

STRUKTUR DAN FUNGSI SEL

Oleh : Saefudin

Biologi sel (juga disebut **sitologi**, dari bahasa Yunani *kytos*, "wadah") adalah ilmu yang mempelajari sel. Pengetahuan akan komposisi dan cara kerja sel merupakan hal mendasar bagi semua bidang ilmu biologi. Pengetahuan akan persamaan dan perbedaan di antara berbagai jenis sel merupakan hal penting khususnya bagi bidang biologi sel dan biologi molekular. Persamaan dan perbedaan mendasar tersebut menimbulkan tema pemersatu, yang memungkinkan prinsip-prinsip yang dipelajari dari suatu sel diekstrapolasikan dan digeneralisasikan pada jenis sel lain. Penelitian biologi sel berkaitan erat dengan genetika, biokimia, biologi molekular, dan biologi perkembangan.

Mahluk hidup seluler baik yang bersel tunggal (unicellular) maupun yang bersel banyak (multicellular) berdasarkan pada beberapa sifatnya, antara lain ada tidaknya sistem endomembran, dikelompokkan dalam dua tipe sel, yaitu sel prokariotik dan sel eukariotik. Sel prokariotik, merupakan tipe sel yang tidak memiliki sistem endomembran sehingga sel tipe ini memiliki materi inti yang tidak dibatasi oleh sistem membran, tidak memiliki organel yang dibatasi oleh sistem membran. Sel prokariotik terdapat pada bakteri dan ganggang biru. Sedangkan sel eukariotik merupakan tipe sel yang memiliki sistem endomembran. Pada sel eukariotik, inti tampak jelas karena dibatasi oleh sistem membran. Pada sel ini, sitoplasma memiliki berbagai jenis organel seperti antara lain: badan Golgi, retikulum endoplasma (RE), kloroplas (khusus pada tumbuhan), mitokondria, badan mikro, dan lisosom.

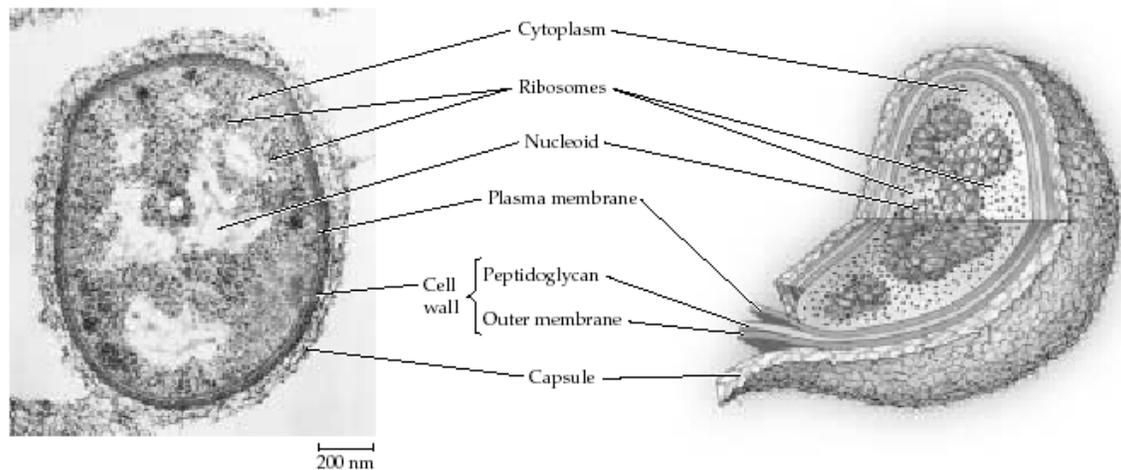
A. Struktur dan Fungsi Sel Prokariotik

Bakteri merupakan salah satu contoh organisme yang memiliki sel tipe prokariotik. Untuk itu mempelajari struktur dan fungsi pada sel prokariotik, sel bakteri merupakan contoh yang cukup mewakili dari berbagai tipe sel prokariotik. Bakteri memiliki ukuran (panjang) berkisar antara 0,15 – 15 μ . Struktur sel bakteri terdiri dari bagian luar sebagai penutup sel dan sitoplasma (Gambar 1).

