima kasih kepada Bapak Dekan Fakultas Sains dan Teknologi yang juga membantu agar buku ini dapat mudah terbit sesuai dengan harapan yang diinginkan. Disadari sepenuhnya bahwa buku ini masih sangat jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran – saran dari teman bahkan para pembaca, sangat diharapkan untuk perbaikan selanjutnya.

Medan, Agustus 2017
Penulis,

TIM PENYUSUN

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1. Biologi sel Bagian dari Ilmu	1
1.2. Evolusi Perkembangan Sel.....	2
1.3. Perkembangan Teori Sel	3
BAB II : CARA MEMPELAJARI ILMU SEL	6
2.1. Skala Ukuran dalam Sel pada Organisme	6
2.2. Teknik dan Metode dalam Mempelajari Sel.....	8
2.3. Peralatan dalam Mempelajari Sel	13
2.4. Biokimia pada Sel.....	17
BAB III : ORGANISASI SEL PADA MAKHLUK HIDUP	20
3.1. Sel Prokariotik	21
3.2. Sel Eukariotik	22
3.3. Perbedaan Sel Prokariotik dengan Eukariotik.....	23
3.4. Sel Hewan dan Sel Tumbuhan	25
BAB IV : ORGANELLA SEL	39
4.1. Mitokondria: Sebagai Konversi Energi Kimia.....	39
4.2. Ribosom (Pabrik Protein).....	42
4.3. Kompleks Golgi (Pusat Pengiriman dan Penerimaan).....	45
4.5. Lisosom (Kompartmen Pencernaan)	49
4.6. Vakuola (Kompartmen Pemeliharaan yang Beranekaragam	51
4.7. Retikulum Endoplasma (RE).....	53
4.8. Kloroplas (Penangkapan Energi Cahaya).....	60
4.9. Sitoskeleton	62
BAB V : STRUKTUR DAN PERANAN MEMBRAN PLASMA	74
5.1. Model Membran Plasma	75
5.2. Komponen Penyusun Membran Plasma.....	79
5.3. Hubungan Kerjasama antar Sel	86
5.4. Transport Materi Membran Plasma.....	94
BAB VI : TRANSFORMASI ENERGI	99
6.1. Sumber Energi dalam Kehidupan.....	99
6.2. Respirasi dan Fermentasi sebagai Jalur Katabolik	101
6.3. Daur Ulang pada ATP Melalui Sel.....	102
6.4. Transformasi Energi dalam Biologi	104

BAB VII : KOMUNIKASI SEL	109
7.1. Perkembangan Awal Pensinyalan Sel	109
7.2. Komunikasi Sel Terpisah atau Berdekatan	109
BAB VIII : DAUR SEL	114
8.1. Siklus HidupSel.....	114
8.2. Regulasi Siklus Sel.....	119
8.3. Mekanisme Aktivasi Mitosis Promoting Factor (MPF).....	121
UJI KOMPETENSI	125
DAFTAR PUSTAKA	130

BAB I PENDAHULUAN

1.1 BIOLOGI SEL BAGIAN DARI ILMU

Sel (*Sitologi*) merupakan salah satu cabang Ilmu Biologi yang mempelajari tentang sel. Sel merupakan salah satu unit dasar kehidupan yang susunannya secara struktural dan fungsional sangat berpengaruh terhadap kepribadian dan tingkah laku dari masing – masing makhluk hidup. Seluruh makhluk hidup tersusun atas sel yang saling berinteraksi satu dengan yang lainnya. Dewasa ini pemahaman setiap orang mengenai sel dan juga cara mereka untuk mengetahui keberadaan sel tersebut sudah mengalami perkembangan yang sangat jauh jika dibandingkan dengan zaman dahulu saat pertama kali mengenai sel ini dilahirkan sebagai bahan pembelajaran bagi kehidupan. Sel memiliki sifat yang fundamental (mendasar) dalam ilmu biologi. Semua organisme kehidupan ini tersusun atas sel tunggal. Makhluk bersel tunggal ini hanya dapat dilihat dengan menggunakan alat khusus berupa mikroskop. Walaupun demikian, sel tunggal ini banyak menyimpan materi yang lebih kecil lagi yang disebut *mikroplasma*. Sel tunggal ini merupakan salah satu organisme kehidupan yang dapat dipercaya sehingga dapat memperlihatkan semua atribut kehidupan. Mereka merupakan makhluk terkecil yang membutuhkan waktu yang sangat lama untuk mengumpulkan dan menata dengan mudah mesin molekulernya yang dapat dijadikan dalam satu kemasan yang lebih kecil lagi daripada mikoplasma.

Penemuan sel ini yang menjadi salah satu objek pengetahuan manusia, pertama kali ditemukan oleh para peneliti ketika menggunakan mikroskop elektron dalam melakukan pengamatan pada beberapa jenis organisme. Peneliti melakukan fraksionasi sel serta menganalisis struktur molekul dan fungsi – fungsi yang berhubungan dengan semua bagian sel. Penemuan sel ini memberikan dampak yang sangat baik bagi dunia penelitian karena jutaan informasi baru sangat membuat mereka tertarik untuk memahaminya sehingga informasi – informasi mengenai sel selalui *up to date*. Adapun pembelajaran mengenai sel ini tertuang dalam sebuah pembelajaran yang dikenal dengan sebutan Biologi sel.

Biologi sel ini merupakan ilmu yang sangat menarik untuk dipelajari, sehingga membutuhkan alat yang lebih kompleks agar mudah dalam mempelajarinya. Salah satu yang dibutuhkan adalah mikroskop yang lebih canggih seperti mikroskop elektron. Pengamatan pada sel ini bisa dilakukan hingga tingkat paling kecil dan kita dapat lebih mudah mengetahui perbedaan dari bagian sel tersebut dan juga fungsinya masing – masing bagi makhluk hidup.

1.2 EVOLUSI PERKEMBANGAN SEL

Evolusi merupakan suatu perubahan dari generasi ke generasi yang menurunkan sifat yang berbeda dari nenek moyangnya dan berlangsung dalam waktu yang lama. Evolusi ini mengalami perubahan bentuk mulai dari tingkat sel hingga tingkat organisme yang lebih sempurna. Misalnya sirip ikan berevolusi pada pisces menjadi anggota badan, dan kemudian anggota badan berevolusi menjadi banyak bentuk dan ukuran, jaringan pembentuknya, sel-selnya, hingga molekulnya juga berubah. Dalam hal ini evolusi sel hanya mengalami perubahan dari segi komponen – komponen yang terdapat di dalamnya dari tingkat yang sederhana hingga yang lebih kompleks pada bagiannya masing – masing.

Penemuan sel yang terjadi pada abad kesembilan belas, sel diartikan hanya sebagai suatu benda yang hanya memiliki membran pembatas dibagian luarnya saja, dan hanya memiliki nukleoid yang berada di dalamnya dan juga memiliki suatu massa yang cukup besar yang disebut *sitoplasma*. Sitoplasma ini merupakan cairan yang mengelilingi nukleoid tersebut. Keberadaan sel ini membuat para peneliti melakukan penelitian dengan berbagai cara untuk mengetahui sel tersebut dengan sempurna, sehingga penelitian dilakukan terus menerus hingga para peneliti tersebut akhirnya menemukan struktur – struktur internal sel. Berbagai metode telah dilakukan oleh peneliti, salah satunya ialah pada metode pewarnaan (*staining*) yang menghasilkan struktur selular sexaea selektif. Namun, metode ini mengalami kekurangan dalam hal dapat membunuh spesimen dari sel itu karena zat yang terkandung dalam pewarnaan tersebut sangat kuat sehingga dapat menutupi bagian dari sel tersebut dan dapat merusak bentuk dasar dari spesimen selnya. Oleh sebab itu, dilakukanlah penelitian selanjutnya dengan menemukan cara yang paling efektif dalam mengetahui bagian sel tersebut yaitu dengan

menggunakan teknik pencahayaan (misalnya polarisasi) karena teknik ini dapat memperoleh kontras yang lebih besar lagi diantara struktur tersebut, tanpa membunuh spesimen yang ada di dalamnya.

Evolusi sel memiliki dua proses yang sangat penting dalam perkembangannya, diantaranya melalui peristiwa variasi acak dalam memperoleh informasi genetik yang terjadi pada individu dan keturunannya dan melalui seleksi dari berbagai informasi genetik yang membantu pemiliknya dalam kelangsungan hidupnya. Evolusi sel harus diketahui dahulu asal usulnya dengan cara mempelajari sejarah ditemukannya sel. Pemahaman mengenai pengertian sel merupakan salah satu cara mempelajari evolusi sel. Teori evolusi sel ini dimulai dengan asal mula sel di bumi. Kami beranggapan bahwa bagaimanakah sifat - sifat tipe molekul yang dapat memberikan informasi hereditas dalam mengirimkan dan menyampaikan informasi sel hingga terjadinya evolusi. Di dalam membran molekul - molekul menyediakan bahan - bahan yang esensial untuk mereplikasi selnya sendiri. Oleh karena itu, dapat dideskripsikan bahwa transisi itu sangat penting dalam proses terjadinya evolusi ini, dari sel kecil seperti bakteri sampai sel -sel yang lebih besar dan kompleks seperti yang ditemukan pada tumbuhan dan hewan. Akhirnya, dapat disimpulkan bahwa satu sel dapat berkembang menjadi organisme multiseluler dan terspesialisasi yang bekerja sama membentuk suatu formasi organ yang rumit seperti otak. Banyaknya sumber informasi mengenai evolusi melalui biomolekul ini dapat membuka pemikiran dasar manusia mengenai perbedaan organisme – organisme yang hidup dan memberikan perencanaan secara berbeda dalam skala objektif yang bersifat universal.

1.3 PERKEMBANGAN TEORI SEL

1.3.1. Sejarah Teori Sel

Penemuan sel yang telah terjadi sejak 200 tahun yang lalu dianggap sebagai bagian dari sistem membran yang tak terpisahkan dalam organisme multisel. Perkembangan sel ini terjadi dengan pesat setelah perkembangan penggunaan lensa yang dilakukan oleh para peneliti dalam penelitiannya, sehingga para peneliti lebih serius dalam melakukan penelitiannya terhadap sel.

Perkembangan sel ini dimulai sejak seorang ahli yang bernama **Robert Hooke** (1665) melakukan pengamatan pada sayatan gabus yang merupakan sel – sel mati pada pepagan pohon *ek* dengan mikroskop sederhana. Ia melihat adanya ruangan – ruangan kecil yang kemudian disebutnya *cella* yang berarti ruang atau kamar kecil yang kosong. **Antonie van Leewenhoek** (1674) menggunakan mikroskop sederhana untuk melihat mikroba (jasad renik) dalam air serta bagian – bagian yang terkandung dalam cairan tubuh makhluk hidup. **Lamarck** (1809) menyatakan bahwa seluruh organisme hidup harus memiliki jaringan selular. **Dutrochet** (1824) menemukan bahwa semua tumbuhan dan hewan terdiri dari sel berbentuk gembungan yang sangat kecil yang mengalami peningkatan ukuran dan jumlah. **Robert Brown** (1831) seorang Ahli Biologi menemukan nukleus sel tumbuhan yang menyimpulkan bahwa nukleus merupakan komponen dasar yang selalu ada dalam sel. **Hugo von Mohl** dan **Karl Nugel** (1835) mempelajari peristiwa pembelahan sel, dimana inti dan plasma sel mengalami pembelahan untuk menjadi dua sel anak. **T Schwann** dan **M Schleiden** (1839) merumuskan teori sel sebagai berikut: ***sel adalah unit terkecil, semua tumbuhan dan hewan dibangun atas sel – sel.*** **J Purkinje** (1840) dan **Hugo von Mohl** (1846) memperkenalkan istilah **Protoplasma**, yakni cairan yang mengisi ruang yang disebut sel oleh von Mohl.

R. Virchow (1859) dengan menggunakan mikroskop tersebut dapat menyimpulkan bahwa semua sel berasal dari sel – sel yang telah ada sebelumnya. Sementara **W. Schultze** (1860) mengatakan bahwa protoplasma adalah dasar fisik kehidupan. **E. Strasburger** dan **W. Flemming** (1870) memperlihatkan bahwa nukleus memelihara kelangsungan hidup suatu jenis makhluk dari generasi ke generasi selanjutnya. Flemming juga pertama kali menemukan istilah mitosis pada pembelahan sel. **O. Hertwigh** (1875) membuktikan bahwa inti spermatozoa bersatu lebih dahulu dengan inti ovum untuk membentuk embrio.

Dengan perkembangan teknologi yang semakin canggih, membuat para peneliti lebih mudah lagi dalam mencari dan menemukan bagian – bagian penting lainnya yang terdapat pada makhluk hidup mulai dari tingkat molekul, sel hingga tingkat organisme berdasarkan struktur dan fungsinya masing – masing. Sekarang

pengamatan pada struktur dan fungsi sel tidak lagi sesederhana yang dipikirkan sebelumnya.

1.3.2. Konsep Ilmu Teori Sel

Teori sel pertama kali diterbitkan oleh *T Schwann* dan *M Schleiden* (1839), yang selanjutnya direvisi oleh peneliti yang lainnya hingga menjadi dasar *Biologi Modern*. Teori ini merupakan interpretasi dari radikal tentang alam, yang menjadi dasar dalam kesatuan hidup dari suatu makhluk hidup.

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan oleh para peneliti, mereka menghasilkan beberapa teori yang dikenal sebagai *Teori Sel*, yaitu:

1. Setiap organisme hidup terdiri atas satu atau lebih sel.
2. Sel merupakan kesatuan struktural, fungsional, dan herediter terkecil sebagai bagian organisme multisel.
3. Semua sel hidup berasal dari sel dan berkembangbiak melalui pembelahan sel yang berasal dari pembelahan sel lain yang sebelumnya hidup.
4. Sel merupakan unit aktifitas biologi yang dibatasi oleh *membran semipermeabel*, yang dapat melakukan reproduksi sendiri pada medium diluar makhluk hidup.
5. Sel mengandung materi yang diwariskan kepada keturunannya selama pembelahan.

Teori yang telah diterbitkan oleh para peneliti tersebut mengenai keberadaan sel, banyak ditemukan pada semua organisme makhluk hidup baik pada manusia, hewan, tumbuhan, dan mikroba lainnya yang terdiri dari sejumlah sel dengan sekresinya, dimana sel – sel ini berasal dari sel – sel sebelumnya yang hidup. Setiap sel memiliki fungsi dan kehidupannya sendiri yang tergabung dalam organisme multisel. Perkembangan teori ini membutuhkan waktu yang cukup lama bahkan berabad – abad lamanya untuk menyimpulkan sebuah konsep dalam bentuk teori yang dapat diterima oleh semua orang khususnya yang berada di dunia Biologi. Oleh karena itu, perkembangan tentang penelitian mengenai sel ini akan terus berkembang hingga selanjutnya bahkan sampai ditemukannya alat – alat canggih lainnya yang dapat mempermudah pengamatan pada bagian – bagian dari sel tersebut.

BAB II

CARA MEMPELAJARI ILMU SEL

Biologi sel merupakan salah satu cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang sel. Dalam hal ini, sel yang diamati bukan hanya bagian morfologinya saja melainkan dari aspek biokimianya, genetiknya, hubungan antara struktur dan fungsi, mekanisme pembentukan berbagai ultrastruktur seluler, hubungan dengan sistem antar sel, mekanisme pengaturan pertumbuhan dan perkembangan, dan lain sebagainya. Komponen yang begitu banyak yang ingin diamati, perlu peralatan dan metode yang canggih dan modern untuk memilikinya dan mempelajarinya, bahkan untuk mengetahui fungsi dari bagian sel tersebut kita harus mengetahui terlebih dahulu mekanisme kerjanya agar fungsinya dapat kita ketahui dan pahami dengan baik. Untuk mempermudah kita dalam mempelajari tentang sel, kita perlu memahami terlebih dahulu konsep, metode, informasi mengenai ukuran dari organisme yang akan diamati dan mengetahui terlebih dahulu satuan – satuan umum yang digunakan untuk menyatakan ukuran dari sel yang akan diamati tersebut. Setelah kita mengetahuinya dengan baik maka kita dapat lebih mudah dalam melakukan pengamatan terhadap bagian – bagian sel tersebut.

2.1. Skala Ukuran dalam Sel pada Organisme

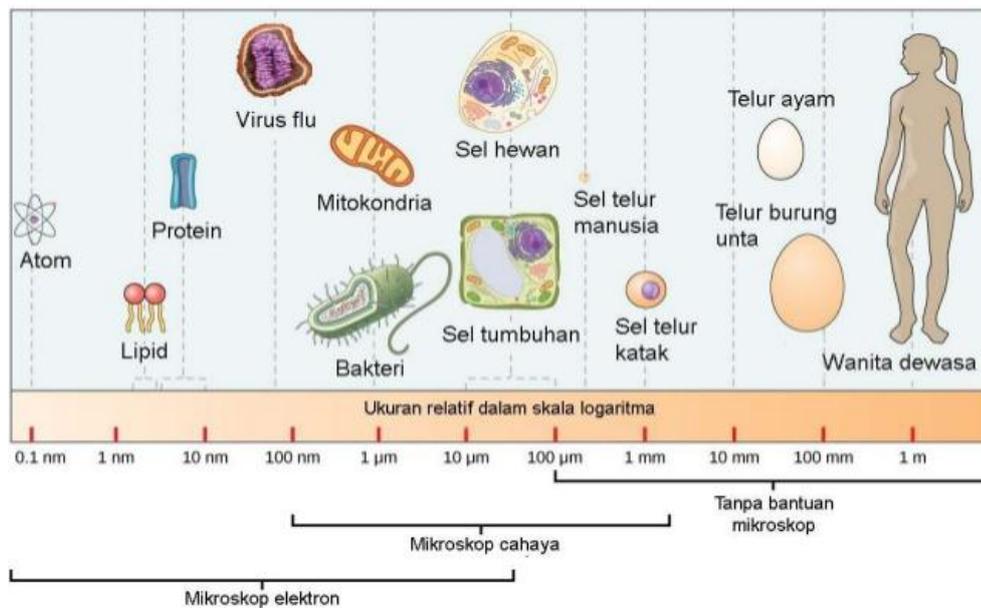
Perkembangan mengenai pemahaman tentang sel semakin cepat berkembang seiring dengan kemajuan zaman. Perkembangan ini melebihi indera manusia yang melebihi batas normalnya. Penemuan dan penelitian awal tentang sel ini semakin berkembang sejak tahun 1590 pada saat penemuan mikroskop elektron pertama kalinya dan peningkatan mutu alat tersebut berkembang pada tahun 1600 – an.

Dalam mempelajari komponen yang terdapat di dalam sel, kita harus mengetahui terlebih dahulu objek yang akan digunakan dalam pengamatan selnya diantaranya yaitu asam amino, protein, virus, bakteri, dan sel. Makhluk hidup yang akan digunakan sebagai objek penelitian harus diketahui terlebih dahulu

skala ukuran (satuan) yang akan diamati agar dapat lebih mudah menentukan resolusi alat yang akan digunakan dalam pengamatannya sehingga objek yang diinginkan dapat terlihat dengan jelas. Dalam hal ini skala ukuran yang digunakan pada pembelajaran histologi dan sitologi sebagai satuan umumnya ialah **mikrometer** atau sering disebut dengan **mikron** (seperseribu milimeter) dengan notasi μm (**mikrometer**) dan **milimikron** atau **nanometer** (nm) satu milimikron sama dengan seperseribu mikrometer. Dalam SI, satu nanometer dibagi lagi atas 1000 **pikometer** (pm), sehingga dalam hubungannya dengan angstrom (\AA) harus dinyatakan dengan 8\AA sama dengan 800 pm. Penggunaan angstrom ini tidak diperbolehkan lagi dalam ukuran standar internasional (SI) sehingga harus dihindari penggunaannya.

Perlu diketahui bahwa ukuran yang akan menjadi objek penelitian kita saat ini yaitu mengenai sel, dimana ukuran sel berkisar antara 5 – 50 μm . Walaupun ukuran sel yang menjadi ketetapan kita, tetapi ukuran sel ini masih banyak yang lebih kecil lagi dari ukuran tersebut ataupun lebih besar dari ukuran tersebut. Secara singkat dapat diketahui bahwa pada tingkat histologi yang menjadi satuan dalam pengukuran selnya ialah **mikrometer** (μm), sedangkan untuk penggunaan mikroskop elektron satuan yang digunakan ialah **nanometer** (nm), dan untuk mempelajari biologi makromolekul satuan yang digunakan ialah **pikometer** (pm).

Secara umum, dapat disimpulkan bahwa organisme makhluk hidup yang akan digunakan sebagai objek dalam penelitian diletakkan pada salah satu skala sebagai hasil pengamatan pada tingkat morfologi, anatomi, histologi, sampai sitologi, mikroskop elektron, dan ultrastrukturnya, dan secara khusus makromolekul atau atom – atom sebagai hasil pengamatan dengan teknologi sangat tinggi. Dengan mengetahui susunan berdasarkan skala ukurannya masing – masing maka sel sangat mudah untuk kita pelajari dan mempermudah kita dalam pengamatannya melalui **mikroskop elektron**.



Gambar 2.1. Kisaran ukuran sel
<http://www.slideshare.net/dasepbux/materi-biologi-x-bab-1-sel>

2.2. Teknik dan Metode dalam Mempelajari Sel

Dalam mempelajari sel, ada beberapa metode dan teknik yang harus kita miliki agar kita mudah melakukan pengamatan tentang sel tersebut, beberapa diantara metode tersebut akan dibahas dibawah ini.

2.2.1. Pengamatan Sel dengan Mikroskop

Untuk mempermudah kita dalam melihat bagian – bagian sel tersebut, yang kita lakukan adalah dengan mengamati sel tersebut menggunakan alat bantu yang mempunyai resolusi yang cukup besar karena ukuran sel tersebut sangat kecil dan tidak dapat dilihat hanya dengan mata telanjang. Oleh sebab itu, pengamatan sel ini kita lakukan dengan menggunakan mikroskop. Penggunaan mikroskop ini dapat ditentukan sesuai ukuran komponen bagian sel yang akan diamati agar dapat memperbesar bayangan objek yang dilihat.



Gambar 2.2. Pengamatan pada Mikroskop
<http://fisikazone.com/menggunakan-mikroskop-dan-merawat-mikroskop/>

2.2.2. Teknik Mikro (Mikroteknik)

Teknik mikro ini adalah teknik yang dilakukan untuk mengamati bagian – bagian sel secara detail dan jelas yang dilakukan dalam bentuk sediaan atau preparat mikroskopik terlebih dahulu. Penggunaan teknik ini dilakukan melalui jaringan yang disayat tipis dengan alat bantu yang bernama mikrotom, kemudian diletakkan pada gelas objek, diwarnai, ditutup dengan gelas penutup, dan akhirnya direkat sehingga menjadi awet dan dapat disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama dan juga dapat dilakukan pengamatannya secara berulang – ulang dengan mikroskop tanpa merusak komposisi dari sel atau jaringan tersebut.



Gambar 2.3 Tahapan dalam Penggunaan Mikroteknik
<http://www.slideshare.net/ShofySeptiana/mikroteknik-ppt>

2.2.3. Teknik Kultur Sel (Pertanaman Sel)

Teknik kultur sel (pertanaman sel) ini ialah teknik yang dilakukan dengan cara menanam sel atau jaringan hidup yang diambil dari tubuh yang masih segar dan hidup, kemudian diletakkan dalam larutan fisiologis atau serum darah, kemudian diamati dengan menggunakan mikroskop. Media yang digunakan dalam teknik ini agar tahan lama dan tidak terjadi kontaminasi yaitu dengan memberikan nutrisi, antibiotik, serum, dan ekstrak embrio. Namun, media ini terkadang banyak memiliki kekurangan sehingga digunakanlah media yang lebih praktis yaitu media sintesis, contohnya *Parker's 199 synthetic medium*, yang mengandung berbagai metabolit dan serum anak sapi atau anak kuda.

Teknik kultur sel ini digunakan dalam pengamatan metabolisme, serta proses pembelahan sel, baik secara normal maupun abnormal, mekanisme infeksi virus, bakteri, dan mikroba lainnya, serta pengamatan pada kromosom sel (*kariotipe*). Pengamatan pada kromosom sel ini dilakukan dengan cara sel terlebih dahulu dikultur kemudian dibuat sediaannya pada saat sel sedang dalam tahap pembelahan sehingga bentuk kromosom dapat terlihat dengan jelas.

2.2.4 Sitokimia

Teknik sitokimia ini dilakukan dengan pemberian berbagai enzim pada jaringan yang kemudian fungsi dari suatu organel dapat terlihat seperti butiran warna tertentu ketika dilihat dengan mikroskop cahaya atau mikroskop elektron. Tujuan utama dalam teknik sitokimia ini adalah untuk identifikasi dan lokalisasi komponen kimiawi sel, baik yang sifatnya kualitatif maupun kuantitatif. Selain itu juga adalah untuk mempelajari dinamika perubahan dinamika organisasi sitokimianya yang terjadi atas perbedaan fungsinya. Dengan menggunakan teknik sitokimia ini, susunan kimia sel dapat ditentukan dengan mudah melalui reaksi kimia yang menghasilkan senyawa tak larut dan berwarna khas.

2.2.5. Biokimia

Metode ini dilakukan dengan cara menganalisis susunan kimia organel dalam tabung reaksi. Dalam analisis yang dilakukan, sel harus dihancurkan atau

dipecahkan selaputnya terlebih dahulu kemudian disentrifugasi, kemudian hasilnya berupa endapan atau sedimen yang selanjutnya dianalisis secara kimia.

2.2.6. Sitogenetika

Metode ini dilakukan dengan cara pengamatan pada sel melalui susunan genetisnya secara khusus. Metode ini bertujuan untuk menentukan kariotipe pada sel, pengamatan pada susunan DNA, pengamatan pada sifat kromosom ketika masih berupa benang halus berbentuk jala (*kromatin*), terjadinya pindah silang (*cross over*) pada waktu pembelahan, mengadakan hibridisasi, membuat peta kromosom, begitu juga pada saat terjadinya pengaruh lingkungan yang menyebabkan terjadinya radiasi gelombang pendek dan bahan kimia.

2.2.7. Fraksionasi Sel

Metode ini digunakan dalam memisahkan bagian organella maupun molekul - molekul makro. Proses ini dilakukan dengan cara homogenisasi dan sentrifugasi. Teknik ini mempelajari struktur dan fungsi sel yang menjauhkan sel – sel dan memisahkan organel utama serta struktur subseluler lain dengan menggunakan *sentrifugasi*. Gaya yang dihasilkan menyebabkan fraksi komponen sel mengendap di dasar tabung membentuk pelet. Fraksionasi sel memungkinkan peneliti menyiapkan komponen – komponen sel secara spesifik dalam jumlah yang banyak dan dapat mengidentifikasi fungsi komponen tersebut serta tugas yang jauh lebih sulit dilakukan oleh sel secara utuh. Mikroskop elektron menemukan bahwa fraksionasi sel mengandung banyak organel yang disebut *mitokondria*.

2.2.8. Sentrifugasi

Sentrifugasi adalah suatu metode yang digunakan dalam mencapai suatu sedimentasi dimana partikel – partikel yang ada di dalam suatu bahan dipisahkan oleh gaya sentrifugasi dari fluida yang dikenakan pada partikel. Metode ini dilakukan dengan cara jaringan dan sel dihancurkan (*homogenisasi*) lalu dipusing (*sentrifugasi*). Proses kerjanya yaitu objek diputar secara horizontal pada jarak radial dari titik dimana titik tersebut melalui gaya sentrifugal. Pada saat objek

diputar, partikel – partikel yang ada akan berpisah dan berpencar sesuai berat jenis masing – masing partikel. Metode sentrifugasi ini merupakan proses pengendapan suatu bahan yang lebih cepat dan optimum dibandingkan dengan teknik biasa. Alat sentrifugasi ini dapat diatur sesuai pemakaiannya. Dengan adanya perbedaan kecepatan dan lamanya pemusingan yang sesuai dengan berat jenis dan besar butirannya dapatlah dipisahkan bagian – bagian sel pada berbagai tahap endapan yang diinginkan. Tiap endapan terdiri dari semacam organel atau frgamen, tiap tahap endapan disaring dan dianalisis struktur dan komposisi kimianya.



Gambar 2.4. Teknik Sentrifugasi
http://ameenamuft.blogspot.co.id/2015_04_01_archive.html

2.2.9. Autoradiografi

Metode ini dilakukan dengan cara pemberian bahan **radioaktif** (*isotop*) pada jaringan, yang diberi warna perak bromida seperti halnya gambar yang timbul dari film potret. Pengamatan ini dapat dilihat dengan mikroskop elektron dan mikroskop cahaya. Metode ini berfungsi untuk mengetahui fungsi organel – organel sel. Pada penggunaan autoradiografi, hasil gambar yang diperoleh dalam radiasi (autoradiografi) melalui pengamatan dan evaluasi pada foto dapat dilakukan dengan tiga cara sebagai berikut, yaitu (1) metode penentuan derajat kehitaman secara komprehensif/makroskopik dengan menggunakan pengukur kehitaman (*makro-autoradiografi*), (2) metode penentuan derajat kehitaman secara mikroskopik dengan menggunakan mikroskop (*mikro-autoradiografi*), dan (3) metode penentuan jejak dengan menggunakan mikroskop (*autoradiografi-jejak*). Metode **makro-autoradiografi** merupakan distribusi dua dimensi radioaktivitas pada bahan obyek yang dapat dibedakan secara jelas. Sedang pada

metode *mikro-autoradiografi* yaitu gambar dua dimensi bahan obyek yang dapat diamati dengan lebih teliti. Metode mikro-autoradiografi ini digunakan untuk menentukan distribusi radioisotop misalnya di dalam dan di luar sel pada kulit binatang, atau dalam berbagai jenis bahan. Untuk *autoradiografi-jejak* dilakukan melalui penentuan radiasi kosmik dengan menggunakan membran emulsi yang tebal atau determinasi radioaktivitas sesuai dengan perbedaan radioaktivitas dalam bahan.

2.2.10. Difraksi Sinar X

Metode ini dilakukan dengan cara penyinaran sel dengan **Sinar X**. Metode ini sering dilakukan dalam Biologi Molekuler yang khusus mendalami susunan kimia sel sampai tingkat susunan molekul zat – zat yang terdapat dalam sel. Metode ini berfungsi untuk menganalisis susunan kimia protein, DNA, dan RNA. Radiasi elektromagnetik sinar-X memiliki panjang gelombang 10-10 m. Difraksi sinar-X dapat memberikan informasi tentang struktur polimer, termasuk tentang keadaan amorf dan kristalin polimer. Polimer dapat mengandung daerah kristalin yang secara acak bercampur dengan daerah amorf. Difraktogram sinar-X polimer kristalin menghasilkan puncak - puncak yang tajam, sedangkan polimer amorf cenderung menghasilkan puncak yang melebar.

2.3 Peralatan dalam Mempelajari Sel

Peralatan yang digunakan dalam mempelajari sel diantaranya ialah mikroskop, peralatan mikroteknik, peralatan pertanian, peralatan analisis kimia dan sentrifugasi. Berikut ini uraian mengenai peralatan yang sering digunakan dalam mempelajari sel.

2.3.1. Mikroskop

Mikroskop pertama kali ditemukan pada abad ke 19. Penemuan mikroskop ini pertama kali oleh seorang ahli biologi dalam pengamatan pada sel. Jenis mikroskop terbagi atas dua jenis yaitu mikroskop cahaya dan mikroskop elektron. Mikroskop cahaya terdapat beberapa jenis diantaranya yaitu mikroskop biasa, mikroskop fluoresensi, mikroskop fasekontras, dan mikroskop polarisasi.

Sedangkan pada mikroskop elektron terdapat mikroskop elektron transmisi (*transmission electron microscope, TEM*), dan mikroskop elektron scanning (*scanning electron microscope, SEM*).



Gambar 2.5. Mikroskop
<https://riotzipa.wordpress.com/2011/12/19/mikroskop-2/>

2.3.1.1. Mikroskop Cahaya

Mikroskop ini merupakan suatu alat yang sangat penting dalam pengamatan benda – benda kecil yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang. Mikroskop ini di dalam sel sangat berperan dalam pengamatan dasar sel, baik sel yang hidup maupun sel yang difiksasi atau diwarnai. Mikroskop cahaya ini memiliki kekurangan dalam hal keterbatasan perbesaran yang dapat dilihat, sehingga bagian sel yang diamati tidak dapat terlihat secara spesifik bagian organellanya. Perbesarannya hanya berkisar antara 100 sampai 1000 kali dengan kekuatan resolusinya lebih kurang $0,02 \mu\text{m}$ dengan panjang gelombang cahaya yang digunakan, umumnya berkisar antara $0,4 - 0,7 \mu\text{m}$. Oleh sebab itu, mikroskop cahaya ini hanya dapat mengamati bagian – bagian kasar saja dari sel yang akan diamati sedangkan bagian yang sangat kecil atau halus membutuhkan mikroskop yang lebih besar lagi resolusinya seperti mikroskop elektron, sehingga pengamatan yang dilakukan oleh ahli biologi seperti Robert Hooke (1665) dalam pengamatannya pada dinding sel mengalami keterbatasan karena tidak dapat

mengetahui materi yang ada dalam sel tersebut dengan jelas. Keterbatasan lensa yang digunakan membuat pengamatannya terbatas hanya bagian kasarnya saja yang kemudian dibantu oleh van Leeuwenhoek dengan mikroskop sederhananya membuat pengamatannya dapat terjadi dengan baik meskipun masih ada kendala yang harus dihadapi lagi sehingga penelitian ini terus berkembang hingga ditemukanlah mikroskop elektron pada tahun 1950 – an.

A. Mikroskop Fluoresensi

Mikroskop fluoresensi merupakan mikroskop yang berfungsi dalam pengamatan pada bagian – bagian tertentu dari suatu sel baik itu sel hidup maupun sel yang sudah mati dan juga pengamatan pada sel yang mengandung kromosom Y (penentu jenis kelamin pria) atau tidak. Zat yang digunakan dalam membantu pengamatan ini ialah zat fluorokrom (suatu senyawa berpendar atau berbinar. Sumber cahaya yang digunakan dalam pengamatan ini yaitu sinar ultraviolet. Proses yang terjadi dalam pengamatan ini ialah pencahayaan yang menyinari objek yang diberi fluorokrom akan mengalami pantulan cahaya dengan gelombang yang lebih panjang pada objek pengamatan. Teknik pembinaran ini sering digunakan dalam pengamatan pada sel kanker karena sel ini kadar DNA – nya tinggi sekali sehinggawarna berbinar inti sel sangat mencolok jika dibandingkan dengan sel normal.

B. Mikroskop Fase Kontras

Mikroskop fase kontras ini merupakan salah satu mikroskop yang memiliki sistem optik yang dapat membiaskan cahaya dengan cara yang berbeda – beda. Pembiasan yang berbeda – beda ini hanya dapat terjadi jika bagian sel yang tak diwarnai tersebut terlihat dengan jelas ketika cahaya datang ke objek pengamatan. mikroskop ini hanya bisa digunakan pada pengamatan sel hidup atau sel hasil pertanaman.

C. Mikroskop Polarisasi

Mikroskop ini digunakan pada pengamatan sel tulang, dinding sel tumbuhan, serat kolagen, otot, sel saraf, silia dan flagela, butiran tepung, dan lemak yang dikandung oleh sel. Mikroskop ini memiliki *prisma Nicol* dari *kalsit* atau *balem* yang dapat membuat cahaya masuk dan mengalami *polarisasi*. *Film polaroid* berfungsi sebagai pengganti *prisma Nicol*.

a. Mikroskop Elektron Transmisi (TEM)

Mikroskop ini berfungsi dalam pengamatan pada struktur halus sel dan komponen – komponennya. Pengamatan ini dapat dilihat melalui irisan atau replika dari sel tersebut. Mikroskop elektron dikembangkan tahun 1950 – an oleh ahli biologi. Mikroskop elektron ini dapat memperkuat daya pembeda dari mikroskop biasa karena cahaya diganti dengan elektron yang memiliki resolusi lebih tinggi. Mikroskop ini lebih banyak memberikan bayangan dua dimensi dimana pada bagian objek yang tebal lebih banyak mengabsorpsi elektron dari bagian yang tipis sehingga perbedaannya pada bayangan benda dapat dibuat pada layar atau film dengan batas resolusi TEMnya adalah 2 nm sehingga objek pengamatan lebih kecil dari 2 nm tidak dapat lagi diamati karena keterbatasan lensa yang terbatas dalam memfokuskan elektronnya terhadap sampel.

b. Mikroskop Elektron Scanning (SEM)

Mikroskop ini menggunakan bayangan tiga dimensi yang berfungsi dalam mempelajari permukaan sel yang menyelaputi suatu rongga atau saluran atau sel yang lepas bebas, seperti mikrovili, silia, flagela, spermatozoa, dan organisme unisel. Proses pengamatannya dilakukan melalui fiksasi dengan pewarnaan ion logam berat, dengan batas resolusi pengamatan pada SEM adalah 2 nm.

2.3.2 Peralatan pada Teknik Mikro (Mikroteknik)

Mikroteknik ialah suatu teknik pengamatan yang dilakukan pada sel yang lebih halus dengan menggunakan sediaan preparat dengan cara pengawetan agar lebih tahan lama penggunaannya. Peralatan mikroteknik ini diantaranya ialah

oven dan inkubator, lemari es, pisau mikrotom, kriostat, dan berbagai jenis reagen.

Oven dan inkubator merupakan alat pemanas yang memiliki suhu yang cukup tinggi sehingga dapat mencairkan parafin serta menyelaputi jaringan dengan parafin agar mudah diiris pada mikrotom. Lemari es berfungsi dalam penyimpanan jaringan agar tidak mudah rusak oleh autolisis atau dimakan bakteri.

Pisau mikrotom berfungsi sebagai alat untuk mengiris jaringan atau alat tubuh hingga ukuran yang sangat tipis. Pengirisan jaringan yang sangat tipis digunakan agar mudah dan terlihat terang dalam pengamatan dibawah mikroskop. Mikrotom ini juga berfungsi dalam melihat ultrastruktur sel di bawah mikroskop elektron yang disebut *ultramikrotom* atau *ultratome* dengan kemampuan mengiris setipis 0,005 – 0,1 μm .

Kriostat berfungsi dalam menganalisis susunan kimia sel dan jaringan yang dikenal dengan nama *sitokimia*. Kriostat ini merupakan gabungan alat antara mikrotom dalam lemari es dengan pengaturan suhu sekitar -30°C sampai -5°C . Reagen merupakan bahan kimia yang berfungsi dalam pengawetan, perekatan, dan pewarnaan sel atau jaringan secara mikroteknik.



Gambar 2.6. Peralatan yang digunakan dalam Mikroteknik
<http://vesagala.blogspot.co.id/2012/01/mikrotek.html>

2.4 Biokimia pada Sel

Biokimia pertama kali dikemukakan oleh seorang ahli kimia yang berasal dari Jerman yang bernama Karl Neuberg (1903). Sekitar pertengahan abad XVIII seorang ahli kimia swedia yang bernama Karl Wilhelm Scheele telah melakukan penelitian mengenai susunan kimia jaringan pada tumbuhan dan hewan. Mereka juga telah melakukan isolasi asam oksalat, asam laktat, asam sitrat serta beberapa ester dan kasein dari bahan alam. Istilah Biokimia ini berasal dari kata Yunani *bios* “kehidupan” dan *chemis* “kimia”. Jadi, Biokimia diartikan sebagai salah satu ilmu yang mempelajari tentang interaksi molekul kimia dalam sel hidup.

Pada abad XX, Biokimia mengalami perkembangan yang sangat pesat. Sejak dilakukannya penelitian dalam masalah gizi, penelitian ini menimbulkan penemuan tentang vitamin yang dapat mencegah seseorang terkena penyakit tertentu sehingga orang tersebut dapat disembuhkan dan dicegah penyebaran virus dalam penyakitnya. Dengan majunya pengetahuan tentang struktur dan sifat protein yang merupakan bagian dari biokimia, hal ini menyebabkan suatu protein menghasilkan enzim sebagai biokatalis bagi reaksi yang terjadi dalam tubuh. Perkembangan ini dilakukan melalui metode analisis kromatografi. Dalam metode ini ditemukan adanya metabolisme karbohidrat, lemak dan protein, penemuan struktur primer, sekunder, tersier dan kuartener protein serta struktur DNA dan RNA yang memiliki pengaruh yang sangat penting dalam perkembangan biokimia. Disamping itu juga perkembangan biokimia dapat terlihat dari banyaknya publikasi baik berupa buku, majalah atau disertasi yang memuat hasil - hasil penelitian dalam berbagai bidang biokimia serta penerapannya dalam kehidupan sehari – hari.

Mahluk hidup memiliki komposisi kimia yang berbeda dengan benda mati karena tidak semua unsur yang terdapat di alam (lingkungan) merupakan unsur penting yang hanya ada bagi mahluk hidup tetapi benda mati juga berperan penting didalamnya juga. Penyusun dasar molekul mahluk hidup adalah unsur - unsur sederhana yang terdiri unsur utama: C, H, O, dan N yang ada sekitar 99,4%. Sisanya merupakan mineral dalam bentuk kation dan anion. Kation mahluk hidup adalah Na, K, Ca, Mg, Fe, dan Fe merupakan kation utama. Kation lain adalah Zn,

Cu. Dalam bentuk anion dipengaruhi oleh faktor makanan, penyakit, umur dll seperti Cl , HCO_3 , H_2PO_4 , PO_4 , SO_4 . Komponen terbesar makhluk hidup ditempati oleh air selebihnya merupakan senyawa organik dan anorganik. Senyawa organik merupakan kombinasi dari atom - atom sederhana seperti gugus fungsi tertentu : metil ($-\text{CH}_3$), hidroksil ($-\text{OH}$), karboksil ($-\text{COOH}$), amino ($-\text{NH}_2$) dll serta dengan perantara ikatan kimia seperti ester, fosfomonoester, dan lain - lain.

Senyawa – senyawa makromolekul yang ada pada makhluk hidup yang terdiri dari karbohidrat, protein, lipida, dan asam nukleat ini dijumpai dalam bentuk terstruktur seperti fosfolipid, protein, glikolipid dan lain – lain, serta dalam bentuk tidak berstruktur sebagai cadangan makanan, dan senyawa yang ada dalam metabolisme. Molekul - molekul ini terus – menerus bercampur, bereaksi dan berinteraksi satu sama lainnya melalui reaksi - reaksi kimia. Hampir semua molekul pembangun makhluk hidup selalu dalam keadaan turnover sebagaimana ciri makhluk hidup yang dapat tumbuh dan berkembang biak karena aktivitas kimia. Tujuan pembelajaran biokimia sel ini adalah menguraikan dan menjelaskan semua proses reaksi kimia dalam bentuk molekul pada sel makhluk hidup. Berikut komposisi kimia molekul dalam sel makhluk hidup.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Molekul Dalam sel Makhluk Hidup

Biomolekul	Persen(%) Berat Total	Dugaan Jumlah Jenis Molekul
Protein	15	3000
Asam Nukleat		
DNA	1	1
RNA	6	>3000
Karbohidrat	3	5
Lipid	2	20
Molekul penyusun dan perantara	2	500

BAB III

ORGANISASI SEL PADA MAKHLUK HIDUP

Penemuan sel yang terjadi pada abad kesembilan belas, mendeskripsikan sel yang memiliki membran pembatas pada bagian luarnya, nukleus pada bagian dalam, dan suatu cairan plasma atau sitoplasma yang mengelilingi bagian nukleus. Penelitian yang semakin berkembang setiap tahunnya, membuat peneliti dapat mengetahui struktur bagian dalam dari sel tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan berbagai metode dan teknik tertentu agar lebih mudah mengamati hal terkecil dari sel tersebut.

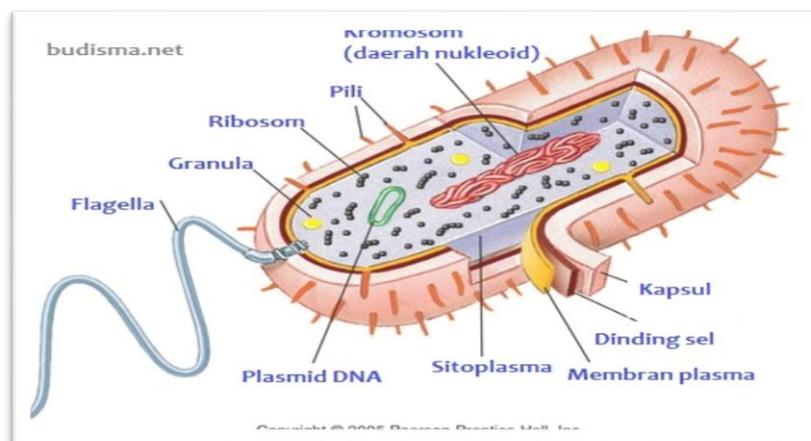
Dengan ditemukannya bagian terdalam dan terhalus dari sel tersebut dan telah berhasil mempelajari berbagai struktur subseluler dari sel tersebut, jelaslah bahwa fungsi – fungsi sel dilakukan oleh struktur terspesialisasi yang dapat dibandingkan dengan organ – organ tubuh kita, oleh sebab itu, struktur tersebut dikenal dengan nama *organel*. Organel – organel tersebut merupakan bagian dari sel yang terpisah – pisah dan memiliki fungsinya masing – masing dengan bentuk seperti suatu ruangan yang ada di dalam rumah, dan memungkinkan terjadinya spesialisasi dalam berbagai bentuk dan fungsi.