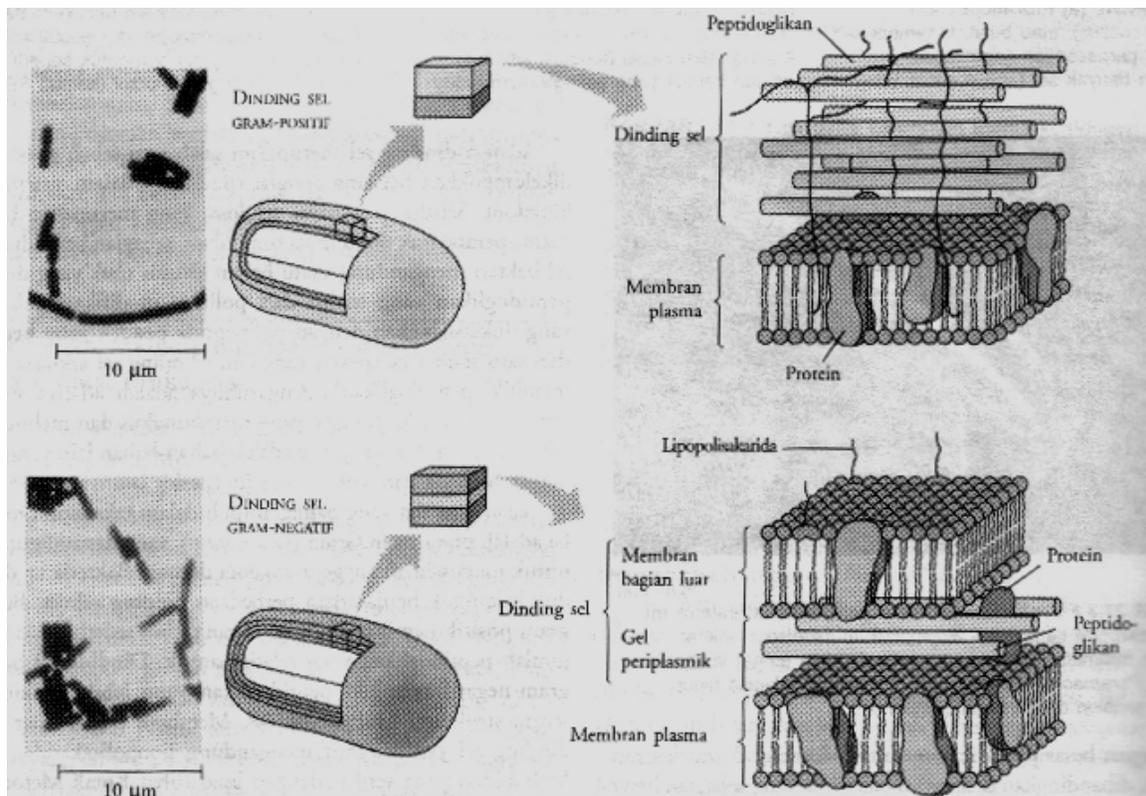
Bagian luar sel bakteri terdiri dari: kapsula, dinding sel, dan membran plasma. Kapsula yaitu bagian yang paling luar berupa lendir yang berfungsi untuk melindungi sel. Bahan kimia pembangun kapsula adalah polisakarida. Dinding sel terdiri dari berbagai bahan seperti karbohidrat, protein, dan beberapa garam anorganik serta berbagai asam amino. Berdasarkan struktur dinding selnya bakteri dikelompokkan menjadi bakteri Gram negatif dan Gram positif (lihat Gambar 2). Fungsi dinding sel yaitu sebagai pelindung, mengatur pertukaran zat dan reproduksi. Sedangkan membran dalam merupakan bagian

penutup yang paling dalam. Membran plasma bakteri mengandung enzim oksida dan respirasi. Fungsinya serupa dengan fungsi mitokondria pada sel eukariotik. Membran plasma pada bakteri membentuk lipatan-lipatan yang berlapis-lapis. Lipatan ini disebut desmosom. Pada beberapa daerah membran plasma membentuk lipatan ke arah dalam disebut mesosom. Fungsi mesosom yaitu untuk respirasi dan sekresi dan menerima DNA pada saat konyugasi. Beberapa bakteri memiliki alat gerak berupa flagel. Beberapa bakteri lainnya mengandung villi yang berfungsi untuk melekatkan diri.