Secara umum, organel itu berkembang sebagai suatu sistem yang dapat dipandang sebagai kompartmen dengan bentuk yang berbeda – beda sesuai dengan letak dan fungsinya masing – masing. Bentuk yang memiliki hubungan yang dekat antara struktur dengan fungsinya memiliki sifat yang universal dalam biologi dan dapat diamati pada setiap tingkatan sel, organisme multiseluler, bahkan ekosistem. Pengetahuan tentang organisasi sel ini akan menjadi modal yang sangat berharga agar dapat memahami fungsi – fungsi khusus dari setiap bagian (*organella*) sel selanjutnya. Sel ini secara perlahan – lahan berubah baik secara struktural maupun fungsional agar dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya agar dapat melangsungkan hidupnya dengan baik. Perubahan bentuk ini menghasilkan dua kelompok besar yang memiliki peranan yang berbeda satu dengan yang lainnya yaitu *sel prokariotik* dan *sel eukariotik*.

3.1. Sel Prokariotik

Sel prokariotik merupakan bentuk kehidupan yang terkecil dan memiliki metabolisme paling bervariasi. Kata *prokariotik* sendiri berarti “*sebelum nukleus*” yaitu suatu organisme bersel satu tanpa memiliki nukleus. Hal ini berarti bahwa sel prokariotik ini merupakan nenek moyang dari sel eukariotik, karena dia ada sebelum sel eukariotik ada. Sel prokariotik ini memiliki tiga komponen dasar diantaranya yaitu: *plasmalemma*, *ribosom*, dan *nukleoid*. Beberapa prokariotik tidak memiliki kapsul yang menyelubungi dinding sel, kecuali prokariot yang dapat berfotosintesis. Sel prokariotik ini dapat mengabsorpsi bahan organik untuk pertumbuhannya.

Sel prokariotik memiliki ukuran antara 1 – 10 μm . Masing – masing sel prokariotik dapat menghasilkan sel baru dengan cara membelah diri dan menghasilkan spora atau melakukan pertunas. Bagian dari sel prokariotik pada komponen plasmalemma atau membran sel terdapat *sitoplasma* dan *nukleoid* sedangkan bagian luarnya terdapat *dinding sel* yang berfungsi untuk mengokohkan dan memberi bentuk kepada sel. *Mycoplasma* merupakan salah satu jenis prokariotik yang tidak memiliki dinding sel tetapi memiliki plasmalemma dengan ketebalan 10 nm. Adapun contoh dari sel prokariotik ini ialah *pleuropneumonia-like organism (PPLO)*, *bakteri*, *alga biru (Cyanobacteria, blue green algae)*, dan *archaea*. Sel prokariotik ini kebanyakan jenisnya memiliki dinding sel di sekitar membran plasma. Sel ini memiliki struktur yang sederhana tetapi memiliki jenis variasi yang banyak.



Gambar 3.1 Struktur Sel Prokariotik
<http://slideplayer.info/slide/3210271>

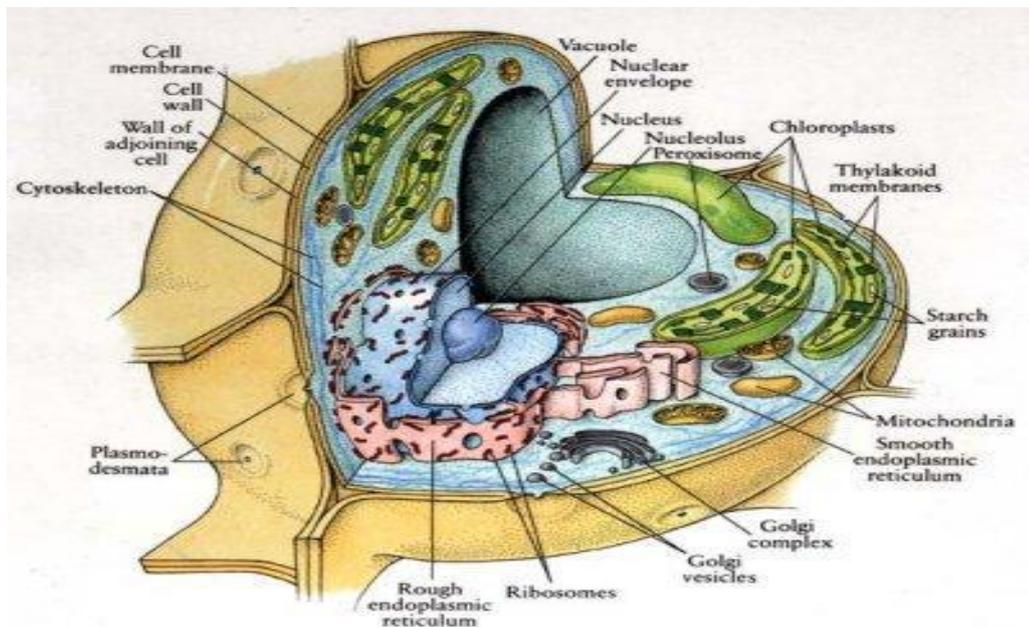
3.2. Sel Eukariotik

Sel eukariotik ialah sel yang memiliki inti atau *nukleus (karion)* yang dikelilingi oleh membran, sehingga sel ini memiliki dua membran yaitu *membran sitoplasma* dan *membran inti (membran nukleus)*. Kata *eucaryotic* ini berasal dari kata Yunani, *eu (sejati)*, dan *karyon (bagian dalam biji/nukleus)*. Oleh sebab itu, sel ini dinamakan sel yang memiliki membran inti (nukleus). Sel eukariotik memulai kehidupannya dengan sebuah nukleus yang dikelilingi oleh berbagai macam organel yang memiliki struktur dan fungsi tertentu dan terbungkus dalam sebuah membran sehingga bentuknya kokoh dan tersusun dengan teratur.

Sel eukariotik ini merupakan salah satu hasil evolusi secara fisik dan biologis yang terjadi berjuta tahun yang lalu, dimana sel ini terbentuk dari sekelompok organisme anaerobik dan organisme aerobik yang saling berhubungan secara simbiosis sehingga dapat hidup bersama dan saling ketergantungan satu dengan yang lainnya sehingga terbentuklah sel eukariotik. Sel eukariotik memiliki nukleus yang terbungkus di dalam membran, sehingga DNA yang terdapat di dalam nukleus dapat tersimpan dalam kompartmen khusus yang terpisah dari bagian lain dari sel yang disebut *sitoplasma*. Disamping itu, terdapat juga jenis organel lain yaitu *mitokondria* dan *kloroplas*, yang terbungkus dalam dua lapis membran yaitu *membran dalam* dan *membran luar* yang secara kimiawi memiliki perbedaan dengan membran yang membungkus nukleus. Mitokondria terdapat pada hampir semua jenis sel sedangkan kloroplas hanya terdapat pada sel yang mampu melakukan fotosintesis yaitu pada tumbuhan, tetapi pada hewan dan jamur tidak ada. Mitokondria dan kloroplas berasal dari satu simbiosis yang sama, dimana keduanya saling ketergantungan satu dengan yang lainnya.

Sel eukariotik ini terdapat pada organisme yang lebih kompleks lagi dan susunan organelnya sudah tersusun dengan teratur. Sel ini terdapat pada sel hewan dan sel tumbuhan. Walaupun demikian, sel ini tidak semuanya ada pada masing – masing sel karena ada bagian yang berbeda satu dengan yang lainnya dan memiliki bentuk, ukuran, dan fungsi fisiologis yang berbeda juga. Meskipun demikian, ada bagian sel yang sama diantaranya yaitu membran plasma,

sitoplasma, organel (seperti retikulum endoplasma, kompleks golgi, lisosom, mitokondria), dan inti sel (nukleus).



Gambar 3.2. Struktur Sel Eukariotik
<https://sains.info/cell-therapy/>

3.3. Perbedaan antara Sel Prokariotik dengan Eukariotik

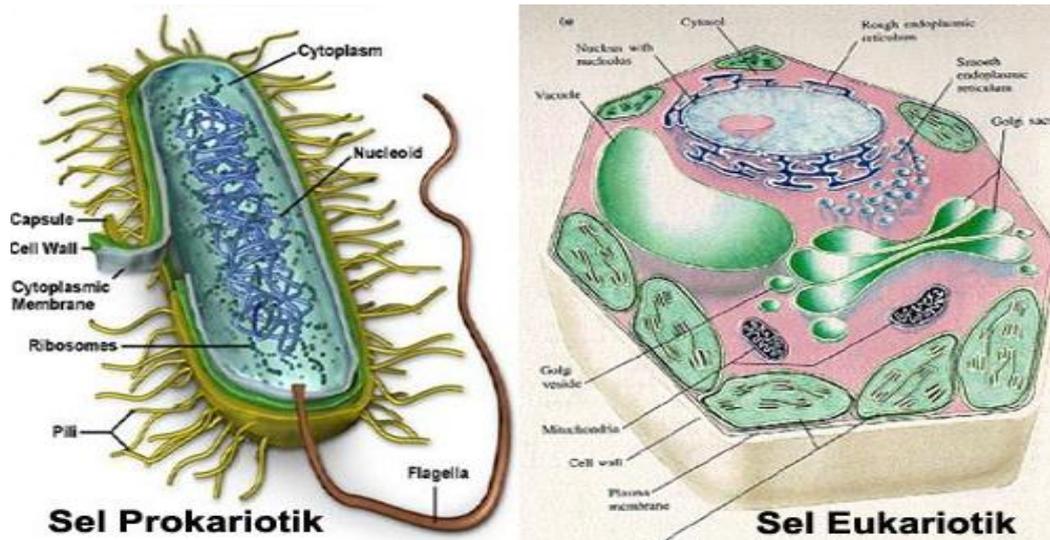
Sel prokariotik dan sel eukariotik meskipun memiliki jenis yang berbeda satu dengan yang lainnya sel ini juga masih memiliki keterkaitan dan saling membutuhkan. Sel prokariotik ini lebih dahulu berkembang baru kemudian sel eukariotik yang berkembang. Kedua sel ini memiliki perbedaan yang utama diantaranya adalah lokasi DNA – nya, seperti yang terdapat dalam kedua jenis sel tersebut. Dalam sel eukariotik sebagian besar DNA berada dalam organel yang disebut nukleus, yang dibatasi oleh membran ganda. Sedangkan pada sel prokariotik DNA – nya terkonsentrasi pada wilayah yang tidak memiliki membran yang disebut *nukleoid*. Interior yang terdapat pada sel prokariot disebut *sitoplasma*, sedangkan pada sel eukariot sitoplasma ini juga merupakan bagian interior yang terdapat diantara nukleus dengan membran plasma. Di dalam sel eukariotik, sitoplasma ini keberadaannya memiliki berbagai macam organel dengan bentuk dan fungsinya secara terspesialisasi, yang tersuspensi dalam *sitosol* sedangkan pada sel prokariot tidak memiliki hal tersebut sehingga ada atau

tidaknya nukleus sejati pada kedua sel tersebut merupakan salah satu perbedaan dari kompleksitas struktural antara kedua sel.

Sel eukariotik umumnya memiliki ukuran yang lebih besar daripada sel prokariotik, hal ini dikarenakan sel eukariotik memiliki organel sel yang lebih banyak dan lebih besar dari pada sel prokariotik. Kebutuhan – kebutuhan yang terkait dengan metabolisme juga menetapkan batas atas teoritis terhadap ukuran yang praktis untuk sel tunggal. Perbatasan ini berfungsi sebagai perintang selektif yang memungkinkan lalu lintas oksigen, nutrisi, dan zat buangan yang cukup untuk melayani keseluruhan sel. Kebutuhan terhadap luas permukaan yang cukup besar dapat mengakomodasi volume dalam membantu menjelaskan ukuran sel baik secara mikroskopis maupun makroskopis. Organisme yang lebih besar umumnya tidak memiliki sel yang lebih besar daripada organisme yang lebih kecil melainkan hanya memiliki lebih banyak selnya saja. Berikut merupakan perbedaan antara sel eukariotik dengan sel prokariotik secara spesifik.

Tabel 3.1. Perbedaan sel prokariotik dan sel eukariotik

Perbedaan	Prokariot	Eukariot
Contoh organisme	Bakteri dan ganggang hijau bir	Protista, fungi, tumbuhan dan hewan
Ukuran sel	Umumnya 1 – 10 μm	Umumnya 5 – 100 μm
Metabolisme	Anaerob dan aerob	Aerob
Organel	Sedikit atau tidak ada	Nukleus, mitokondria, kloroplas, RE dll.
DNA	Sirkular, dalam sitoplasma	Sangat panjang, terdapat dalam inti
RNA dan protein	Disintesis pada beberapa kompartemen	Sintesis RNA terjadi dalam nukleus, protein disintesis dalam sitoplasma
Sitoplasma	Tidak ada sitoskeleton	Sitoskeleton tersusun atas filament protein
Pembelahan sel	Kromosom memisahkan diri oleh adanya pemisahan membran plasma	Kromosom memisah melalui gelendong pembelahan.
Organisasi seluler	Umumnya uniseluler	Umumnya multiseluler



Gambar 3.3. Perbedaan Struktur Sel Prokariotik dengan Sel Eukariotik
<http://www.biologipedia.com/perbedaan-sel-prokariotik-dan-eukariotik.html>

3.4. Sel Hewan dan Sel Tumbuhan

3.4.1. Sel Hewan

Sel eukariotik yang terdapat pada sel hewan merupakan sel yang tidak memiliki dinding sel serta kloroplas. Sel hewan tidak sama dengan sel tumbuhan, dimana pada sel tumbuhan memiliki dinding sel yang dapat menjaga integritas serta menjaga bentuk sel tumbuhan tersebut sedangkan pada sel hewan tidak memiliki dinding sel. Oleh karena itu, sel hewan memiliki variasi dalam bentuk bahkan dapat bersifat elastis contohnya pada sel penyusun kulit manusia.

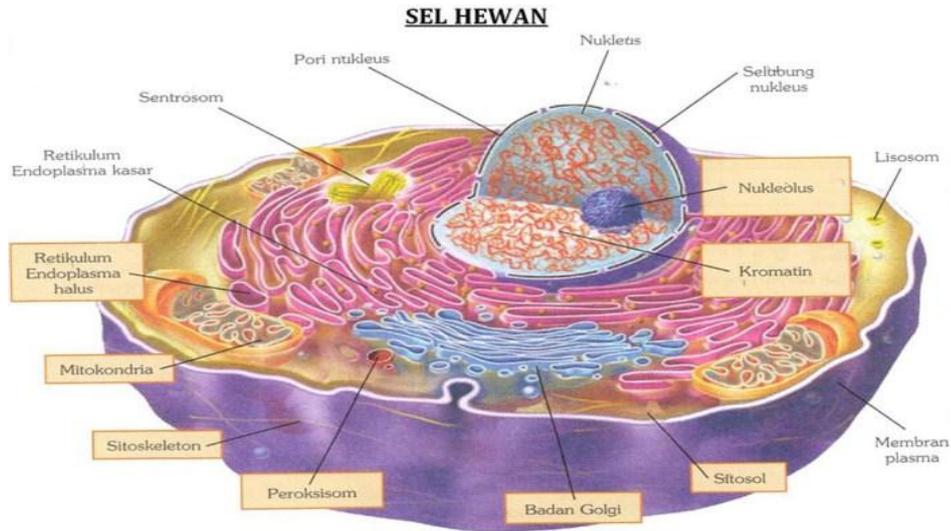
Sesuai dengan namanya, sel hewan merupakan sel yang menyusun jaringan – jaringan pada tubuh hewan atau sel sebagai organisme seluler seperti pada protozoa. Penggambaran yang terdapat pada sel hewan ini secara umum menampilkan struktur – struktur hewan yang paling mudah ditemukan. Organel yang sangat berperan dalam sel ini ialah **nukleus**, sedangkan aktivitas metabolisme yang paling banyak dilakukan yaitu pada **sitoplasma**.

Berdasarkan struktur yang terdapat pada sel hewan, ada beberapa organel yang peranannya sangat berbeda dengan sel tumbuhan, perbedaan ini berdasarkan fungsinya masing – masing. Terjadinya perbedaan yang fundamental pada sel hewan seperti dinding sel dan kloroplas karena organel ini hanya ada pada sel tumbuhan. Ada beberapa hal yang menjadi perbedaan antara sel hewan dan sel tumbuhan lainnya, hal ini sekaligus menjadi ciri khas dari sel hewan

tersebut. Bagian dari sel hewan ini terdiri dari vesikel, mitokondria, sentriol, nukleus, nukleolus, kromatin, ribosom, retikulum endoplasma, mikrotubulus, membran plasma, vacuola, sitosol, selaput inti, badan golgi, dan lisosom. Sel hewan tidak memiliki dinding sel, tidak memiliki plastida, dan bentuk yang tidak tetap seperti sel tumbuhan. Vakuola pada sel hewan bentuknya kecil bahkan ada yang tidak ada. Hewan – hewan uniselular ini biasanya memiliki vakuola. Ada dua tipe vakuola sebagai berikut :

- *Vakuola kontraktil* berperan dalam menjaga tekanan osmotik sitoplasma (*osmoregulator*).
- *Vakuola nonkontraktil* atau vakuola makanan berfungsi untuk mencerna makanan.

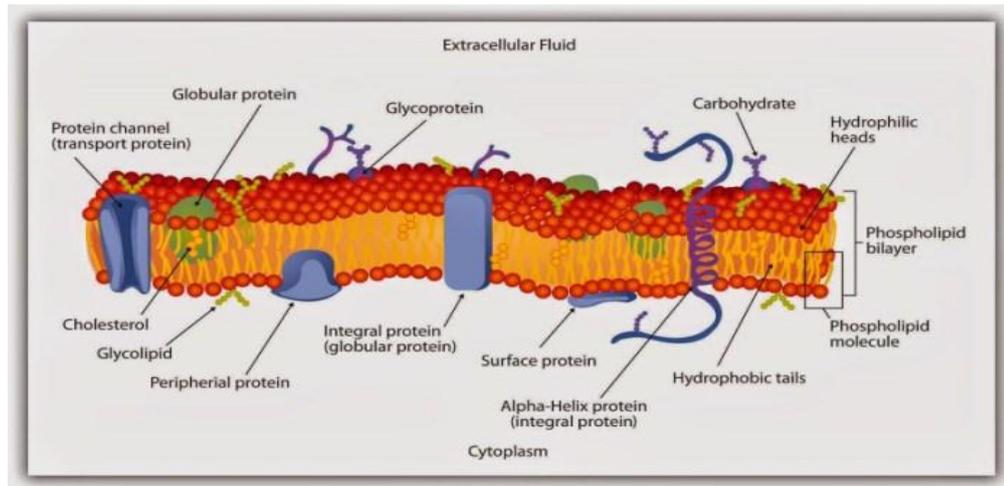
Adapun bentuk, ukuran, dan komposisi dari sel hewan ini sangat bervariasi antara satu dengan yang lainnya. Dimana pada struktur bagian luar dari sel tersebut dibatasi oleh suatu selaput tipis yang dinamakan *membran plasma* atau *plasmalemma*. Membran plasma ini membentuk lipatan – lipatan yang disebut *mikrovilli*, dimana mikrovilli ini berfungsi sebagai daerah yang dapat memperluas permukaan sel. Membran ini antara satu dengan yang lainnya saling berhubungan melalui suatu desmosom atau melalui suatu sistem perlekatan khusus lainnya yang saling berkaitan dengan sel. di daerah cairan sitoplasma terdapat beberapa organella yang berfungsi sebagai alat dalam kelengkapan sel yang saling bekerjasama satu dengan yang lainnya, diantaranya seperti retikulum endoplasma, ribosom, mitokondria, kompleks golgi, vakuola, dan lain – lain.



Gambar 3.4. Sel Hewan
<http://www.tandapagar.com/gambar-sel-hewan/>

A. Membran plasma

Membran plasma atau membran sel atau sering disebut juga dengan nama plasmalemma merupakan suatu sistem membran yang merupakan lapisan terluar yang membatasi isi sel dari lingkungannya. Membran ini terdapat pada sel hewan dan sel tumbuhan yang sangat tipis, hidup, dan bersifat semipermeabel. Rangka membran sel merupakan lapisan lipid bilayer, dua lapisan fosfolipid dengan ekor membentuk susunan sandwich di antara kepala. Membran plasma ini memiliki bagian yang tersusun dari lemak (*lipid*) dan protein (*lipoprotein*). Membran plasma merupakan bagian terluar dari sel yang membungkus semua organel sel lainnya. Membran plasma ini berfungsi dalam mengatur pertukaran zat antara sitoplasma dengan larutan di luar sel, menyelenggarakan pertahanan mekanisme dan untuk memberi bentuk pada sel. Membran ini juga berfungsi sebagai penyelenggara komunikasi antar sel dan juga sebagai organel yang dapat mengontrol masuknya nutrisi dan mineral ke dalam sel. Berdasarkan pemeriksaan secara teliti, ditemukan bahwa membran tersebut memiliki tiga lapisan di dalam sel yaitu dua garis gelap dan dipisahkan oleh ruang yang jernih. Cara lain untuk mengetahui keberadaan membran sel ialah dengan melakukan isolasi dari sisa sel dan memeriksakan molekul – molekul yang menjadikannya sebagai membran sel.

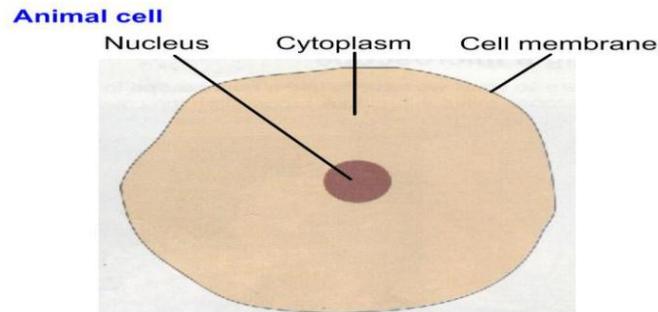


Gambar 3.5. Struktur Membran Plasma
<http://www.tandapagar.com/gambar-sel-hewan/>

B. Sitoplasma

Sitoplasma merupakan cairan matriks atau zat seperti gel yang berada di dalam sel. Sitoplasma tersusun atas partikel berupa material air dan juga protein. Fungsi utama dari sitoplasma ini yaitu sebagai tempat berlangsungnya reaksi metabolisme yang terdapat di dalam sel. Sitoplasma ini juga sangat berperan dalam membantu dan memeriksa segala sesuatu yang terjadi di dalam sel kecuali nukleus yang merupakan inti sel. Pengamatan yang terjadi pada sitoplasma mengalami kerumitan dalam struktur – strukturnya sehingga untuk mempelajarinya butuh mikroskop yang canggih seperti mikroskop elektron agar pengamatan terhadap strukturnya mudah untuk diamati. Struktur yang dibatasi oleh sitoplasma ini dinamakan *organela*. Cara yang dapat dilakukan untuk mengetahui keberadaan bagian – bagian sel ini beserta fungsinya yaitu melalui penghancuran sejumlah sel yang berukuran besar, kemudian masukkan bagian sel yang terpisah tadi ke dalam tabung, dan putarkan dalam mesin pemusing (*sentrifugasi*). Melalui pemusingan campuran sel kedalam sentrifugasi selama 10 menit dan gaya sekitar 800 kali daya tarik bumi akan menyebabkan nukleus diendapkan di dasar tabung sehingga terbentuklah suatu endapan berupa sedimen. Dengan adanya sedimen inilah mengakibatkan organel – organel yang lebih kecil dan ringan ini mudah untuk dipelajari dan diambil secara kimia dan mikroskopis. Setelah proses sentrifugasi ini dilakukan, maka proses pengidentifikasian dari masing – masing organel dapat dilakukan dan juga masing – masing organel

diberikan penamaannya sesuai fungsinya masing – masing. Sitoplasma ini merupakan substansi dasar yang sangat berperan dalam kelangsungan kerja organel yang ada didalamnya.



Gambar 3.6. Struktur Sitoplasma
<http://www.tandapagar.com/gambar-sel-hewan/>

C. Nukleus

Nukleus atau inti sel merupakan salah satu organel yang berada di bagian pusat sel. Keberadaannya ini berfungsi sebagai pusat kegiatan yang ada di dalam sel. Di dalam nukleus ditemukan adanya cairan inti (*nukleoplasma*), anak inti (*nukleolus*), dan *selaput inti*. Nukleus ini dibatasi oleh sepasang membran yang memiliki selubung pada bagian luarnya yang tidak saling menyambung satu dengan yang lain tetapi memiliki pori – pori. Hal ini memungkinkan terjadinya perpindahan materi yang ada pada organel yang satu dengan lainnya dengan cara saling berlalu lalang dari nukleus hingga ke organel lain sesuai kebutuhannya.

Pada nukleolus yang merupakan daerah bernoda gelap dan merupakan anak inti dari nukleus, memiliki tanggungjawab dalam membentuk protein dengan menggunakan RNA (asam ribonukleat). Pada bagian selubung nukleus yang merupakan bagian pelindung berpori dan menutupi inti, memungkinkan terjadinya pemasukan zat ke dalam nukleus tersebut dan merupakan salah satu bagian dari ciri khas sel hewan. Kemudian nukleoplasma merupakan suatu cairan padat yang berada di dalam nukleus yang memiliki kandungan serat kromatin. Padatan ini berfungsi dalam membentuk kromosom dan gen yang berperan sebagai pembawa informasi secara turun – temurun.

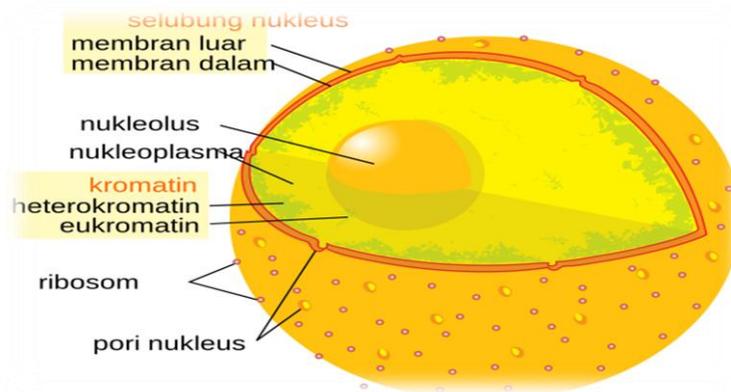
Nukleus juga memiliki DNA pada sel eukariotik. Dimana nukleus ini berperan dalam melindungi DNA tersebut dari kerusakan yang diakibatkan oleh reaksi yang terdapat dalam sitoplasma. Molekul dari DNA ini berukuran besar dan kebanyakan nukleusnya memiliki DNA yang sangat banyak. Dengan demikian, nukleus ini dapat melindungi satu sel material genetik dengan jumlahnya satu dan hanya duplikasi DNA yang aman dan kuat. Sedangkan yang terisolasi dalam kompartmennya, DNA tetap berpisah dari aktivitas dalam sitoplasma dan dari reaksi metabolik yang mungkin merusaknya.

Nukleus juga berperan dalam mengontrol perpindahan molekul antara sitoplasma dengan nukleus dalam hal sel mengakses DNA pada saat RNA dan protein dibuat olehnya, sehingga setiap molekul yang terlibat di dalam proses ini harus masuk dan keluar dari nukleus. Pada waktu tertentu, keberadaan membran nukleus ini membiarkan molekul tertentu untuk menembusnya. Hal ini disebabkan karena untuk melindungi DNA dengan cara sel yang mengatur jumlah RNA dan protein yang dibentuknya.

Peranan lain dari nukleus ini ialah sebagai pusat pengendali dalam sel. Jika nukleus dalam sel telur telah dirusak oleh benda atau makhluk lain, maka telur tersebut tidak dapat melanjutkan perkembangannya menjadi individu yang baru. Jika nukleus itu dikeluarkan dari suatu amuba, organisme ini akan hidup selama beberapa hari. Namun, organisme ini tidak dapat makan ataupun berkembang biak sesuai kebutuhannya sehingga dapat mengalami kepunahan. Akan tetapi, jika organisme ini sehari atau dua hari setelah dioperasi atau disuntikkan nukleus ke dalam amuba tersebut, maka kelangsungan hidupnya akan kembali normal dan juga mampu berkembang biak.

Penemuan nukleus ini telah diperagakan oleh seorang ahli biologiwan dari Jerman yang bernama *Theodor Boveri*. Ahli tersebut berhasil mengeluarkan nukleus dari telur suatu spesies hewan laut genus *Sphaerechinus* dengan cara mengguncang telur tersebut dengan keras sehingga nukleus yang berada di dalam telur tersebut mudah untuk dikeluarkan. Kemudian telur tersebut dibuahi oleh sperma dari jenis binatang laut pada genus *Echinus*. Bentuk dari sel telur lebih besar dari pada sel sperma. Di dalam sel tersebut terdapat nukleus dan ekor sebagai alat geraknya. Di dalam proses pembuahan, nukleus dapat menembus

telur. Oleh sebab itu, pembuahan telur tanpa nukleus *Sphaerechinus* oleh sperma *Echinomus* yang menghasilkan penambahan satu macam nukleus bagi yang lain. Rangsangan ini membuat telur jadi mengalami pembelahan sel dan menumbuhkan larva urkin laut.



Gambar 3.7. Struktur Nukleus

<http://melapuji15.blogspot.co.id/2015/08/membran-dan-organel-organel-sel.html>

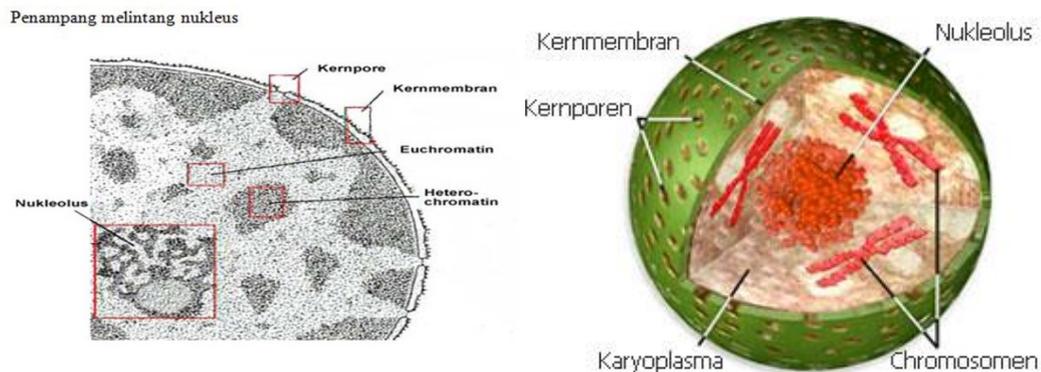
C.1. Membran nukleus

Membran nukleus atau dikenal dengan sebutan *amplop nukleus* ini memiliki dua lipid bilayer yang terlipat bersama sebagai membran tunggal yang mana pada lapisan luarnya berhubungan dengan membran organel lain. Jenis protein membran yang berbeda dapat melekat dalam dua lipid bilayer. Beberapa diantaranya berupa *reseptor* atau *transforter*, sedangkan protein lain dapat beragregasi membentuk pori dalam membran. Molekul ini berperan dalam hal sistem transportasi pada berbagai molekul yang melewati membran inti. Semua zat lainnya dapat menembus membran melalui transporter dan pori membran. Selama terjadinya pembelahan sel, protein ini sangat membantu sel dalam mewariskan DNA kepada keturunannya.

C.2. Nukleolus

Nukleolus merupakan bagian dari nukleus yang padat dan tidak teratur, tempat subunit ribosom tersebut terbentuk dari protein dan RNA. Nukleolus ini dibentuk di daerah *NOR (Nukleolar Organizingregions)*. Kedua subunit tersebut melewati pori – pori yang berinti menuju sitoplasma yang merupakan tempat keduanya bergabung dan menjadi aktif dalam pembentukan protein. Nukleolus

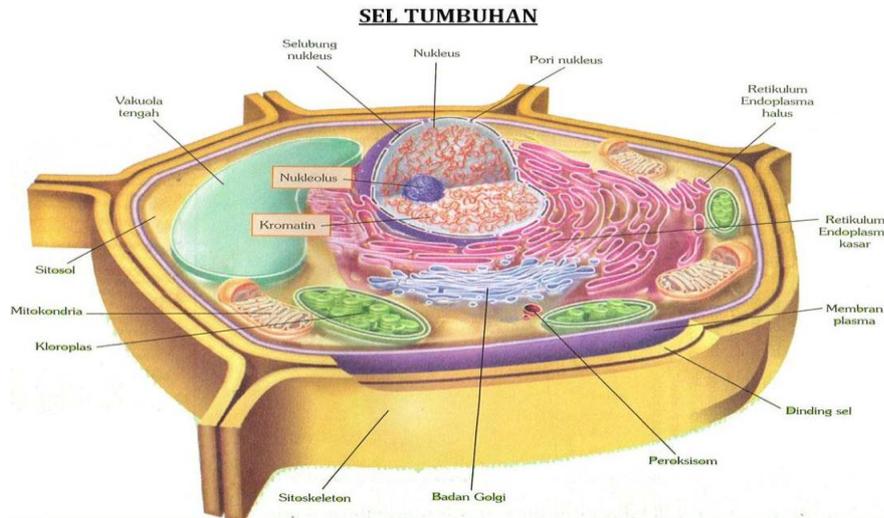
disebut juga *butir inti* atau *anak inti*, yang tidak memiliki membran/selaput berupa anyaman. Nukleolus ini memiliki ukuran yang bervariasi dan selalu berubah – ubah terutama pada tumbuhan. Perubahan ini terjadi selama daur hidup sel, terutama pada saat tahapan interfase yang mana perubahannya terlihat dengan jelas. Nukleolus berfungsi dalam mensintesis RNA protein dan juga dalam pembentukan ribosom.



Gambar 3.8. Struktur Nukleolus
<http://slideplayer.info/slide/3631565/#>

3.4.2. Sel Tumbuhan

Sel tumbuhan merupakan bagian dari sel eukariotik, dimana bagian – bagian organel yang terdapat di dalamnya hampir sama dengan organel yang ada pada sel hewan. Hanya beberapa organel yang dimiliki tumbuhan tetapi tidak dimiliki oleh hewan begitu juga sebaliknya ada organel yang terdapat pada sel hewan tetapi tidak terdapat pada tumbuhan. Penggambaran sel tumbuhan ini memiliki kemiripan sekaligus perbedaan yang cukup jelas antara sel hewan dengan sel tumbuhan. Salah satu organel yang terdapat pada sel tumbuhan yang paling penting ialah *plastida*. Jenis plastida yang sangat berperan bagi tumbuhan yaitu *kloroplas*, yang sangat berperan penting dalam proses *fotosintesis*. Organel penting lainnya yaitu *dinding sel* dan *vakuola*.



Gambar 3.9. Struktur Sel Tumbuhan
<http://thinkwijaya.blogspot.co.id/2014/09/sel-hewan-dan-sel-tumbuhan.html>

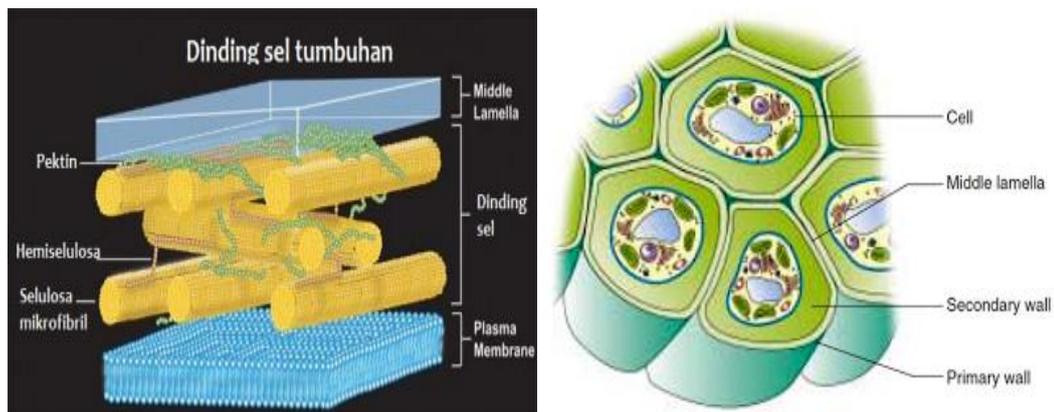
A. Dinding sel

Dinding sel merupakan bagian dari sel tumbuhan yang terletak di luar membran plasma dengan bentuk yang tebal. Dinding sel ini mudah ditembus oleh saluran – saluran yang ada didalamnya yang disebut *plasmodesma*. Plasmodesma ini dapat menghubungkan sitoplasma dengan sel – sel yang ada bersebelahan dengannya. Dinding sel ini terbentuk dari polisakarida yang disebut *selulosa* dan protein lainnya dan berperan penting dalam mempertahankan bentuk sel, dan melindungi sitoplasma dan membran plasma dari kerusakan mekanis, dan juga sebagai alat transportasi zat dari dalam keluar sel atau sebaliknya.

Dinding sel yang terdapat pada tumbuhan terdiri dari empat lapisan yaitu: lamella tengah, dinding primer, sekunder, dan juga tersier yang sebagian besar terdiri atas selulosa atau zat kitin. *Lamela tengah* ialah suatu lapisan yang kaya akan pektin. Lapisan terluarnya berfungsi sebagai penghubung antara sel – sel tanaman yang berdekatan dan saling menempel, *Dinding sel primer* memiliki struktur yang tipis dan fleksibel serta terbentuk sementara dalam sel tumbuhnya, *Dinding sel sekunder* ialah suatu lapisan tebal yang terbentuk di dalam dinding sel utama setelah sel menjadi dewasa. Dinding sel sekunder tidak ditemukan di dalam semua jenis sel dan hanya ditemukan di dalam pembuluh kayu saja. Selulosa dan kitin merupakan molekul polisakarida, yang berarti suatu zat yang terdiri dari banyak molekul gula yang saling berkaitan. Selulosa termasuk polimer

dari glukosa, yang memiliki unsur karbon, hidrogen, dan oksigen, sedangkan zat kitin merupakan polimer dari N-asetilglukosamin yang memiliki kandungan zat gula yang memiliki unsur nitrogen.

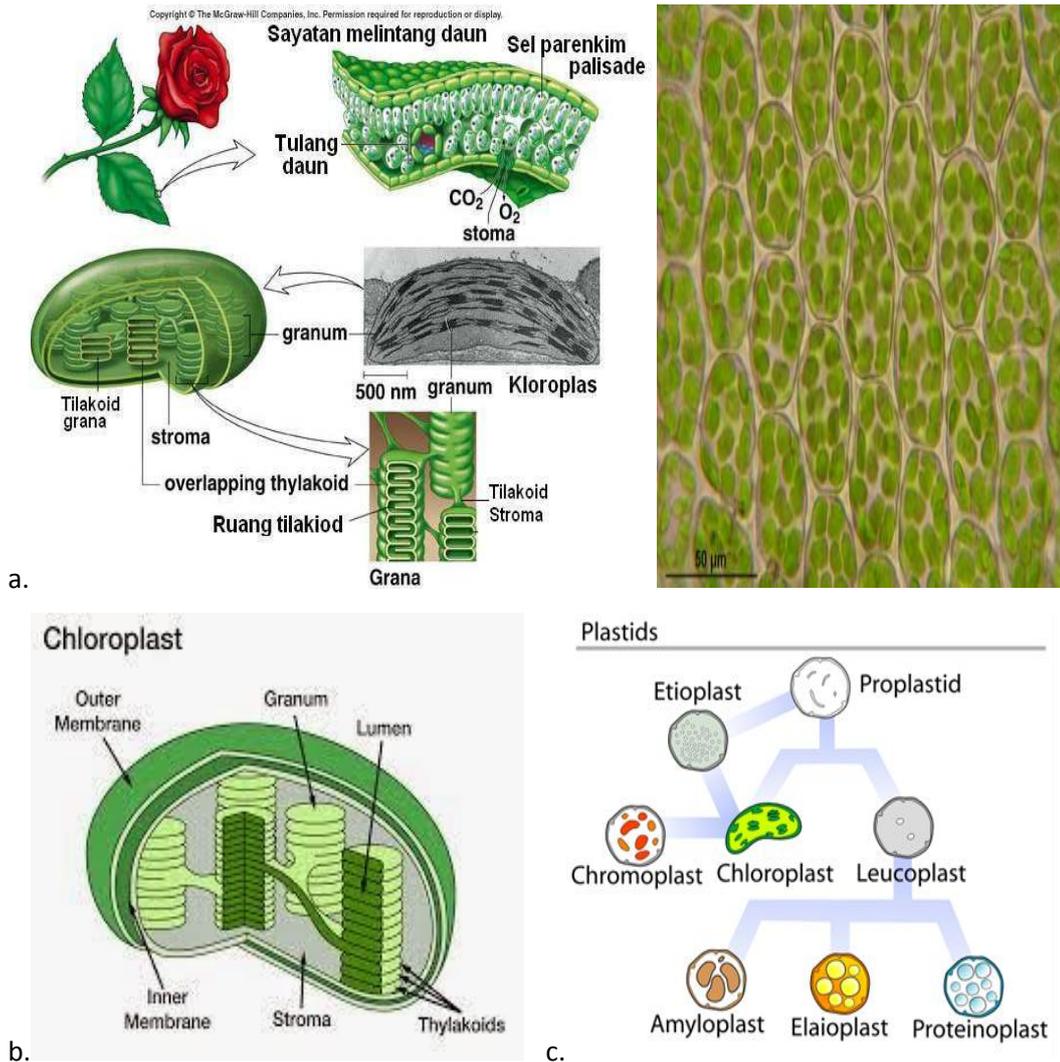
Dinding sel yang terdapat pada tumbuhan mempunyai kekuatan daya tarik yang cukup tinggi dalam menahan tekanan osmosis yang dihasilkan dari perbedaan konsentrasi zat terlarut antara sel interior dan air di bagian ekstraseluler. Dinding sel memiliki ukuran ketebalan sekitar 0,1 μm .



Gambar 3.10. Struktur Dinding Sel
<http://fungsi.web.id/2015/04/fungsi-dinding-sel.html>

B. Plastida

Plastida merupakan salah satu organel yang terdapat pada sel tumbuhan yang sangat berperan penting dalam proses fotosintesis. Plastida ini memiliki *kromoplas* yang mengandung *klorofil* yang disebut dengan *kloroplas*. *Kromoplas* merupakan plastida yang mengandung pigmen, misalnya : *Karotin* (kuning), *Fikodanin* (biru), *Fikosantin* (kuning), dan *Fikoeritrin* (merah). Kloroplas ini berperan dalam mengubah energi cahaya matahari menjadi energi kimia yang tersimpan dalam molekul gula. Plastida ini memiliki ukuran yang cukup besar berada diantara 4 – 6 μm . Adapun pigmen lain yang terdapat di plastida ini ialah *kromoplas* yang merupakan pigmen yang memiliki warna yaitu berwarna hijau, sedangkan pigmen yang tidak berwarna yaitu *leukoplas*. Leukoplas ini berperan penting dalam pembuatan amilum (*amiloplas*) dan pembentukan lemak (*lipoplas*).



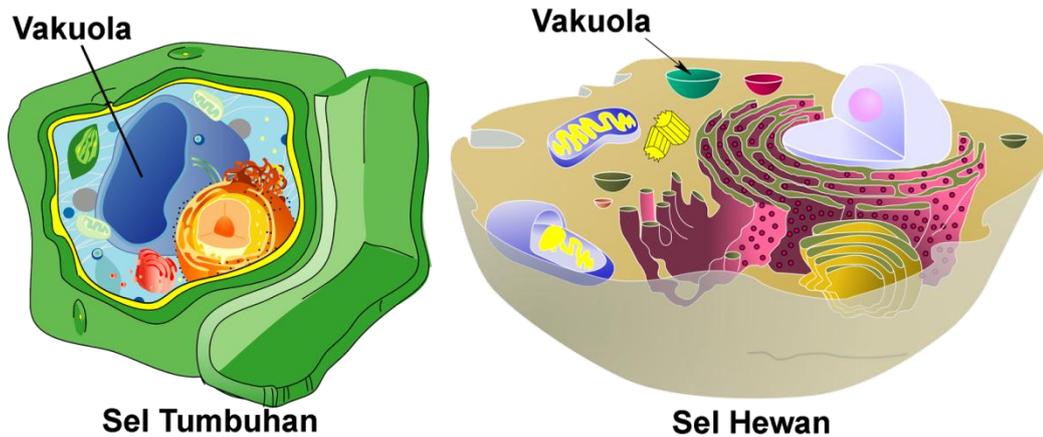
Gambar 3.11. (a). Penampang Kloroplas pada tumbuhan, (b). Struktur pada kloroplas, (c). Pigmen yang terdapat pada kromoplas.

<http://tatangma.com/2014/10/jenis-jenis-dan-fungsi-plastida.html>,
<http://homepages.ius.edu/dpartin/Lecture4metabolism.ppt>

C. Vakuola

Banyak sel yang terdapat pada tumbuhan memiliki vakuola sentral yang besar. Bentuk vakuola ini sangat berbeda dengan sel hewan karena pada sel hewan bentuknya lebih kecil bahkan pada beberapa sel ada yang tidak memiliki vakuola. Bentuk vakuola ini pada tumbuhan bukan hanya besar tapi terlihat lebih jelas dan lebih tua jika dibandingkan dengan sel hewan. Vakuola yang terdapat pada tumbuhan umumnya berisi air, fenol, alkaloid, antosianin, dan protein. Vakuola ini berasal dari pelebaran RE dan KG. Sedangkan pada sel hewan, vakuola ini diselubungi oleh membran lipoprotein yang berfungsi sebagai penyimpan,

pemindah material, dan memelihara sel dari tekanan dalam sedangkan pada tumbuhan, vakuola ini berperan dalam hal penyimpanan zat makanan, penguraian zat sisa, sebagai zat hidrolisis makromolekul, dan sebagai pembesaran vakuola yang sangat berperan dalam mekanisme pertumbuhan pada tumbuhan.



Gambar 3.12. Perbedaan ukuran pada sel Tumbuhan dan sel hewan
<http://www.jendelasarjana.com/2014/03/10-fungsi-vakuola.html>

Vakuola berfungsi juga dalam kegiatan autofagi. Autofagi merupakan suatu kegiatan dalam katabolisme yang melakukan proses pemecahan komponen – komponen sel yang tidak lagi dibutuhkan. Dalam proses autofagi dilakukan oleh organel lisosom, vakuola dalam menjaga keseimbangan antar biogenesis dan degradasi zat – zat dalam sel. Vakuola sel hewan lebih kecil jika dibandingkan dengan vakuola pada sel tumbuhan. Vakuola pusat yang ada pada sel tumbuhan dikelilingi oleh *tonoplas*. Vakuola ini sangat membantu dalam menyokong kegiatan pada sel tumbuhan, termasuk daun dan bagian lunak lainnya. Zat terlarut dalam vakuola ini dapat menyerap air. Ketika air masuk ke vakuola, sel menjadi besar dengan begitu bagian – bagian lunak tumbuhan dapat mempertahankan turgiditas dan bentuknya. Vakuola pada sel hewan sangat berperan dalam membantu proses *eksositosis* dan *endositosis*. Pada eksositosis, molekul yang ada pada protein dan lipid dikeluarkan dari sel. Namun, vakuola ini tidak berperan langsung dalam pengeluaran lipid dan protein. Akan tetapi, vakuola ini berperan hanya sebagai wadah atau tempat dalam lipid dan protein tersebut bereaksi. Proses yang ada pada endositosis merupakan kebalikan dari eksositosis.

3.4.3. Perbedaan Sel Hewan dengan Sel Tumbuhan

Sel – sel eukariotik yang terdapat pada semua sel hewan dan sel tumbuhan, memiliki persamaan dan perbedaan yang cukup jelas dalam hal fungsinya pada setiap bagian. Adanya perbedaan ini memberikan konsekuensi yang cukup luas mengenai fungsi dari sel – sel tersebut. Adapun perbedaan dari kedua sel tersebut dapat dilihat dari Tabel dibawah ini.

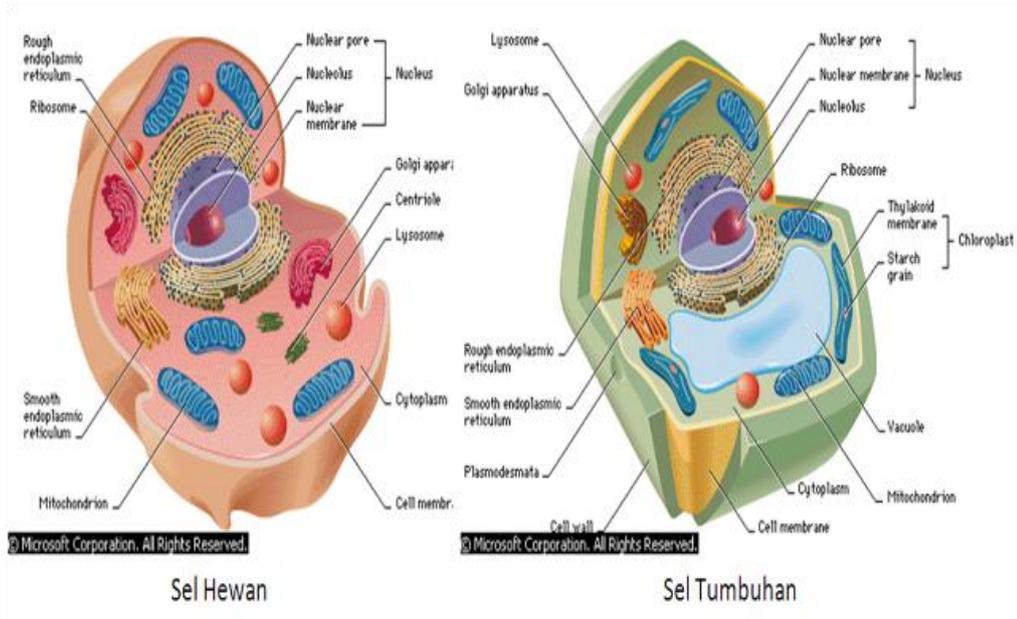
Tabel 3.2. Persamaan dan Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan

No.	Bagian-bagian Sel	Terdapat pada		Fungsi
		Hewan	Tumbuhan	
1.	Dinding sel	–	✓	Membentuk dan melindungi isi sel.
2.	Selaput sel	✓	✓	Mengatur keluar masuknya zat dan membungkus isi sel.
3.	Inti sel	✓	✓	Mangatur/mengendalikan semua aktivitas sel.
4.	Plastida (kloroplas)	–	✓	Tempat fotosintesis.
5.	Vakuola	–	✓	Menyimpan kristal/bahan, timbunan lain, Pencernaan makanan pada hewan bersel satu.
6.	Mitokondria	✓	✓	Pusat pembakaran atau pernapasan (respirasi) sel.
7.	Lisosom	✓	–	Mendaur ulang benda-benda asing yang terdapat dalam sel.
8.	Badan Golgi	✓	✓	Membantu pembentukan protein, mengeluarkan zat keluar sel.
9.	Retikulum endoplasma	✓	✓	Membantu metabolisme protein, lemak, dan karbohidrat.
10.	Ribosom	✓	✓	Membantu pembentukan protein, mengeluarkan zat keluar sel.

Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa perbedaan dari kedua sel tersebut terletak pada ada tidaknya struktur dinding sel, vakuola besar (*tonoplas*), kloroplas, butir amilum, dan sentriol. Perbedaan – perbedaan dari kedua sel tersebut menjadi ciri khas dari sel tersebut dalam menjalankan fungsinya masing – masing. Walaupun terdapat perbedaan dari sel tersebut, ada juga persamaannya. Persamaan dari kedua sel tersebut memiliki fungsi yang sama satu dengan yang lainnya.

Baik pada hewan maupun tumbuhan, kelompok yang serupa terorganisasi menjadi lembaran – lembaran atau berkas yang tersusun membentuk suatu *jaringan*, kemudian jaringan – jaringan tersebut membentuk suatu *organ*, kemudian membentuk struktur yang lebih spesifik lagi dalam bentuk *sistem organ*, dan kemudian membentuk suatu *organisme* yang tersusun dalam tingkatan yang lebih kompleks dan lebih tinggi lagi yang terintegrasi dari tingkatan yang lebih rendah.

Berdasarkan penjelasan tersebut, diketahui bahwa sel eukariotik baik hewan maupun pada tumbuhan memiliki organel yang sangat berperan penting dalam kehidupan makhluk hidup, diantaranya *membran plasma*, *sitoplasma* yang terkandung di dalamnya berbagai macam organella, dan *nukleus* yang mengandung materi genetik yaitu DNA dan RNA.



Gambar 3.13. Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan
<http://madanisains.blogspot.co.id/2011/03/organisasi-kehidupan-tingkat-sel.html>

BAB IV ORGANELLA SEL

Organel Sel merupakan salah satu struktur yang melakukan fungsi yang sangat spesifik di dalam sel dimana struktur tersebut merupakan benda – benda padat yang terdapat di dalam sitoplasma sel yang bersifat hidup dan berperan khusus dalam menjalankan kehidupan sel seperti sintesis bahan seperti protein dan lipid, respirasi sel, penyimpanan, serta reaksi terhadap rangsang. Dalam sitoplasma organel sel melayang – layang dalam suatu cairan sel yang berbentuk koloid namun tidak bersifat homogen yang disebut *matrik*. Organel sel merupakan salah satu tempat dimana segala aktivitas sel terjadi dan berperan sesuai dengan fungsinya masing - masing. Sebuah sel dikatakan hidup jika memiliki organel sel. Tanpa organel sel, sebuah sel tidak akan memiliki aktivitas kehidupan sehingga bisa dikatakan *sel mati*. Organel sel ini banyak ditemukan dalam berbagai jenis tumbuhan, hewan, dan bakteri. Masing – masing organel memiliki fungsinya tersendiri seperti memproduksi energi, atau manufaktur protein dan lipid. Organel ini sangat berperan penting dalam menjaga keutuhan dan keteraturan sel agar tetap terjaga.

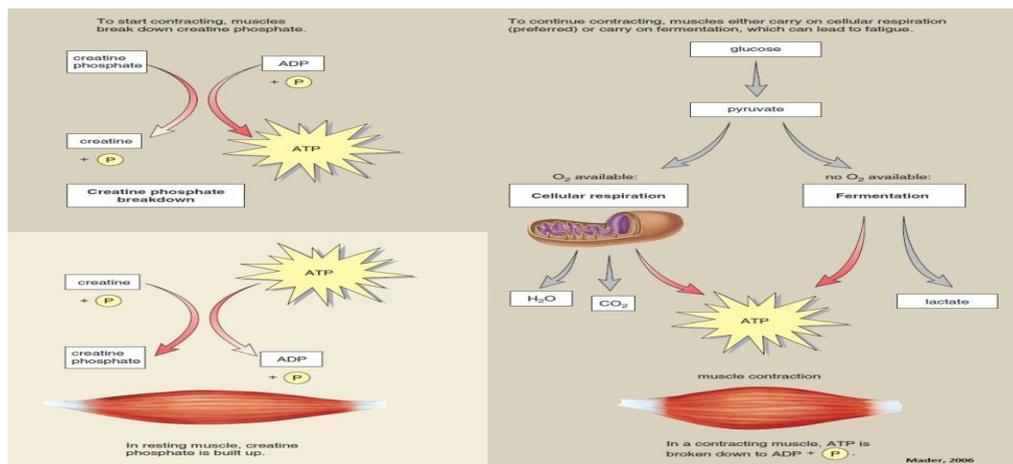
Adapun jenis organel yang sangat berperan dalam kehidupan makhluk hidup tersebut dapat kita lihat sebagai berikut.

4.1. Mitokondria: Sebagai Konversi Energi Kimia

Mitokondria terdapat pada hampir semua sel eukariotik, diantaranya pada tanaman, hewan, jamur, dan protista. Mitokondria juga sebagai derivat dari endosimbiosis prokariot. Bahkan pada *Giardia* yaitu parasit yang terdapat di dalam usus manusia dan beberapa protista lainnya. Studi yang terbaru dilakukan telah mengidentifikasi organel sejenis yang terkait dengan mitokondria yang mengalami evolusi diantaranya yaitu *kloroplas* dan *peroksisom*. Mitokondria merupakan salah satu tempat terjadinya *respirasi seluler*.

Mitokondria merupakan suatu benda yang berbentuk bulat atau berbentuk tongkat dengan ukuran berkisar antara 0,2 – 5 μm . Jumlah sel ini sangat banyak

dan beragam serta merupakan sel yang aktif contohnya pada sel hati. Meskipun ukurannya besar dan dapat terlihat dengan menggunakan mikroskop cahaya, namun mitokondria ini hanya dapat terlihat dengan jelas oleh mikroskop elektron pada bagian struktur tubuhnya yang paling dasar. Mikrograf elektron menunjukkan bahwa setiap mitokondria dibatasi oleh *membran ganda*. Membran ganda ini merupakan lapisan ganda yang memiliki *fosfolipid* dengan sekumpulan unit protein yang tertanam di dalamnya. Membran luarnya merupakan batas halus yang tak putus bagi mitokondria, sedangkan membran dalamnya diperluas secara berulang – ulang menjadi lipatan yang masuk ke dalam ruangan pada mitokondria. Lipatan dalam yang seperti rak ini disebut *krista*. Membran dalam membagi dua mitokondria menjadi *kompartmenten internal*. Pertama, ruang antar membran yang merupakan wilayah sempit di antara membran dalam dan membran luar. Kedua, *matriks mitokondria (mitochondrial matrix)* yang diselubungi oleh membran dalam. Matriks ini mengandung banyak enzim yang berbeda, serta DNA mitokondria dan ribosom. Enzim – enzim dalam matriks mengkatalisis beberapa langkah respirasi selular. Protein – protein lain yang berfungsi dalam respirasi, termasuk enzim yang membuat ATP, tertanam dalam membran dalam. Sebagai permukaan yang berlipat – lipat, krista memberikan permukaan yang cukup luas kepada membran dalam mitokondria, sehingga dapat meningkatkan produktivitas respirasi selular.



Gambar 4.1. fosforilasi oksidatif pada otot

http://djjars.blogspot.co.id/2012/04/about-muscle-sumber-energi-untuk.html#.VzmHO_mLTIU

Membran yang terdapat pada mitokondria sama dengan membran yang ada pada membran sel, yang mana keduanya mengandung *fosfolipid* dan *protein*

ekstrinsik serta *intrinsik*. Fungsi dari mitokondria ini yaitu dapat mengoksidasi makanan dan mensintesis ATP energi pada sel. Mitokondria ini mengubah energi potensial pada makanan menjadi energi potensial yang disimpan dalam ATP. Energi ATP tersebut digunakan oleh sel untuk melakukan berbagai kegiatan.

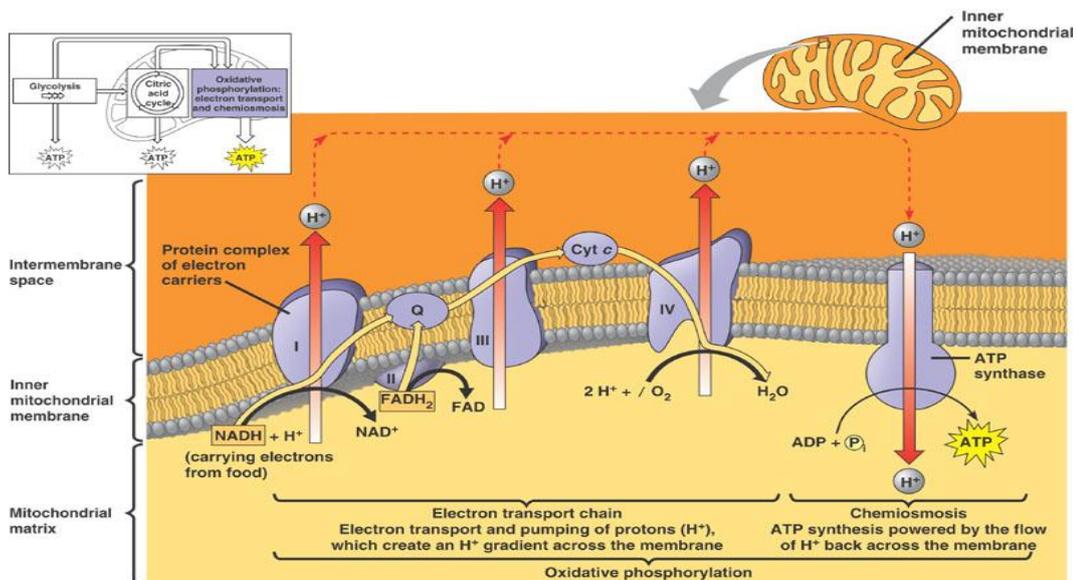
Mitokondria merupakan salah satu organella yang memiliki DNA tersendiri yang dikenal dengan nama *mtDNA* (mitochondrial DNA). Mitokondria jenis MtDNA ini memiliki pilin berganda, sirkular, dan tidak dilindungi oleh membran (prokariotik), karena mtDNA mitokondria ini memiliki ciri yang hampir sama seperti DNA bakteri. Sehingga berkembanglah suatu teori yang cukup luas, yang menyebutkan bahwa mitokondria sebelumnya merupakan suatu organella yang bersifat independen dan kemudian bersimbiosis dengan organisme eukariotik, sehingga dikenal suatu teori dengan nama *Teori Endosimbion*.

Mitokondria dapat mereplikasi DNA dan terbagi menjadi beberapa respon yang diperlukan dalam sel. Dengan kata lain, divisi dan pertumbuhannya tidak berhubungan dengan siklus sel. Ketika energi dibutuhkan sel dalam jumlah yang sangat banyak, mitokondria akan mengalami pertumbuhan dan selanjutnya mengalami pemisahan. Ketika energi yang dibutuhkan sedikit, maka mitokondria akan mengalami kerusakan atau tidak aktif lagi. Pada divisi sel, mitokondria mengalami distribusi kepada keturunannya secara tidak teratur dalam jumlah yang tidak stabil.

Mitokondria dikenal sebagai sel yang aktif bekerja sehingga dia banyak terdapat di daerah sel saraf, sel otot, dan sel sekretori. Kejadiannya meliputi transmisi impuls listrik, kontraksi, dan sekresi sehingga dia dikenal sebagai *Rumah Kuasa* dari sel tersebut. Jumlah organel yang terdapat pada mitokondria tersebut berkorelasi dengan tingkat aktivitas metabolisme sel, contohnya pada sel motil atau sel kontraktile yang memiliki banyak mitokondria per volumenya daripada sel yang kurang aktif.

Mitokondria dapat melakukan siklus hidup melalui replikasi secara mandiri (*self replicating*) seperti sel bakteri. Replikasi ini dapat terjadi apabila mitokondria ini menjadi terlalu besar sehingga dapat melakukan pemecahan (*fission*). Pada awal sebelumnya, mitokondria mengalami replikasi yang dilakukan dalam replikasi DNA mitokondria. Proses ini dimulai dari pembelahan

bagian dalam yang kemudian diikuti oleh pembelahan pada bagian luar. Proses ini melibatkan pengkerutan bagian dalam dan kemudian bagian luar membran seperti ada yang menjepit mitokondria. Kemudian akan terjadi pemisahan dua bagian pada mitokondria. Proses siklus dari mitokondria ini terjadi melalui fosforilasi oksidatif dan juga tidak terlepas dari peran protein di dalamnya. Proses mitokondria ini dapat dilihat pada gambar 4.1.1a dibawah ini.

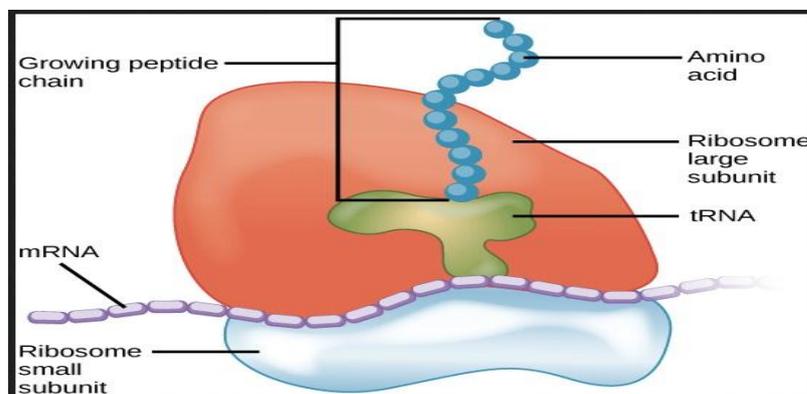


Gambar 4.2. Siklus Hidup Mitokondria
<http://deraito.blogspot.co.id/2011/11/mitokondria.html>

4.2. Ribosom (Pabrik Protein)

Ribosom ditemukan pertama kali oleh *George Emil Palade*, seorang ilmuwan biologi sel yang berkebangsaan Romania pada pertengahan tahun 1950-an, dengan menggunakan mikroskop elektron. Kata *Ribosom* berasal dari bahasa Yunani soma yang artinya “*badan*” dan *ribonucleic acid* (asam ribonukleat). Kata “*Ribosom*” digunakan pertama kali oleh seorang ilmuwan yang bernama *Richard B. Roberts* pada tahun 1958. Albert Claude, Christian de Duve, dan George Emil Palade bersama – sama mendapatkan Hadiah Nobel dalam bidang Kesehatan dan Fisiologi pada tahun 1974 karena penelitiannya mengenai siklus hidup ribosom. Hadiah Nobel dalam bidang kimia tahun 2009 didapatkan oleh Venkatraman Ramakrishnan, Thomas A. Steitz, dan Ada E. Yonath karena telah berhasil mendemonstrasikan secara terperinci mengenai struktur rinci dan mekanisme ribosom.

Ribosom adalah suatu organel yang berukuran kecil, padat, dan tidak memiliki membran yang ada pada semua sel yang hidup, diameter pada ribosom antara 17 – 20 μm . Ribosom berperan sebagai tempat terjadinya reaksi sintesis protein. Molekul utama yang digunakan sebagai penyusun ribosom adalah **ribosomal RNA** atau disingkat rRNA serta **protein**. Ribosom merupakan salah satu organel yang keberadaannya juga terdapat pada sel eukariot dan prokariot yang jumlahnya hingga ribuan buah. Asam ribonukleat merupakan bagian dari DNA yang berasal dari **nucleolus**, yang merupakan sebuah tempat dalam ribosom untuk mensintesis protein dalam sel. Ribosom terdiri atas dua sub unit yaitu **sub unit besar** dan **sub unit kecil**. Kedua sub unit ini akan berdifusi jika proses translasi berlangsung. Sub unit ribosom dinyatakan dengan **satuan S (Svedberg)** yang merupakan nama penemunya, satuan ini menunjukkan kecepatan pengendapan pada saat sub unit tersebut disentrifugasi. Di dalam sel, keberadaan ribosom ada di dua area sitoplasma. Beberapa ribosom yang ditemukan tersebut tersebar dalam sitoplasma dan disebut sebagai **Ribosom bebas**, sedangkan ribosom lain yang menempel pada retikulum endoplasma disebut **Ribosom terikat**. Permukaan pada Retikulum Endoplasma yang terdapat ribosom dalam keadaan menempel disebut **Retikulum Kasar Endoplasma (RER)**.



Gambar 4.3. Struktur Ribosom
<http://www.firdaus45.com/2015/11/pengertian-dan-fungsi-ribosom-menurutu.html>

Struktur pada ribosom dapat merefleksikan peranannya dalam mengumpulkan mRNA dengan tRNA sebagai pembawa asam amino. Suatu ribosom memiliki satu tempat pengikatan mRNA (subunit kecil) dan tiga tempat pengikatan tRNA yang terdapat pada sub unit besar yang dikenal sebagai tempat E (exit), P (peptidil), dan A (aminosil). Tempat E sebagai tempat keluarnya tRNA

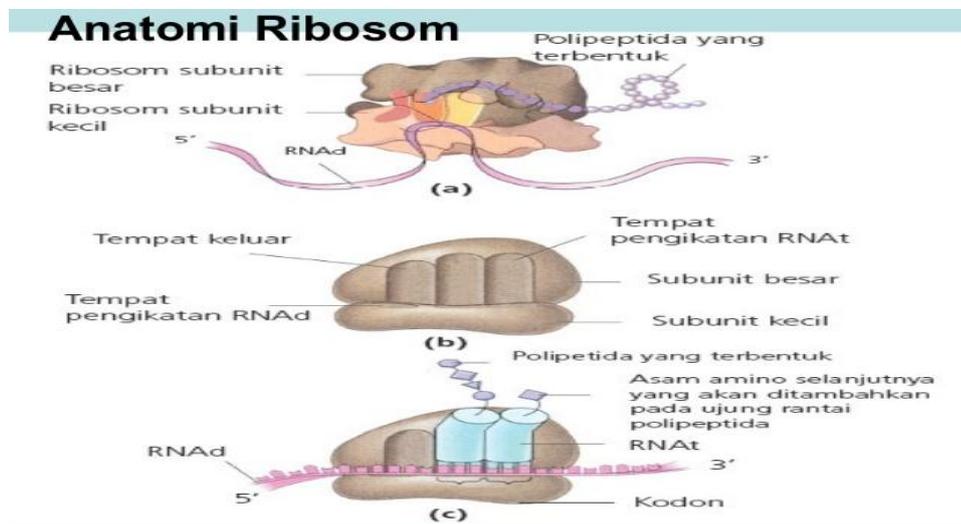
yang tidak bermuatan. Tempat P sebagai tempat pengikatan tRNA-peptidil yang biasanya mengikat tRNA yang melekat pada rantai polipeptida yang sedang dalam pertumbuhan. Tempat A sebagai tempat pengikatan tRNA-aminoasil biasanya mengikat tRNA yang membawa asam amino berikutnya yang akan ditambah pada rantai polipeptida.

Ribosom hanya dapat terlihat dengan menggunakan mikroskop elektron. Ribosom ini merupakan organel kompleks yang terbuat dari RNA ribosom dan protein. Ribosom yang terdapat pada bakteri lebih kecil jika dibandingkan dengan ribosom pada organisme yang lebih tinggi, sehingga sangat sulit untuk melihat struktur dasarnya kecuali dengan mikroskop elektron. Salah satu contohnya ialah ribosom yang terdapat pada bakteri *E.coli* pada saluran pencernaan, dimana bakteri ini memiliki satu duplikat dari setiap tiga molekul RNA yang berlainan. Ribosom dianggap sebagai kumpulan (*agregat*) molekul makro yang tersusun secara tepat berhubungan dengan struktur makroyang dikenal yaitu RNA dan protein.

Di dalam suatu sel bakteri, ribosom mensintesis protein dalam sitoplasma melalui transkripsi sejumlah ribosom gen operons. Proses pengambilan tempat terjadi dalam sitoplasma sel dan nukleolus, yang berada di dalam inti sel, sedangkan proses perakitannya melibatkan beberapa peranan yang terkoordinasi lebih dari 200 protein sintesis dan pemrosesannya berada pada empat rRNA, serta perakitan rRNA dengan protein ribosomal. Ribosom bebas dapat berpindah tempat dimana saja dalam sitosol kecuali di inti sel dan organel lain. Protein yang disusun di ribosom bebas akan dikeluarkan dari sitosol dan digunakan oleh sel.

Beberapa protein yang disintesis di dalam sel hanya ditambah dengan fluida sitoplasma dan melakukan fungsinya disana. Sintesis protein ini misalnya pada haemoglobin dalam sel darah merah yang terjadi secara acak dan tersebar di seluruh sitoplasma, kemudian protein yang baru disintesis ini dikemas dalam suatu organel yang dibatasi oleh membran. Sel – sel yang terdapat pada hati dan pankreas, dapat mensintesis sebanyak mungkin protein yang dikemas dalam membran dan pada akhirnya disekresi dari sel. Ribosom yang mensintesis protein ini memiliki keterikatan pada membran retikulum endoplasma. Di dalam sel prokariotik, ribosom ini sering ditemukan bebas dalam sitoplasma dan tidak

menempel pada organel sitoplasma lainnya. Sedangkan pada sel eukariotik, selain tersebar bebas dalam sitoplasma sebagai *polisom (poliribosom)*, ribosom juga menempel pada permukaan RE, teristimewa pada RE Kasar. Ribosom terikat maupun ribosom bebas identik secara struktural, dan ribosom dapat berganti – ganti antara kedua peranan itu. Sebagian besar protein yang dibuat di ribosom bebas berfungsi dalam sitosol. Contoh lainnya yaitu terdapat pada enzim – enzim yang mengkatalisis langkah pertama dalam penguraian gula. Ribosom terikat umumnya membuat protein yang ditakdirkan untuk disisipkan ke dalam membran dan dikemas ke dalam organel tertentu seperti *lisosom*.



Gambar 4.4. Anatomi Ribosom, (a). Ribosom fungsional dengan sub unit besar dan sub unit kecil, (b). Tempat pengikatan untuk rRNA dan tRNA, (c) Pasangan benar antara antikodon pada tRNA dan kodon pada rRNA.

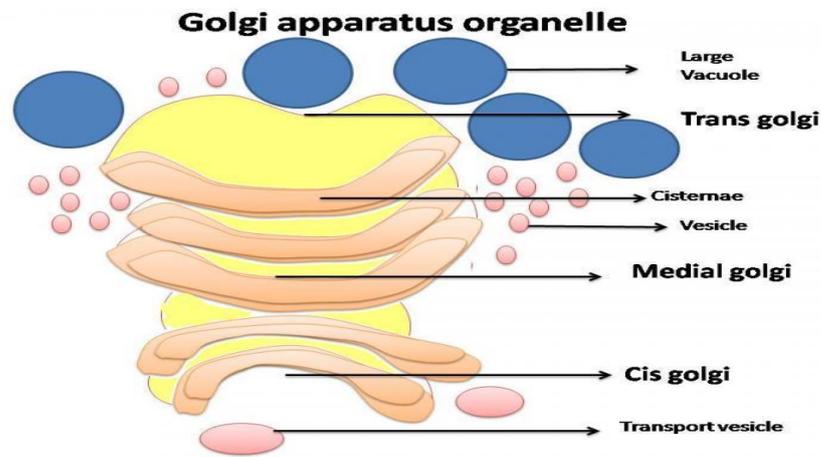
<http://www.slideshare.net/ribkasepatia/bab-3-sintesis-protein>

4.3. Kompleks Golgi (Pusat Pengiriman dan Penerimaan)

Kompleks Golgi ditemukan pertama kali oleh seorang ahli berkebangsaan Italia yang bernama *Camillo Golgi* pada tahun 1891, yang merupakan seorang ahli histologi dan patologi. Camillo menemukan suatu struktur yang berbentuk seperti jala pada bagian sitoplasma sel saraf kucing, Camillo mewarnai sel saraf kucing tersebut dengan menggunakan *osmium tetra oksida* dan garam perak sebelum ditemukannya organel Reticulum Endoplasma. Ia menyebutnya sebagai "*The Internal Reticular Apparatus*". Melalui zat tersebut, kompleks golgi dapat menemukan jala yang terletak di sekitar inti dan berwarna kuning gelap.

Belakangan para ahli sitologi yang mempergunakan pewarnaan lain dapat melihat organel yang sama, bukan saja pada sel saraf, tetapi juga pada sel jaringan lainnya yang dapat melihat jenis organel kompleks golgi secara jelas.

Seorang ahli lain yang bernama Perrincito (1910) mengemukakan bahwa organel tersebut terdiri dari sekelompok diktiosom (jalinan). Keberadaan kompleks golgi ini masih diperdebatkan selama lebih kurang 50 tahun, karena para peneliti melihat bahwa pada sel kelenjar kompleks golgi ini dapat berubah sewaktu – waktu sesuai dengan aktivitas organnya. Ada juga seorang ahli sitologi yang mengatakan bahwa kompleks golgi sangat berhubungan dengan sintesis protein.



Gambar 4.5. Struktur Kompleks Golgi
<http://aparatusgolgi.blogspot.co.id/>

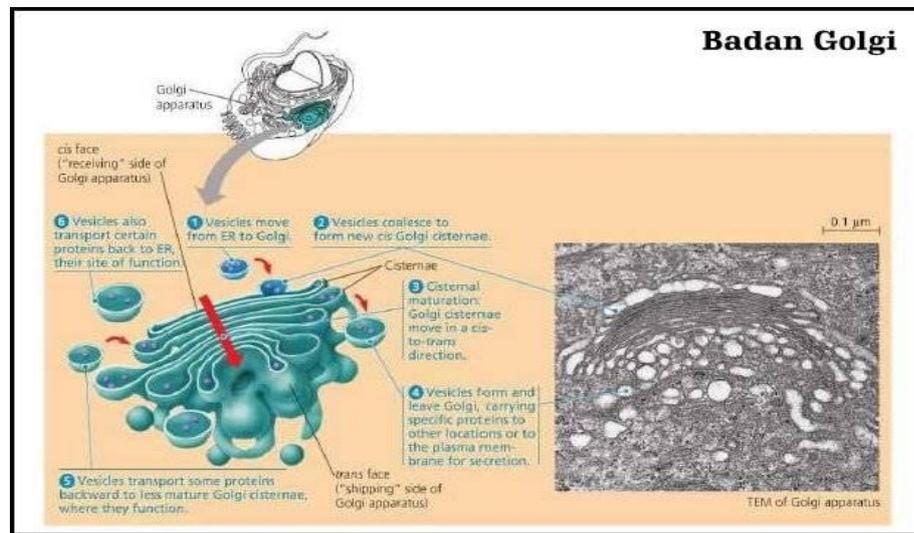
Kompleks Golgi juga merupakan salah satu organel yang membrannya terbentuk dari *lipoprotein*. Organel ini banyak dijumpai pada sel hewan dan sel tumbuhan. Struktur kompleks golgi ini memiliki bentuk bertumpuk – tumpukan pada kantong – kantong pipih yang sangat kompleks dan pada bagian dalamnya terdapat ruangan kecil yang dikenal dengan *vakuola*. Organel ini merupakan salah satu organel yang secara aktif berperan dalam *sekresi protein*. Hasil protein yang telah disintesis oleh RER akan dipindahkan ke dalam *kompleks golgi*. Disini karbohidrat tambahan dapat dimasukkan ke dalamnya, kemudian protein – protein tersebut terkumpul di dalam ruang – ruang kompleks golgi hingga penuh dengan protein. Ruang – ruang tersebut dapat berpindah ke permukaan sel dan mengeluarkan isinya ke bagian luar. Sedangkan ruang – ruang yang berprotein pada kompleks golgi yang lain dapat disimpan di dalam sel sebagai *lisosom*.

Organel ini memiliki membran yang bentuknya berlipat – lipat yang berbentuk seperti panekuk. Enzim yang terdapat di dalam kompleks golgi dapat menyelesaikan pembentukan rantai polipeptida dan lemak yang dikirimkan oleh *retikulum endoplasma*. Organel ini menyisipkan gugus fosfat atau gula dan memotong rantai polipeptida tertentu, yang menghasilkan produk akhir berupa *protein membran, protein untuk sekresi, dan enzim* yang akan dipilah dan dikirimkan ke vesikel yang baru yang membawanya ke membran plasma atau *lisosom*.

Di dalam metabolisme sel, Kompleks Golgi berperan dalam menerima dan mengirim vesikula transport yang berisi protein. Disamping itu juga, Kompleks Golgi dijadikan sebagai tempat terjadinya *Glikolasi*. Glikolasi ialah suatu proses modifikasi protein yang mensintesis protein dengan mereaksikan glikosilat (gula) secara bersama. Hasil dari Glikolasi ini berupa glikoprotein yang disimpan kemudian dikirimkan ke luar sel oleh *vesikula transpor*. Di samping peranan kompleks Golgi tersebut, Kompleks Golgi juga dapat berperan dalam pembentukan lisosom dan berbagai enzim pencernaan yang belum aktif, misalnya *enzim zymogen* dan *koenzim*.

Kompleks golgi dikenal juga sebagai pusat pembuatan, penggudangan, pemilahan, dan pengiriman karena di dalam organel ini produk – produk hasil olahan yang terjadi di Retikulum Endoplasma misalnya protein, dimodifikasi dan disimpan, yang kemudian dikirimkan ke berbagai tujuan lainnya sehingga kompleks golgi ini sangat ekstensif pada sel – sel yang terspesialisasi untuk sekresi. Proses yang terjadi pada kompleks golgi ini berada pada tumpukan golgi yang memiliki polaritas struktural tersendiri dan pada membran sisternanya memiliki sisi yang berlawanan dalam hal ketebalannya dan juga komposisi molekulernya. Kedua kutup tumpukan golgi disebut sebagai *cis* dan *trans*, sisi *cis* bekerja sebagai bagian penerimaan sedangkan sisi trans bekerja sebagai pengirim pada kompleks golgi. Sisi *cis* terletak di dekat RE. Kemudian vesikel transport menggerakkan materi dari RE menuju kompleks golgi. Suatu vesikel yang bertunas dari RE dapat menambahkan membrannya dan isi lumennya ke sisi *cis* dengan cara bergabung dengan membran golgi. Sisi *trans* memunculkan vesikel

yang terlepas dan berpindah ketempat lain. Proses ini dapat dilihat pada gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4.6. Proses Pembentukan Sintesis Protein pada Kompleks Golgi
<http://www.pendidikan-biologi.tk/2015/10/tahukah-kamu-apa-itu-sel-serta.html>

Produk – produk RE selalu dimodifikasi pada saat pindah dari wilayah *cis* ke wilayah *trans* Golgi. Selain aktivitas penyelesaiannya (*finishing*) dilakukan, kompleks Golgi membuat sendiri beberapa makromolekul. Banyak polisakarida yang disekresikan oleh sel yang merupakan produk KG, termasuk pektin dan berbagai polisakarida lainnya yang dibuat oleh sel tumbuhan yang digabung bersama selulosa di dalam dinding selnya. Golgi membuat dan merapikan produknya secara bertahap dengan berbagai sisterna berbeda yang mengandung kumpulan enzim yang unik. Berdasarkan hasil riset terbaru mengenai KG sebagai suatu struktur yang lebih dinamik, ditemukan suatu model yang disebut *model pematangan sisterna (cisternal maturation model)*, sisterna golgi bergerak dari sisi *cis* ke *trans*, mengangkut dan memodifikasi muatannya sambil bergerak.

Adapun rincian dari *model pematangan sisterna (cisternal maturation model)*, yaitu :

- 1) Vesikel bergerak dari RE ke Golgi
- 2) Vesikel bergabung dan membentuk sisterna *cis* Golgi baru
- 3) Pematangan sisterna : sisterna Golgi bergerak dengan arah *cis* ke *trans*
- 4) Vesikel terbentuk dan meninggalkan Golgi, mengangkut protein – protein spesifik ke lokasi lain atau ke membran plasma untuk sekresi.

- 5) Vesikel mentranspor beberapa protein mundur ke sisterna Golgi yang kurang matang, tempat protein itu berfungsi.
- 6) Vesikel juga mentranspor protein tertentu kembali ke RE, tempat protein tersebut berfungsi.

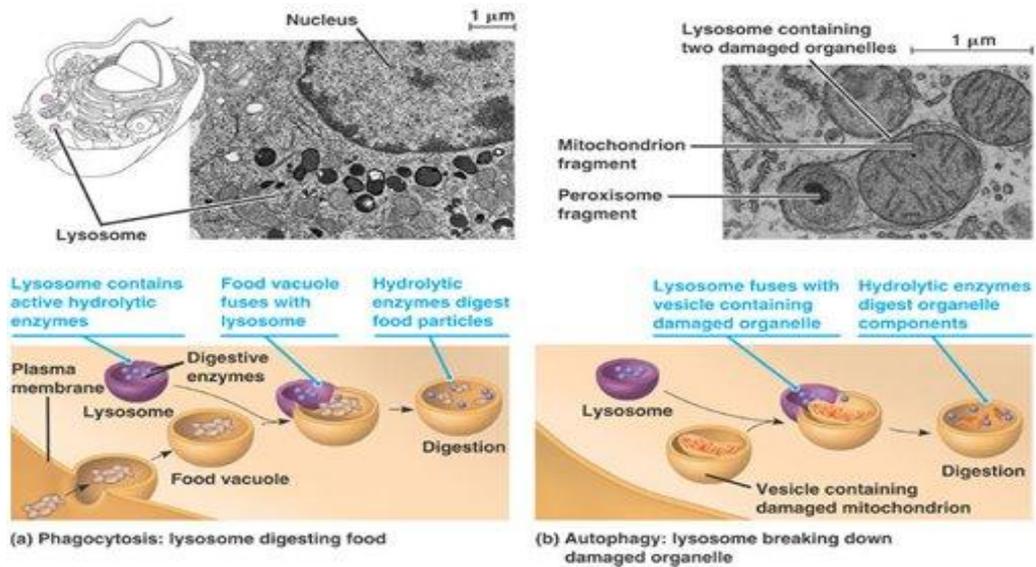
Sebelum KG melepaskan produknya melalui pertunasan vesikel dari sisi *trans*, tumpukan Golgi memilah produk dan menentukan tujuannya pada berbagai bagian sel. Terakhir, vesikel transpor yang bertunas dari Golgi mungkin memiliki molekul eksternal pada membrannya yang mengenali “tempat bongkar muat” pada permukaan organel spesifik atau pada membran plasma, sehingga vesikel pun tiba di target yang tepat.

4.5. Lisosom (Kompartmen Pencernaan)

Lisosom ialah sebuah kantong yang memiliki membran dan berisi enzim – enzim hidrolitik yang digunakan oleh sel hewan untuk mencerna makanan dalam bentuk makromolekul. Lisosom memiliki struktur yang agak bulat yang dibatasi oleh membran tunggal. Ukuran yang terdapat pada lisosom berdiameter sekitar 1,5 μm . Kadang – kadang ukuran dari lisosom ini juga berukuran sangat kecil sekitar 0,05 μm . Lisosom yang dihasilkan dari kompleks golgi memiliki protein yang sangat banyak. Enzim pada lisosom bekerja paling baik dalam kondisi asam yang ditemukan dalam lisosom. Enzim – enzim ini banyak ditemukan pada polisakarida, lipid, fosfolipid, asam nukleat, dan protein. Enzim hidrolitik dan membran lisosom dibuat oleh RE Kasar dan kemudian ditransfer ke Kompleks Golgi untuk diproses lebih lanjut. Setidaknya beberapa lisosom timbul melalui pertunasan dari sisi *trans* Kompleks Golgi. Protein – protein di permukaan dalam membran lisosom dan enzim – enzim pencernaan sendiri diduga tidak mengalami kehancuran karena memiliki bentuk dengan dimensi tiga yang melindungi ikatan – ikatan yang rawan dari serangan enzim.

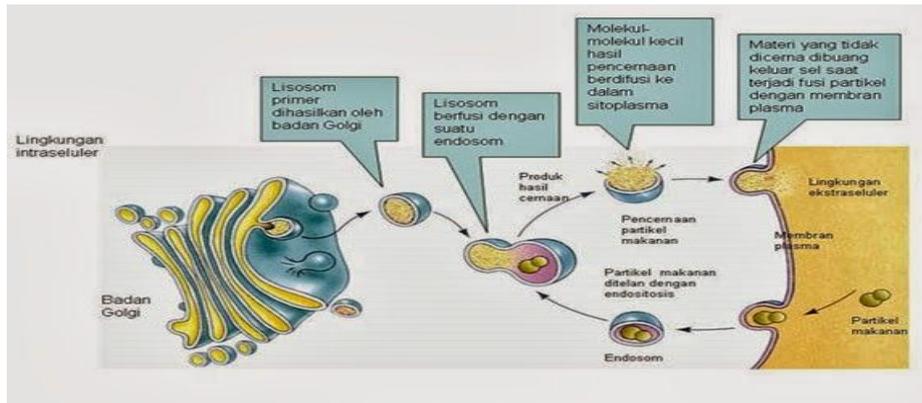
Dalam lisosom terdapat proses yang dilakukan yaitu *fagositosis* yaitu proses mencerna makanan, dimana dalam proses ini sejenis protista atau amoeba yang menelan organisme yang lebih kecil atau partikel lainnya. Kemudian pada *vakuola makanan* melakukan difusi pada lisosom yang mengandung enzim

pencernaan makanan, kemudian enzim – enzim hidrolitik mencerna partikel makanan.

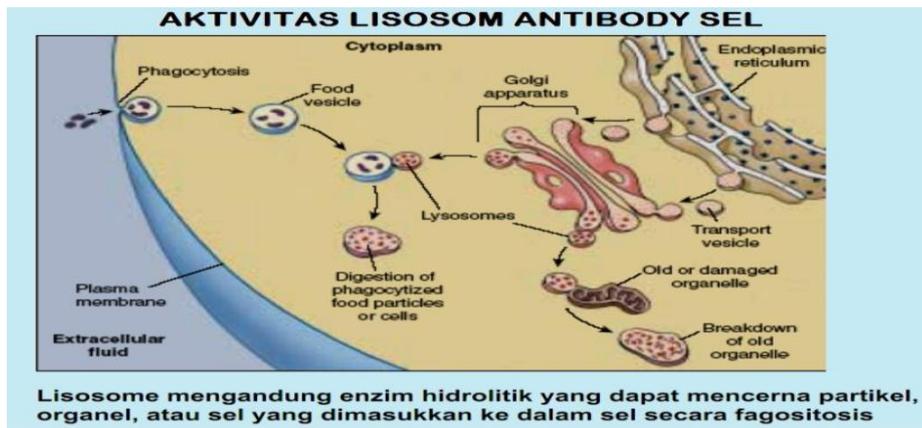


Gambar 4.7. Fungsi dari Lisosom
<https://aimaifantasy.wordpress.com/2011/07/26/sel-dan-bagian-bagiannya>

Lisosom juga melakukan penguraian pada organel yang rusak yang disebut dengan *autofagi*. Proses ini dilakukan pada sel hati tikus yang mengandung vesikel organel yang rusak. Kemudian vesikel ini berfusi dengan Lisosom dalam menguraikan organel yang rusak. Lisosom melaksanakan pencernaan intraselular dalam berbagai keadaan yang sangat membantu peranan lisosom tersebut. Lisosom menggunakan enzim hidrolitiknya untuk mendaur ulang materi organik milik sel sendiri. Enzim – enzim lisosom menguraikan materi yang diselubungi dan monomer – monomer organik yang dikembalikan ke sitosol untuk digunakan kembali. Melalui lisosom sel akan terus – menerus memperbaiki dirinya hingga menjadi lebih baik. Contohnya pada sel hati manusia. Peranan lisosom dalam membantu memperbaiki sel yang rusak sangat bermanfaat sekali agar sel tersebut dapat kembali normal.



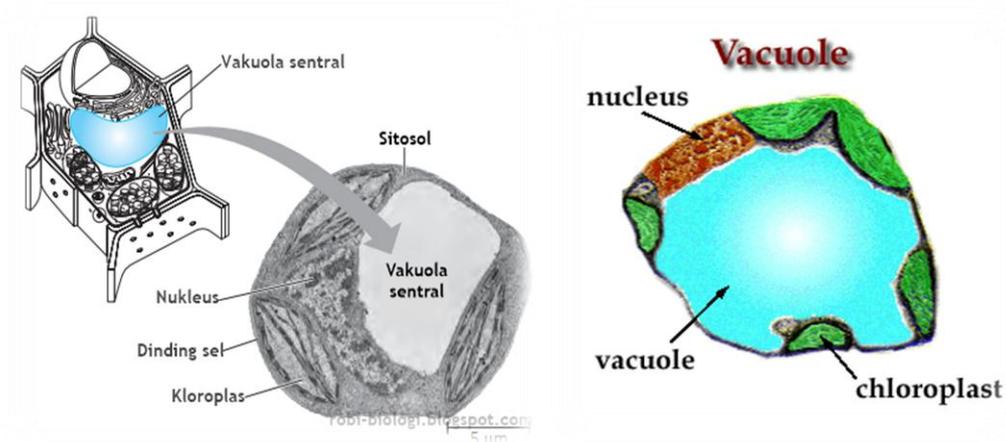
a.



b.