Sitoplasma merupakan bagian dalam sel bakteri. Sitoplasma berbentuk koloid yang agak padat yang mengandung butiran-butiran protein, glikogen, lemak dan berbagai jenis bahan lainnya. Pada sitoplasma sel bakteri tidak ditemukan organel-organel yang memiliki sistem endomembran seperti badan Golgi, retikulum endoplasma (RE), kloroplas, mitokondria, badan mikro, dan lisosom. Sedangkan ribosom banyak ditemukan pada sitoplasma bakteri. Materi genetik bakteri berupa DNA atau kromosom bakteri atau genophore terdapat dalam sitoplasma, di daerah inti yang tidak dibatasi oleh sistem membran, yang disebut nucleoid. Pada beberapa bakteri di dalam sitoplasmanya ada yang mengandung kromophore yaitu bakteri yang mengandung klorofil.



Gambar 1. Struktur umum sel prokariotik terdiri dari kapsul, dinding sel (membran luar dan peptidoglikan merupakan anggota karbohidrat), membran plasma, sitoplasma yang mengandung ribosom dan nukleoid.

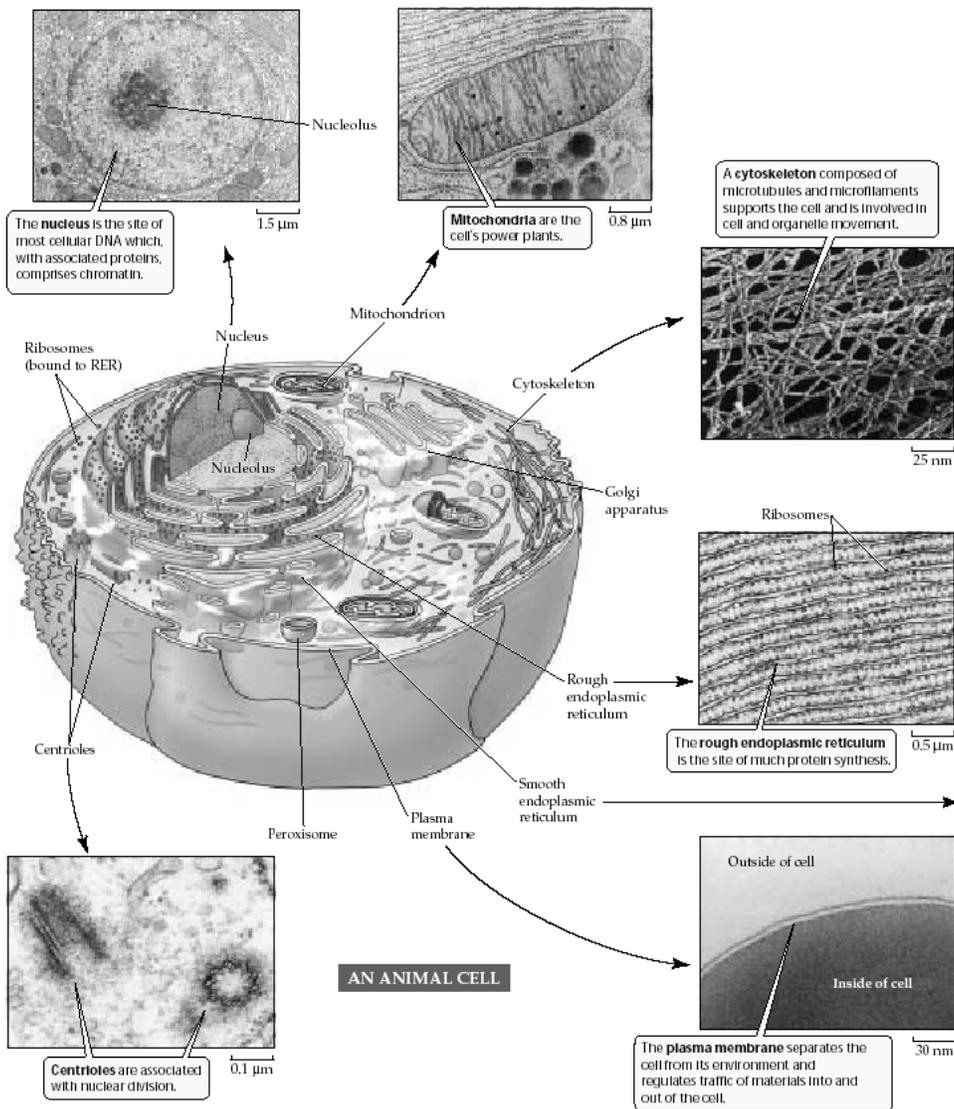


Gambar 2. Struktur dinding bakteri Gram positif dan bakteri Gram negatif. Bandingkan komponen utama dinding sel kedua jenis bakteri, bagaimana letak peptidoglikan pada kedua bakteri tersebut. Peptidoglikan inilah yang membedakan hasil pewarnaan Gram yang berbeda pada kedua bakteri tersebut. (Sumber : Campbell *et al.*, 2000)