Gambar 4.8. (a). Proses Pembentukan pada Lisosom dan (b). Aktivitas Lisosom
<http://hedisasrawan.blogspot.co.id/2013/10/lisosom-artikel-lengkap.html>
<http://www.softilmu.com/2014/08/struktur-sel-eukariotik.html>

4.6. Vakuola (Kompartemen Pemeliharaan yang Beranekaragam)



Gambar 4.9. Struktur pada Vakuola
<http://kuncijawabanku.com/bagian-bagian-penyusun-sel/>
<http://www.slideshare.net/galuhkhoyrunnisa/pres-vakuola>

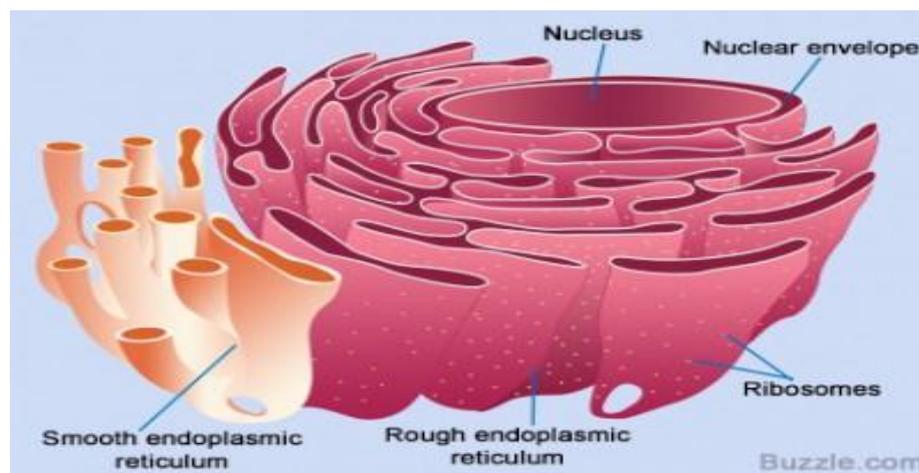
Vakuola merupakan vesikel dari organel sitoplasmik yang berisi cairan sel dan dibatasi oleh membran dengan peranan yang berbeda – beda pada setiap

organel yang berbeda pula. *Vakuola makanan* yang terbentuk melalui fagositosis dapat mencerna makanan yang dibutuhkan oleh sel. Pada hewan protista yang berada di air tawar, banyak memiliki *vakuola kontraktil* yang dapat memompa kelebihan air yang keluar dari sel, sehingga dapat mempertahankan konsentrasi ion dan molekul yang sesuai di dalam sel. Sedangkan pada sel tumbuhan, terdapat *vakuola sentral (central vakuole)* yang tersusun atas asam amino, gula, ion, sampah dan racun yang terakumulasi di dalam sel. vakuola ini memiliki ukuran yang lebih besar dari pada hewan. Umumnya vakuola ini mengambil tempat 50 – 90% bagian dalam sel dengan sitoplasma yang mengisi celah sempit antara organel besar ini dengan membran sel. Vakuola ini melaksanakan hidrolisis pada tumbuhan dan fungi dan juga berkembang melalui penggabungan vakuola – vakuola yang lebih kecil yang berasal dari kompleks golgi dan retikulum endoplasma. Vakuola merupakan salah satu organel yang tak dapat terpisahkan dari sistem endomembran sel tumbuhan.

Vakuola sentral pada sel tumbuhan merupakan vakuola yang serba bisa yang dapat menyimpan cadangan senyawa organik yang penting dalam tubuhnya. Selain itu, vakuola ini berperan sebagai tempat penyimpanan utama ion anorganik pada tumbuhan misalnya kalium dan klorida. Banyak sel tumbuhan menggunakan vakuola sebagai tempat pembuangan produk sampingan metabolik yang dapat membahayakan sel jika terakumulasi di dalam sitosol. Beberapa pigmen yang terdapat pada vakuola dapat memberikan warna pada sel yang dapat membantu memikat serangga dalam penyerbukan agar serangga tersebut mendatangi bunga yang diharapkan. Vakuola juga berperan dalam melindungi tumbuhan dari serangan predator lainnya melalui tampungan pada senyawa – senyawa yang beracun atau bau yang tak disukai oleh hewan. Peranan yang paling penting pada tumbuhan ini yaitu ketika menyerap air sehingga sel mampu menjadi besar dengan hanya berinvestasi minimal dalam sitoplasma baru. Sitosol yang berada dalam lapisan tipis antara vakuola sentral dengan membran plasma ini dapat membuat rasio permukaan membran terhadap volume sitosol menjadi sangat besar khususnya untuk ukuran pada sel tumbuhan.

4.7. Retikulum endoplasma (RE)

Retikulum endoplasma (RE) ialah serangkaian saluran yang membentuk jaringan yang saling sambung – menyambung dan terbentang dari membran sel hingga ke membran nukleus. RE ini merupakan membran yang bersifat *lipoprotein* dan terdapat di dalam sitoplasma antara *membran inti* dengan *membran sitoplasma*. Secara umum fungsi Retikulum Endoplasma yaitu menjadi tempat penyimpan Calcium, bila sel berkontraksi maka calcium akan dikeluarkan dari RE dan menuju ke sitosol, sebagai tempat memodifikasi protein yang disintesis oleh ribosom untuk disalurkan ke kompleks golgi dan akhirnya dikeluarkan dari sel, sebagai tempat mensintesis lemak dan kolesterol, ini terjadi di hati (RE kasar), sebagai tempat menetralkan racun (detoksifikasi) misalnya RE yang ada di dalam sel – sel hati (RE kasar dan RE halus), dan sebagai alat transportasi molekul – molekul dari bagian sel yang satu ke bagian sel yang lain (RE kasar dan RE halus).

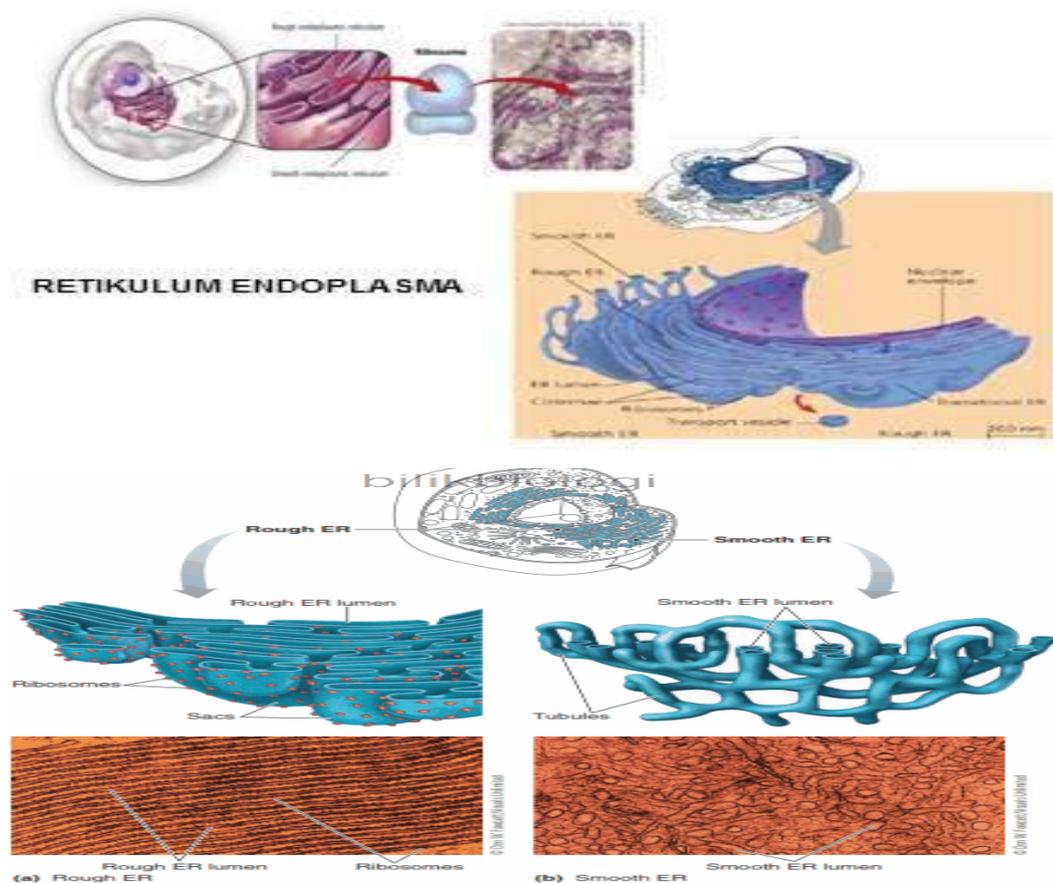


Gambar 4.10. Struktur pada RE Kasar dan RE Halus
<http://fungsi.web.id/2015/07/pengertian-retikulum-endoplasma.html>

RE merupakan perluasan dari membran nukleus yang membentuk kompartmen berkelanjutan dan terlipat hingga membentuk saluran dan kantung. Dua jenis RE ini diberi nama berdasarkan penampilan di dalam mikrograf elektron yaitu RE kasar dan RE halus. Jika terlihat lebih dekat mikrograf elektron tersebut, maka akan terlihat dengan nyata baris – baris ribosom yang berjarak sama menempel pada permukaan membran retikulum yang menghadap *sitosol*. Ribosom tersebut membentuk rantai polipeptida, yang kemudian keluar pada

bagian dalam RE tersebut. Di dalam RE, terdapat protein yang melipat dan membentuk struktur tersier dan beberapa protein yang lainnya terbagi menjadi bagian membran RE dan dibawa menuju fungsinya masing – masing di dalam sel.

Jika dilakukan pengamatan pada mikroskop, pada preparat sel irisan yang terlihat pada membran RE akan terlihat jaringan selnya saling berpasang – pasangan, meliputi rongga – rongga dan tabung pipih. Ruang yang terkurung pada bagian tersebut akan saling berhubungan. Membran – membran tersebut memiliki struktur lipid yang sama dengan membran yang lainnya. RE tersebut memiliki ruangan – ruangan kosong yang ditutupi dengan membran dengan ketebalan 4 nm (nanometer, 10^{-9} meter). RE terdiri dari jejaring yang berbentuk tubulus dan kantung bermembran yang disebut *sisterna* (penampung cairan). Membran RE memisahkan kompartmen internal RE, yang disebut *lumen* (rongga) RE atau ruang sisterna dari sitosol.



Gambar 4.11. Sel Hewan yang Memperlihatkan Letak RE Kasar dan RE Halus dalam Sel
<https://mix.office.com/watch/1zw2vo018k28>
<http://biomedisiana.com/retikulum-endoplasma-dan-segregasi-sintesis/>

Pada bagian RE tertentu, terdapat ribuan ribosom. **Ribosom** merupakan tempat dimana proses pembentukan protein terjadi di dalam sel. Secara struktural, RE dibedakan atas dua macam, yaitu RE kasar dan RE halus. Kedua RE ini dapat diuraikan sebagai berikut:

A. RE Kasar

RE yang pada permukaannya terdapat bintik – bintik yang merupakan ribosom, bagian ini disebut dengan **Retikulum Endoplasma Kasar** atau **Rough Endoplasmic Reticulum (RER)**. Adapun fungsi dari Retikulum Endoplasma Kasar ini adalah untuk mengisolir dan membawa protein tersebut ke bagian sel lainnya atau dikenal sebagai tempat sintesis protein. Selain itu fungsinya juga sebagai tempat modifikasi protein seperti sulfatisasi, pelipatan, dan glikosilasi dalam RE kasar. Sehingga protein – protein tersebut menjadi bahan untuk pembentukan sel integral dan lemak pada membran. Kebanyakan protein tersebut tidak diperlukan sel dalam jumlah banyak dan biasanya akan dikeluarkan dari sel. Contoh protein tersebut adalah **enzim** dan **hormon**.

RE kasar banyak terkandung dalam sel – sel glandular yang mensekresi protein. Ribosom yang menempel pada RE kasar ini merupakan molekul yang berukuran 20 – 25 nm, terdiri dari 2 sub unit protein; yaitu **sub unit besar** dan **sub unit kecil**, serta **rRNA**. Sub unit protein besar berikatan langsung dengan membran RE kasar. Selain menempel pada RE kasar, ribosom juga terdapat bebas pada matriks sitoplasma. Kedua bentuk ribosom (terikat pada retikulum dan bebas pada sitoplasma) memiliki fungsi yang sama, yaitu **mensintesis protein**. Untuk menjalankan fungsi tersebut, ribosom harus terikat dengan mRNA yang berisi informasi tentang urutan asam amino yang akan disintesis membentuk polipeptida. Satu kelompok ribosom yang terdiri dari lebih dari 10 ribosom dapat terikat pada satu untai mRNA untuk melakukan sintesis protein. Kelompok ribosom ini dinamakan **polyribosome** atau **polysome**.

RE Kasar mempunyai daerah yang sebahagian besar tidak mengandung ribosom. Daerah itu disebut daerah peralihan, karena di daerah tersebut dibentuk vesikula – vesikula transport atau **vesikula transisi** atau **RE Transisi**. Vesikula – vesikula tersebut memiliki kandungan protein atau lipida yang diangkut secara intraseluler. RE Transisi atau vesikula transport berfungsi sebagai

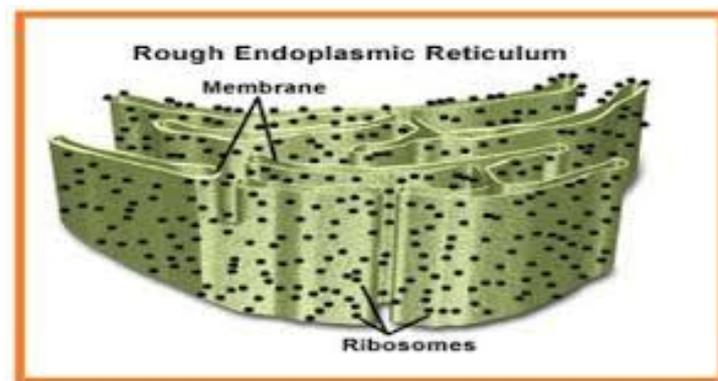
pengangkut makromolekul (protein) dari Retikulum Endoplasma. Dalam vesikula transport terdapat protein yang larut dan berasal dari lumen retikulum endoplasma (protein sekretori) atau protein yang terikat pada membran vesikula (protein membran). Vesikula tersebut dapat bergabung dengan membran sasaran dan melepaskan isinya. Membran vesikula merupakan bagian dari membran sasaran. Pada sel – sel yang aktif mensintesis hormon steroid, RE Halus memiliki enzim – enzim untuk mensintesis kolesterol, dan merupakan prazat untuk sintesis hormon steroid. Sintesis lipida berlangsung di dalam RE Halus. Semua lipida yang dibuat di dalam sel disintesis pada membran retikulum endoplasma kecuali fosfatidilgliserat dan kardiolipin.

Banyak jenis sel yang mensekresikan protein yang dihasilkan oleh ribosom yang melekat pada RE Kasar. Proses protein sekresi ini misalnya terdapat pada sel pankreas yang mensintesis protein insulin di RE dan menyekresikan hormon insulin ini ke dalam aliran darah. Proses ini terjadi ketika rantai polipeptida tumbuh dari ribosom terikat, rantai tersebut dibebaskan ke dalam lumen RE melalui suatu pori yang dibentuk oleh kompleks protein dalam membran RE. Ketika memasuki lumen RE, protein baru melipat diri menjadi bentuk aslinya. Sebagian besar *glikoprotein (glycoprotein)* atau *protein sekresi* saling berikatan secara kovalen dengan karbohidrat. Karbohidrat ini dilekatkan ke protein dalam RE oleh molekul terspesialisasi yang ada dalam membran RE. Setelah protein sekresi terbentuk, membran RE menjaga protein tersebut agar terpisah dari protein yang dihasilkan oleh ribosom bebas dan akan tetap terjaga dalam sitosol. Protein sekresi meninggalkan RE dalam kondisi terbungkus membran vesikel yang bertunasyang disebut *RE transisional*. Vesikel yang bergerak dari satu bagian sel ke bagian sel lainnya disebut *vesikel transpor (transport vesicle)*

Selain membuat protein sekresi, RE Kasar dikenal juga sebagai pabrik membran sel atau dikenal dengan pabrik sintesis protein dengan bantuan ribosom. Proses sintesis protein oleh ribosom ini dimulai sejak mRNA menempel pada sub unit protein, selanjutnya terjadi penambahan asam amino oleh tRNA yang sesuai dengan kode pada mRNA. Proses penambahan asam amino akan membentuk rantai asam amino, dan akan berakhir pada kode tertentu dlm mRNA. Rantai asam

amino yang juga disebut *polipeptida*, akan dilepaskan dari ribosom dan masuk ke RE kasar untuk disalurkan ke organel lain, misalnya *kompleks Golgi*.

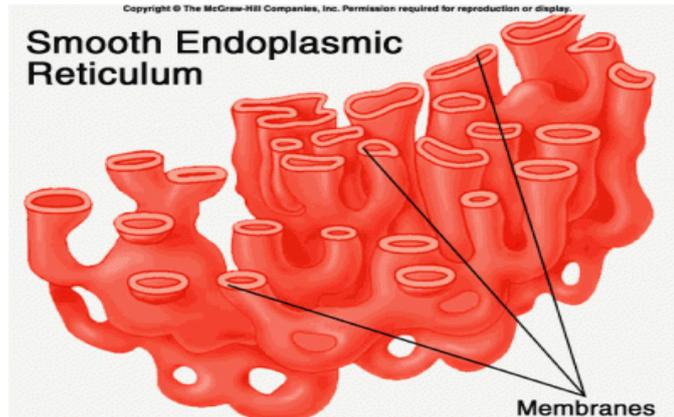
RE kasar tumbuh melalui penambahan protein membran dan fosfolipid ke dalam membrannya sendiri. Ketika polipeptida yang ditakdirkan menjadi protein membran telah tumbuh dari ribosom, polipeptida tersebut disisipkan ke dalam membran RE sendiri dan ditambatkan di tempat itu oleh bagian hidrofobiknya. RE Kasar juga membuat fosfolipid membrannya sendiri. Enzim – enzim yang ada dalam membran RE merakit fosfolipid dari prekursor – prekursor dalam sitosol. Membran RE mengembang dan ditransfer dalam bentuk vesikel transpor ke komponen – komponen lain sistem endomembran.



Gambar 4.12. Struktur RE Kasar yang memiliki Ribosom
<http://gracertrgg.blogspot.co.id/2014/11/retikulum-endoplasma.html>

B. RE Halus

RE Halus atau *Smooth Endoplasmic Reticulum (SER)* merupakan RE yang permukaannya tidak terdapat bintik – bintik ribosom. Secara umum, RE memiliki fungsi sebagai rangka dari matriks sitoplasma, tempat sintesis lipida, glikogen, kolesterol, gliserida, hormon, metabolisme karbohidrat dan konsentrasi kalsium, detoksifikasi obat – obatan, dan tempat melekatnya reseptor pada protein membran sel, dan sebagai alat transportasi bahan – bahan yang diperlukan inti sel dari luar inti sel. di dalam RE Halus ini terdapat sejenis RE yang khusus ditemukan pada sel otot lurik, RE ini dinamakan *RE Sarkoplasmik*, yang membedakan RE sarkoplasmik dari RE halus adalah kandungan proteinnya. RE halus mensintesis molekul, sementara RE sarkoplasmik menyimpan dan memompa ion kalsium. RE sarkoplasmik berperan dalam pemicu kontraksi otot.

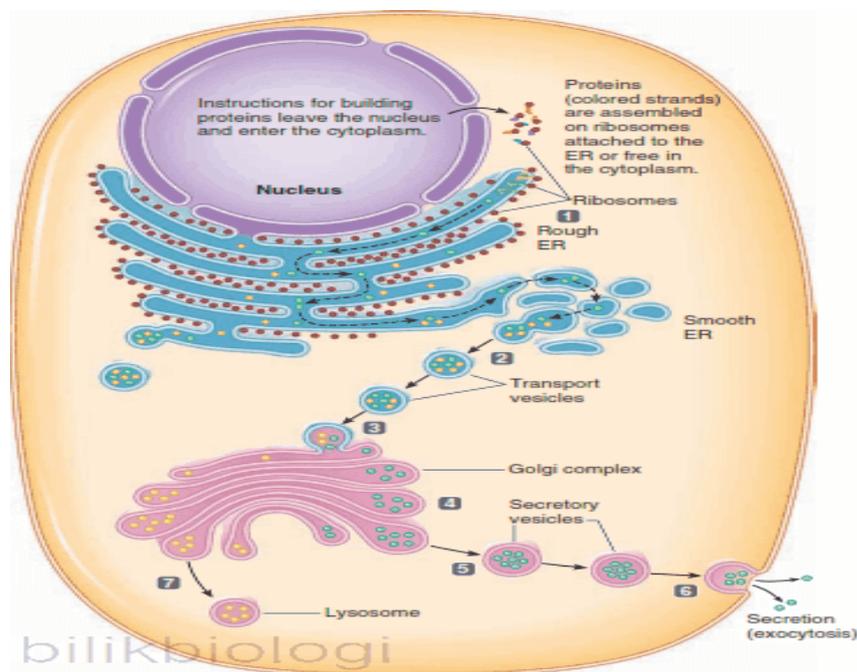


Gambar 4.13. Struktur RE Halus
<http://fungsi.web.id/2015/02/fungsi-retikulum-endoplasma-halus.html>

Peranan lain dari RE Halus pada beberapa sel diantaranya yaitu RE halus ditemukan pada sel yang khusus terdapat dalam metabolisme lemak, misalnya sel yang mengeluarkan hormon steroid yang berasal dari lemak. Dinding membranosa RE halus, seperti pada RE kasar, mengandung enzim-enzim untuk membentuk lemak. Enzim yang digunakan sebagai pembentuk lemak di dinding membranosa RE kasar tidak cukup untuk mensintesis lemak yang sangat penting dalam mempertahankan kadar sekresi hormon steroid yang kuat. Sel – sel ini memiliki kompartemen RE halus yang besar untuk menampung lebih banyak enzim yang dibutuhkan untuk mengimbangi kebutuhan akan hormon tersebut. Enzim – enzim yang terdapat pada RE Halus, sangat berperan penting dalam sintesis lipid, termasuk minyak, fosfolipid, dan steroid. ***Steroid*** yang dihasilkan oleh RE Halus dalam sel hewan antara lain adalah hormon seks vertebrata dan berbagai hormon steroid yang disekresikan oleh kelenjar adrenal. Sel – sel yang mensintesis dan mensekresikan hormon – hormon ini terdapat dalam testis dan ovarium. Enzim – enzim lainnya pada RE Halus membantu mendetoksifikasi obat – obatan dan racun, terutama pada sel hati. ***Detoksifikasi*** biasanya melibatkan penambahan gugus hidroksil ke molekul obat – obatan sehingga molekul tersebut lebih larut dan mudah mengeluarkannya bersama tubuh melalui urine. Selain itu, beberapa enzim detoksifikasi memiliki kerja yang relatif luas, perbanyakkan RE Halus sebagai respons terhadap satu obat dapat meningkatkan toleransi terhadap obat – obatan yang lain.

Dalam sel hati, RE halus mempunyai kemampuan khusus dalam mendetoksifikasi bahan – bahan berbahaya yang diproduksi di dalam tubuh oleh metabolisme atau bahan yang masuk ke tubuh dari luar dalam bentuk obat atau senyawa asing lainnya. Enzim detoksifikasi ini mengubah bahan toksik yang dapat mudah dikeluarkan melalui urin. Jumlah RE halus yang terdapat di sel hati untuk melakukan detoksifikasi dapat terjadi melalui cara yang sangat bervariasi, tergantung pada kebutuhan yang dapat dilakukan. Sebagai contoh, jika fenobarbital, suatu obat tidur, masuk dalam jumlah besar maka jumlah RE halus di hati dapat berlipat dua dalam beberapa hari dan kembali ke normal dalam lima hari setelah pemberian obat tersebut dihentikan.

Di dalam sel otot, membran RE Halus yang terspesialisasi banyak memompa ion – ion kalsium dari sitosol ke dalam lumen RE. Ketika sel otot tersebut dirangsang oleh impuls saraf, ion – ion kalsium membanjiri lintasan membran RE yang kembali kearah sitosol dan kemudian memicu terjadinya kontraksi sel otot tersebut. Sedangkan pada jenis sel yang lainnya, pelepasan ion kalsium dari RE halus memicu respons yang berbeda – beda.



Gambar 4.14. RE Halus Mengemas Protein Baru kedalam Vesikel Transport
<http://biomedisiana.com/retikulum-endoplasma-dan-segregasi-sintesis/>

Pada sebagian organel sel, RE Halus tidak sering ditemukan terutama berfungsi sebagai pusat pengemasan dan tempat pengeluaran bagi molekul yang

akan diangkut dari RE. Protein dan lemak yang baru mengalami pembentukan dalam melakukan proses melalui RE kasar untuk berkumpul di RE halus. Pada bagian RE halus yang disebut "*bud off*" yaitu membentuk suatu gelembung yang keluar pada permukaan kemudian terbebas keluar membentuk suatu vesikel transport yang memiliki kandungan molekul baru dan terbungkus di dalam kapsul bulat yang berasal dari membran RE halus. Komponen membran yang baru disintesis secara cepat digabungkan dengan membran RE itu sendiri untuk menggantikan membran yang digunakan dalam membungkus molekul vesikel transport. Vesikel transport mengalir ke Kompleks Golgi. Seperti yang terlihat pada gambar 4.13.

4.8. Kloroplas (Penangkapan Energi Cahaya)

Kloroplas merupakan suatu anggota yang terspesialisasi dari famili organel – organel tumbuhan yang berkerabat dekat yang disebut *plastida*, kloroplas hanya terdapat dalam sel tumbuhan dan ganggang tertentu. Pada tumbuhan biasanya berbentuk cakram dengan diameter 5 – 8 μm dan tebal 2 – 4 μm . Dalam satu tumbuhan dapat menyimpan 50 mitokondria. Kloroplas dikelilingi membran ganda, yaitu membran luar dan membran dalam. Membran luar memiliki sifat yang sangat permeabel dan berperan dalam mengalirkan molekul - molekul yang kurang dari 10 kilodalton tanpa selektivitas dan menutupi ruang intermembran antara membran dalam dan bagian luar kloroplas. Permukaan membran luar rata karena memiliki lipatan yang sangat sedikit bila dibandingkan dengan membran dalamnya. Peranan membran luar pada kloroplas ialah untuk mengatur keluar masuknya zat. Dalam kloroplas terdapat sebuah ruangan yang memisahkan antara membran luar dan membran dalam dengan ketebalan sekitar 10 nm, ruangan ini disebut sebagai *ruang antar membran*.

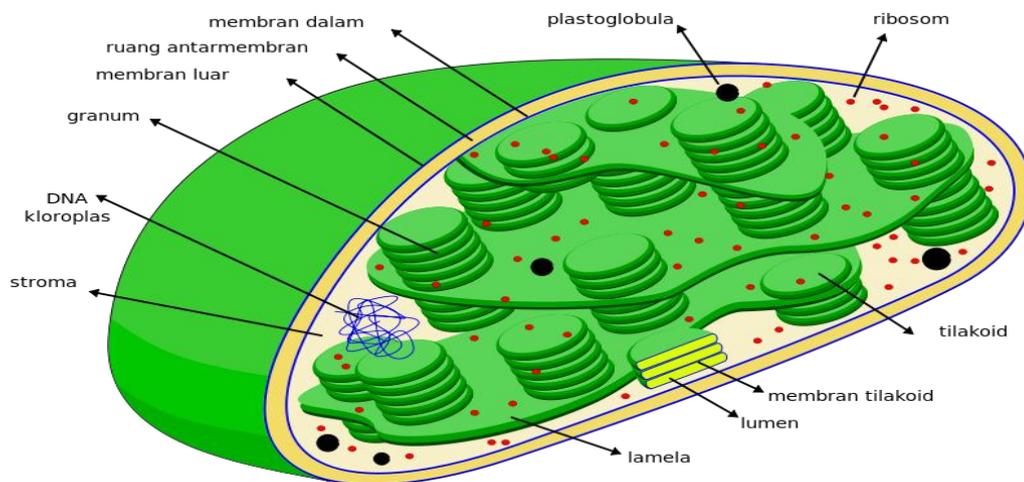
Membran dalam pada kloroplas ini bersifat selektif permeabel dan digunakan sebagai tempat protein transport melekat. Adapun peranan dari membran dalam ini ialah untuk memilih molekul yang keluar masuk dengan transport aktif. Membran dalam bersifat permeabel terhadap sukrosa, karbon dioksida, sorbitol, asam asetat, dan berbagai macam anion lainnya. Membran dalam menutupi daerah yang berisi cairan yang disebut stroma. Lipatan pada

membran dalam membentuk struktur seperti tumpukan piringan yang saling berhubungan. Membran dalam ini kaya akan fosfolipid dan protein serta pigmen – pigmen yang sangat berperan penting dalam membran tersebut, diantaranya yaitu *kloroplas* yang mengandung pigmen hijau yang disebut *klorofil*, klorofil ini menangkap energi matahari dan berguna dalam fotosintesis zat makanan. Jadi, pigmen kloroplas ini merupakan tempat terjadinya *proses fotosintesis*. Tanpa organel ini kehidupan dunia ini tidak akan terjadi. Adapun pigmen lainnya ialah *amiloplas* yang merupakan plastida tak berwarna yang menyimpan pati (amilosa), terutama pada akar dan umbi, serta *kromoplas* yang mengandung pigmen yang menyebabkan buah dan bunga berwarna jingga dan kuning, serta berbagai enzim dan molekul lain yang berfungsi dalam produksi gula secara fotosintesis.

Kloroplas dibatasi oleh membran ganda yang di dalamnya memiliki *stroma* yaitu suatu sistem membran yang memiliki interval yang luas dan terbenam dalam matriks fluida. Peranan dari stroma ini ialah untuk menyimpan hasil fotosintesis dalam bentuk pati dan sebagai tempat terjadinya reaksi gelap (siklus calvin). Stroma memiliki molekul enzim, ribosom, dan DNA. Sintesis protein dapat terjadi di ribosom dalam stroma. Kloroplas terpisah dari sitosol oleh selaput yang terdiri dari dua membran yang dipisahkan oleh ruang antar membran yang sangat sempit. Dalam kloroplas terdapat sistem bermembran lain dalam bentuk kantong – kantong pipih yang saling berhubungan, yang disebut *tilakoid (thylakoid)*. Dalam beberapa wilayah tertentu terdapat tilakoid yang ditumpuk seperti koin permainan poker, yang mana masing – masing tumpukan disebut *grana*. Grana tersusun atas granum – granum yang berperan sebagai tempat terjadinya reaksi terang dan terdapat ruang tilakoid yang berada di antara membran tilakoid. Ukurannya sekitar 0,3-2,7 nm. Dalam satu kloroplas terdapat 40 – 60 grana yang tersebar di dalam matriks kloroplas. Antara satu granum dengan granum yang lainnya dihubungkan oleh *lamela tilakoid*. Sedangkan antara grana dan stroma dihubungkan oleh *lamela stroma*. Sedangkan cairan yang berada di luar tilakoid disebut *stroma*, yang mengandung DNA kloroplas dan ribosom, serta enzim. Membran kloroplas yang memiliki tiga kompartmen dalam ruangnya yaitu *ruang antarmembran, stroma, dan ruang tilakoid*. Ruang tilakoid yaitu suatu pelipatan membran dalam yang berbentuk seperti tumpukan piringan yang saling berhubungan. Adapun

peranan dari tilakoid tersebut adalah untuk menangkap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi kimia. Tilakoid yang berada di dalam stroma berperan sebagai tempat terjadinya fotosintesis. Membran tilakoid sebagai tempat terjadinya reaksi terang dan berisi cairan yang mempunyai kandungan zat klorofil. Jumlah tilakoid pada tiap spesies berbeda.

Bentuk kloroplas dapat berubah – ubah sesuai keadaan lingkungannya dan terkadang dapat membelah dua bagian atau bereproduksi. Kloroplas hidupnya dapat berpindah tempat bersama mitokondria dan organel lainnya yang bergerak berkeliling di sepanjang lajur – lajur sitoskeleton dan jejaring strukturalnya.



Gambar 4.15. Struktur Kloroplas
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Scheme_Chloroplast-id.svg

4.9. Sitoskeleton

4.9.1. Sitoskeleton pada sel eukariotik

Sitoskeleton merupakan jalinan serabut yang membentang di seluruh sitoplasma dengan memainkan peran utamanya dalam pengorganisasian struktur dan aktivitas sel. Sitoskeleton terdapat pada semua sel. Awalnya banyak yang menganggap bahwa sitoskeleton hanya terdapat di dalam sel eukariotik, tetapi penelitian terbaru menunjukkan bahwa sitoskeleton juga terdapat di dalam sel prokariotik. Sitoskeleton yang terdapat pada sel – sel eukariota mengandung tiga jenis filamen sitoskeleton, yaitu *mikrotubulus*, *filamen intermediat*, dan *mikrofilamen*. Ketiga filamen ini saling berhubungan satu dengan yang lainnya dan saling berkoordinasi. Sitoskeleton dapat memberikan struktur dan bentuk

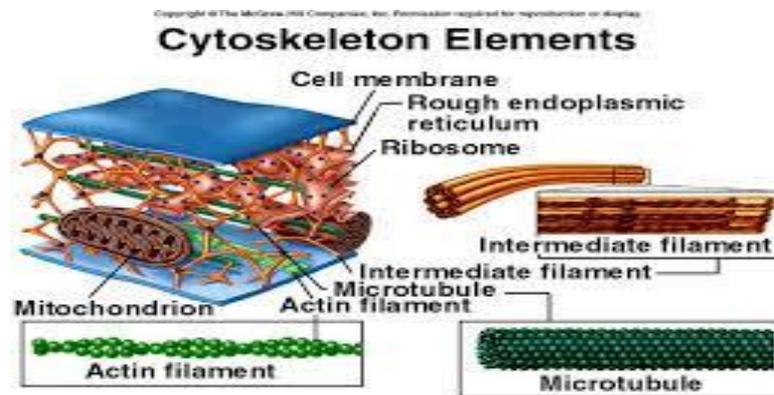
pada sel, dan juga pada makromolekul dari beberapa sitosol yang dapat menambah tingkat makromolekul yang banyak di dalam kompartemen. Unsur – unsur sitoskeletal saling berinteraksi erat dengan sistem membran seluler. Sebagian kecil pada molekul terdapat obat – obatan sitoskeletal yang telah berinteraksi dengan aktivitas mikrotubulus. Senyawa ini telah terbukti sangat berguna dalam mempelajari sitoskeleton dan mengaplikasikannya secara klinis.

Sitoskeleton berupa jaringan berkas – berkas protein. Dengan adanya sitoskeleton, sel dapat memiliki bentuk yang kokoh, berubah bentuk, mampu mengatur posisi organel, berenang, serta merayap di permukaan. Adapun fungsi yang paling jelas dari sitoskeleton ini ialah untuk memberikan dukungan mekanis pada sel dan mempertahankan bentuknya. Ini sangat penting dalam sel hewan yang tidak memiliki dinding sel. Kekuatan dan kelenturan sitoskeleton ini memberikan dampak baik berdasarkan arsitekturnya.

Sitoskeleton sebagai tempat bergantungnya banyak organel bahkan molekul enzim sitosol. Namun, sitoskeleton lebih dinamis daripada rangka hewan. Sitoskeleton secara cepat dapat membongkar salah satu bagian sel yang dirakit atau disusun di tempat baru dan mengubah bentuk sel tersebut. Sitoskeleton juga terlibat dalam beberapa jenis motilasi sel. *Motilasi sel* merupakan perubahan tempat sel maupun pergerakan bagian sel yang lebih teratas. Motilasi sel ini membutuhkan interaksi sitoskeleton dengan protein yang disebut *molekul motor*. Molekul motor pada sitoskeleton dapat menggoyangkan silia dan flagella. Molekul ini juga dapat menyebabkan sel otot berkontraksi. Vesikula berjalan ke tujuannya dalam sel di sepanjang “mono – rel” yang disediakan oleh sitoskeleton, dan sitoskeleton memanipulasi membran plasma untuk membentuk vakuola makanan selama fagositosis. Aliran sitoplasma yang mensirkulasi materi dalam banyak sel tumbuhan besar merupakan jenis lain dari gerak seluler yang disebabkan oleh komponen sitoskeleton.

Peranan sitoskeleton yang lain ialah sebagai pengatur aktivitas biokimiawi di dalam sel. Berdasarkan bukti yang telah ditemukan diketahui bahwa sitoskeleton dapat menghantarkan gaya mekanis dari permukaan sel ke bagian dalamnya melalui serabut lain ke dalam nukleus. Berdasarkan hasil penelitian, seorang peneliti menggunakan *mikromanipulasi* untuk menarik protein membran

plasma yang melekat pada sitoskeleton. Melalui mikroskop video, kita dengan mudah dapat membayangkan bahwa penyaluran sinyal mekanis oleh sitoskeleton dapat membantu pengaturan fungsi sel.

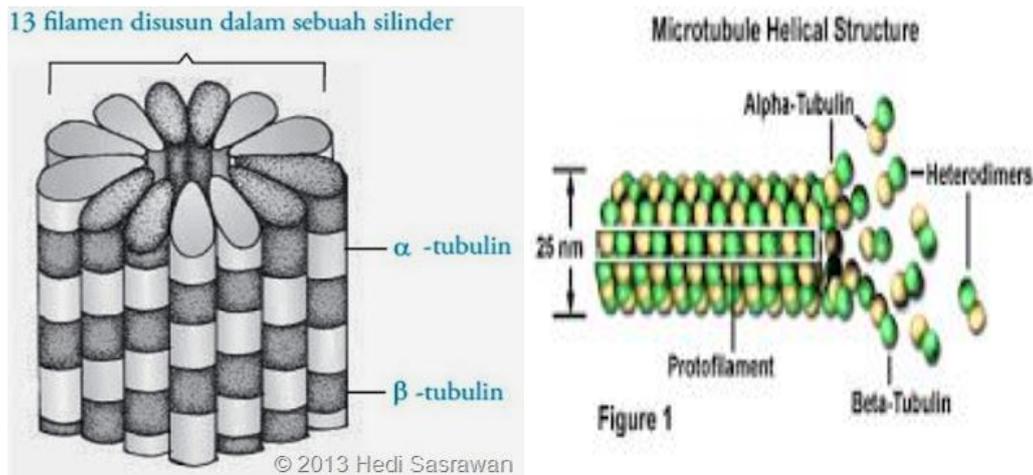


Gambar 4.16. Struktur pada Elemen Sitoskeleton
<http://apriyanieg.blogspot.co.id/2015/10/organela-sel.htm>

Berdasarkan struktur dan garis tengahnya filamen – filamen yang berbentuk jenis serabut yang dapat membentuk sitoskeleton dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok yang merupakan protein yang dinamis. Untuk lebih memahaminya marilah kita lihat uraiannya berikut ini.

A. Mikrotubula

Mikrotubula banyak ditemukan dalam sitoplasma pada semua sel eukariotik. Mikrotubula ini berupa batang yang lurus dan berongga dengan diameter sekitar 25 nm dengan panjang 200 nm – 25 μ m. Pada dinding tabungnya memiliki rongga yang dibangun dari protein globular yang disebut *tubulin*. Setiap molekul tubulin terdiri atas dua subunit polipeptida yang sama, α – tubulin, dan β – tubulin. Kedua protein tersebut diperkirakan memiliki berat molekul kira – kira 54.000 dalton yang memiliki hubungan dengan struktur dan urutan asam amino yang berasal dari leluhur protein pada awal periode evolusi. Mikrotubula bersifat lebih kokoh dari aktin. Mikrotubula memiliki pemanjangan dengan menambah molekul tubulin di ujung – ujungnya. Mikrotubula dapat dibongkar dan tubulinnya digunakan untuk membangun mikrotubula yang ada di dalam sel. Mikrotubula memiliki sifat yang sangat dinamis, yaitu dapat mengikat GTP dalam menjalankan polimerisasi. Mikrotubula sering dibantu oleh sentrosom dalam kegiatannya.

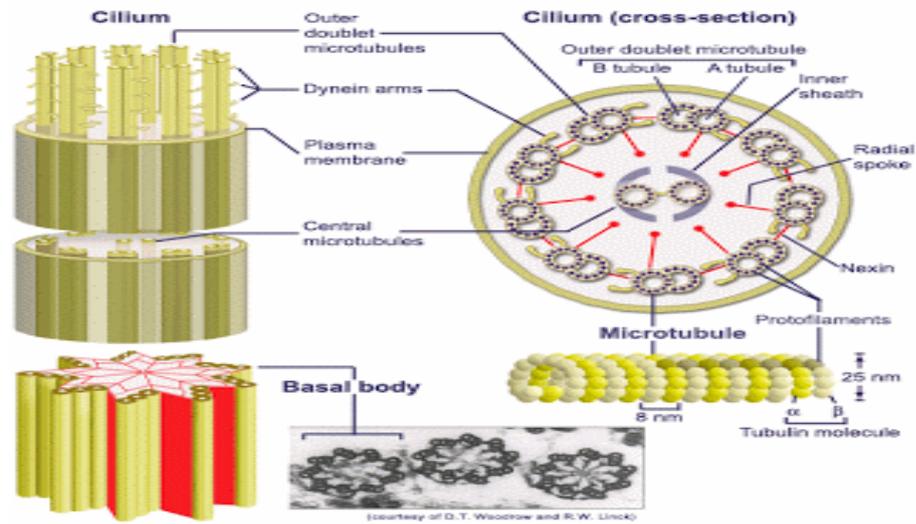


Gambar 4.17. Struktur Mikrotubula
<http://exactstudy.blogspot.co.id/2013/11/tentang-sitoskeleton.html>

Mikrotubula terdapat dua bagian pada ujungnya yaitu: ujung negatif yang terhubung dengan pusat pengatur mikrotubula, dan ujung positif yang terdapat di dekat membran sel. Pada **ujung positif**, merupakan tempat dimer – dimer tubulin yang bersatu membentuk **heterodimer**, sedangkan **ujung negatif** merupakan tempat lepasnya dimer – dimer tubulin dari ikatan heterodimer mikrotubula. Hal ini menyebabkan struktur dari mikrotubula tersebut menjadi **labil** atau **bergerak**. Dalam sembilan set triplet yang berbentuk bintang, mikrotubula membentuk organel **sentriol, silia, dan flagela**. Pembentukan tersebut sering disebut **sebagai rangkaian “9 + 2”**, dimana pada setiap doublet saling terhubung antara satu dengan yang lain oleh protein dynein. Flagela dan silia dianggap sebagai bagian dari sitoskeleton.

Mikrotubula berperan sebagai pemberi bentuk dan mendukung sel, sebagai alat transportasi intraseluler yang terhubung dengan dyneins dan kinesins yang dapat mengangkut organel seperti mitokondria dan vesikel, sebagai jalur yang dapat digunakan dalam melengkapi organel pada molekul motor agar dapat bergerak, sebagai pengatur posisi organel di dalam sel. Organel dapat meluncur di sepanjang mikrotubula dalam mencapai posisi yang berbeda di dalam sel, terutama saat pembelahan sel, sebagai alat pergerakan kromosom dalam pembelahan sel, sebagai pembantu dalam mitosis spindle, sebagai tempat

pembentukan sentriol, flagella, dan silia, sebagai pembantu dalam mensintesis dinding sel pada tumbuhan, dan sebagai tempat migrasi vakuola endositosis.



Gambar 4.18. Letak Mikrotubula pada Sel
<http://taufik-ardiyanto.blogspot.co.id/2011/07/makalah-mikrotubula.html>

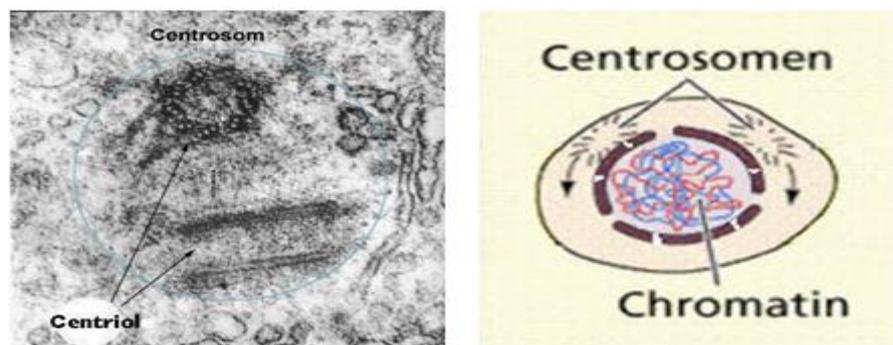
Mikrotubula dapat memberikan bentuk dan dukungan terhadap sel serta berfungsi sebagai penyalur yang dapat digunakan organel yang dilengkapi dengan molekul motor agar dapat bergerak. Terdapat dua kelompok mikrotubula yakni *mikrotubula stabil*, yaitu mikrotubula yang dapat diawetkan dengan larutan fiksatif apapun misalnya OsO_4 , MnO_4 atau aldehid dan suhu tertentu. Kemudian *mikrotubula labil*, yaitu mikrotubula yang dapat diawetkan hanya dengan larutan fiksatif aldehid pada suhu sekitar 4°C .