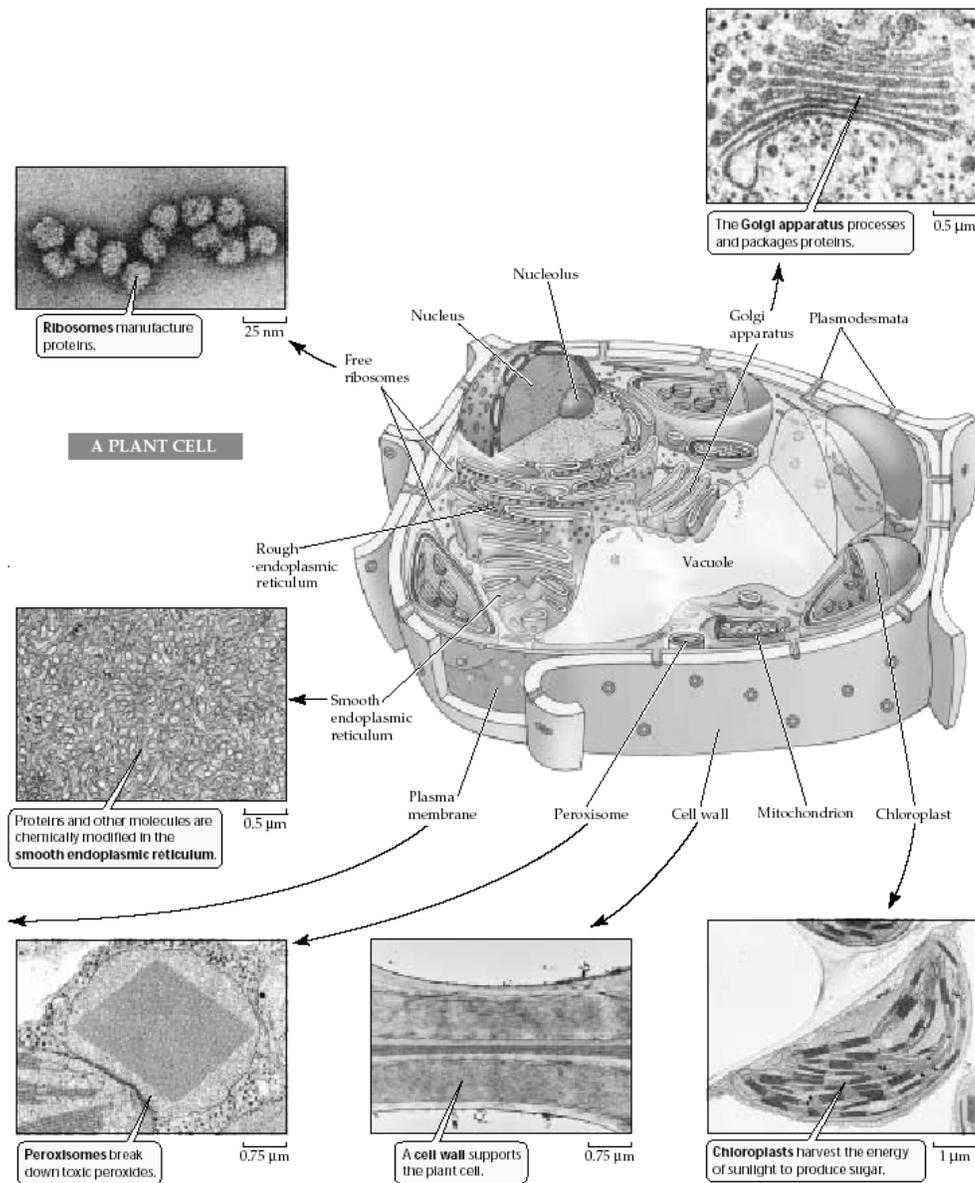
B. Struktur dan Fungsi Sel Eukariotik

Sel eukariotik merupakan sel yang memiliki sistem endomembran. Sel tipe ini secara struktural memiliki sejumlah organel pada sitoplasmanya. Organel tersebut memiliki fungsi yang sangat khas yang berkaitan satu dengan yang lainnya dan berperan penting untuk menyokong fungsi sel. Organisme yang memiliki tipe sel ini antara lain hewan, tumbuhan, dan jamur baik multiseluler maupun yang uniseluler.