Mikrotubula bersifat labil terdapat di dalam sitolasma, sehingga disebut *mikrotubula sitoplasma*. Mikrotubula ini berfungsi sebagai pemberi bentuk sel, membantu gerakan sel, dan menentukan bidang pembelahan sel. Kelabilan mikrotubula dapat diterangkan berdasarkan *hipotesis Kirschner* dan *Mitchison* yaitu melalui terhidrolisis atau tidaknya GTP. Jika GTP tidak terhidrolisis maka akan terjadi proses perakitan mikrotubula. Sebaliknya jika GTP terhidrolisis maka akan terjadi pembongkaran mikrotubula. Kelabilan mikrotubula mendasari kegiatan dan fungsinya. Misalnya mikrotubula pada saat mitosis yang disebut *gelendong mitosis*. Mikrotubula gelendong mitosis sangat labil artinya cepat terakit maupun terurai sehingga gelendong mitosis sangat peka terhadap pengaruh dari senyawa kimia, dimana senyawanya bersifat *antimitotik* yaitu penghambat

pembentukan gelendong mitosis. beberapa senyawa yang bersifat antimitosis ialah *kolkisin*, *kolsemid*, dan *nokadzole*. Ketiganya berfungsi sebagai penghambat pengikatan molekul tubulin ke mikrotubula yang akan menyebabkan *depolimerisasi* mikrotubula atau gagalnya pembentukan mikrotubula. *Vinblastin* dan *vinkristin* berfungsi sebagai pemacu dalam pembentukan kelompok parakristalin dari tubulin yang menyebabkan terpecahnya ikatan antar tubulin mikrotubula sehingga terjadinya *depolimerisasi*. Sedangkan *taksol* berfungsi sebagai penstabil mikrotubula sehingga sulit untuk terurai, akibatnya kromosom tetap terletak dibidang ekuator pembelahan dan tidak dapat menuju masing – masing kutub pembelahan sehingga mitosis gagal terjadi atau terbentuk sel – sel dengan inti ganda (*poliploid*).

Penemuan mikrotubula ini yang dilakukan oleh seorang peneliti melalui teknik *imunofluorosensi* pada sel yang dibiakkan pada stadium interfase yang banyak terdapat di sekitar nukleus. Mikrotubula ini berbentuk bintik kecil seperti bintang yang disebut *aster*. Kemudian memancar filamen yang memanjang ke arah tepi sel. Daerah tempat munculnya aster ini disebut *MTOC (Microtubule organizing center)* atau dikenal dengan nama *sentrosoma*.

B. Sentrosoma



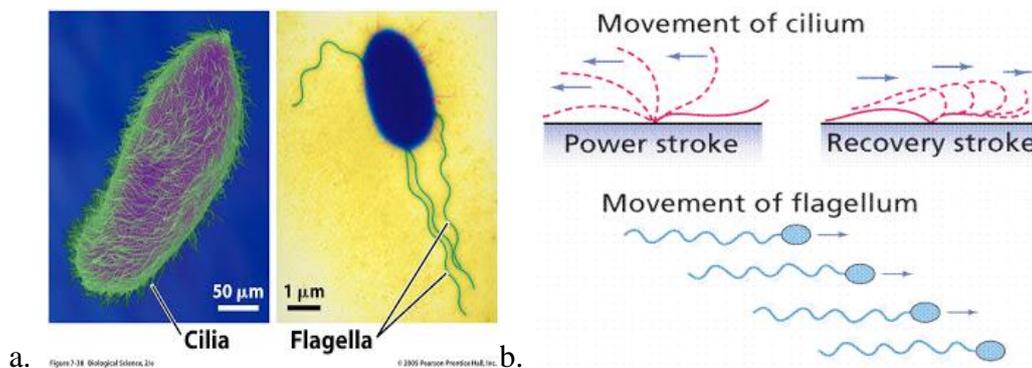
Gambar 4.19. Struktur Sentrosoma
<http://pustaka.pandani.web.id/2014/02/struktur-dan-fungsi-sel.html>

Dalam beberapa sel, mikrotubula tumbuh dari *sentrosom*, sentrosom ini pada saat interfase terletak pada salah satu sisi yang dekat nukleus. Sentrosom ini berfungsi sebagai balok penahan tekanan pada sitoskeleton. Di dalam sentrosom sel hewan, terdapat sepasang *sentiol*, yang tersusun ke dalam suatu cincin. Ketika sel mengalami pembelahan maka sentiol ini bereplikasi. Walaupun sentiol dapat

membantu mengorganisasi penyusunan rakitan mikrotubula, sentriol ini tak penting fungsinya bagi semua sel eukariota. Pada sel tumbuhan sentrosoma tidak memiliki *sentriola*. Sentrosoma ini memancarkan mikrotubula sitoplasma menjulur ke arah tertentu dari sel. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa ujung negatif mikrotubulaterdapat pada daerah *sentrosoma (MTOC)* sedangkan ujung positifnya menjauh dari sentrosoma. Pertumbuhan atau polimerasi mikrotubula ini dapat stabil jika ujung positifnya dilindungi dari senyawa yang menyebabkan depolimerisasi.

Sel yang berada dalam tahapan pembelahan, mikrotubulanya bersifat *labil*, artinya mikrotubulanya akan terus menerus terakit dan terurai. Akan tetapi sel – sel pada jaringan yang sudah dewasa (*terdiferensiasi*) memiliki mikrotubula yang stabil. Kestabilan mikrotubula ini ditentukan oleh *modifikasi pasca translasi* dan sebagian lagi oleh interaksi antara mikrotubula dengan protein khusus pengikat mikrotubula yang disebut MAPs (*Mirkotubule associated proteins*) yang berfungsi sebagai penghalang dalam penguraian mikrotubula dan memacu interaksi mikrotubula dengan komponen sel lainnya.

C. Silia dan flagela



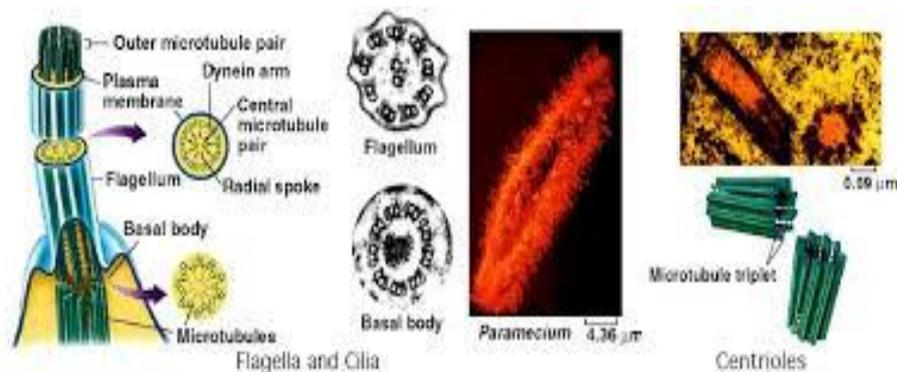
Gambar 4.20. (a). Struktur dan (b) Pergerakan pada Silia dan Flagella

<http://anggitabiobiola.blogspot.co.id/2013/05/biologi-sel.html>

<http://mita-biology.blogspot.co.id/2011/05/organel-gerak-dan-sitoskelet-sitoskelet.html>

Dalam sel eukariotik, mikrotubula secara khusus berfungsi dalam menggetarkan *flagela* dan *silia*, yang merupakan alat bantu dalam pergerakan yang menonjol pada sebagian sel. banyak organisme eukariotik yang melakukan pergerakan dengan bantuan flagela dan silia begitu juga pada sperma hewan, alga, dan tumbuhan. Silia biasanya muncul dalam jumlah yang banyak dengan diameter

0,25 μm dan panjangnya sekitar 2 - 20 μm . Diameter flagela lebih panjang dari pada silia yaitu 10 – 200 μm , namun jumlah flagela lebih terbatas dari pada silia. Flagela dan silia memiliki perbedaan dalam hal pola kibasannya. Flagela memiliki gerak yang bergelombang dengan menghasilkan gaya yang searah dengan sumbu flagela. Sedangkan pada silia bekerja lebih seperti mendayung dimana kibasannya yang balik dan memiliki tenaga yang berganti – ganti dengan arah yang tegak lurus terhadap sumbu silianya. Meskipun, berbeda panjangnya, jumlah per sel, dan pola kibasannya, silia dan flagela memiliki kesamaan dalam ultrastrukturnya.



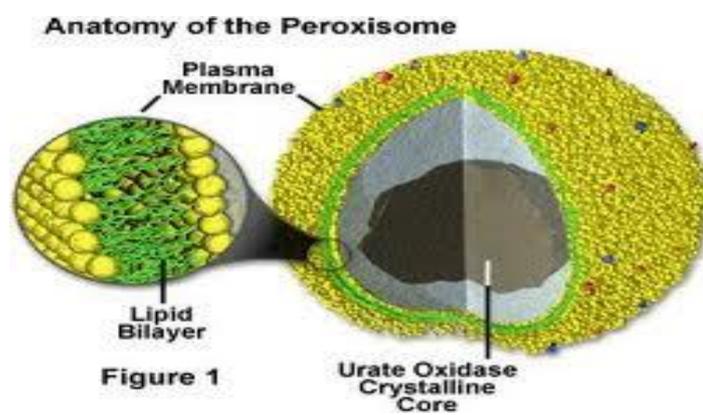
Gambar 4.21. Komponen cilia dan flagela pada sel eukariotik
<http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pengabdian/evy-yulianti-msc/organela-sel-eukariotik.pdf>

Silia dan flagela memiliki suatu inti yang terdiri dari mikrotubula yang diselubungi oleh suatu membran yang memanjang. Sembilan doublet mikrotubula memiliki anggota dari setiap pasangannya yang menggunakan sebagian dindingnya secara bersama – sama tersusun ke dalam sebuah cincin. Pada bagian tengahnya tersusun dua mikrotubula tunggal. Pada silia dan flagela, doublet mikrotubula dipertahankan di tempatnya, mungkin oleh jari – jari radial atau unsur struktural lain. Dengan demikian doublet disebelahnya tidak dapat saling meluncur melewati doublet yang lain dengan jarak yang sangat jauh. Sebagai gantinya, gaya – gaya yang dikerahkan oleh *lengan dynein* menyebabkan doublet ini melengkung, yang akan membengkokkan silia dan flagel.

D. Peroxisom

Peroxisom ialah suatu organel yang berbentuk bulat kecil yang ditemukan mengambang bebas dalam sitoplasma sel. Struktur pada peroksisom memiliki 50 enzim dan terpisah dari sitoplasma oleh *bilayer lipid* sebagai penghalang bagi

membran tunggal. Organel ini disebut sebagai peroksisom karena organel tersebut dapat menghasilkan hidrogen peroksida. Peroksisom merupakan sebuah ruangan metabolisme yang khusus dilingkupi oleh membran tunggal. Peroksisom mengandung enzim yang mentransfer hidrogen dari berbagai substrat ke oksigen yang menghasilkan **Hidrogen Peroksida (H_2O_2)**. Reaksi ini memiliki fungsi yang berbeda. Beberapa fungsinya menggunakan oksigen dalam memecahkan asam lemak menjadi molekul yang lebih kecil lagi yang dapat diangkut ke mitokondria sebagai bahan bakar untuk respirasi seluler.

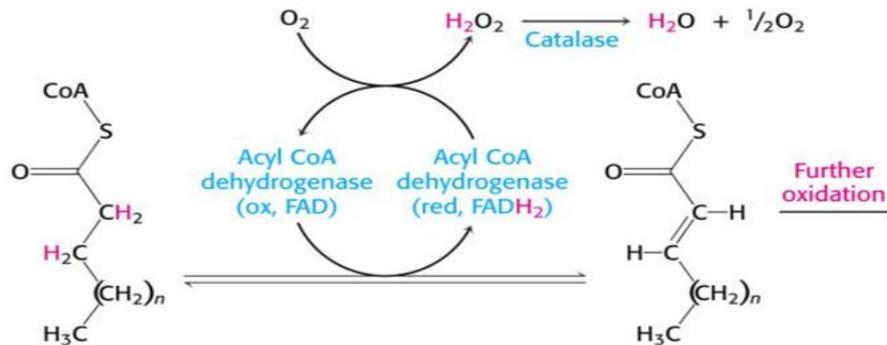


Gambar 4.22. Anatomi dari Peroksisom
<http://klikisma.com/2014/09/pengertian-dan-fungsi-peroksisom.html>

Dalam proses oksidasi yang terdapat pada peroksisom, enzim melakukan pemecahan pada asam lemak rantai panjang. Jika dibiarkan menumpuk pada asam lemak ini dapat menyebabkan kerusakan pada struktur seperti myelin '*isolasi*' yaitu selubung yang ada disekitar serat saraf di otak. Enzim yang ada dalam peroksisom juga dapat memecah asam urat dan asam amino. Dekomposisi yang terdapat pada asam lemak oleh peroksisom untuk bahan kimia asetil CoA dapat menghasilkan banyak energi metabolisme dan suplemen yang dapat dihasilkan oleh mitokondria.

Bahan kimia yang paling utama dihasilkan oleh oksidasi pada peroksisom ialah *sitotoksik (sel beracun) hidrogen peroksida*. Keuntungan pada peroksisom yaitu dapat menghasilkan jumlah yang berlebihan pada enzim katalase dan ini dapat membantu memecahkan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen. Peroksisom sebagai pengguna utama dari oksigen yang dihasilkan oleh hidrogen peroksida dan digunakan dalam organel. Dalam satu protein peroksisomal dapat

mencegah jumlah yang berlebihan pada bahan kimia ‘*oksalat*’. Pada salah satu jenis batu ginjal yang dihasilkan ketika oksalat bergabung dengan kalsium dapat menghasilkan kalsium oksalat.



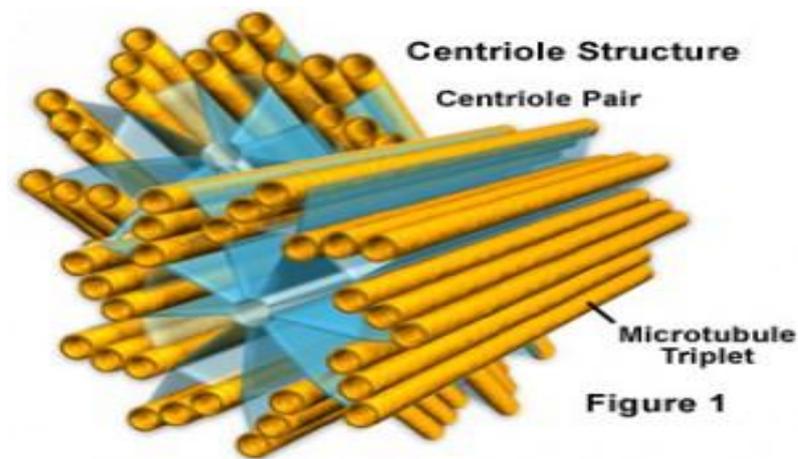
Gambar 4.23. Proses Oksidasi pada Peroxisom
<http://slideplayer.info/slide/2560733/>

Peroxisom dalam hati dapat menawarkan racun pada alkohol dan senyawa berbahaya lainnya dengan mentransfer hidrogen dari racun ke oksigen. H₂O₂ yang dibentuk oleh metabolisme peroksisom itu sendiri beracun, tetapi organel ini mengandung suatu enzim yang dapat mengubah H₂O₂ menjadi air. Peroxisom yang khusus disebut *glioksisom* yang ditemukan dalam jaringan penyimpan lemak dari biji tumbuhan. Organel ini mengandung enzim yang menginisiasi pengubahan asam lemak menjadi gula yang dapat digunakan oleh biji yang sedang tumbuh sebagai sumber energi dan sumber karbon sampai biji tersebut dapat menghasilkan gulanya sendiri dengan cara fotosintesis. Peroxisom bukan bagian dari sistem endomembran karena peroksisom tumbuh dengan cara menggabungkan protein dan lipid yang dibuat dalam sitosol dan memperbanyak jumlahnya dengan membelah diri menjadi dua bagian setelah berada dalam ukuran tertentu.

E. Sentriol

Sentriol merupakan organel yang banyak terdapat pada sel eukariotik, yang berbentuk batang silinder. Sentriol terdapat tepat berada diatas selubung membran nukleus, dan sumbu longitudinalnya saling berpotongan, dan kedua batang silinder tersebut membentuk salib. Struktur mikrotubula pada sentriol sama dengan *badan basal*, dan mungkin berasal dari badan basal yang primitif pada

saat evolusi selular berlangsung. Sentriol ini ditemukan di sebagian besar sel eukariotik. Pada sel hewan, sentriol dapat membantu mengorganisasikan dan merakit mikrotubula selama terjadinya proses pembelahan sel. Replikasi pada sentriol terjadi melalui fase interfase pada mitosis dan meiosis. Sentriol disebut sebagai badan basal dalam membentuk silia dan flagela. Sentriol berperan dalam pembentukan apparatus gelendong (*spindle*), yang paling penting dalam mitosis maupun meiosis.



Gambar 4.24. Struktur Sentriol
<http://kartika.xyz/biologi-klas-xi/fungsi-dan-struktur-sentriol/>

4.9.2. Sitoskeleton pada sel prokariotik

Sitoskeleton dahulunya hanya ditemukan di dalam sel eukariotik, tetapi baru – baru ini telah ditemukan protein utama dari sitoskeleton di dalam sel prokariota. Pada sel prokariotik ini memiliki kesamaan dengan sel eukariotik yaitu pada struktur dan fungsi dalam mempertahankan bentuk sel. Berikut ini beberapa bagian yang terdapat pada sitoskeleton, diantaranya yaitu:

A. FtsZ

FtsZ adalah protein pertama pada sitoskeleton prokariotik yang telah diidentifikasi, seperti pada tubulin. FtsZ memiliki bentuk seperti filamen, tetapi filamen ini bukan bagian dari kelompok tubulus. Selama pembelahan sel, FtsZ merupakan protein pertama yang pindah ke masing – masing bagian, dan dapat mengantarkan protein lain yang mensintesis dinding sel antara sel – sel pembagi.

B. MreB dan ParM

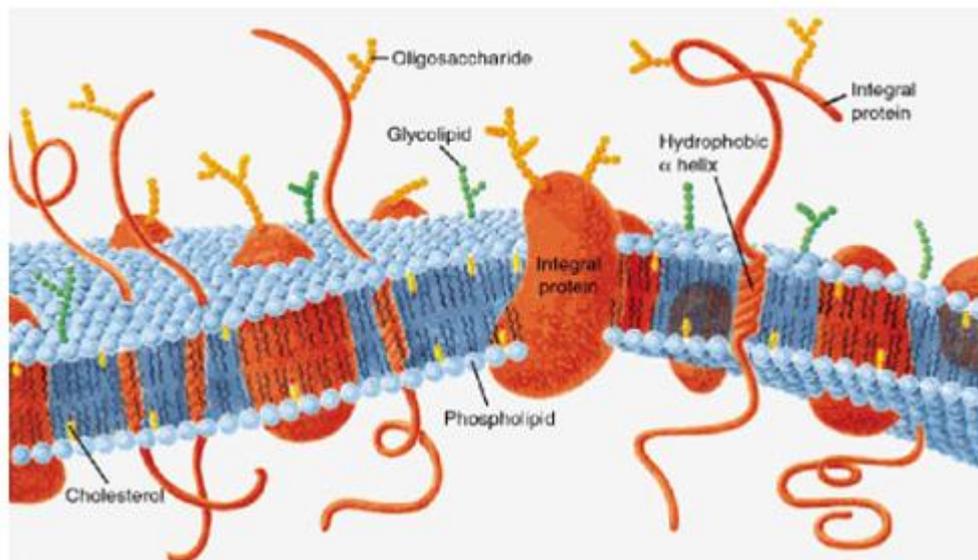
Pada protein prokariotik, seperti MreB terlibat dalam pemeliharaan dalam bentuk sel. Semua bakteri yang berbentuk non bulat mempunyai gen untuk mengkode aktin, dan protein ini membentuk jaringan heliks di bawah membran sel yang terlibat dalam biosintesis protein. Beberapa plasmid menyandikan sistem partisipasi yang melibatkan aktivitas protein ParM. Filamen ParM memiliki ketidakstabilan dinamis, dan kemungkinan partisi plasmid DNA ke dalam sel pemisah oleh mekanisme yang kemungkinan hampir sama seperti yang digunakan oleh mikrotubulus selama proses mitosis pada sel eukariotik.

C. Kresentin

Pada bakteri *Caulobacter crescentus* memiliki kandungan protein ke-3 yaitu kresentin (*crescentin*), yang berhubungan dengan filamen pada sel – sel eukariotik lainnya. Kresentin berperan dalam mempertahankan bentuk sel, seperti heliks dan bentuk vibrioid bakteri, tetapi mekanismenya belum terlihat dengan jelas hingga sekarang.

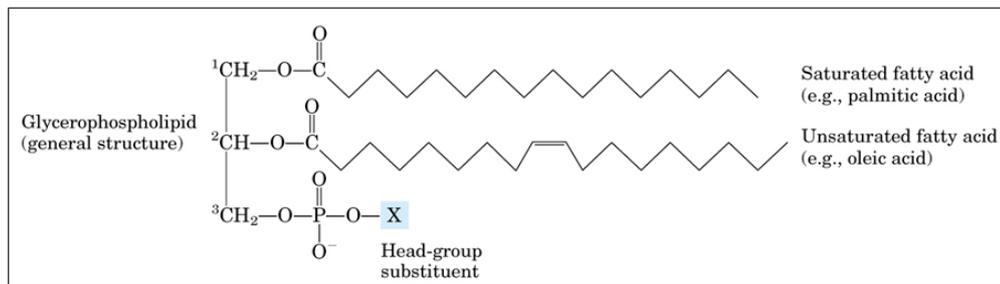
BAB V STRUKTUR DAN PERANAN MEMBRAN PLASMA

Perkembangan pada organel membran plasma ini merupakan tahapan yang paling penting dalam kehidupan di dunia ini karena membran ini merupakan pembungkus sel dan pembatas isi sel dengan lingkungannya. Membran ini bukan hanya sebagai penyekat pasif tetapi juga sebagai filter dalam memilih bahan yang melintasinya agar tetap terpelihara perbedaan kadar ion di luar dan di dalam sel. Bahan – bahan yang diperlukan oleh sel diperbolehkan masuk, sedangkan yang merupakan sisa dari sel dapat dikeluarkan dari sel. Keberadaannya sangat sulit terlihat dari mikroskop, namun dapat dibuktikan keberadaannya melalui *plasmolisis* atau pada saat sel tumbuhan dihilangkan dinding selnya. Adapun bahan yang menyusun membran plasma ini yaitu *lipid* dan *protein*, sedangkan karbohidrat pada sel tertentu saja (pada gambar 5.1). Model yang diterima dalam penyusunan molekul membran ini ialah *Model Mozaik Fluida*. Membran sel ini merupakan lapisan terluar dari sel hidup. Membran ini berfungsi dalam mengendalikan lalu lalang zat ke dalam dan keluar sel. Membran juga merupakan dua lapisan protein yang rapat dan mengelilingi lapisan fosfolipid yang lebih tebal tetapi tidak terlalu rapat.



Gambar 5.1. Struktur Membran Plasma dalam Model Mozaik Fluida
<http://pustaka.pandani.web.id/2014/02/struktur-dan-fungsi-sel.html>

Pengenalan membran ini pertama kali dilakukan oleh *Charles Overton* pada tahun 1859, yang mempostulatkan bahwa membran terbuat dari lipid, hal ini berdasarkan pengamatannya bahwa zat yang larut dalam lipid memasuki sel jauh lebih cepat daripada zat yang tidak larut dalam lipid. Dua puluh tahun kemudian, peneliti menemukan bahwa membran tersusun atas lipid dan protein. *Fosfolipid* merupakan lipid yang tersusun dalam jumlah yang banyak pada sebagian membran. Kemampuannya dalam membentuk membran dikarenakan oleh susunan struktur molekulernya. Fosfolipid merupakan suatu molekul *amfipatik* yang memiliki daerah hidrofilik maupun hidrofobik (dapat dilihat pada gambar 5.2).

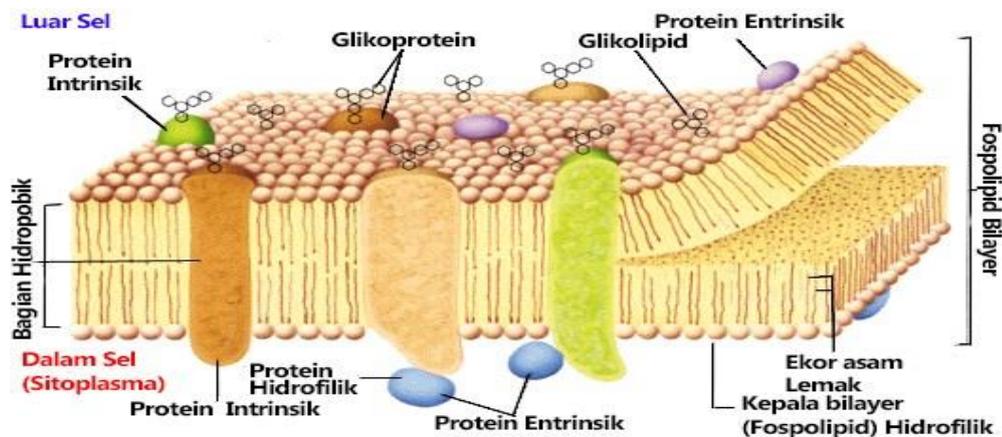


Gambar 5.2. Struktur Fosfolipid
<https://amit1b.files.wordpress.com/2012/08/fig-24.png>

5.1. Model Membran Plasma

Penemuan teori mengenai membran plasma ini dimulai sejak tahun 1917 oleh *Irving Langmuir* yang membuat membran buatan dengan bantuan fosfolipid yang terlarut dalam benzena ke dalam air. Pada tahun 1925, seorang ahli Belanda yang bernama *E.Gorter* dan *F. Grendel* menemukan bahwa membran sel sebenarnya harus berupa *bilayer* fosfolipid, yang tebalnya dua molekul. *Bilayer* seperti ini dapat menjadi suatu batas stabil antara ruangan aqueous karena susunan molekulernya melindungi ekor hidrofobik fosfolipid dari air dan membiarkannya kepala hidrofilik masuk ke air. Pada tahun 1935, Hugh Davson dan James Danielli mengusulkan suatu model sandwich dimana *bilayer* fosfolipid diantara dua lapisan protein globular. Penemuan membran sel ini oleh Davson dan Danielli ini diterima semua orang hingga tahun 1970-an. Namun pada akhir dasawarsa, para ahli biologi menemukan dua masalah dalam model tersebut diantaranya yaitu generalisasi bahwa semua membran sel merupakan identik telah ditantang. Tidak semua membran tampak sama melalui mikroskop elektron. Membran

mitokondrianya memiliki persentasi protein yang jauh lebih banyak dari pada membran plasmanya, dan terdapat perbedaan jenis spesifik fosfolipid dan lipid lainnya. Membran memiliki fungsi, komposisi dan struktur kimiawi yang berbeda. Masalah lain yang lebih serius lagi yaitu pada penempatan proteinnya. Tidak seperti protein yang terlarut dalam sitosol, protein membran sangat tidak larut dalam air. Protein membran ini memiliki daerah hidrofobik dan hidrofilik. Jika protein melapisi permukaan membran, bagian hidrofobiknya akan berada dalam lingkungan aqueous (dapat dilihat pada gambar 5.3).



Gambar 5.3. Lapisan Membran yang memperlihatkan Struktur hidrofobik dan hidrofilik
<http://www.bacabagus.com/2016/01/membran-plasma-dan-organel.html>

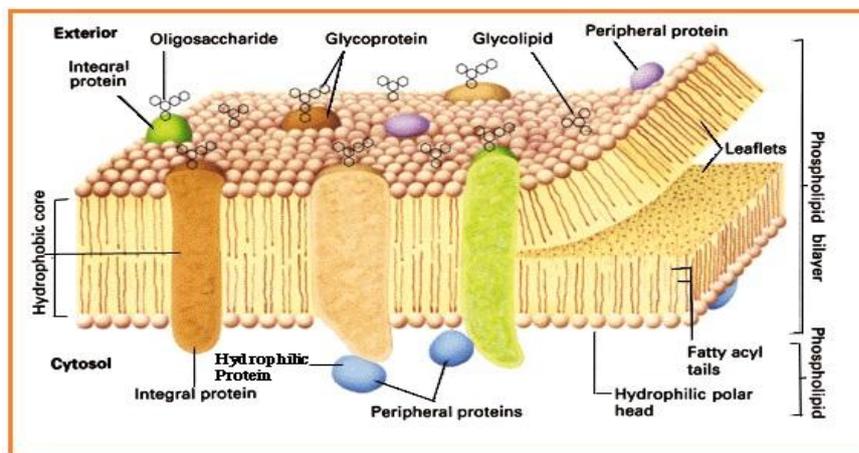
Pada tahun 1972, *S.J.Singer* dan *G. Nicolson* mengajukan model membran yang telah mengalami revisi, yang mana menempatkan protein pada suatu lokasi yang sesuai dengan karakter amfipatiknya. Teori ini dikenal dengan nama *Teori Fluid Mozaic Cair* (dapat dilihat pada gambar 5.4), menurut teori ini membran plasma terdiri dari lapisan lemak bimokuler, yang mengalami pemutusan dengan adanya molekul protein. Beberapa molekul protein berada dipermukaan membran yang terikat pada permukaan lemak yang berketup dan diberi nama *protein perifer* atau *protein ekstrinsik*. Sebagian lagi dari protein yang masuk ke bagian dalam membran plasma diantara lapisan lemak yang bimokuler tersebut, dengan salah satu permukaannya atau keduanya yang menyembul dipermukaan membran. Terkadang molekul ini berdampungan sehingga diantara keduanya terbentuk suatu porus pada membran plasma. Molekul yang menyusup atau masuk kedalam ini dinamakan *protein intergral* atau *protein intrinsik*. Baik molekul protein maupun lemak terkadang dapat mengikat karbohidrat yang bertanggungjawab atas

fenomena fisiologi diantaranya yaitu adhesi antar sel dalam jaringan, dan pengenalan antar sel. cara sel dalam mengenal sel lainnya melalui pemberian kunci pada molekul permukaan membran yang berupa molekul karbohidrat. Karbohidrat ini berupa oligosakarida yang bercabang dengan kurang dari 15 satuan gula yang berikatan secara kovalen membentuk glikolipid atau glikoprotein. Keberagaman molekul dengan lokasi yang berbeda pada permukaan sel membuat oligosakarida berfungsi sebagai penanda yang membedakan satu sel dengan sel lainnya.

Pada permukaan lipid maupun protein dapat berikatan dengan senyawa karbohidrat. Molekul lipid yang mengikat karbohidrat ini disebut *glikolipid*, sedangkan molekul protein yang mengikat karbohidrat disebut *glikoprotein*. Keberadaan karbohidrat yang hanya ada pada permukaan membran plasma bagian luar dan tidak pernah ada pada bagian permukaan dalam atau permukaan sitosolik ini menyebabkan *membran plasma bersifat asimetris*.

Keberadaan lipid, protein, dan karbohidrat pada membran plasma menyebabkan sifatnya menjadi *hidrofobik* dan *hidrofilik*. Sifat hidrofilik berada dibagian luar maupun dibagian dalam membran, sedangkan sifat hidrofobik berada pada bagian tengah dari membran tersebut. Sifat yang hidrofobik disebabkan oleh komponen lipidnya, walaupun terdapat bagian tertentu dari molekul lipid yang bersifat hidrofilik yaitu bagian molekul lipid yang berikatan dengan gugus fosfat atau senyawa organik yang bersifat hidrofilik. Adapun komponen protein dan karbohidrat memberikan sifat hidrofilik kepada membran plasma. Komposisi lipid, protein, dan karbohidrat bervariasi susunannya dan berubah sesuai tingkat perkembangan selnya, umur, dan lingkungannya. Komposisi membran ini terutama pada fraksi lipid, sangat menentukan *fluiditas membrannya*. Fluiditas membran menyangkut ciri – ciri kekenyalannya, kekentalannya, atau kemudahan melakukan perubahan sifat *fisikokimia* untuk tetap dapat mempertahankan keutuhan dari fungsi membran plasma tersebut. Perubahan *fisikokimia* ini terjadi dari keadaan seperti agar – agar (*gel – like consistency*) menjadi keadaan yang lebih cair (*fluid – like consistency*). Perubahan kedalam keadaan yang lebih cair ini diikuti oleh peningkatan gerakan ikatan C – C molekul asam lemak pada bagian porosnya, sehingga terjadi susunan

yang lebih acak dan dapat menyerap panas. Sedangkan untuk berubah kembali kedalam keadaan kental atau dari lipid jenuh ke lipid tak jenuh maka memerlukan tenaga panas yang lebih rendah dari pada perubahan sebelumnya. Lipid tak jenuh menyebabkan membran plasma menjadi lebih cair (fluid). Fluiditas membran plasma ini juga disebabkan oleh adanya *kolesterol*. Makin banyak kandungan kolesterolnya dalam membran, maka membran tersebut makin lebih fluid lagi. Seperti yang telah diungkapkan sebelumnya bahwa membran plasma merupakan *struktur yang asimetris* yang artinya penyusun membran plasma bagian luar berbeda dengan permukaan *sitosoliknya*. Perbedaan ini karena adanya karbohidrat yang berada pada bagian luar dan berikatan dengan molekul lipid maupun protein. Adanya keberadaan karbohidrat ini pada beberapa membran sel memberikan struktur khusus yang disebut *selubung sel (cell coat)* atau *glikokalik*. Glikokalik ini kebanyakan terdapat pada sel hewan yang mengandung lapisan luar yang tersusun dari rantai – rantai pendek karbohidrat yang berikatan secara kovalen dengan membran. Lapisan tersebut mengandung *reseptor* yang berikatan dengan zat – zat eksternal yang dapat mengendalikan aktivitas internal sel. Glikokalik juga mengandung glikoprotein antigenik yang memberikan identitas imunologis pada sel. Sedangkan struktur eksternal lainnya berfungsi dalam menambatkan sel satu dengan sel lainnya secara erat, maupun dalam ruang inter seluler untuk transportasi antar sel.



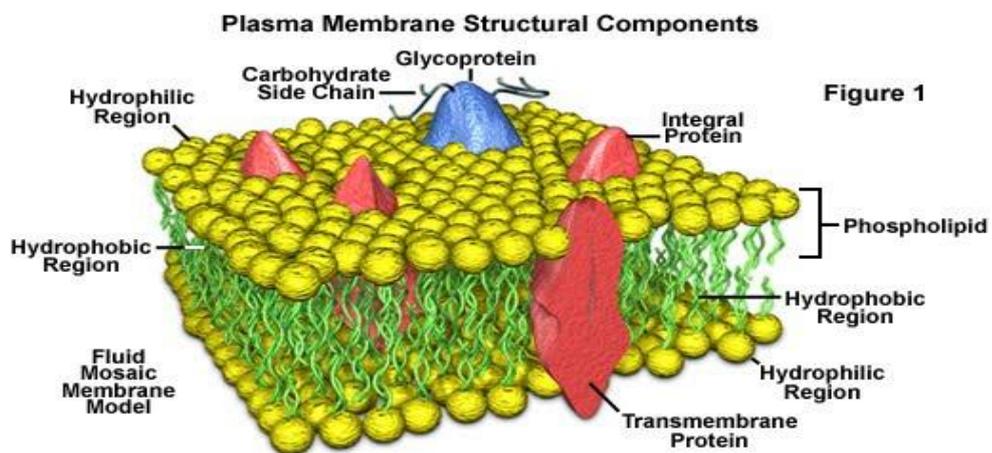
Gambar 5.4. Model Mozaik Cair
<http://biologigonz.blogspot.co.id/2010/06/membran-plasma.html>

Dalam beberapa sel, membran luar dikelilingi oleh dinding kaku atau keras yang disebut *pelikel (pellicle)*. Struktur tambahan tersebut merupakan zat – zat

mati yang ditambahkan ke dalam permukaan membran dan tidak mempengaruhi *permeabilitas sel* secara substansial. Pada tumbuhan, fungi, dan bakteri, lapisan luar itu disebut *dinding sel* dan tersusun secara berurutan melalui selulosa, kitin, atau beragam kombinasi asam amino dan karbohidrat kompleks. Dinding sel ini berfungsi sebagai penyokong dan sebagai penjaga sel agar tidak meletus dalam lingkungan *hipostomik*.

5.2. Komponen Penyusun Membran Plasma

Berdasarkan penjelasan sebelumnya mengenai membran plasma, diketahui bahwa membran plasma tersusun atas lipid, protein, dan karbohidrat. Disini akan dijelaskan kembali mengenai komponen penyusun dari membran plasma tersebut, diantaranya ialah sebagai berikut:

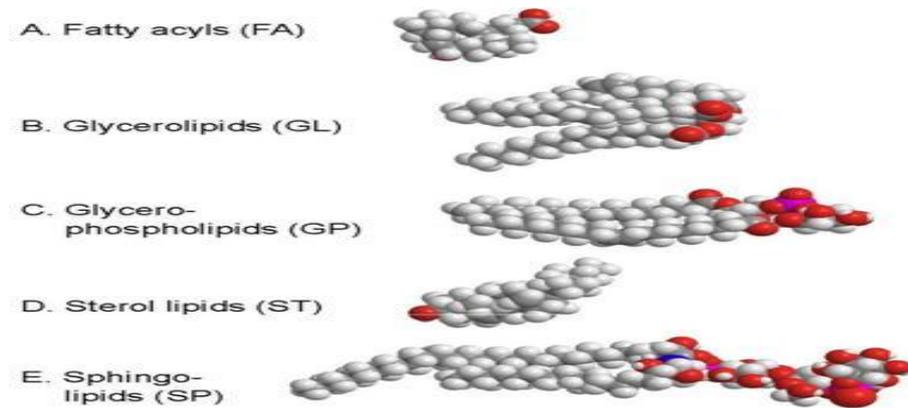


Gambar 5.5. Komponen Struktural Membran Plasma
<http://garnisah.blogspot.co.id/2011/11/sel-membran-plasma.html>

A. Lipid

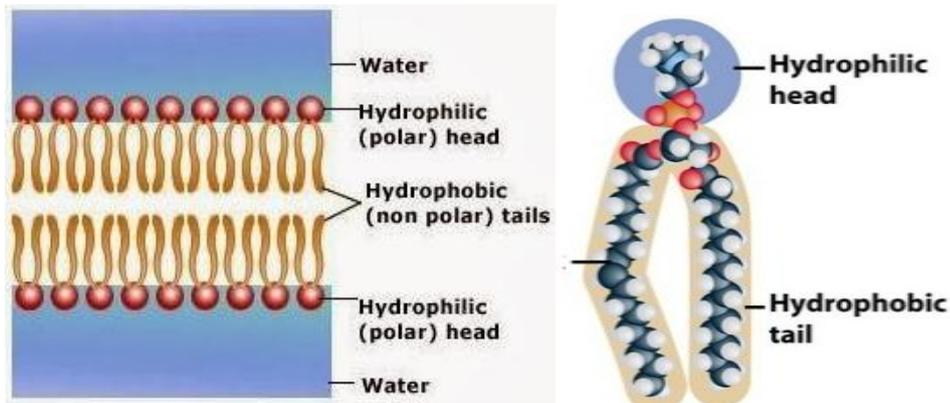
Lipid merupakan suatu molekul secara biologis yang tidak dapat larut dalam air tetapi dapat larut dalam suatu pelarut yang banyak terkandung senyawa organik. Jenis molekul lipid yang paling penting yang terdapat dalam membran plasma tersusun atas fosfolipid, sfingolipida, glikolipida, dan sterol (kolesterol) (dapat dilihat pada gambar 5.6). Molekul tersebut bersifat *amfifatik*, yang mana molekulnya memiliki ujung hidrofobik atau nonpolar (menjauh dari air) dan ujung yang lain bersifat hidrofilik atau polar (menyenangi air). Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap membran eritrosit pada hewan sapi, mencit, dan babi, ketiga hewan tersebut memiliki jenis molekul lipid pada kolesterol yang

lebih tinggi dari pada jenis yang lain. Hal ini disebabkan bahwa pada hewan tingkat lipid pada kolesterol lebih banyak ditemukan dari pada tumbuhan, sedangkan yang paling penting peranannya dalam sistem membran lebih dominan ditemukan pada fosfolipid dibandingkan kolesterol karena memiliki sifat fluiditas yang lebih tinggi daripada yang lain. Masing – masing komponen saling berhubungan dan berperan penting pada masing – masing sistem di dalam tubuh (dapat dilihat pada gambar 5.6).



Gambar 5.6. Jenis – jenis lipid yang terdapat pada sistem membran
<http://27.109.7.67:1111/econtent/basic-chemistry-III/carbon.php>

Lipid merupakan molekul yang memiliki kepala sebagai ujung polarnya, dan dua ekor sebagai ujung nonpolarnya (dapat dilihat pada gambar 5.7). Apabila molekul – molekul lipid bersifat amfipatik tersebut dikelilingi oleh lingkungan air, maka molekul – molekul tersebut cenderung akan menyusun diri sedemikian rupa sehingga bagian ekor yang hidrofobik terlindungi dari air. Dengan demikian, lapisan lipid bukan merupakan lapisan yang kaku, melainkan sebagai struktur yang memiliki sifat fluiditas seperti cairan. Sifat fluiditas tersebut selain dipengaruhi oleh struktur kimia bagian hidrofobik, juga dipengaruhi oleh keberadaan kolesterol (dapat dilihat pada gambar 5.7). Pada membran plasma, sel eukariotik memiliki perbandingan molekul kolesterol dengan fosfolipid yaitu 1:1. Makin banyak kolesterol, membran plasma makin cair. Demikian juga semakin banyak rantai asam lemak yang memiliki ikatan rangkap, makin besar sifat fluiditasnya. Molekul kolesterol sendiri memberikan sifat fluiditas dan juga bertanggungjawab dalam menjaga kestabilan membran plasma yang bersangkutan.



Gambar 5.7. Struktur Lipid Bilayer
<http://www.srdianti.com/pengertian-dan-ciri-lipid.html>

Lipida juga disebut sebagai struktur dasar dalam membran biologis karena memiliki susunan senyawa kimia lipid yang berikatan membentuk lapisan bimokuler. Senyawa ini mudah diekstrak dengan berbagai zat pelarut senyawa organik, seperti *kloroform*, *eter*, dan *benzena* melalui teknik *kromatografi gas* karena dengan teknik tersebut senyawa lipid sangat mudah untuk diekstrak menjadi bagian yang diinginkan.

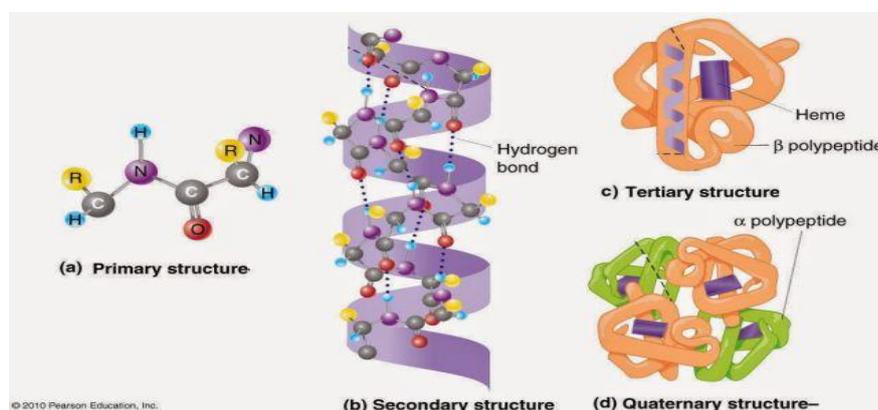
Lipid merupakan salah satu molekul amfifatik yang dapat membentuk lapisan secara spontan menjadi lapisan rangkap yang dapat terjadi dalam lingkungan berair. Proses ini dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu dengan membentuk lapisan *misel* yang memiliki bentuk yang bulat dan pada bagian ekornya yang hidrofob berada tersembunyi dibagian dalamnya, atau dengan membentuk *liposom*, yang bagian ekornya menyembunyikan diri diantara bagian kepala yang hidrofili. Lapisan rangkap ini lebih bersifat menutup diri sendiri yang dapat membentuk kompartmen tersegel dan juga dapat menyembuhkan dirinya sendiri jika mengalami kerusakan pada bagian strukturnya.

Peranan lipid yang dijadikan sebagai zat pelarut dalam protein membran, sangat menentukan komposisinya dalam membentuk lapisan membran. Lapisan ini hanya terdiri dari lapisan fosfolipid yang berubah sifatnya dari bentuk cair menjadi wujud kristal yang rigid. Perubahan ini disebut *fase transisi*. Lapisan lipid yang bersifat bimokuler buatan dan tersusun atas berbagai fosfolipid yang memiliki kejenuhan yang berbeda – beda, dapat membentuk suatu fase yang dapat saling mengelompok membentuk kristal, fase ini disebut *fase separasi*. Berdasarkan fase – fase tersebut, sifat lipid menurut tingkat kecairannya dapat

ditentukan oleh dua faktor, diantaranya ialah panjang rantai hidrokarbon dan jumlah tingkat kejenuhannya atau tingkat rangkapnya yang terdapat dalam ikatan hidrokarbon. Faktor lain yang dapat juga dalam menentukan kecairan lipid tersebut yaitu melalui molekul kolesterol yang ada pada sel eukariotik yang dapat meningkatkan stabilitas mekanis terhadap membran sel.

B. Protein

Protein tersusun dari beberapa jenis polimerisasi peptida. Peptida ialah suatu polimerisasi dari berbagai macam asam amino yang memiliki jenis yang berbeda – beda. Jadi, protein dapat dikatakan sebagai suatu kumpulan polimer membentuk kopolimer. Ikatan yang terbentuk diantara protein tersebut selain beberapa macam ikatan peptida antara asam amino penyusunnya, juga terbentuk beberapa ikatan yang lain yang saling berhubungan. Misalnya pada ikatan hidrogen yang tersusun atas gugus $-NH$ dan gugus $-OH$ serta ikatan disulfida $-S-S-$ yang membantu terjadinya ikatan yang lebih kompleks pada protein. Ikatan ion pada protein dapat terjadi juga jika di dalamnya terdapat gugus ion logam dan ikatan koordinasi yang saling berikatan, misalnya ikatan koordinasi antara ion Fe^{3+} dengan hemoglobin pada darah. Pada ikatan tersebut, protein tersusun atas beberapa struktur yang membentuk struktur yang kompleks. Struktur pada protein tersebut terdiri atas struktur primer, sekunder, tersier, dan kuartener. Struktur tersebut dapat dilihat pada gambar 5.8.

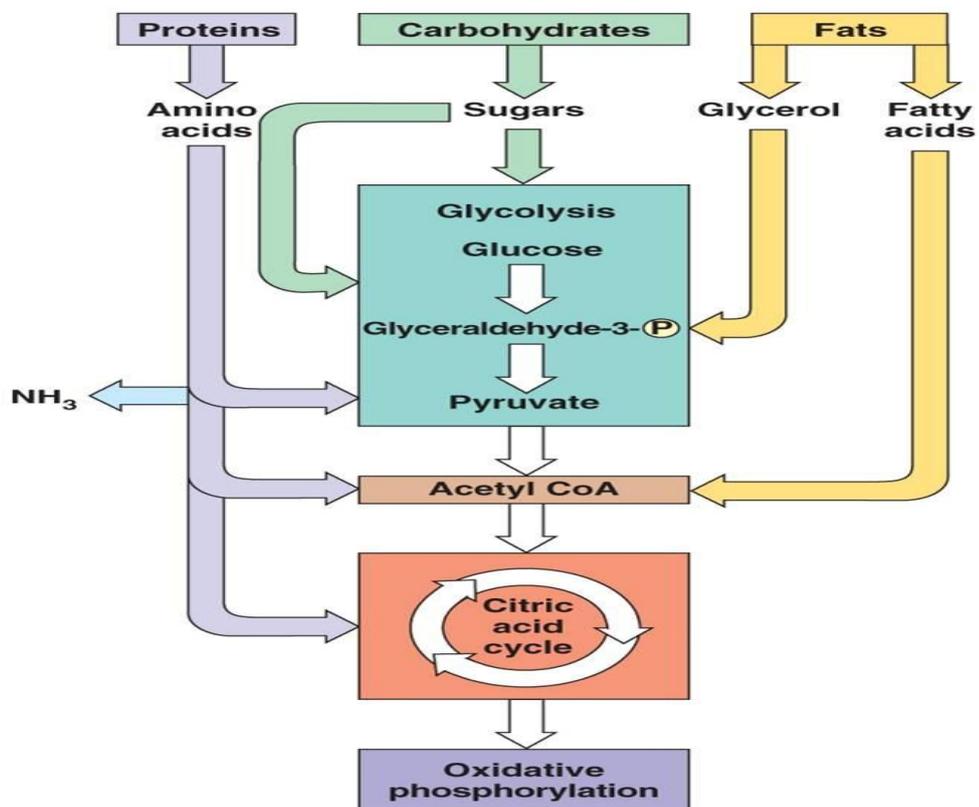


Gambar 5.8. Struktur Protein yang terdapat dalam Sistem Membran
<http://kimiadasar.com/protein/>

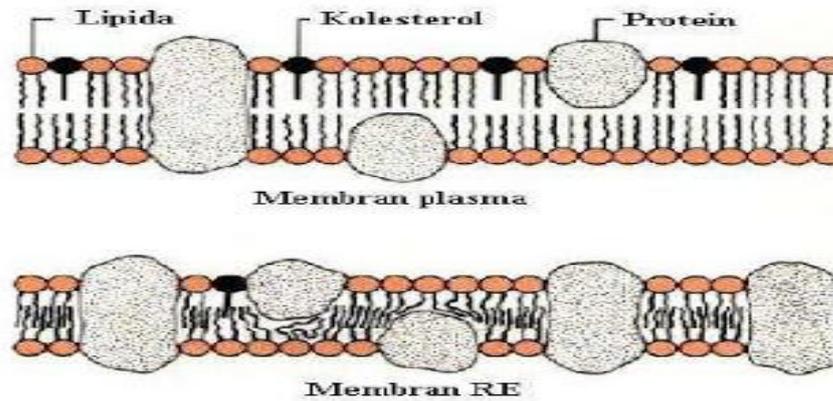
Protein juga memiliki komponen penyusun membran plasma yang dapat bergerak. Gerakan molekul ini ada 3 macam yaitu:

- Gerakan ke arah lateral/ diagonal pada membran plasma
- Gerakan rotasi searah pada dwilapis membran plasma
- Gerakan tegak lurus atau melintas pada dwilapis membran

Gerakan – gerakan inilah yang menjadi dasar adanya transport materi melalui membran plasma. Molekul – molekul protein perifer ini dapat berikatan dengan molekul karbohidrat (*glikoprotein*) dan diantaranya berperan dalam *reaksi imunologis* serta dapat bertindak sebagai reseptor. Sedangkan molekul protein integral umumnya berkaitan dengan proses transport dan proses enzimatik. Molekul yang berkaitan dengan proses transport dapat membentuk kanal, ada yang bertindak sebagai pembawa/ pengemban (*carrier*) yang memiliki tempat pengikat khusus (*binding site*), dan lain sebagainya. *Glikoporin*, merupakan protein transmembran pada eritrosit manusia yang hanya sekali menembus dwilapis membran plasma, sedangkan *bakteri orhodopsin* merupakan protein transmembran yang menembus susunan dwilapis membran plasma hingga tujuh kali. Interaksi yang terjadi melalui gerakan tersebut saling berhubungan antara lipid dengan protein, dan interaksi antara lipid, protein dan karbohidrat yang membentuk suatu *ikatan fosfolipid oksidatif* (dapat dilihat pada gambar 5.9).



Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

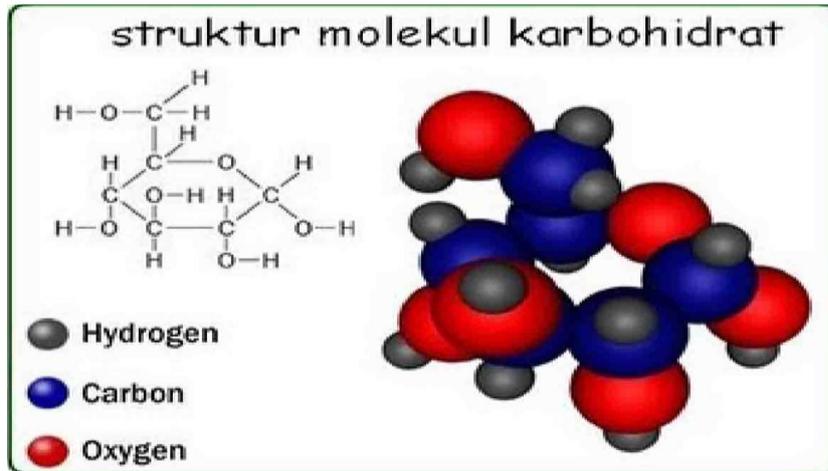


Gambar 5.9. (a). Interaksi antara lipid, protein, dan karbohidrat dalam membentuk fosfolipid oksidatif, (b). Interaksi Lipid dengan Protein dalam membentuk Lipoprotein
<http://konsepbiologiku.blogspot.co.id/2013/09/hubungan-katabolisme-lipid-karbohidrat.html>
<http://taufik-ardiyanto.blogspot.co.id/2011/07/makalah-membran-plasma.html>

Proses yang dilakukan dalam interaksi tersebut terjadi pada sebagian protein yang tertanam dan melintasi kedua lapisan pada sistem membran dan terdedah terhadap lingkungan berair pada kedua sisi membran, yang disebut *protein transmembran*. Sedangkan protein lain yang terdedah pada lingkungan air hanya pada salah satu lapisan saja dimana sebagian dari lapisan tersebut menempel pada membran yang melalui ikatan kovalen. Protein yang dapat menempel secara kovalen dapat berikatan dengan rantai asam lemak yang menjulur pada salah satu lapisan membran.

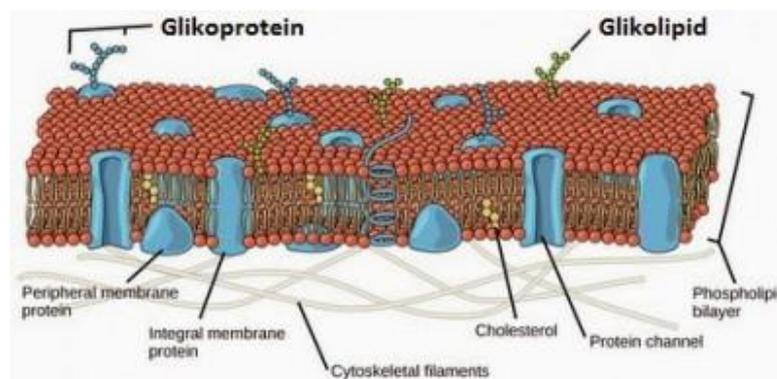
C. Karbohidrat

Karbohidrat terdapat pada semua sel eukariotik yang berada pada permukaan selnya, dan sebagian lagi dalam bentuk rantai oligosakarida. Molekul karbohidrat selalu berada dibagian permukaan luarnya membran plasma dan tidak pernah berada dalam permukaan sitosolik. Monosakarida yang terdapat pada *glikoprotein* dan *glikolipid* yaitu *galaktosa, fruktosa, galaktosamin, glukosamin, glukosa, dan asam sialik*. Fungsi rantai cabang oligosakarida pada glikolipid dan glikoprotein belum terlihat jelas. Kemungkinan peranannya tersebut membantu agar molekul protein dapat terpancang dengan kuat dalam membran plasma dan juga menstabilkan struktur protein tersebut. sedangkan fungsinya ialah dapat memproses pengenalan dalam komunikasi antar sel.



Gambar 5.10. Struktur Karbohidrat Bilayer
<http://blogakuuppaunsyiah.blogspot.co.id/2014/04/biologi-molekuler-dan-seluler.html>

Karbohidrat merupakan senyawa yang sangat penting dalam sistem membran plasma jika dilihat dari segi fungsi atau peranannya. Peranan karbohidrat ini juga dapat berguna dalam proses pengenalan sel dengan sel atau sel dengan substansi antar sel. karbohidrat hanya terdapat dibagian permukaan ekstrasitoplasmik pada membran sel. karbohidrat ini terdapat pada bagian nonsitoplasmik atau molekul yang tidak bersentuhan dengan sitoplasma sehingga kehadirannya pada salah satu permukaan membran akan membentuk sifat yang asimetri. Molekul karbohidrat ini dapat berinteraksi dengan lipida dalam membentuk *glikolipida* dan dengan molekul protein dapat membentuk *glikoprotein membran* (dapat dilihat pada gambar 5.11).



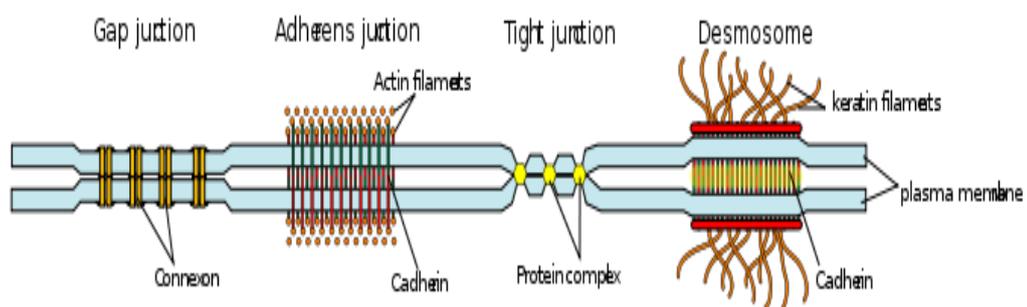
Gambar 5.11. Interaksi Karbohidrat dengan Lipid (Glikolipid), dan Karbohidrat dengan Protein (Glikoprotein)
<http://fungsi.web.id/2015/02/fungsi-membran-plasma.html>

Keberadaan karbohidrat dalam sistem membran berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan secara eksperimen, diketahui bahwa karbohidrat tersebut

dapat melakukan komunikasi antar sel (*cell – cell* interaction) yang satu dengan sel lainnya. Kegiatan ini dilakukannya di permukaan sel. Peranan komunikasi antar sel yang dilakukan oleh karbohidrat ini dimaksud untuk mengenal masing – masing fungsi dan keberadaan sel tersebut dalam suatu organel yang dibutuhkan dalam suatu makhluk hidup. Namun, kegiatan komunikasi ini masih banyak diperoleh informasinya hanya pada sel tumbuhan sedangkan pada sel hewan masih terbatas karena hanya beberapa sel hewan saja yang sudah ditemukan kegiatan komunikasi ini.

5.3. Hubungan Kerjasama antar Sel

Sel itu bertetangga antar sel yang satu dengan sel lainnya, karena itu sel – sel perlu mengadakan hubungan antar sel. Hubungan ini dapat dilakukan melalui interaksi secara langsung atau melalui perlekatan antar sel. Hubungan yang dilakukan secara langsung dapat dilakukan melalui interaksi adhesi antar sel. Interaksi ini dapat dilakukan melalui dua cara yaitu secara langsung melalui permukaannya yang terjadi secara komplementer atau interaksi yang saling melengkapi atau dengan interaksi yang diperantarai oleh suatu molekul jembatan (*faktor* agregasi), dimana interaksi ini terjadi melalui suatu hubungan yang dibangun melalui *link* antar sel dengan cara berhubungan melalui tempat khusus pada permukaan sel yang bersifat komplementer terhadap struktur yang ada padanya.



Gambar 5.12. Hubungan Junction (Perlekatan) antar sel
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cell_junction_simplified_en.svg

Hubungan yang terjadi antar sel ini dalam berkomunikasi dapat dilakukan melalui perlekatan (*junction*) (dapat dilihat pada gambar 5.12). Hubungan ini banyak ditemukan pada hewan metazoa, vertebrata dan invertebrata. *Junction* ini

terjadi melalui modifikasi sel secara struktural dan mengakibatkan keberadaan sel menjadi tetap dengan jarak yang sangat dekat, tetap pada tempatnya, dan dalam beberapa bagian akan mengadakan bentuk komunikasi antar sel secara terbatas.

Suatu sel dapat berkomunikasi dengan lancar dapat dilakukan melalui berbagai cara diantaranya yaitu komunikasi jarak dekat dan komunikasi jarak jauh. Dalam melaksanakan komunikasi tersebut, suatu sel harus memiliki terlebih dahulu suatu struktur khusus yang berada pada permukaannya. Struktur inilah yang dapat membantu komunikasi nantinya dapat berjalan lancar. Komunikasi yang terjadi pada permukaan sel ini dapat dilakukan melalui kehadiran molekul karbohidrat yang berada pada bagian ekstrasitoplasmik sel, kemudian sel ini berhubungan juga dengan berbagai reseptor yang terdapat pada sistem tubuh diantaranya yaitu reseptor AMP siklik (*cyclic AMP, cAMP*), reseptor asetilkolin (pada sistem saraf), reseptor hormon, dan lain sebagainya.

Terjadinya suatu komunikasi dalam sel dapat dilakukan melalui beberapa tahapan jika dapat dilihat dari perspektif sel yang menerima pesan, pensinyalan sel ini terbagi menjadi 3 tahapan yaitu:

a. Tahap penerimaan (*Reception*)

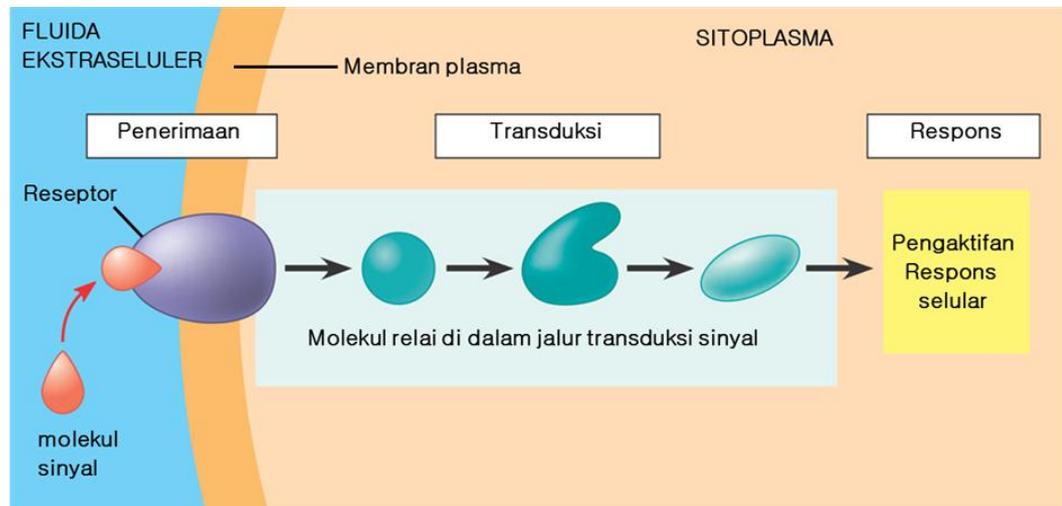
Tahap penerimaan sel ini dilakukan melalui sel target yang dapat mendeteksi molekul sinyal yang berasal dari luar sel. Pensinyalan secara kimiawi dapat terdeteksi melalui molekul sinyal yang berikatan dengan protein reseptor dan terletak pada bagian permukaan atau di dalam sel.

b. Tahap pengikatan molekul (*Transduction*)

Tahap pengikatan molekul ini dilakukan ketika molekul sinyal memiliki bentuk yang komplementer dengan situs reseptor yang melekatkan diri seperti anak kunci dalam gembok atau suatu bentuk substrat yang berada dalam suatu situs katalitik suatu enzim. Pensinyalan molekul ini dapat berperilaku seperti *ligan*. Molekul yang berikatan ini secara spesifik dapat berinteraksi dengan molekul lain dalam ukuran yang besar. Terjadinya proses ikatan pada ligan ini menyebabkan terjadinya protein reseptor mengalami perubahan bentuk. Efek dari pengikatan ligan ini dapat membentuk agregasi kedua atau dapat mengaktifasi reseptor dalam berinteraksi dengan molekul lainnya.

c. Tahap responsif (*Response*)

Tahap responsif ini sinyal yang ditransduksi dapat menghasilkan aktivitas selular seperti *glikogen fosforilase*, penyusunan ulang pada sitoskeleton maupun aktivasi gen – gen spesifik yang terjadi dalam nukleus. Proses tahapan ini dapat dilihat pada gambar 5.13.



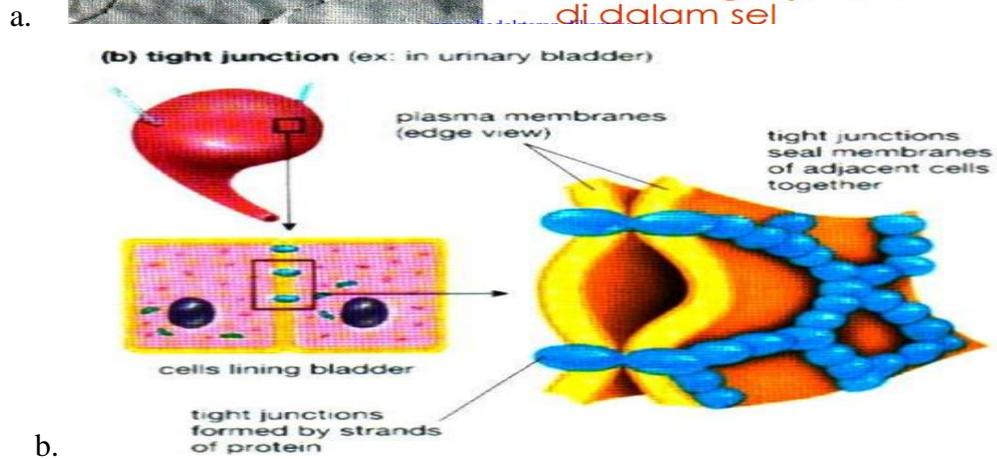
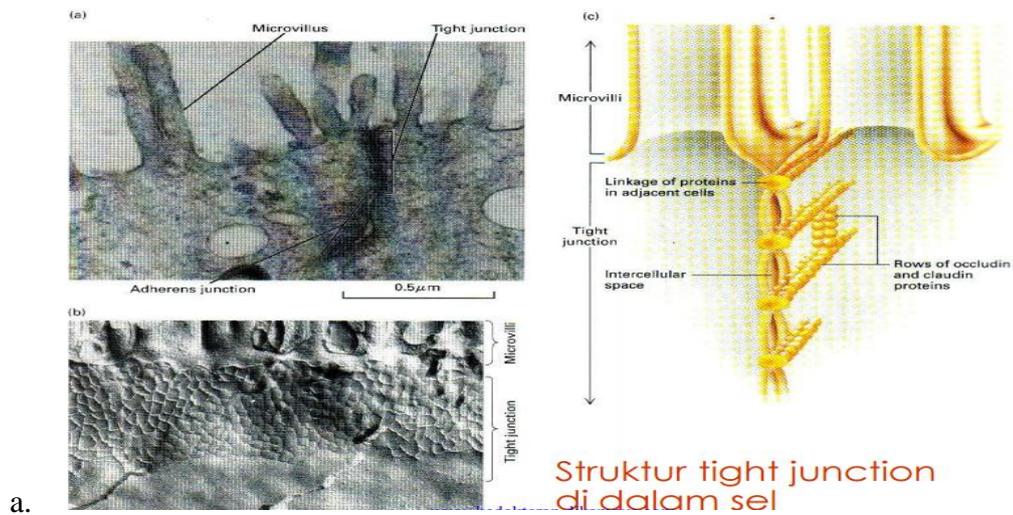
Gambar 5.13. Tahapan dalam Komunikasi Antar Sel
<http://3biologyunpad2014.blogspot.co.id/2014/09/makalah-komunikasi-sel.html>

Membran plasma yang mengadakan hubungan komunikasi ini secara junction menunjukkan struktur yang khas. Ada tiga bentuk hubungan/pertautan antar sel tersebut yaitu:

A. *Tight Junction*

Tight junction atau disebut juga dengan pertautan penyumbat atau pertautan rapat. *Tight junction* ini merupakan suatu penghubung antar sel dimana pada bagian lapisan terluarnya berdampingan atau saling menyambung dan saling berdifusi (bersatu) dalam membentuk suatu ikatan atau sabuk secara kontinu disekeliling sel. Dalam *tight junction* ini kita tidak dapat mengetahui adanya ruang antar sel, sehingga ketika terjadinya fusi membran sel tersebut akan menghasilkan suatu barier impermeabel. Barier impermeabel ini berfungsi sebagai pencegah terjadinya penerobosan molekul dalam menyeberangi epitel dari lumen menuju daerah basal sel begitu juga sebaliknya. Barier ini juga dapat berperan sebagai pembentuk barier fisik yang membatasi gerakan protein membran integral secara lateral dalam lapisan rangkap lipida membran sehingga dapat memelihara terjadinya *polaritas fungsional sel*.

Tight junction ini ada dua bentuk. Pertama, bentuk sumbat terdiri atas sederetan protein transmembran yang saling berikatan dan berdampingan. Kedua, ditempat pertautan, belahan ekstrasitoplasmik membran dari dua sel yang bersebelahan bersatu membentuk lembaran sinambung. Di pusat pertautan, fosfolipid belahan ekstrasitoplasmik membentuk *misel*. Pertautan sumbat antara sel epitelium dapat mencegah perpindahan molekul protein integral dan zat kimia yang berada disebelah lapisan epitelium.

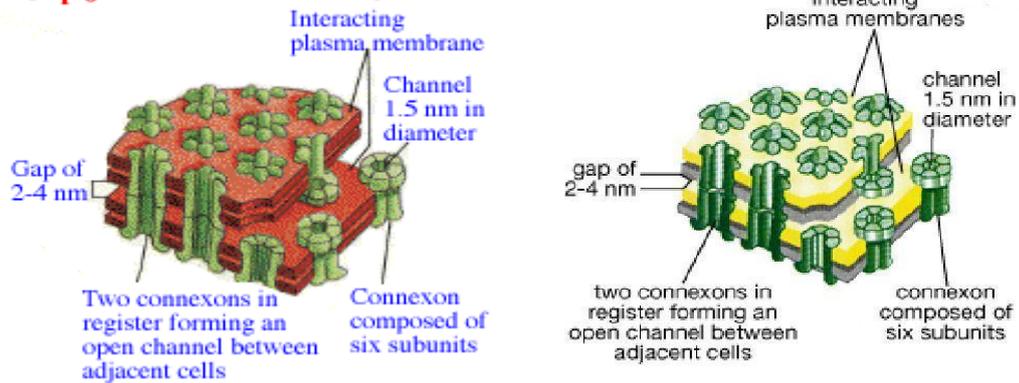


Gambar 5.14. (a). Morfologi dan Struktur Tight Junction, (b) Letak Tight Junction dalam sel
 file:///C:/Users/P/Downloads/Biokedokteranjunctionsel.pdf

B. *Gab junction*

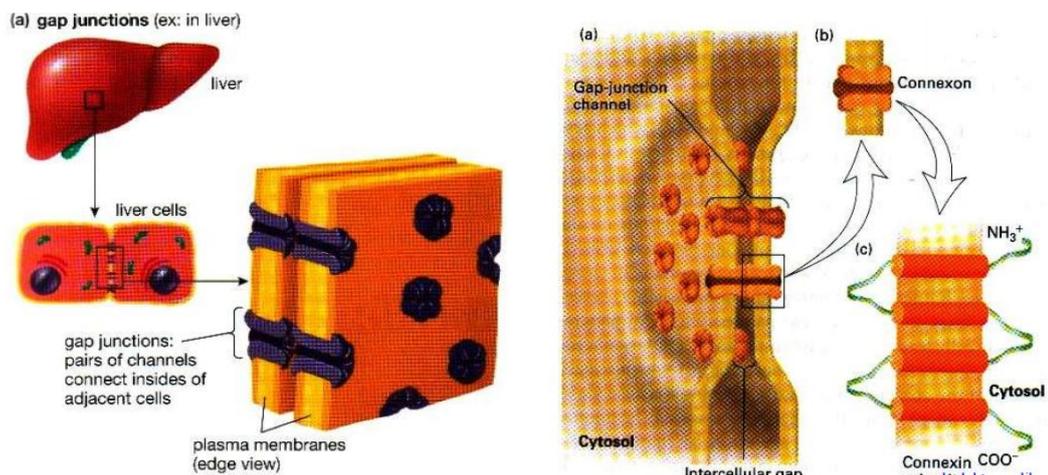
Gab junction disebut juga pertautan penghubung. Gab junction ini merupakan suatu jenis hubungan yang paling sering dijumpai dalam sel hewan baik dalam sel yang tereksitasi (*exitable*) maupun dalam sel yang tidak dapat tereksitasi (*unexitable*) (dapat dilihat pada gambar 5.15).

Gap Junction In Animals Cells



Gambar 5.15. Interaksi Gab Junction dengan sel Hwan
<http://www.glogster.com/annarp/cell-junctions-and-cytoskeleton/g-6ls7vk6jh7codef1vi9qca0>

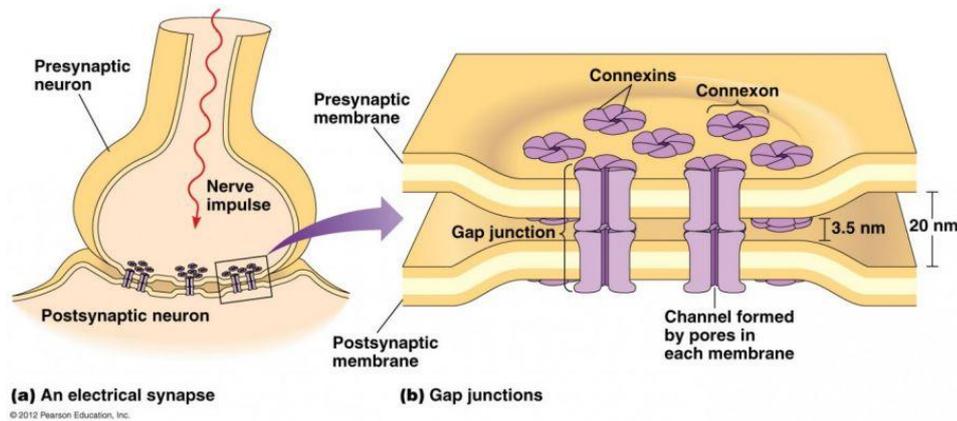
Melalui pertautan ini zat kimia tertentu dapat melewati sel satu dengan sel lainnya. Pada mikrograf elektron hasil teknik pengelupasan beku terlihat bahwa *gab junction* berbentuk *diskus*, dengan diameter yang berbeda dan lebarnya $1\ \mu\text{m}$. Gab junction berperan sebagai perekat antar sel, dan sebagai penghubung langsung antar sel. Gab junction ini juga dapat berfungsi sebagai pengikat sel (*cellular adhesion*) sehingga dapat bertahan terhadap tekanan yang terjadi secara mekanika atau fisika dan melalui ion dan molekul kecil agar dapat dilewatkan dari satu sel ke sel lainnya.



Gambar 5.16. Struktur pada Gab Junction
<file:///C:/Users/P/Downloads/Biokedokteranjunctionsel.pdf>

Gab junction ini dapat dijadikan sebagai satu – satunya jalan permeabilitas dari berbagai jenis molekul antar sel yang bersebelahan. Hal ini memungkinkan

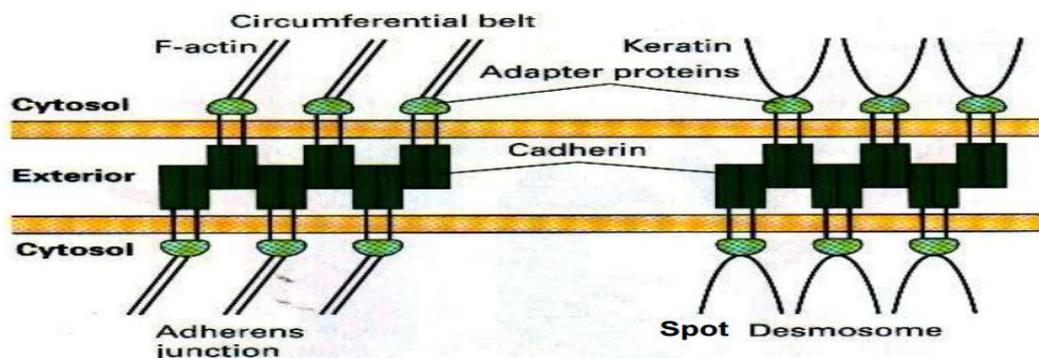
terjadinya penyebaran ion – ion gula, asam amino, nukleotida, vitamin, hormon, dan lain sebagainya. Pada tumbuhan hubungan semacam ini dilakukan lewat saluran – saluran terbuka yang diameternya antara 20 – 40 nm, yang disebut *plasmodesmata*. Ditengah – tengah plasmodesmata terdapat saluran yang lebih sempit disebut *desmotubula*, yang merupakan kelanjutan dari retikulum endoplasma. Di sekeliling desmotubula terdapat sitosol dari sel – sel yang berdampingan (dapat dilihat pada gambar 5.16).



Gambar 5.17. Proses yang terjadi dalam Gab Junction
http://www.fansshare.com/community/uploads105/712/electrical_synapse/

C. Adhering junction atau desmosom.

Pertautan ini disebut juga *desmosom* atau *pertautan penambat*. Pertautan ini paling banyak dijumpai di jaringan – jaringan yang banyak mendapatkan tekanan mekanis kuat, seperti jaringan otot jantung, epitelium kulit, dan leher rahim. *Desmosom* merupakan tipe hubungan yang fungsi utamanya adalah untuk melekatkan (*adhesi*) antara sel yang satu dengan sel lainnya.



Gambar 5.18. Struktur Desmosom pada Sel
<file:///C:/Users/P/Downloads/Biookedokteranjunctionsel.pdf>

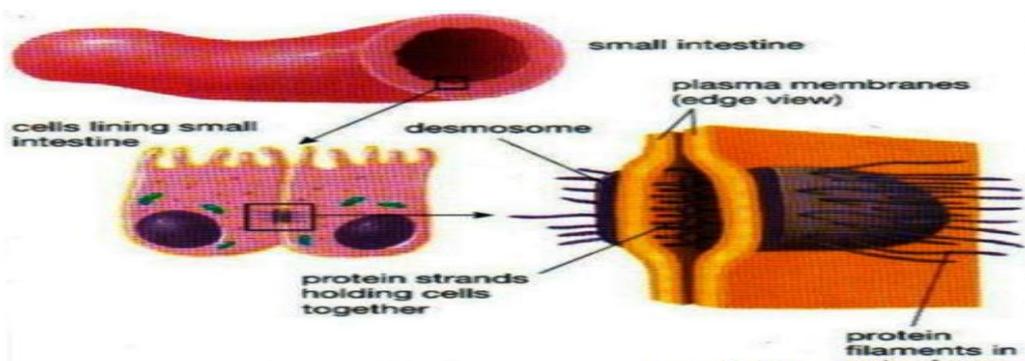
Ada tiga bentuknya desmosom, yakni *belt desmosom*, *spot desmosom*, dan *hemi desmosom*.

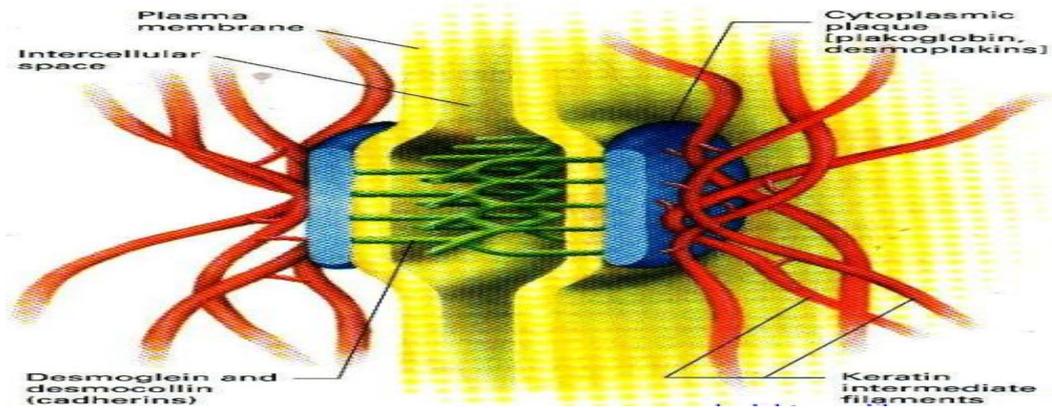
1. *Belt desmosom*

Belt desmosom lebih desmosom lebih dikenal dengan desmosom pending. Pada setiap sel, di daerah desmosom pending terdapat pita berkas filamen aktin yang mengelilingi sel tepat di bawah membran plasma dan pertautan sumbat (*Tight junction*). Berkas filamen aktin ini berhubungan dengan jaring – jaring terminal. (*Terminal web*), yang terdiri dari filamen aktin. Dari jaring – jaring ini juga keluar berkas filamen aktin ke arah *mikrovili*. Selain itu berkas vilamen aktin juga berikatan dengan protein pengikat intrasel sel yang berikatan dengan glikoprotein membran.

2. *Spot desmosom*.

Spot desmosom disebut juga desmosom bercak. Desmosom ini berbentuk kancing baju dan merupakan titik persentuhan antara dua buah sel yang bersebelahan. Kedua membran saling bersinggungan, tetapi masih tetap ada jarak sekitar 30 nm. Pengamatan dengan mikrograf elektron, tampak adanya filamen berukuran sekitar 10 nm, keluar dari permukaan membran sitoplasmik. Filamen ini disebut *tonofilamen* yang berperan sebagai penyangga, dan berhubungan antara yang satu dengan yang lainnya. Ruang antar sel di daerah desmosom berisi cairan yang berfungsi sebagai perekat, dan disebut sebagai *sentral stratum*. Keping sitoplasma dari kedua sel yang berdampingan dihubungkan oleh transmembran penghubung lewat sentral stratum. Adanya ikatan tersebut menyebabkan tekanan yang dialami oleh sebuah sel di dalam jaringan epitelium dapat diteruskan ke sel lainnya.

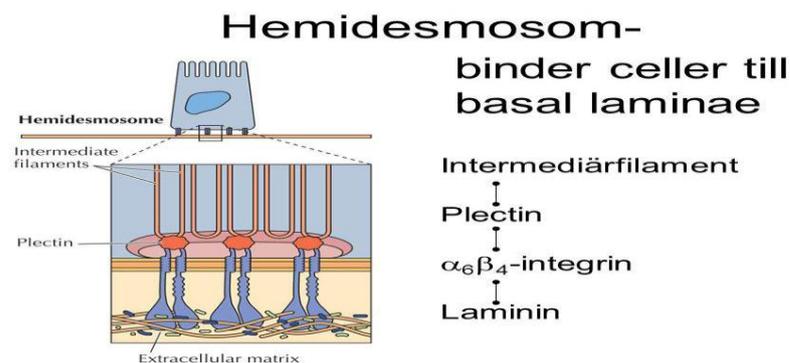




Gambar 5.19. Struktur Spot desmosom
<file:///C:/Users/P/Downloads/Biokedokteranjunctionsel.pdf>

3. Hemidesmosom.

Hemidesmosom merupakan setengah desmosom saja. Pertautan ini tidak menambatkan membran plasma dari sel – sel yang berdampingan, tetapi merekatkan permukaan basal sel epitelium ke lamina basal atau.

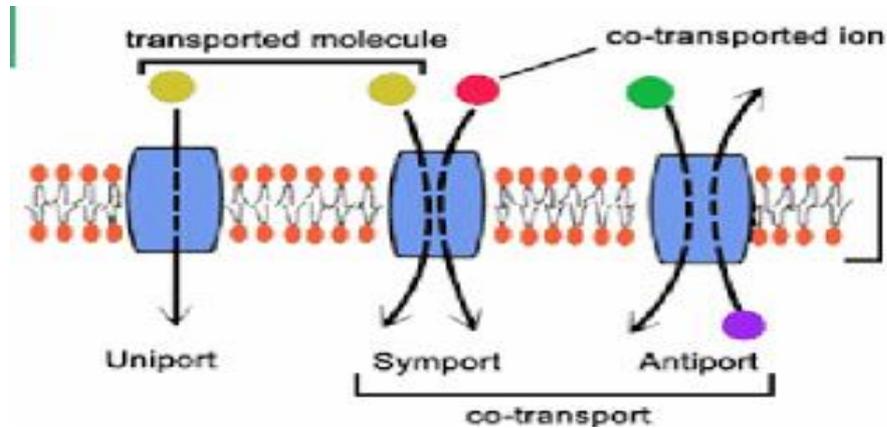


Gambar 5.20. Struktur Hemidesmosom
<http://slideplayer.se/slide/2946345/>

5.4. Transport Materi Membran Plasma

Suatu metabolisme yang terjadi di dalam tubuh membutuhkan suatu alat yang dapat mengangkut hasil prosesnya dengan mudah keseluruh tubuh. Alat ini dikenal dengan nama transportasi. Alat transportasi ini hanya khusus pada sel hidup yang akan membutuhkan bahan – bahan baik yang diambil didalam sel ataupun diluar sel untuk keperluan metabolismenya. Mekanisme transportasi yang dilakukan melalui suatu proses ekspor dan impor dari dalam atau luar sel dengan cara menyeberangi membran sel disebut *transport transmembran*. Adapun bahan – bahan yang diperlukan dalam metabolisme yang membutuhkan alat transportasi

yaitu molekul – molekul kecil seperti ion dan molekul kecil lainnya, begitu juga dengan molekul besar atau makromolekul yang memiliki jenis pengangkutan yang berbeda seperti protein, lipid, karbohidrat, dan molekul lainnya.



Gambar 5.21. Peranan transport pada protein dalam membran.
<http://garnisah.blogspot.co.id/2011/11/transpor-membran.html>

Membran plasma pada lipid bilayer terdapat lapisan yang bersifat hidrofobik (takut air), lapisan ini tidak dapat dilewati jika tidak ada suatu transport sebagai penghubung dari lapisan tersebut. Oleh sebab itu, diperlukan suatu transport yang bersifat semi permeabel yang dapat dengan mudah melalui lapisan tersebut, diantaranya ialah *protein transmembran*. Protein transmembran ini berperan sebagai uniport atau kotransport yang dapat mengangkut suatu bahan terlarut dari satu sel ke sel lainnya dengan mudah (dapat dilihat pada gambar 5.20).

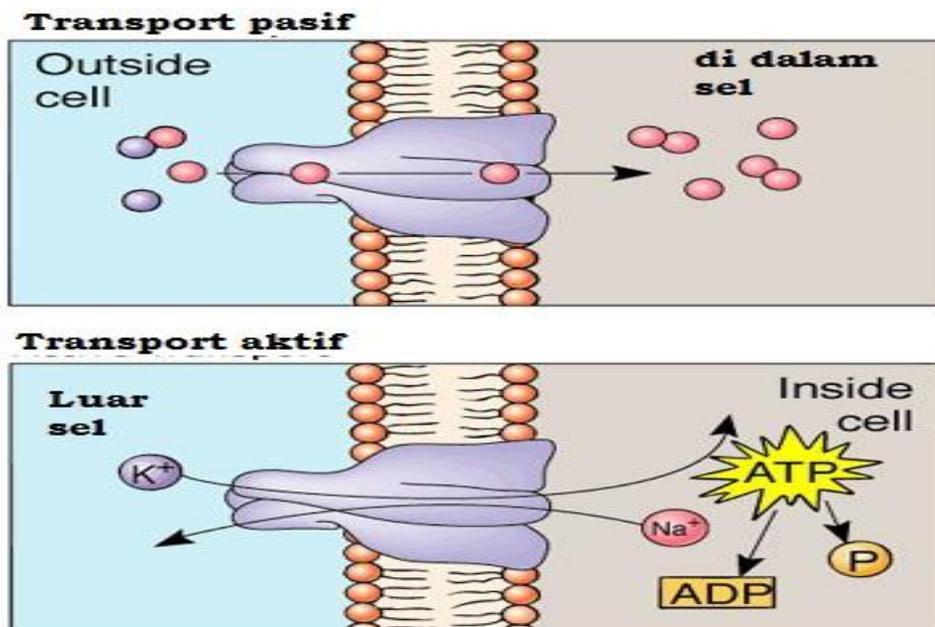
Secara umum transport membran terdiri atas dua bagian diantaranya yaitu:

A. Transport materi berukuran kecil dan ion – ion

Pada transport ini terbagi atas 3 bagian yaitu difusi sederhana, difusi dipermudah atau dipercepat, dan transport aktif. Dalam dua cara pertama terjadi pengangkutan materi dari daerah yang konsentrasinya tinggi ke daerah yang konsentrasinya rendah. Mengingat bahwa pengangkutan ini tidak menggunakan ATP, maka transport ini sering disebut dengan nama *transpor pasif* dan juga dalam pengangkutan ini terjadinya perbedaan dalam konsentrasi atau *gradien elektrokimia* yang tidak melibatkan penggunaan energi. Peranan gradien elektrokimia ini terjadi jika suatu molekul yang bermuatan secara bersama – sama ditentukan oleh gradien konsentrasi dan gradien listrik sedangkan yang tidak bermuatan hanya ditentukan oleh gradien konsentrasi.

Pengangkutan pasif yang dilakukan oleh beberapa protein membran yang memberikan bahan terlarut untuk menyeberangi lapisan rangkap lipida melalui difusi sederhana, protein ini disebut protein saluran (*channel proteins*), sedangkan protein yang berperan sebagai pembawa bahan terlarut disebut protein pembawa atau *carrier proteins*. Suatu proses yang dapat mengikat molekul dan memindahkannya dengan menggunakan protein pembawa disebut *difusi berfasilitas*. Dalam transport pasif, bahan terlarut yang dibawa dapat dilakukan secara spontan sedangkan pada *transport aktif* terjadi pengangkutan materi dari daerah konsentrasi rendah ke daerah konsentrasinya tinggi, dengan menggunakan energi hasil metabolisme ATP melalui hidrolisis ATP oleh protein carrier atau cotransport Na^+ atau H^+ dengan menuruni gradien elektrokimianya.

Transport pasif terjadi jika difusi sederhana dan difusi berfasilitas bergerak dari daerah berkonsentrasi tinggi ke daerah yang berkonsentrasi rendah secara menurun tanpa menggunakan ATP tetapi tenaga termal atau tenaga panas sedangkan pada transport aktif terjadi ketika pengangkutan yang dilakukan melawan derajat elektrokimia atau gradien konsentrasi atau dengan cara mendaki yang membutuhkan energi ATP selular untuk mengangkut bahan terlarut dari sel satu ke sel lainnya (dapat dilihat pada gambar 5.21).