Tipe sel eukariotik pada tumbuhan sedikit berbeda dengan pada hewan. Pada sel hewan, pada bagian luar sel tidak ditemukan adanya dinding sel, sebaliknya pada tumbuhan dan jamur ditemukan adanya dinding sel. Walaupun demikian dinding sel tumbuhan dan sel jamur secara kimiawi berbeda penyusunnya. Pada jamur didominasi oleh chitin sedangkan pada tumbuhan selulosa. Pada tumbuhan ditemukan adanya organel kloroplas sedangkan pada jamur dan hewan tidak ditemukan. Selain perbedaan tersebut pada dasarnya baik sel hewan, tumbuhan, dan jamur memiliki struktur yang serupa.

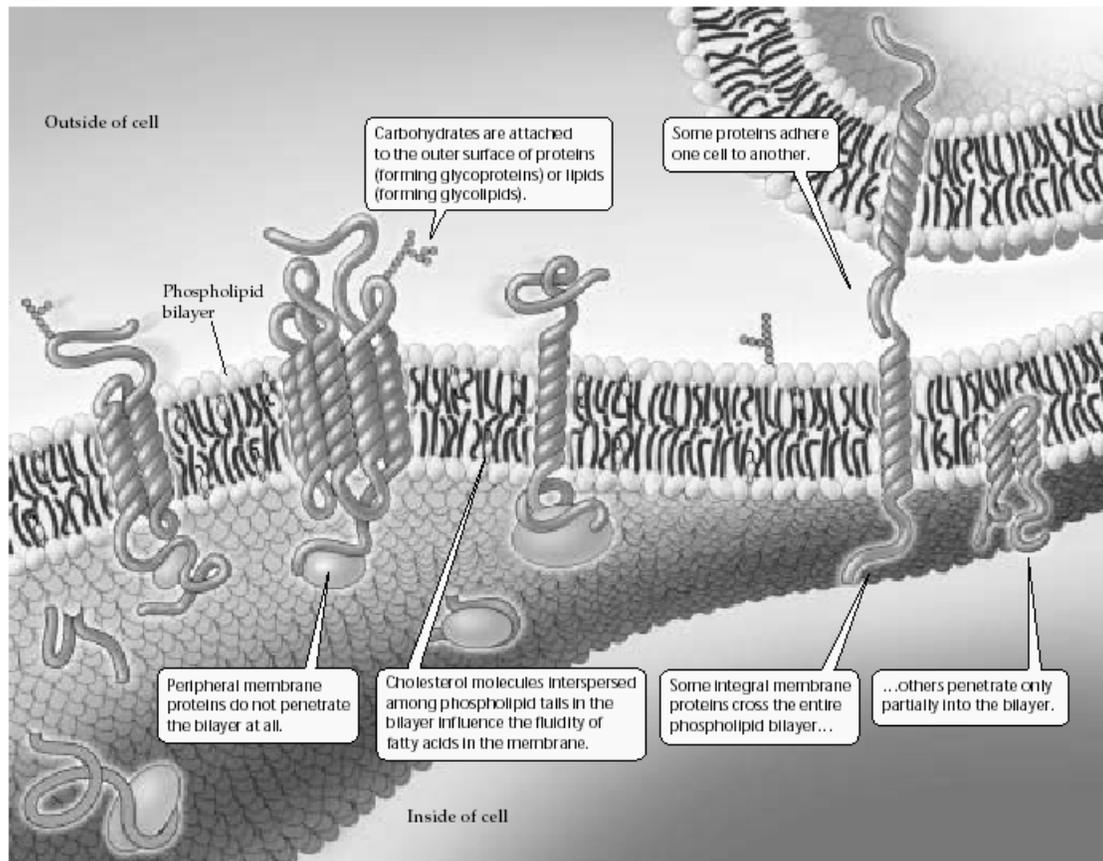


Gambar 3. Sel hewan, tampak dalam gambar di atas struktur sel hewan yang memiliki sistem endomembran sehingga pada sel tipe ini ditemukan berbagai organel pada sitoplasmanya. Pada gambar tampak organel badan Golgi (apparatus Golgi), RE (kasar dan halus), mitokondria, dan peroksisom (bagian dari badan mikro), selain itu tampak adanya ribosom, sentriol, dan sitoskeleton yang memiliki peran penting di dalam sel.