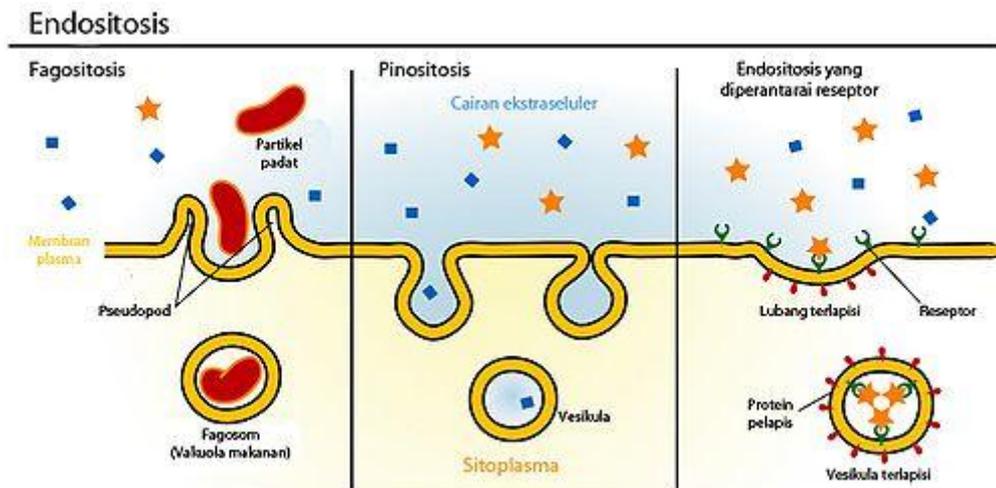


Gambar 5.22. Proses yang terjadi pada transportasi aktif dan pasif
<http://www.sridianti.com/perbedaan-proses-transport-aktif-dan-pasif.html>

Ketiga bagian dari transport tersebut berlangsung secara terpadu untuk menjaga kesetimbangan molekul biologik (*homeostasis*) di dalam sel.

B. Transport molekul berukuran besar dan transport partikel.

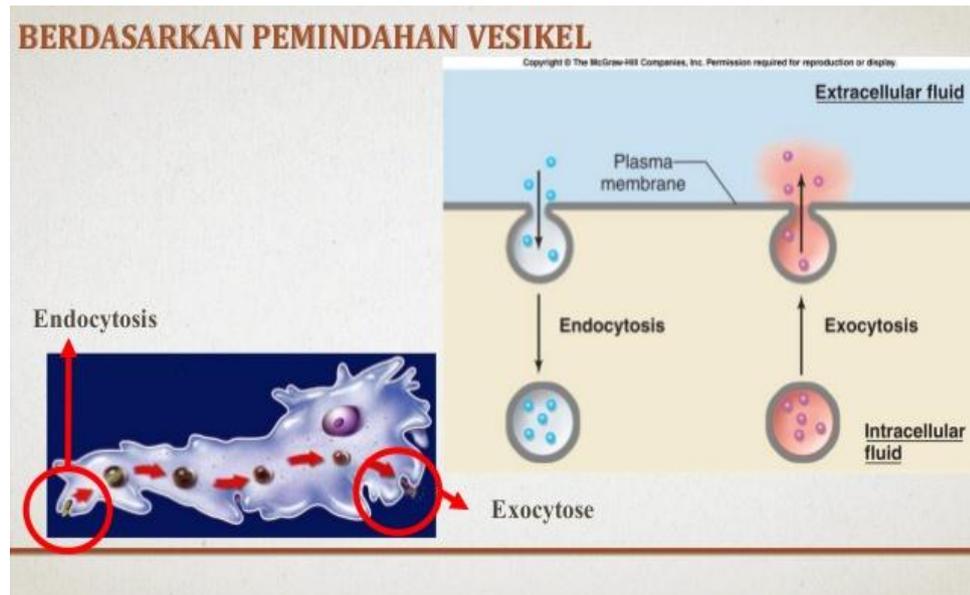
Suatu membran plasma yang memiliki makromolekul tidak dapat melewati membran plasma tanpa menggunakan protein transmembran yang berperan sebagai protein carrier, namun, makromolekul ini dapat juga dilalui dengan menggunakan mekanisme yang berbeda dari transport mikromolekul. Pengangkutan makromolekul dan partikel – partikel melalui *eksositosis*, apabila berlangsungnya pelepasan makromolekul dari sel ke luar sel yang dibungkus oleh membran plasma baru yang dihasilkan oleh *retikulum endoplasma*, sedangkan melalui *endositosis* apabila berlangsung pemasukan makromolekul dan partikel – partikel ke dalam sitoplasma yang dibungkus oleh membran plasma (dapat dilihat pada gambar 5.22). Adapun bagian yang termasuk dari endositosis ini ialah pinositosis, fagositosis, dan pertunasan.



Gambar 5.23. Pengangkutan yang terjadi melalui endositosis dan eksositosis.
<http://biologifuntirta.blogspot.co.id/2012/06/transpor-aktif-dan-transpor-pasif.html>

Berdasarkan sifat dan ukuran bahan yang di transport, cara transport makromolekul dan partikel – partikel dibedakan menjadi *pinositosis* (meminum), kalau yang di transport berupa larutan melalui pembentukan gelembung – gelembung kecil yang dapat terjadi jika terdapat konsentrasi yang cocok dari protein, asam amino, atau ion – ion tertentu pada medium sekeliling sel, dan *fagositosis* (makan) kalau bahan yang di transport berupa makromolekul atau

partikel melalui pembentukan gelembung – gelembung besar yang bentuknya padat dan bergabung dengan lisosom primer untuk menjadi lisosom sekunder yang dapat dicerna oleh enzim dari lisosom. Pada pertunasan (*budding*), pengangkutan makromolekul yang terjadi pada bahan terlarut dilakukan ke dalam dan keluar sel dengan membentuk pertunasan yang terjadi di dalam vesikula (dapat dilihat pada gambar 5.24)



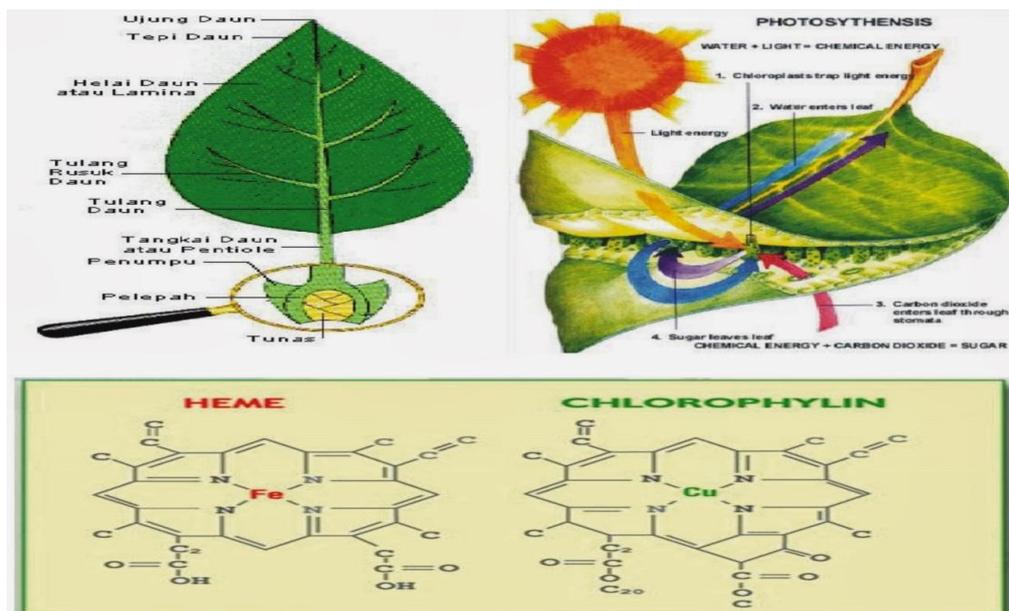
Gambar 5.23 Proses pemindahan pertunasan dengan bantuan vesikula
<http://biologifuntirta.blogspot.co.id/2012/06/transpor-aktif-dan-transpor-pasif.html>

BAB VI TRANSFORMASI ENERGI

6.1. Sumber Energi dalam Kehidupan

Setiap sel yang hidup membutuhkan suatu sumber energi yang sangat berperan penting agar proses kehidupan dapat berjalan lancar. Setiap energi yang tersimpan dalam setiap molekul organik, terkandung makanan yang berasal dari sinar matahari. Energi tersebut mengalir ke dalam ekosistem sebagai cahaya matahari dan meninggalkan ekosistem berupa panas yang sangat diperlukan terutama bagi tumbuhan. Fotosintesis dapat menghasilkan oksigen dan molekul organik yang digunakan oleh mitokondria eukariotik sebagai bahan bakar untuk respirasi selular. *Respirasi* yaitu menguraikan bahan bakar yang dapat menghasilkan *ATP*, sedangkan produk hasil dari proses ini berupa *karbondioksida dan air*, yang merupakan bahan mentah bagi fotosintesis.

Dalam terjadinya proses perpindahan energi selalu terjadi pengurangan jumlah energi pada setiap tingkat trofik pada makan – memakan. Energi dapat mengalami perubahan menjadi bentuk lain, seperti energi kimia, energi mekanik, energi listrik, dan juga energi panas. Perubahan pada bentuk energi menjadi bentuk lain ini dinamakan transformasi energi.



Gambar 6.1. Proses Trejadinya Transformasi pada Klorofil

Tumbuhan hijau sebagai penangkap awal sumber energi matahari, dapat mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi kimiawi yang disimpan dalam ikatan – ikatan zat – zat organik, misalnya glukosa (dapat dilihat pada gambar 6.1). Energi tersebut bergerak melalui makhluk hidup ketika tumbuhan hijau dimakan oleh hewan herbivora, kemudian dimakan oleh predator karnivora, dalam sebuah hubungan makan – memakan yang disebut *rantai makanan* atau *jaring – jaring makanan*. Setiap makhluk hidup yang terdapat dalam rantai tersebut melakukan transformasi energi yang terdapat dalam makanannya dan membuat suatu simpanan energi kimiawi yang mengalami transformasi secara terus – menerus pada aras – aras subseluler. Setiap ikatan dalam rantai makanan dapat meneruskan lebih sedikit energi daripada yang diterimanya dari mata rantai sebelumnya.

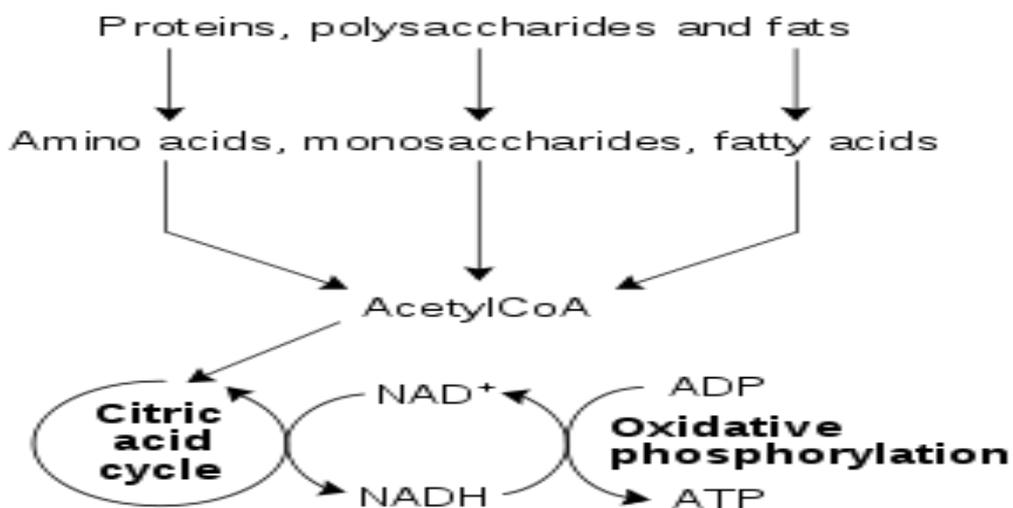
Klorofil merupakan suatu zat hijau daun yang berada pada suatu pigmen organel sel tumbuhan yang disebut kloroplas. Klorofil merupakan salah satu zat yang sangat berperan penting dalam proses fotosintesis. Energi radiasi pada cahaya sinar matahari yang ditangkap oleh klorofil memiliki peranan dalam melancarkan terjadinya proses fotosintesis. Proses tersebut digunakan dalam mereaksikan molekul CO_2 dan H_2O menjadi glukosa. Selain berperan sebagai sumber energi kimia dalam glukosa, hasil reaksinya juga dapat menghasilkan oksigen yang dapat digunakan oleh tumbuhan untuk beraktivitas dalam kehidupan sehari – hari, seperti yang terdapat dalam ciri – ciri makhluk hidup. Jadi, energi dari radiasi cahaya sinar matahari yang berbentuk energi cahaya diubah menjadi energi potensial dan energi kimiawi yang disimpan dalam molekul karbohidrat. Energi ini dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk melakukan aktifitas dalam hidupnya (tumbuh dan berkembang) dan juga dimanfaatkan oleh makhluk hidup lain yang mengonsumsi tumbuhan tersebut. adapun sebagai akhir dari energi yang terdapat pada tumbuhan tersebut berpindah ke dalam tubuh makhluk hidup lainnya dan menjadi energi potensial. Di dalam tubuh makhluk hidup ini, energi akan ditransformasi kembali.

6.2. Respirasi Dan Fermentasi Sel Sebagai (Jalur Katabolik)

Sebuah ikatan organik dapat menyimpan energi dalam susunan atom – atomnya. Melalui enzim, secara sistematis dapat merombak molekul organik sel secara kompleks yang kaya akan energi potensial menjadi produk limbah yang berenergi lebih rendah. Beberapa energi yang diambil dari simpanan kimiawi dapat digunakan dalam kegiatan kerja, sedangkan sisanya dilepas sebagai penghantar panas. Suatu proses *katabolik* dan *fermentasi* merupakan suatu perombakan parsial gula yang terjadi tanpa bantuan oksigen. Namun, jalur katabolik yang umum dan paling efektif dilakukan ialah *respirasi seluler*, yang mana oksigen dikonsumsi sebagai reaktan bersama – sama dengan bahan bakar organik.

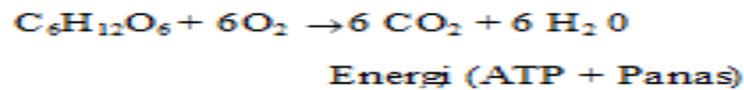
Di dalam suatu sel yang terdapat pada sel eukariotik, mitokondria menjadi tempat pada sebagian besar perlengkapan metabolik yang digunakan dalam *respirasi seluler*. Meskipun dengan mekanisme yang berbeda pada prinsipnya respirasi memiliki kesamaan dengan pembakaran bensin dalam mesin mobil setelah oksigen tercampur dengan bahan bakar (*hidrokarbon*). Makanan merupakan salah satu bahan bakar dalam respirasi dan hasil buangnya berupa *karbondioksida* dan *air*. Proses dari respirasi ini ialah

Senyawa organik + oksigen → karbondioksida + air + energi



Gambar 6.2. Proses terjadinya aliran energi dalam metabolisme sel
<http://www.sridianti.com/transformasi-energi-dalam-metabolisme.html>

Proses respirasi seluler yang terjadi melalui karbohidrat, lemak, dan protein dapat dikonsumsi atau dijadikan sebagai bahan bakar dalam perombakan glukosa yang terjadi di dalam tubuh. Perombakan glukosa ini melalui proses sebagai berikut:



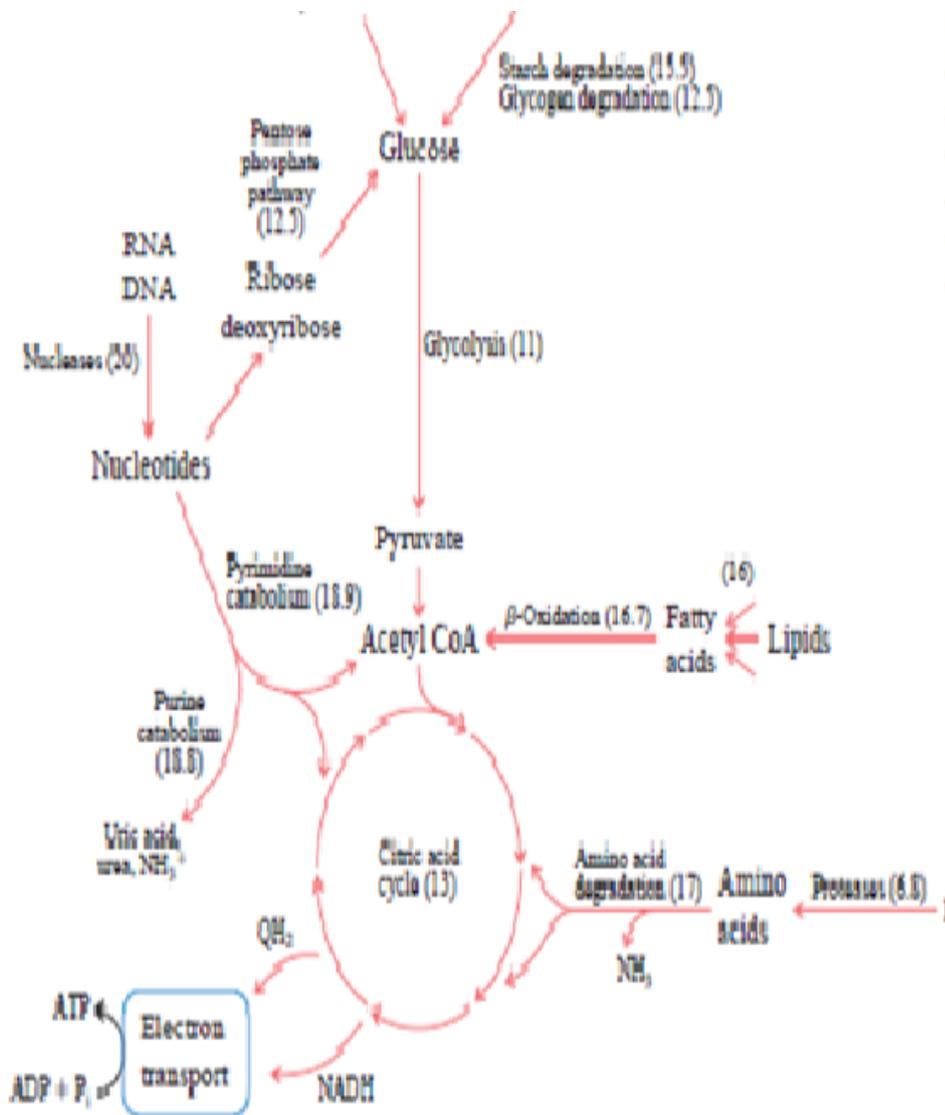
Terjadinya pemecahan glukosa yang terjadi pada reaksi tersebut bersifat *eksergonik*, dengan menghasilkan perubahan energi bebas sebesar – 686 kkal (- 2870 kJ) per mol glukosa yang diuraikan dalam bentuk ($\Delta G = - 686$ kkal/mol). Dalam hal ini diketahui bahwa ΔG negatif dapat menyimpan energi yang lebih sedikit daripada reaktannya. Jalur katabolik ini tidak langsung menggerakkan flagela, memompa zat terlarut melintasi membran, mempolimerisasi monomer, atau melakukan kerja seluler lainnya.

Pemecahan molekul ini juga dapat terjadi pada senyawa organik kompleks yang dapat menghasilkan molekul sederhana yang dapat melepaskan energi dan proses ini disebut katabolisme, sedangkan pada anabolisme merupakan total proses biosintesis yang memiliki molekul kompleks yang besar dan terbuat dari molekul kecil sederhana. Anabolisme sangat membutuhkan energi yang disediakan oleh proses katabolik. Secara keseluruhan, dari kedua proses metabolisme tersebut baik pada katabolisme maupun anabolisme harus terjadi secara bersamaan karena katabolisme menyediakan energi yang diperlukan untuk anabolisme.

6.3. Daur Ulang pada ATP Melalui Sel

ATP atau singkatan dari *Adenin trifosfat*, merupakan karakter sentral dalam *bioenergetika*. ATP (*Adenosin Trifosfat*) merupakan suatu proses pertukaran energi pada sebagian besar sel – sel hewan melalui suatu energi kimia. Secara umum, suatu energi dalam mensintesis molekul ATP harus diperoleh dari salah satu molekul yang memiliki bahan bakar. Tubuh manusia menggunakan tiga jenis molekul untuk menghasilkan energi yang diperlukan untuk mendorong sintesis ATP yaitu lemak, protein, dan karbohidrat.

Pada ATP ini berfungsi sebagai ekuivalensi kimiawi untuk pegas yang memiliki beban. Pemadatan ketiga gugus fosfat bermuatan negatif merupakan susunan penyimpanan energi yang tidak stabil. Sel memanfaatkan sumber energi ini melalui penggunaan enzim dalam mentransfer gugus fosfat dari ATP ke senyawa lain, yang kemudian disebut *terfosforilasi*. Fosforilasi memancing molekul dalam mengalami sejenis perubahan yang melakukan kerja, dan molekul tersebut kehilangan gugus fosfatnya. Oleh sebab itu, pembiayaan dalam sebagian kerja seluler ini merupakan perubahan ATP menjadi ADP dan anorganik, produk yang menyimpan energi lebih sedikit daripada ATP, agar tetap bekerja, sel tersebut harus meregenerasi pasokan ATP nya dari ADP dan fosfat anorganik.

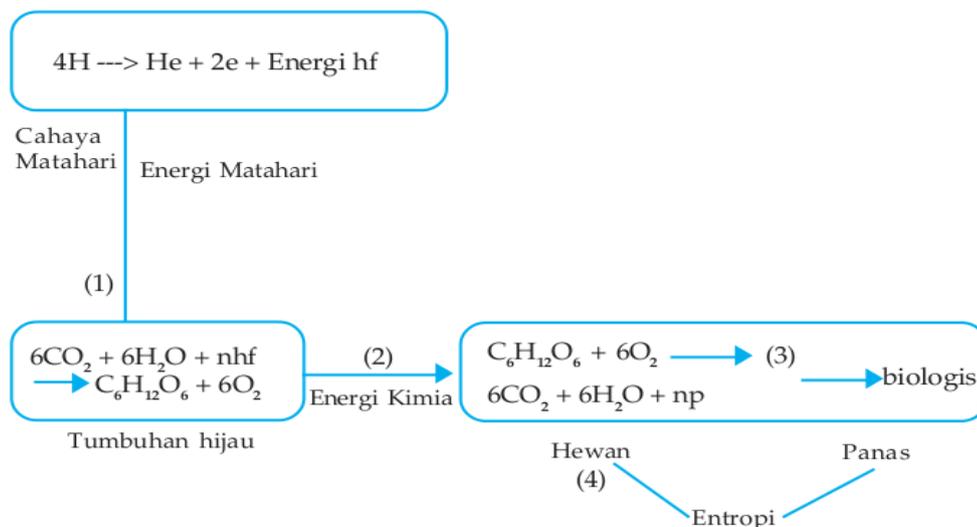


Gambar 6.3. Proses terjadinya aliran energi pada ATP
<https://sites.google.com/site/metabolismemakanan/2-metabolism>

6.4. Transformasi Energi dalam Biologi

Transformasi energi yang terjadi dalam kehidupan terjadi melalui proses penyediaan energi, baik pada tumbuhan maupun manusia, melalui beberapa urutan dalam reaksi kimia. Jika dalam suatu reaksi kimia terjadi dalam sel pada makhluk hidup, maka reaksinya disebut *reaksi biokimia*, sedangkan seluruh proses atau reaksi biokimia yang terjadi dalam sel disebut *metabolisme*. Proses *metabolisme* yang dilakukan di dalam sel makhluk hidup seperti pada tumbuhan, hewan dan manusia harus melibatkan sebagian besar enzim (*katalisator*) baik secara sintesis (*anabolisme*) maupun melalui proses respirasi (*katabolisme*). Enzim merupakan suatu reaksi yang dapat mempercepat reaksi kimia dan dapat menghasilkan senyawa ATP dan senyawa – senyawa lain yang berenergi tinggi seperti pada proses respirasi, fotosintesis, kemosintesis, sintesis protein, dan lemak.

Pada senyawa Adenosin Trifosfat (ATP) ini dapat menghasilkan energi yang sangat penting bagi makhluk hidup. Reaksi yang terdapat energi ATP ini salah satunya terdapat dalam reaksi glukosa. Dalam energi yang terkandung dalam glukosa tersebut ialah dalam bentuk energi ikatan kimia yang berasal dari proses transformasi energi sinar matahari. Transformasi energi tersebut dalam biologi dapat dilihat melalui Gambar sebagai berikut.

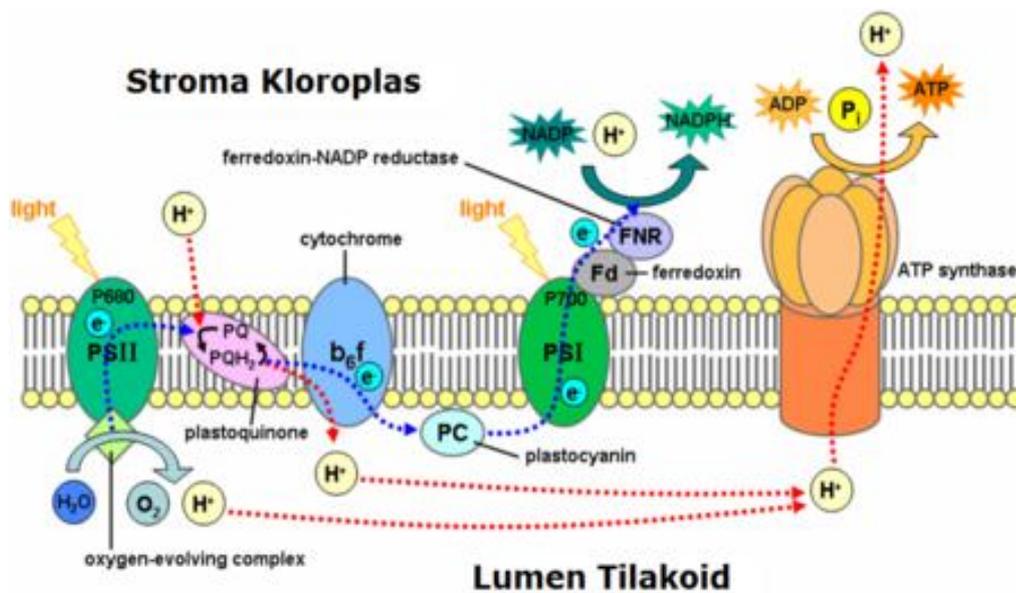


Gambar 6.4. Proses Transformasi Energi dalam Biologi
<http://sainsmini.blogspot.co.id/2015/01/pengertian-metabolisme-dan-proses.html>

Berdasarkan gambar 6.4 diatas mengenai transformasi energi dalam biologi, terdapat 2 bagian atau proses yang terjadi yaitu:

1. Transformasi Energi oleh Klorofil

Energi yang terjadi pada radiasi sinar matahari yang ditangkap oleh klorofil kemudian diubah menjadi energi kimia yang terjadi melalui *proses fotosintesis*. Energi kimia tersebut berperan dalam mensintesis CO_2 dan H_2O dan menghasilkan glukosa dan senyawa kompleks lainnya sebagai energi pengikat dan penghubung inti – inti atom yang tersimpan dalam bentuk senyawa karbohidrat (sebagai bahan makanan). Jadi, energi radiasi matahari yang terbentuk dari sumber energi kinetik diubah menjadi energi potensial dan energi kimiawi yang disimpan dalam molekul karbohidrat dan bahan makanan lainnya sebagai energi ikatan yang menghubungkan atom – atom bakunya.

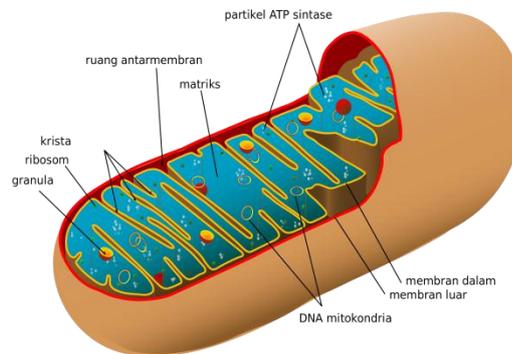


Gambar 6.5. Proses Transformasi Energi pada Klorofil
<https://id.wikipedia.org/wiki/Fotosintesis>

2. Transformasi Energi oleh Mitokondria

Mitokondria menghasilkan energi kimia yang berperan dalam mengubah karbohidrat dan senyawa lainnya sebagai energi ikatan fosfat yang terjadi melalui proses respirasi sel untuk oksidasi DNA, RNA, protein, dan lemak. Mitokondria merupakan salah satu organel yang banyak terdapat pada sel – sel otot makhluk hidup dan sel-sel saraf. Dalam ikatan kimia tersebut, mitokondria dapat

menghasilkan energi yang berperan dalam kegiatan yang terjadi pada sel – sel tersebut. Proses transformasi ini melalui beberapa proses diantaranya yaitu:



Gambar 6.6. Proses Transformasi Energi dalam Mitokondria
<https://nurainivitarahmawati.wordpress.com>

1. Pembentukan Energi didalam Sel

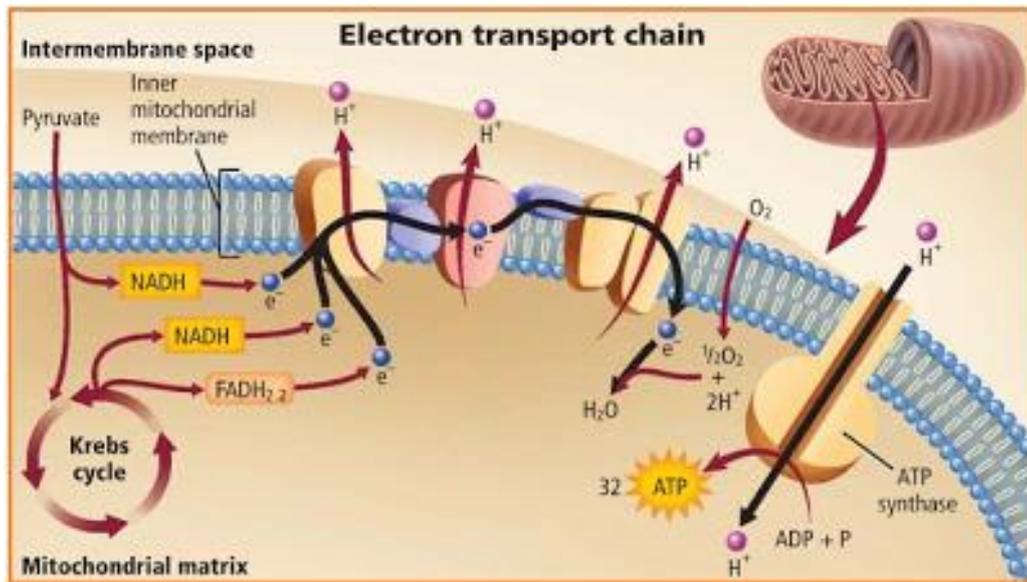
Suatu sel dapat melakukan kegiatan melalui energi kimiawi dari ikatan fosfat yang mengalami pelepasan dan perubahan menjadi energi bentuk lain seperti energi mekanik yang terjadi melalui kerja kontraksi otot dan energi listrik dan diteruskan ke impuls saraf. Energi sintesis ini dapat membangun senyawa pertumbuhan, serta sisanya akan mengalir ke sekeliling sel dan menghilang sebagai energi panas. Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, pada saat terjadinya proses metabolisme dalam sel makhluk hidup, ada beberapa komponen penting yang berperan di dalamnya yaitu adanya aktivitas enzim yang menghasilkan energi tinggi berupa *Adenosin Trifosfat (ATP)* dan reaksi oksidasi reduksi (pelepasan dan pembebasan) elektron. Proses ini terjadi melalui rangkaian reaksi yang cukup kompleks, Energi yang berasal dari nutrisi digunakan untuk membentuk ADP menjadi ATP yang padat energi Mol. ATP yang bersifat sangat labil dan mudah dipecah kembali menjadi $ADP + P$ 1 mol. ATP mengandung ± 8000 kal. $\pm 90\%$ pembentukan ATP ini terjadi di dalam Mitokondria yang bersifat oksidatif sedangkan 10 % sisanya terjadi diluar Mitokondria. 5 % bersifat *oksidatif* dan sisanya 5 % lagi bersifat *anaerobic*.

Glikolisis aerobic > energi (dari Nutrient)

$ADP + P > ATP$

$ADP + P + Energi$

Suatu energi yang dimiliki oleh suatu makhluk hidup dapat digunakan untuk menghasilkan biomassa yang dapat mempertahankan kehidupannya, dan dapat mendukung pertumbuhan dan perkembangannya. Kebanyakan sisa energi ini hanya menjadi energi panas dan molekul buangan. Suatu proses yang dilakukan dapat mengubah energi yang masuk dalam substansi kimia menjadi energi yang bermanfaat untuk kehidupan yang disebut *metabolisme* dan *respirasi sel*.



Gambar 6.7 Proses Pembentukan Energi yang terjadi di dalam Mitokondria
<https://nurainivitarahmawati.wordpress.com>

2. Penggunaan Energi di dalam sel

Setiap kehidupan seperti organisme memerlukan energi untuk melangsungkan hidupnya. Energi ini digunakan menjadi suatu aktivitas yang cukup penting bagi setiap tingkat kehidupan. Energi yang dipakai ini berasal dari suatu energi yang dikenal dengan sebutan ATP. ATP ini terdiri dari inti yang disusun oleh *adenosine* dan ekor yang terdiri dari *tiga phosphate*. Molekul ini membawa sejumlah energi yang komposisinya tepat untuk seluruh reaksi biologis. Setiap mekanisme fisiologis yang memerlukan energi dalam kerjanya mendapatkan energi langsung dari ATP. Penggunaan Energi di dalam sel ini dapat dilakukan melalui *Proses Non-biosintetik*. Proses ini dapat dilakukan melalui suatu produksi yang dapat menghasilkan pembentukan panas di dalam tubuh sel. Proses ini dilakukan oleh *Enzim ATP-ase*. Peranan fisiologis enzim ini kurang

baik tetapi diperkirakan enzim tersebut dapat berfungsi untuk membuang kelebihan ATP dan membantu mengatur metabolisme energi sel. Hilangnya energi dari ikatan – ikatan fosfat berenergi tinggi dalam bentuk panas juga terjadi melalui cara – cara lain. Misalnya, bila sel membentuk suatu ikatan ester dalam sintesis suatu molekul yang hanya membutuhkan kira - kira 3000 kal. Tetapi perombakan ikatan fosfat berenergi tinggi dapat melepaskan 12.000 kal. Energy yang tidak digunakan dalam pembentukan ikatan ester atau amide (9000 kal) dilepaskan sebagai panas.

BAB VII KOMUNIKASI SEL

7.1. Perkembangan Awal Pensinyalan Sel

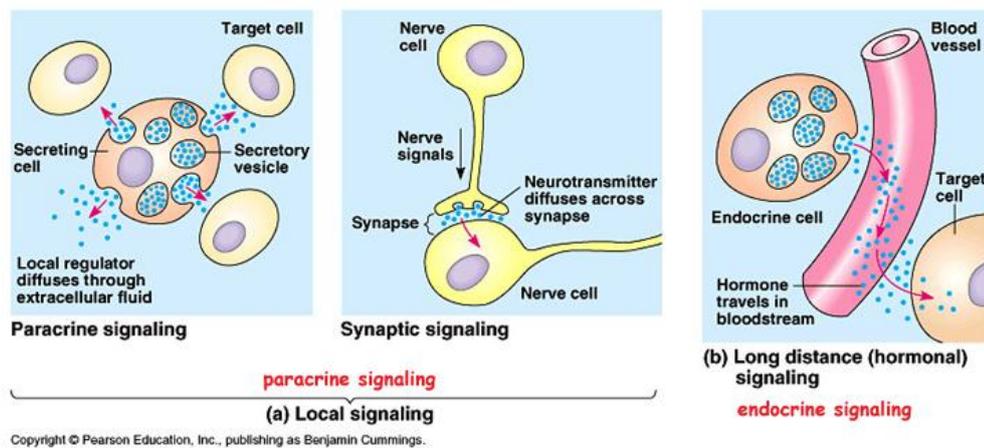
Perkembangan pensinyalan sel ini pertama kali dilakukan pada beberapa jenis bakteri diantaranya ialah pada bakteri yang terdapat di ragi yaitu bakteri *Saccaromyces cereviceae*. Para peneliti mempelajari sel pada ragi dalam mengidentifikasi pasangannya melalui pensinyalan kimiawi. Dalam pasangan tersebut, terdapat dua jenis seks, atau tipe pasangan yang disebut **a** dan α . Sel tersebut mensekresikan sinyal kimiawi yang disebut faktor – a, yang dapat melekat pada protein reseptor spesifik pada sel α yang ada didekatnya. Pada saat yang sama, sel α mensekresi faktor – α , yang melekat pada reseptor di sel **a**. Tanpa memasuki sel tersebut, molekul terikat reseptor dari kedua faktor pasangan itu dan menyebabkan sel tumbuh ke arah pasangannya dan mengakibatkan perubahan seluler lain. Hasilnya ialah penggabungan, atau perkawinan dari kedua sel yang jenisnya berbeda. Sel a/α baru ini mengandung semua gen dari kedua sel aslinya, yang merupakan suatu kombinasi dalam sumber – sumber genetik yang memberikan keunggulan bagi turunan sel ini.

Terjadinya pensinyalan secara transduksi yang ada pada ragi dan mammalia memiliki kemiripan sejak miliaran tahun yang lalu. Kemiripan ini terungkap sejak terjadinya sistem pensinyalan antara bakteri dan tumbuhan yang menimbulkan kesan bahwa mekanisme pensinyalan sel versi awal yang digunakan telah berkembang dengan baik sebelum makhluk multiseluler muncul dipermukaan Bumi ini. Pensinyalan ini kemungkinan muncul sejak jaman sel prokariota purba dan sel eukariota tunggal yang diadopsi dalam penggunaan baru oleh turunan multiseluler mereka.

7.2. Komunikasi Sel Terpisah atau Berdekatan

Komunikasi yang terjadi pada salah satu sel yang terdapat pada mikroba biasanya berkomunikasi dengan melepaskan *messenger* (pembawa pesan) kimiawi yang ditujukan pada sel yang masih jauh. Pada sebagian messenger tersebut hanya menempuh pada jarak yang dekat. Sel pengirim mensekresikan

molekul pengatur lokal, hal ini dapat memengaruhi sel yang berada didekatnya. Suatu kelas dalam pengaturan lokal pada hewan, dalam hal faktor pertumbuhan, merupakan senyawa yang akan merangsang sel target dalam pertumbuhan dan perkembangan yang semakin banyak dan berada didekatnya. Sejumlah besar sel dapat menerima dan merespon molekul faktor pertumbuhan yang dihasilkan oleh satu sel didekatnya secara bersamaan. Tipe pensinyalan jarak dekat pada hewan ini disebut *pensinyalan parakrin*.



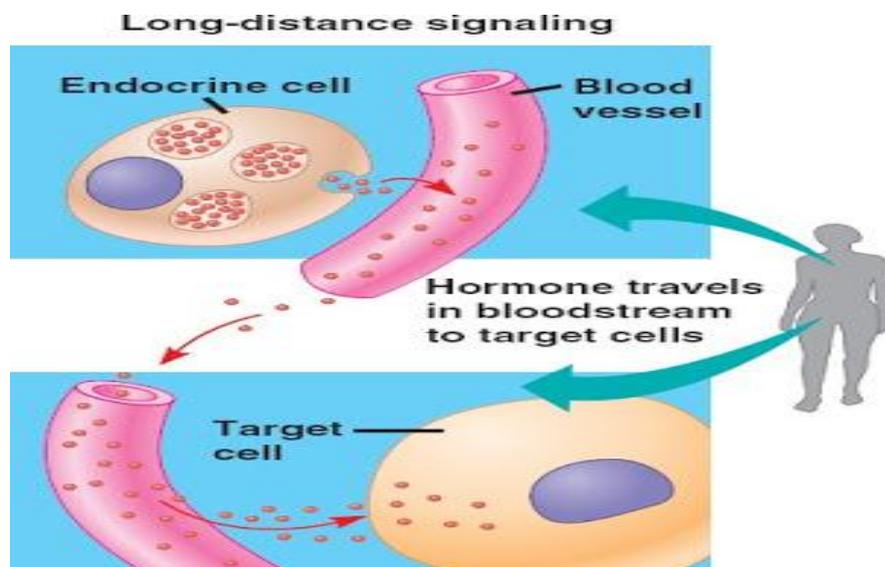
Gambar 7.1 Pensinyalan Sel pada Jarak Dekat
<http://tyasgaluhpwt.blogspot.co.id/>

Tipe lain dalam pensinyalan jarak dekat ini lebih terspesialisasi pada sel saraf hewan. Pada sel saraf menghasilkan sinyal kimiawi dalam neurotransmitter yang berdifusi melalui sel target tunggal yang hampir menyentuh sel pertama. Sinyal listrik yang dihantarkan di sepanjang saraf tersebut dapat memicu sekresi molekul neurotransmitter ke dalam sinapsis, yang merupakan ruangan sempit di antara sel saraf dan sel targetnya. Sel saraf spesifik sangat berdekatan dengan sinapsis, sinyal saraf tersebut dapat merambat dari otak ke ibu jari misalnya tanpa menyebutkan respon yang tidak diperlukan dalam bagian tubuh yang lainnya.

Pensinyalan jarak dekat yang terdapat pada tumbuhan kurang begitu dipahami. Sebab, adanya dinding sel yang menghalangi proses pensinyalan tersebut sehingga tumbuhan harus menggunakan mekanisme yang berbeda dalam prosesnya. Baik hewan maupun tumbuhan menggunakan *hormon* dalam pensinyalan ke tempat yang lebih jauh. Pada pensinyalan hewan, yang dikenal sebagai *pensinyalan endokrin*, sel terspesialisasi melepas molekul hormon ke dalam pembuluh pada sistem peredaran, kemudian melalui sistem ini hormon

mengalir ke sel target pada bagian tubuh lainnya. Sedangkan pada tumbuhan, hormon tersebut kadang mengalir dalam pembuluh tetapi lebih sering mencapai targetnya dengan cara bergerak melalui sel atau berdifusi melalui udara sebagai gas.

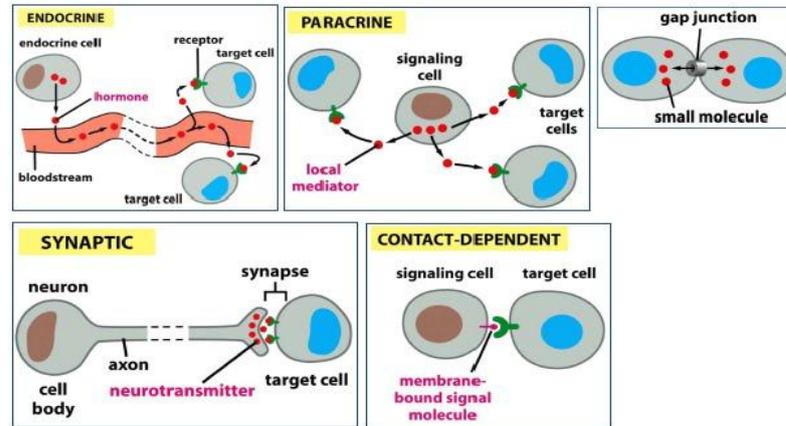
Tumbuhan dan hewan yang menggunakan zat kimia disebut hormon (*Hormone*) pensinyalan jarak jauh. Hormon yang terdapat pada tumbuhan disebut *regulator pertumbuhan tumbuhan* yang mengalir melalui pembuluh, akan tetapi alirannya lebih sering terjadi melalui pergerakan dari sel ke sel atau berdifusi melalui udara dalam bentuk gas. Hormon ini memiliki ukuran molekuler dan tipe yang sangat berbeda, seperti pada pengatur lokal. Contohnya pada hormon pertumbuhan etilen, gas yang merangsang pematangan buah dan membantu mengatur pertumbuhan yang merupakan hidrokarbon yang hanya memiliki 6 atom (C_2H_4), sebaliknya pada hormon insulin mamalia, yang mengatur kadar gula dalam darah, merupakan protein dengan ribuan atom. Pensinyalan pada hormon yang terdapat pada hewan disebut *Pensinyalan endokrin*. Pada hormon ini, sel mengalami terspesialisasi dalam melepaskan molekul hormon yang bergerak dalam suatu sistem sirkulasi pada darah menuju sel yang ditargetkan pada bagian tubuh yang lainnya.



Gambar 7.2. Pensinyalan sel pada jarak jauh
<http://tyasgaluhpwdt.blogspot.co.id/>

Sel dapat berkomunikasi melalui kontak langsung baik pada hewan maupun tumbuhan yang memiliki *junction* (sambungan) sel dengan memberikan

kontinuitas sitoplasmik di antara sel – sel yang berdekatan. Dalam hal ini, bahan pensinyalan yang larut dalam sitosol dapat dengan bebas melewati sel yang berdekatan.



Molecular Biology of The Cell @Garland Science 2008

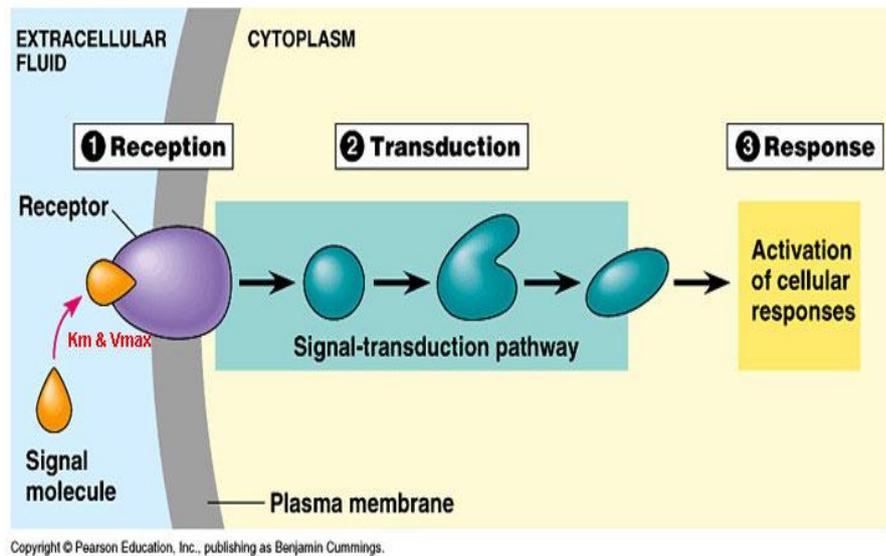
Gambar 7.3 Bentuk pensinyalan yang terjadi dalam proses komunikasi pada sel <http://3.bp.blogspot.com>

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sutherland dan temannya pada tahun 1971 mengenai bagaimana hormon hewan epinefrin merangsang terjadinya pemecahan (*depolimerisasi*) polisakarida glikogen yang tersimpan dalam hati dan sel otot rangka. Dalam proses tersebut ditemukan ada tiga tahapan dalam pensinyalan sel diantaranya ialah:

1. Penerimaan (*reception*) sinyal yang merupakan pendeteksian sinyal yang datang dari luar sel oleh sel target. Sinyal kimiawi “terdeteksi” apabila sinyal itu terikat pada protein seluler, yang biasanya pada permukaan sel yang bersangkutan.
2. Pengikatan molekul sinyal yang dapat mengubah protein reseptor, dengan melalui tahap awal (*inisiasi*) dalam proses transduksi (*transduction*). Tahap transduksi ini dapat mengubah sinyal menjadi suatu bentuk yang dapat menimbulkan respon selular spesifik. Dalam sistem yang terjadi pada Sutherland, pengikatan *epinefrin* ke bagian luar protein reseptor dalam membran plasma sel hati yang telah berlangsung melalui serangkaian langkah untuk mengaktifkan glikogen fosforilase. Transduksi ini terkadang terjadi dalam satu langkah tetapi lebih sering membutuhkan suatu urutan perubahan dalam sederetan molekul yang berbeda yang disebut *jalur transduksi sinyal*.

Sedangkan molekul yang berada disepanjang jalur itu sering disebut *molekul relai*.

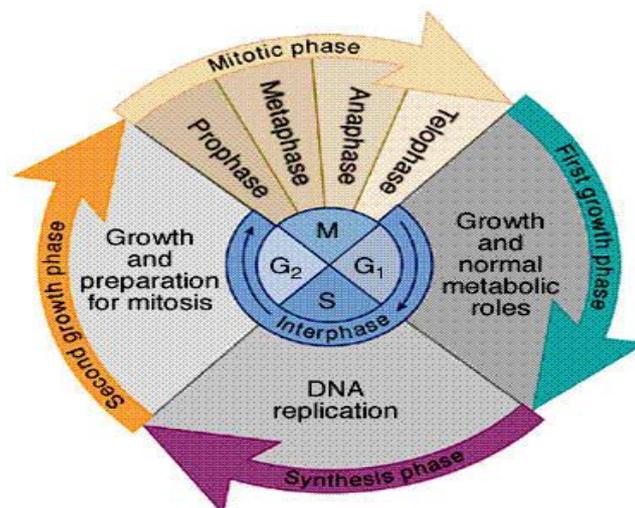
3. Pada tahap ketiga ini yaitu pensinyalan sel dalam tahapan respons (*response*), sinyal yang ditransduksi akhirnya memicu respon seluler spesifik. Respon tersebut dapat berupa seluruh aktivitas seluler seperti katalisis oleh suatu enzim (seperti glikogen fosforilase), penyusunan ulang sitoskeleton, atau pengaktifan gen spesifik di dalam nukleus. Proses pensinyalan sel ini dapat membantu kepastian pada aktivitas yang penting seperti terjadinya pada sel yang benar, pada waktu yang tepat, dan pada koordinasi yang sesuai dengan sel lain dalam organisme yang bersangkutan.



Gambar 7.4 tahapan proses terjadinya pensinyalan dalam komunikasi sel
<http://tyasgaluhpwdt.blogspot.co.id/>

BAB VIII DAUR SEL

Suatu sel akan terjadi jika sel yang tertua melakukan pembelahan diri, kemudian sel itu mengalami pertumbuhan dan pembelahan sel sehingga menghasilkan dua anakan. Penggandaan semua bagian dari suatu sel yang diikuti oleh pembelahan sel itu menjadi dua sel anak disebut *daur sel*. Daur sel pada tumbuhan dan hewan memerlukan waktu sekitar 20 jam. Pembelahan sel pada mitosis hanya memerlukan waktu 1 jam. Sisa waktu diperlukan bagi pertumbuhan interfase. Dalam kondisi makanan dan suhu optimum, waktunya untuk daur sel dan mempercepat pertumbuhan sel. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa lamanya daur sel adalah waktu yang diperlukan untuk melaksanakan berbagai rencana tertentu yang telah dibebankan pada tiap sel. Rencana ini terdiri atas dua bagian yang pertama menyangkut replikasi bahan genetik dalam kromosom dan yang kedua menyangkut penggandaan semua bagian sel yang berhubungan dengan pertumbuhan.



Gambar 8.1. Penampang Daur Sel
<http://pujoduryatbeta.blogspot.co.id/2014/03/pembelahan-sel.html>

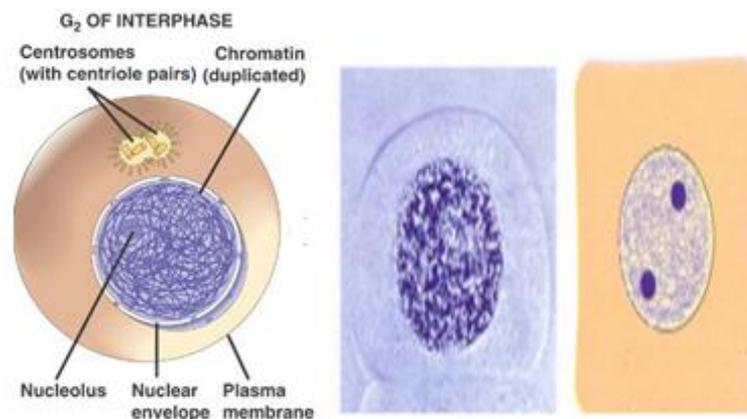
8.1. Siklus Hidup Sel

Siklus sel merupakan suatu kegiatan yang terjadi dari satu pembelahan sel ke pembelahan sel lainnya. Siklus sel meliputi penambahan massa, duplikasi bahan genetik yang disebut *interfase* dan *pembelahan sel*. Interfase meliputi 3

tahap yaitu G1 (periode pertumbuhan), S (Sintesis), G2 (persiapan pembelahan). Sedangkan *pembelahan sel* terdiri dari dua tahap yaitu *mitosis* atau *kariokinesis*. Tahap kariokinesis disebut juga *siklus kromosom* dan sitokinesis disebut juga *siklus sitoplasma*.

1. Interfase

Interfase disebut sebagai *fase istirahat*. Interfase merupakan fase dimana sel membelah tetapi tetap melakukan aktivitas non pembelahan. Tahap interfase terbagi 3 tahap yaitu tahap G1. Pada tahap ini sel anakan akan tumbuh menjadi dewasa. Pada tahapan ini merupakan sintesis protein, karbohidrat, lipid, inisiasi replikasi DNA, duplikasi organela. Tahap ini merupakan tahapan yang paling lama berlangsung bila dibandingkan dengan dua tahapan lainnya. Tahapan kedua disebut juga fase S. Tahapan ini terjadinya replikasi DNA dan sintesis satu set lengkap protein kromosomal histon dan non histon dan juga terjadi duplikasi kromosom. Fase ini terjadi sekitar 9 jam. Tahapan ketiga disebut juga fase G2. Tahapan ini sel mulai mempersiapkan diri dalam melakukan pembelahan. Lamanya proses pembelahan ini hanya 2 jam saja.



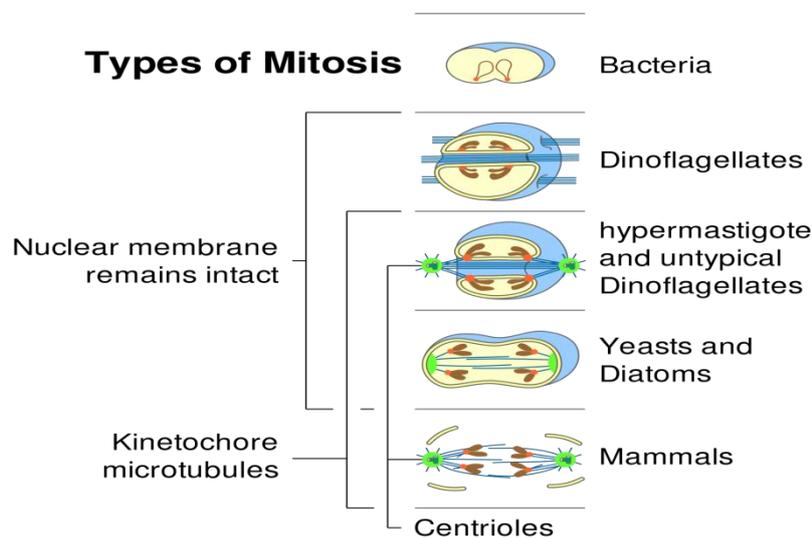
Gambar 8.2. Tahap Interfase
<http://www.biologi-sel.com/2012/06/siklus-dan-pembelahan-sel.html>

2. Mitosis

Fase mitosis berawal dari aktivitas MPF (*Mitosis promoting factor*) yang menimbulkan terjadinya proses *fosforilasi protein* dan berakhir dengan *defosforilasi*. Fosforilasi ini akan menyebabkan terjadinya perubahan – perubahan morfologi sel misalnya *kondensasi* (pemampatan) kromatin menjadi kromatid untuk dua kromatid bersatu menjadi kromosom, menghilangnya selubung

nukleus, dan perubahan organisasi sitoskelet. Perubahan sitoskelet ini diawali dengan terduplikasinya sentrosom menjadi dua kutub pembelahan mototik, dan inti sentrosom akan memancarkan mikrotubula aster.

Mikrotubula disebut juga dengan *gelendong pembelahan*. Mikrotubula ini berfungsi sebagai pengatur letak kromosom selama proses pembelahan. Jenis mikrotubula ini yaitu *mikrotubula astral* yaitu mikrotubula yang terdapat disekitar sentrosoma (kutub pembelahan). *Mikrotubula kinetokor* yaitu mikrotubula yang memanjang dari kutub pembelahan sampai di daerah sentromer dan diikat oleh konetokor. *Mikrotubula kutub* yaitu mikrotubula yang memancar dari kutub tetapi tidak diikat oleh kinetokor.



Gambar 8.3 Beberapa tipe mitosis yang terjadi pada sel hewan yang mengalami pembelahan sel
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0e/Types_of_mitosis_int.svg

Disamping adanya mikrotubula, ada sitoskelet lainnya yang berperan pada tahap sitokinesis yaitu cincin kontraktile yang tersusun dari filamen aktin dan miosin. Pada fase kariokinesis ini terdapat 5 tahap yaitu profase, prometafase, metafase, anafase, dan telofase. Tahapan tersebut akan diuraikan dibawah ini.

a. Profase

Tahapan ini diawali dengan perubahan *sentrosoma*. Sentrosom ini terduplikasi menjadi dua pada daerah sentrosomer menjadi kromosom. Sentrosom sendiri diikat oleh *kinetokor* dan kinetokor diikat oleh *mikrotubula kinetokor*. Pada akhir profase menuju ke prometafase selubung inti akan pecah terurai menjadi

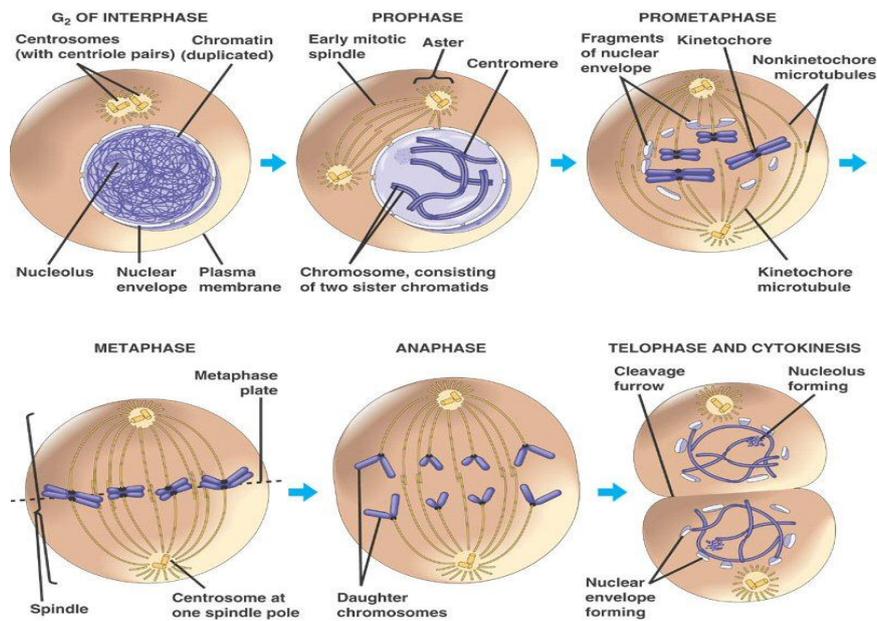
komponen penyusunnya dan komponen tersebut terlarut di sekitar sel yang membelah.

b. Prometafase

Suatu proses dimana pecahnya selubung inti yang menyebabkan mikrotubula yang tadinya berada di luar inti dapat memasuki daerah inti. Akhir dari prometafase ini ditandai dengan Bergeraknya kromosom ke bidang ekuator pembelahan.

c. Metafase

Pada tahap ini diawali dengan pengaturan letak dan arah kromosom oleh mikrotubula kinetokor sehingga setiap kromosom menghadap kutub masing – masing. Selanjutnya mikrotubula kinetokor menggerakkan kromosom ke bidang ekuator. Kromosom tertata di tengah bidang ekuator. Kromosom dapat tertata pada bidang ekuator karena adanya gaya tarik yang sama kuat dari masing – masing kutub pembelahan.



Gambar 8.4 Tahapan dalam Proses Mitosis pada sel
<http://fhs-bio-wiki.pbworks.com/w/page/12145788/Mitosis>

d. Anafase

Diawali dengan terbelahnya kromosom menjadi dua kromatida, masing – masing dengan sebuah kinetokor. Kromatida tersebut bergerak ke arah kutub pembelahan masing – masing karena memendeknya mikrotubula kinetokor secara tuba – tiba yang disebut sebagai anafase A dan saling menjauhnya kutub mitosis

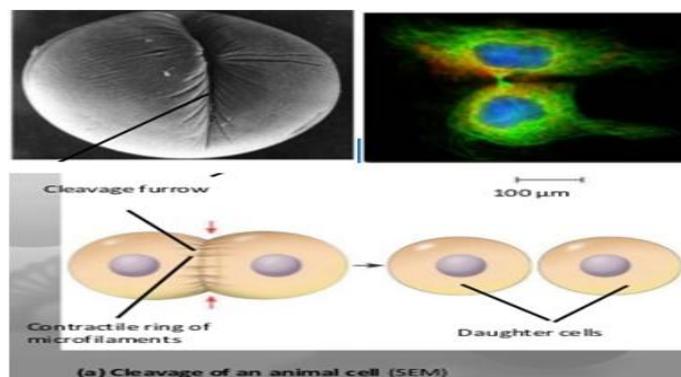
disebut **anafase B**. Setelah kromatid tersebut berkumpul di kutub pembelahan masing – masing, kariokinesis akan memasuki tahapan telofase.

e. Telofase

Pada tahap ini diawali dengan terakitnya kembali selubung nukleus di sekeliling tiap kelompok kromosom baru. Mikrotubula kinetokor menghilang, tetapi mikrotubula kutub masih tetap ada. Telofase akan mengakhiri serangkaian proses panjang kariokinesis, untuk selanjutnya masuk ke fase sitokinesis.

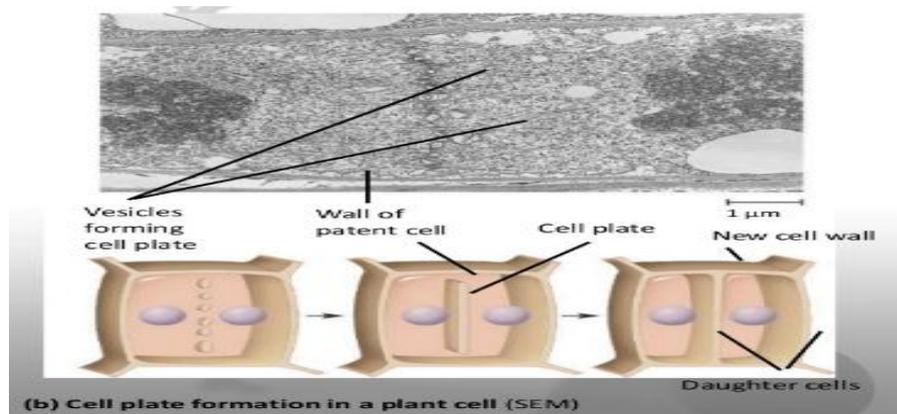
f. Sitokinesis

Pada tahapan sitokinesis ini proses pembelahan sitoplasma yang ditandai dengan pelekukan pada sel. pelekukan ini terjadi di tengah bidang pembelahan karena aktivitas cincin kontraktile. Pelekukan itu menyebabkan mikrotubula kutub menjadi tumpang tindih. Mikrotubula yang saling tumpang tindih tersebut membentuk **mid body**. **Mid body** berfungsi sebagai tambatan dua sel anakan. Setelah pelekukan pada tengah bidang pembelahan sempurna maka cincin kontraktile akhirnya akan menghilang atau terurai menjadi suatu komponen penyusunnya dan pada akhirnya selubung inti dan nukleolus terbentuk secara lengkap. Kejadian ini menandakan bahwa **proses pembelahan sel** telah selesai terbentuk. Proses sitokinesis ini memiliki perbedaan antara sel hewan dengan sel tumbuhan yang mana pada sel hewan mengalami proses ”**Penyibakan (Cleavage)**”, dimana proses ini terjadi diawali dengan adanya tanda penyibakan melalui munculnya lekukan penyibakan (**Cleavage furrow**), lekukan ini memiliki cincin kontraktile yang berasal dari mikrofilamen aktin yang mengalami asosiasi dengan molekul protein miosin sehingga mikrofilamen aktin ini mengalami kontraksi dengan cincin kontraktile.



Gambar 8.5 Sitokinesis pada Sel Hewan
<http://www.slideshow.net/heptajayawardanasenju/siklus-sel-cell-cycle>

Sedangkan sitokinesis yang terjadi pada tumbuhan mengalami pembelahan sitoplasma yang diakibatkan karena pembentukan dinding sel baru. Proses yang terjadi pada sitokinesis ini “**tidak memiliki lekukan penyibakan (*Cleavage furrow*)**” akan tetapi memiliki vesikel yang bergerak melalui aparatus golgi di sepanjang mikrotubulus menuju tengah sel. Adapun vesikel yang bergabung membentuk lempeng sel (*Cell plate*) ini mengalami pertumbuhan menjadi dua sel anakan baru pada bagian dinding selnya.



Gambar 8.6 Sitokinesis pada Sel Tumbuhan
<http://www.slideshare.net/heptajayawardanasenju/siklus-sel-cell-cycle>

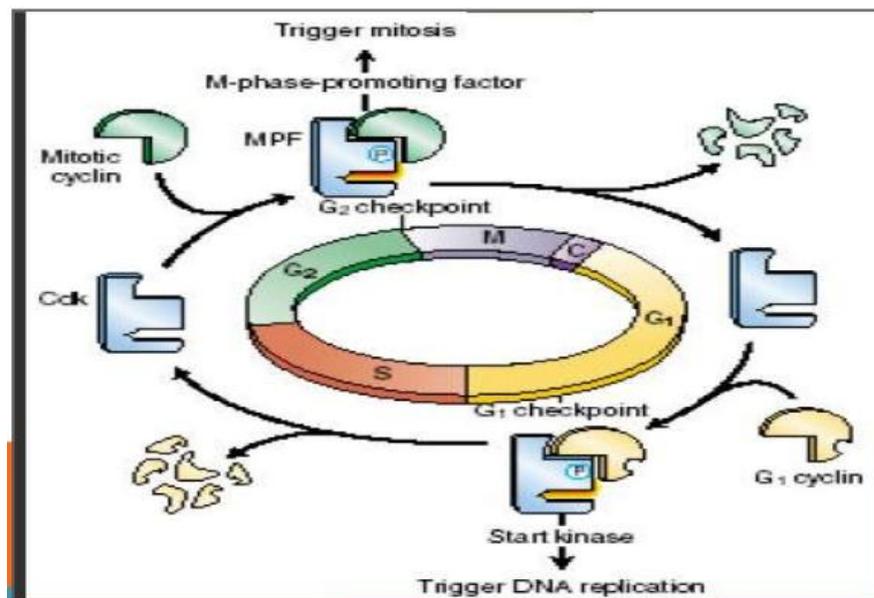
Adapun *proses terjadinya sitokinesis* ini yaitu:

Pada fase G2 mikrotubula tersusun melingkar di dalam sel di bawah membran dan membentuk sabuk melingkar. Masuk ke tahap telofase terbentuknya fragmoplas yang terbentuk dari dua set mikrotubula kutub. Pada fragmoplas akan dikirim vesikula – vesikula kecil berisi prazat dinding sel dari golgi dan akan tersusun sepanjang mikrotubula ke bidang ekuator. Prazat tersebut adalah *polisakarida pektin, hemiselulosa, dan komponen dinding sel lainnya*. Selanjutnya prazat dinding sel tersebut akan melebur membentuk struktur berselaput yang terus memanjang hingga bersentuhan dengan dinding sel induk menjadi 2 sel anak. Setelah selesai proses perakitan dinding sel, dinding sel tersebut diperkuat dengan filamen – filamen selulosa yang disekresikan ke dalam lumen sekat sel yang membentuk dinding sel baru.

8.2. Regulasi Siklus Sel

Siklus sel yang terjadi pada sel, memiliki alat pengontrol agar proses yang terjadi dapat dilakukan sesuai aturan. Bahkan dalam masuk ke setiap fase, siklus sel tersebut menunggu sesuai perintah yang diberikan padanya. Untuk masuk dan keluar setiap fase yang dilakukan oleh fase interfase disebut **dikontrol**. Pengontrol atau yang mengatur adalah **protein kinase**. Sedangkan yang akan dikontrol adalah **kondisi lingkungan, pertumbuhan sel, replikasi DNA, mesin mitosis**.

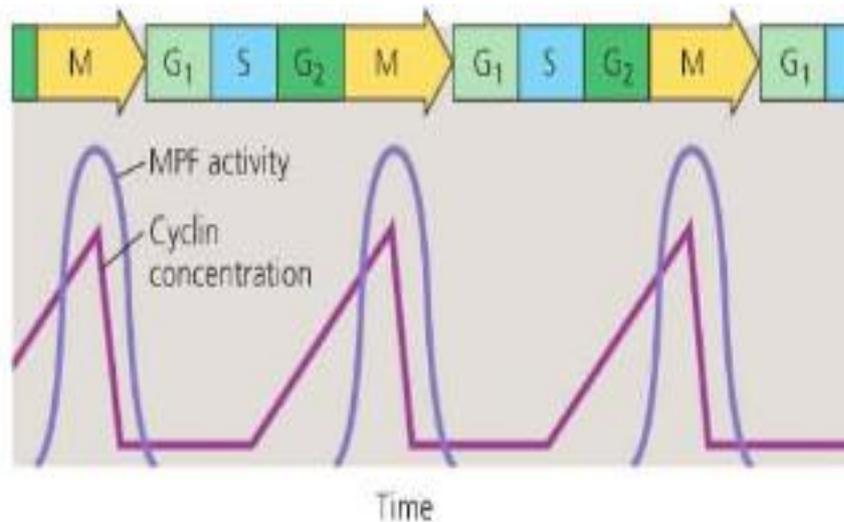
Mekanisme regulasi atau pengontrolan itu dapat diibaratkan sebagai mesin siklus sel yang apabila hendak dijalankan atau dipindahkan dari satu siklus ke siklus lain harus di cek terlebih dahulu dengan serangkaian pertanyaan **checkpoint**. Untuk checkpoint start memasuki G1 sebagai contoh, pertanyaan yang muncul ialah apakah sel – selnya sudah tumbuh cukup besar, apakah kondisi lingkungan menguntungkan? Kemudian kita akan masuk ke fase M maka pertanyaan yang muncul adalah: apakah lingkungan menguntungkan, apakah ukuran sel sudah cukup besar? Apakah semua DNA sudah direplikasi? Sedangkan ketika akan keluar dari fase M maka pertanyaan yang muncul adalah apakah semua kromosom sudah terikat pada mikrotubula? Pertanyaan itu muncul sebagai sarana pengontrol apakah sel sudah siap untuk memasuki atau keluar dari suatu fase pada siklus sel.



Gambar 8.7 Proses Regulasi yang terjadi pada Siklus Sel
<http://www.slideshare.net/avirdhaa/presentasi-patklin-siklus-sel-normal>

8.3. Mekanisme Aktivasi Mitosis Promoting Factor (MPF)

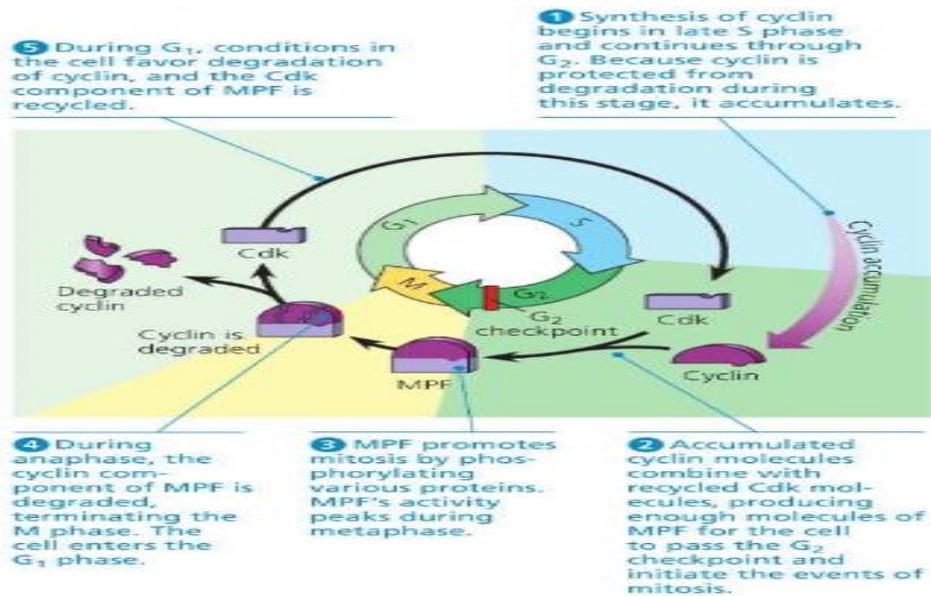
Jika semua proses dalam tahapan interfase telah siap dilakukan, maka sel akan memasuki fase M. Untuk memasuki fase tersebut harus ada pemicunya yaitu **MPF**. MPF tidak akan aktif pada saat tidak berada dalam fase M. MPF akan diaktivasi ketika sel akan masuk ke fase MPF.



Gambar 8.8 Proses Fluktuasi dari aktivitas MPF selama Siklus Sel
<http://belajarbiologyumagera.blogspot.co.id/2015/05/siklus-sel.html>

Mekanisme aktivasi MPF akan diuraikan sebagai berikut:

- 1) Cdc₂ berasosiasi dengan **protein Cyclin** membentuk MPF inaktif.
- 2) Mengakibatkan kadar dalam Cyclin meningkat secara bertahap. Hal ini menyebabkan Cdc₂ terfosforilasi dan akan mengaktivasi protein kinase pada sisi aktif Wee 1 yang merupakan **kinase inhibitory** dan **activating kinase** MO15 pada sisi katalitik Cdc₂.
- 3) Fosforilasi selanjutnya akan menghambat aktivasi MPF sampai group fosfat dilepaskan oleh Cdc₂₅ fosfatase.
- 4) Setelah grup fosfat terlepas maka MPF menjadi aktif. Aktifnya MPF akan mengaktivasi dirinya sendiri dengan cara mengaktifkan Cdc₂₅ dan menghambat Wee 1 (**kinase inhibitory**).

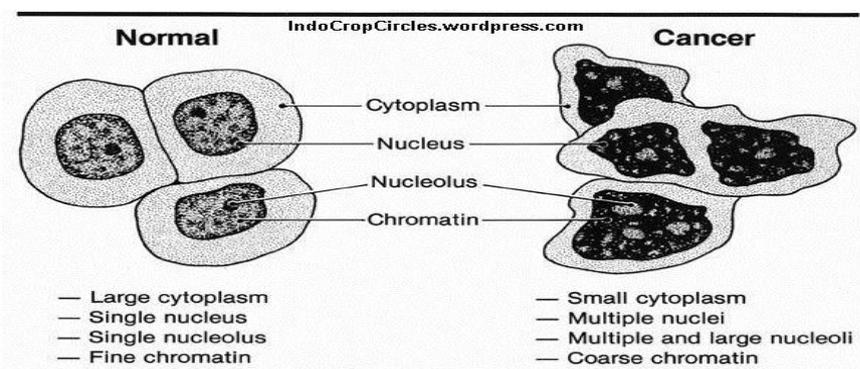


Gambar 8.9 Mekanisme MPF yang mengatur Siklus Sel
<http://belajarbiologyumagera.blogspot.co.id/2015/05/siklus-sel.html>

8.4. Siklus Sel pada Sel kanker

Sel kanker merupakan salah satu sel yang terdapat pada sel hewan. Sel tersebut mengalami pembelahan sel secara berlebihan dan menginvasi jaringan sel yang lainnya. Sel ini telah mengabaikan sinyal – sinyal yang terjadi pada siklus sel yang normal yang diregulasi melalui siklus sel.

Pembelahan sel yang terjadi secara berlebihan ini jika tidak dihambat atau dihentikan pembelahannya maka dapat membunuh suatu organisme. Suatu hipotesis menyatakan bahwa sel kanker tidak memerlukan faktor pertumbuhan dalam suatu medium kultur yang dapat meningkatkan pertumbuhan dan pembelahannya. Sel kanker ini kemungkinan dapat terjadi melalui siklus sel secara abnormal yang dilakukan melalui sistem kontrol.



Gambar 8.10 Perbedaan Struktur Sel Normal dengan Sel Kanker
http://diannitari.blogspot.co.id/2015/07/gangguan-siklus-sel-dan-mutasi-gen-pada_28.html

Perbedaan penting antara sel normal dengan sel kanker dapat terlihat dari proses yang terjadi pada siklus selnya. Dimana pada sel kanker ini mengalami pembelahan secara terus – menerus secara acak di dalam siklus sel meskipun telah dilakukan penghentian dalam proses siklus sel. Salah satu contoh mengenai sel kanker ini ialah pada suatu garis keturunan sel yang telah mengalami reproduksi lam kultur pada tahun 1951. Sel ini disebut ”**Sel HeLa**” karena sel ini berasal dari tumor yang diangkat dari seorang wanita yang bernama Henrietta Lack. Sel yang terjadi pada wanita ini mengalami pembelahan secara terus – menerus ketika diberi nutrisi, beda dengan sel normal pada umumnya yang terjadi pada sel mammalia yang hanya dapat membelah sekitar 20 – 50 kali hingga mengalami penuaan dan berakhir dengan kematian.

Perilaku yang terjadi secara abnormal ini dapat mengalami bencana bagi tubuh seseorang karena proses yang dialaminya akan mengalami proses transformasi (*transformation*) yang dapat mengubah sel normal menjadi sel kanker. Kekebalan tubuh yang ada pada sel normal akan mengalami penghancuran pada sel kanker jika sel tersebut memiliki kekebalan tubuh yang kuat, namun sebaliknya jika penghancuran tidak dapat dilakukan maka sel kanker akan memperbanyak diri dan membentuk tumor. Jika sel – sel abnormal tetap berada pada tempat asalnya tanpa mengalami perpindahan maka akan terjadi benjolan yang disebut *Tumor Jinak (Benign Tumor)*. Tumor ini dapat mengganggu fungsi satu atau lebih suatu organ tubuh yang ada disekitar sel tersebut. Namun, tumor ini dapat dibuang melalui operasi dan ini harus dilakukan dengan baik agar tumor tersebut tidak kembali lagi. Sebaliknya jika tumor tersebut sudah mengganggu suatu organ tubuh secara invasif maka tumor ini disebut *Tumor Ganas (Malignant Tumor)* dan individu yang mengalami tumor tersebut dapat dikatakan sebagai *pengidap kanker*.

Adapun tahapan yang dapat terjadi pada perubahan sel normal menjadi sel kanker ialah:

1. Tahap prakarsa (*Initiation phase*), tahapan yang mengalami terjadinya perubahan gen dari sel normal menjadi sel kanker.

2. Tahap promosi (*promotion phase*), tahapan yang mengalami perkembangan tumor dan ini dipicu oleh sel – sle abnormal yang berhasil hidup (survive) dan terus membelah diri.
3. Tahap progresi (*Progression phase*), tahapan yang mengalami pertumbuhan secara tak terkendali pada sel abnormal sehingga ukuran sel tumor menjadi sangat besar dan menyebar ke jaringan atau organ lainnya hingga menyebabkan kematian pada seseorang.



Gambar 8.11 Proses terjadinya Perubahan Sel Normal menjadi Sel Kanker
<http://kankertumor.org/>

Sel kanker kemungkinan dapat mensekresikan sinyal yang dapat menyebabkan pembuluh darah tumbuh ke arah tumor. Beberapa sel tersebut, kemungkinan dapat terpisah dari tumor asalnya dan memasuki pembuluh darah dan pembuluh limfe. Proses perbanyakkan sel ini menjadi sel baru yang berada jauh dari sel asalnya disebut *metastasis*. Keberadaan tumor metastasis ini dapat ditangani melalui *kemoterapi*, yaitu penanganan melalui obat – obatan yang bersifat toksik bagi sel – sel yang sedang aktif membelah dan disuntikkan melalui sistem peredaran darah. Adapun efek yang akan terjadi dari pengaruh kemoterapi ini ialah seseorang akan mengalami mual – mual pada sel ususnya, rambutnya mengalami kerontokan, dan akan terjadi kerentanan yang terjadi akibat infeksi yang terjadi pada sistem kekebalan tubuh.

Para ilmuwan menyadari bahwa sel normal dapat mengalami perubahan menjadi sel kanker melalui proses transformasi yang secara berlebihan yang dapat mempengaruhi sistem kontrol siklus sel yang terjadi pada tubuh sel hewan mammalia. Pengetahuan mengenai sel kanker ini dan cara mengatasinya masih

sulit untuk diatasi dan masih butuh penelitian lanjutan untuk mengetahui cara penanganannya dan ini akan dilakukan pada penelitian lanjutan agar penanganan pada penyakit sel kanker ini dapat segera diatasi dan dicegah perkembangannya menjadi sesuatu hal yang dapat mematikan.

UJI KOMPETENSI

I. PILIHAN GANDA (X)

1. Apakah yang harus di fahami dalam mempelajari evolusi sel...
 - a. Fungsi sel
 - b. Peranan sel
 - c. Pengertian sel
 - d. Habitat sel
 - e. Isi Sel

2. Berapakah sistem membran sel ...
 - a. 3
 - b. 4
 - c. 6
 - d. 7
 - e. 9

3. Berapakah jenis utama dari filament sitoskeleton....
 - a. 4
 - b. 2
 - c. 3
 - d. 6
 - e. 1

4. Perbedaan sel Prokariotik dan eukariotik terutama terletak pada ...
 - a. Membran inti sel
 - b. DNA
 - c. Besar sel
 - d. Membran sel
 - e. vakuolanya

5. Untuk mempelajari sel dengan cermat dibutuhkan berbagai teknik dan metode, diantaranya adalah :
 - 1) Pewarnaan
 - 2) Penggunaan mikroskop
 - 3) Fraksinasi
 - 4) PencampuranYang manakah jawaban yang benar...
 - a. (1), (2), dan (3) benar
 - b. (1), dan (3) benar
 - c. (2), dan (4) benar
 - d. (4) saja yang benar
 - e. Tidak ada yang benar

6. Bagian penyusun sel eukariotik adalah
 - a. Badan Golgi, nukleus, kloroplas

- b. Membran plasma, sitoplasma, nukleus, nukleolus
 - c. Kloroplas. Sitoplasma, nukleus, ribosom
 - d. Ribosom, membran plasma, RE, kloroplas
 - e. Mitokondria, nukleolus, nukleus, sentriol
7. Apakah fungsi ribosom pada sel tumbuhan
- a. Penyimpanan Makanan
 - b. Sistem ekskresi
 - c. Memecahkan asam lemak menjadi gula
 - d. Tempat sebagai sintesis protein
 - e. Sistem respirasi
8. Organel apa yang membedakan antara sel hewan dan sel tumbuhan
- a. Membran plasma
 - b. Dinding sel
 - c. Nukleus
 - d. Sitoplasma
 - e. Retikulum Endoplasma
9. Manakah yang bukan merupakan ciri-ciri virus
- a. Tidak dapat membelah diri
 - b. Bersifat aselular
 - c. Memiliki lapisan protein
 - d. Dapat dikristalkan
 - e. Dapat diendapkan dengan sentrifugasi biasa
10. Siapakah yang mengemukakan teori sel pertama kali
- a. Schleiden
 - b. Robert Hooke
 - c. Schwann
 - d. Max Schultze
 - e. Rudolf Virchow
11. Pasangan nama organel dan fungsinya yang benar adalah. . .
- a. Membran sel → sekresi
 - b. Nukleus → transportasi
 - c. R.endoplasma → Ekskresi
 - d. Mitokondria → respirasi
 - e. Badan golgi → regulasi
12. Berikut ini adalah pernyataan yang benar tentang struktur mitokondria adalah.
- a. Organel yang mempunyai organ ganda dan membran dalamnya berupa lekukan yang disebut krista.
 - b. Organel yang merupakan saluran halus yang memiliki membran yang menghubungkan nukleus dengan sitoplasma.
 - c. Organel yang mempunyai dua lapisan yaitu bagian kepala yang bersifat hidrofilik dan bagian ekor yang bersifat hidrofobik.

- d. Organel yang berbentuk seperti kantung pipih dan mampu membentuk enzim yang belum aktif.
 - e. Organel yang mempunyai 3 bagian besar yaitu membran inti, cairan inti, dan anak inti.
13. Pada sel tumbuhan terdapat organel yang berfungsi untuk fotosintesis. Organel tersebut adalah. . .
- a. Nukleus
 - b. Kromoplas
 - c. Plastida
 - d. Amiloplas
 - e. Leukoplas
14. Organel yang mengandung enzim pencernaan adalah. . .
- a. Mitokondria
 - b. Lisosom
 - c. Badan golgi
 - d. Nukleus
 - e. Plastida
15. Hal-hal berikut yang tidak ada hubungannya dengan vakuola adalah. . .
- a. Tempat penyimpanan zat makanan
 - b. Tempat pembentukan energi
 - c. Mengandung pigmen-pigmen
 - d. Berperan dalam osmoregulator
 - e. Mempunyai membran tonoplas
16. Apakah yang diantarkan eksositosis ketika sel tumbuhan membuat dinding...
- a. protein dan lipid
 - b. protein dan karbohidrat
 - c. lipid dan karbohidrat
 - d. protein, lipid dan karbohidrat
 - e. karbohidrat
17. Yang merupakan tipe endositosis adalah...
- a. fagositosis, pinositosis dan endositosis
 - b. pinositosis, endositosis dan eksositosis
 - c. fagositosis, eksositosis dan pinositosis
 - d. fagositosis, endositosis dan eksositosis
 - e. fagositosis, pinositosis dan ligan
18. Pergerakan lateral fosfolipid dalam membran berlangsung secara...
- a. lambat
 - b. acak
 - c. horizontal
 - d. cepat
 - e. vertikal
19. Protein transpor yang membangkitkan voltase dikedua sisi membran disebut...
- a. potensial membran
 - b. kotranspor
 - c. pompa proton
 - d. pompa elektrogenik

- e. gradien konsentrasi
20. Tempat pembentukan protein dalam sel berlangsung pada...
- Ribosom
 - Nukleus
 - Kloropla
 - Plastida
 - Membran plasma
21. Membran sel sangat penting karena alasan dibawah ini, kecuali
- bersifat diferensial permeabel
 - mengendalikan pertukaran zat antara sel
 - menjadi pembatas antara isi sel dengan lingkungan luarnya
 - menjadi pembatas antara sitoplasma dan nukleoplasma
 - sebagai reseptor
22. Transpor aktif merupakan transport yang
- mengandalkan perbedaan konsentrasi larutan sebelah dalam dan luar membran sel
 - mengonsumsi energi untuk mengeluarkan atau memasukkan ion-ion atau molekul melalui membran sel
 - berjalan ke dua arah yang di-pengaruhi muatan listrik
 - mengeluarkan energi
 - dipengaruhi oleh ion-ion Na^+ dan K^+ tanpa energi
23. Membran plasma terdiri atas komponen – komponen berikut, *kecuali*
- Glikolipida
 - Glikoprotein
 - Karbohidrat
 - Sterol
 - Fosfolipida
24. Apa sajakah yang termasuk kedalam proses meiosis II sebutkan secara berurutan?
- Telofase, anafase, metafase, profase
 - Profase, metafase, anafase, telofase
 - Metafase, anafase, profase, telofase
 - Anafase, metafase, telofase, profase
 - Profase, anafase, telofase, metaphase
25. Sebutkan salah satu ttujuan dari meiosis?
- Untuk kromosom sel
 - Untuk pertumbuhan
 - Untuk pertumbuhan organism
 - Mengurangi jumlah kromosom dan membentuk sel-sel kelamin
 - Untuk menampung protein yang dihasilkan

II. ESSAY TEST

1. Jelaskanlah perkembangan teori sel berdasarkan hasil penemuan para ahli ilmuwan?
2. Sebutkan jenis - jenis Mikroskop beserta fungsinya masing – masing ?
3. Jelaskan perbedaan antara sel eukariotik dengan sel prokariotik ?
4. Sebutkan perbedaan antara organel – organel yang terdapat pada sel tumbuhan dengan sel hewan dan jelaskan letak perbedaannya masing - masing ?
5. Mengapa transpor pasif tidak memerlukan energi? Jelaskan!
6. Apa fungsi klorofil pada kloroplas dan Jelaskan peranannya bagi tumbuhan?
7. Jelaskan secara singkat terjadinya proses diferensiasi sel?
8. Apakah yang dimaksud dengan Apoptosis, Mitosis, Meiosis, dan Fertilisasi?
9. Jelaskanlah tahapan yang terjadi dalam proses mitosis ?
10. Apakah penyebab terjadinya sel kanker pada tubuh dan jelaskan proses terjadinya sel kanker?

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya & Sumadi. 2007. *Biologi sel edisi pertama*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- A ville, Claude., Warren f. Walker., dkk. 1999. *Zoologi Umum Edisi Keenam*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Campbell, Neil a., Jane B.Reece., dkk. 2002. *Biologi Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Campbell, Neil a., Jane B.Reece., dkk. 2008. *Biologi Edisi Kedelapan Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Fried, George H., George j. Hademenos. 2006. *Teori dan Soal Biologi Edisi kedua*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Kimbal, John W. 1983. *Biologi Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sipahutar, dkk. 2005. *Biologi Sel*. Medan: FMIPA Universitas Negeri Medan.
- Sri harti, Dra. Agnes. 2013. *Biologi Medik Cetakan Pertama*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu.
- Star, Ceccie., ralph taggart., Christine evers., Lisa star. 2012. *Biologi kesatuan dan keragaman makhluk hidup edisi 12 buku 1*. Jakarta Selatan: Penerbit Salemba Teknika.

Sel merupakan salah satu unit dasar kehidupan yang susunannya secara struktural dan fungsional sangat mempengaruhi kepribadian dan tingkah laku masing masing makhluk hidup. Perkembangan sel ini dimulai sejak seorang ahli yang bernama Robert Hooke (1665) melakukan pengamatan pada sayatan gabus yang merupakan sel sel mati pada pepagan pohon "ek" dengan mikroskop sederhana. Ia melihat adanya ruangan ruangan kecil yang kemudian disebutnya cella yang berarti ruang atau kamar kecil yang kosong. Dengan adanya penemuan ini maka berkembanglah penelitian penelitian mengenai sel tersebut hingga ke tingkat kompleks dan lebih modern lagi oleh penemu yang lainnya hingga terbentuklah suatu konsep sel yang dikenal dengan sebutan "Teori sel". Teori sel ini pertama kali diterbitkan oleh T.Schwan dan M. Schleiden (1839), yang selanjutnya direvisi oleh peneliti yang lainnya hingga menjadi dasar Biologi Modern.

Buku ini memberikan penjelasan tentang sel dengan bahasa yang sederhana sehingga mudah untuk dipahami oleh mahasiswa, praktisi dan masyarakat umum. Kehadiran buku ini diharapkan menjadi salah satu rujukan penting dalam dunia pendidikan khususnya bagi keilmuan dibidang biologi.

Penerbit

CV. Selemba Papyrus

Email: selebarpapyrus@gmail.com

Site: selebarpapyrus.com

Biologi



ISBN: 978-602-50521-3-2