Gambar 4. Sel tumbuhan, tampak dalam gambar di atas struktur sel tumbuhan yang memiliki sistem endomembran sehingga pada sel tipe ini ditemukan berbagai organel pada sitoplasmanya. Pada gambar tampak organel kloroplas, hanya terdapat pada tumbuhan, selain organel yang serupa ditemukan pada sel hewan. Selain itu tampak adanya beberapa bagian sel yang hanya dimiliki oleh tumbuhan seperti : dinding sel dan plasmodesmata.

Membran sel tersusun oleh lipoprotein. Struktur umumnya dapat dilihat pada Gambar 5. Membran sel membatasi segala kegiatan yang terjadi di dalam sel sehingga tidak mudah terganggu oleh pengaruh dari luar. Karena fungsi ini, membran sel bersifat 'selektif permeabel', dapat menentukan bahan-bahan tertentu saja yang bisa masuk ke dan keluar dari sel. Pada sel tumbuhan, membran sel dalam keadaan normal melekat pada dinding sel akibat tekanan turgor dari dalam sel.



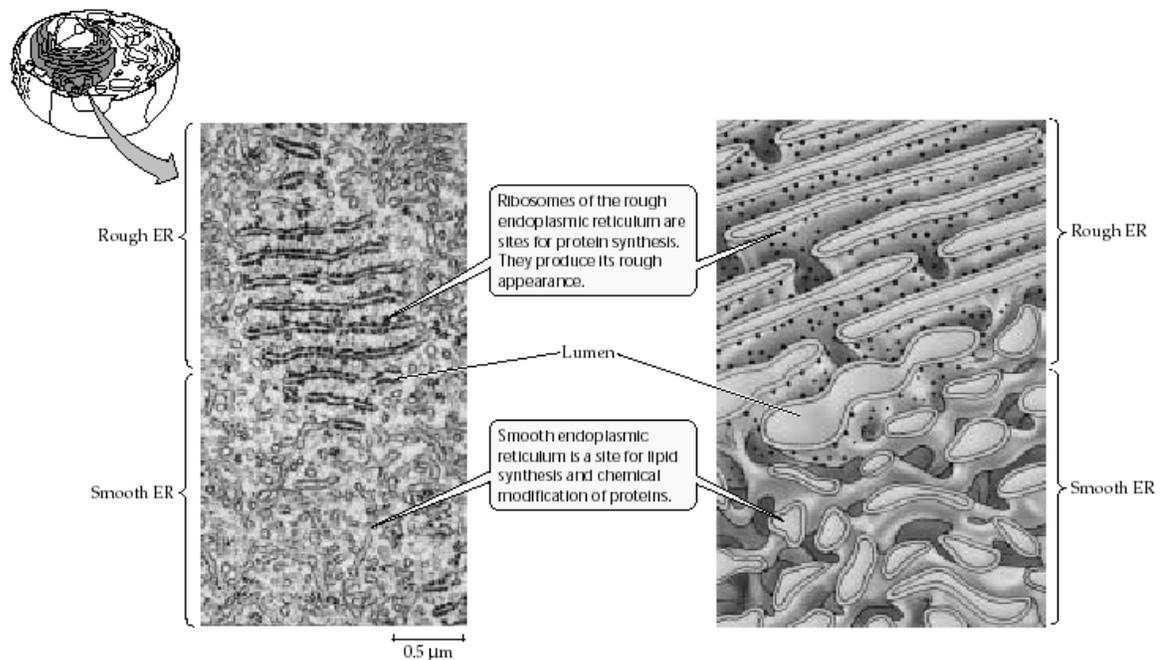
Gambar 5. Struktur membran sel, tampak di atas salah satu model membran plasma yang paling banyak diterima model mosaik cair. Strukturnya *bilayer lipid* dengan protein integral (menembus bagian *bilayer lipid*) dan protein peripheral (menempel pada salah satu lapisan lipid, baik bagian luar maupun di dalam sel). Selain itu juga ditemukan berbagai macam bahan lainnya misalnya karbohidrat.

Sitoplasma merupakan zat yang terdapat di antara inti sel dan membran plasma. Substansi sitoplasma yang permanen dan berperan aktif dalam proses metabolisme disebut organel. Organel terdiri atas: retikulum endoplasma, kompleks Golgi, mitokondria, kloroplas (khusus tumbuhan), lisosom, dan badan mikro merupakan kelompok organel yang dikelilingi oleh membran, sedangkan organel lainnya yang tidak dikelilingi oleh membran antara lain ribosom dan sentriol. Organel-organel tersebut memiliki struktur dan fungsi masing-masing

yang khas yang membentuk satu kesatuan untuk mendukung aktivitas sel. Selain itu, sitoskelet sebagai bagian dari sitoplasma merupakan bagian yang cukup penting dari sel

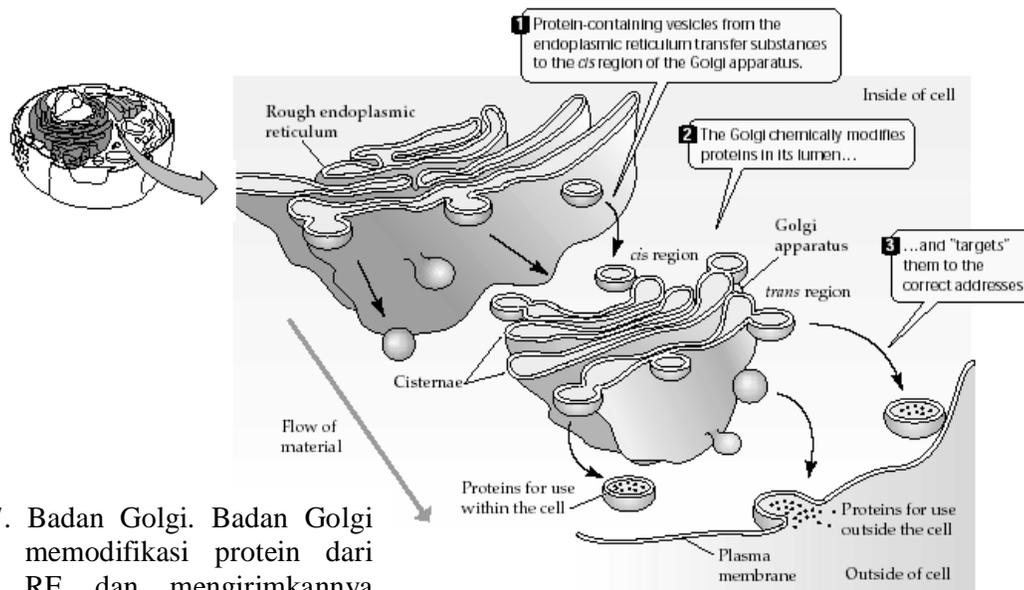
Bagian sitoplasma yang tidak termasuk organel disebut dengan sitosol, biasanya berupa hasil metabolisme sel atau substansi yang dimakan sel, misalnya butir-butir sekret; cadangan makanan seperti lemak, karbohidrat, dan protein; kristal dan pigmen. Selain itu juga ditemukan adanya vakuola, pada hewan biasanya relatif kecil. Sedangkan pada tumbuhan relatif lebih besar, dan bila sel sudah tua sel didominasi oleh vakuola. Vakuola pada tumbuhan berfungsi antara lain tempat penyimpanan cadangan makanan.

Retikulum Endoplasma (RE). Retikulum endoplasma merupakan membran lipoprotein pada sitoplasma yang terdapat antara membran inti dan membran sitoplasma. Ada dua macam RE. RE granuler (RE kasar) bila pada permukaan membran RE ini menempel ribosom. RE halus atau non granuler bila pada membran RE tidak ada ribosom. Fungsi organel ini memproses lebih lanjut protein, lipid atau bahan lainnya yang akan disekresikan sehingga produk yang dihasilkan sesuai dengan keperluannya. Dalam bentuk vesikula (gelembung) produk dari RE ditransportasi ke badan Golgi.



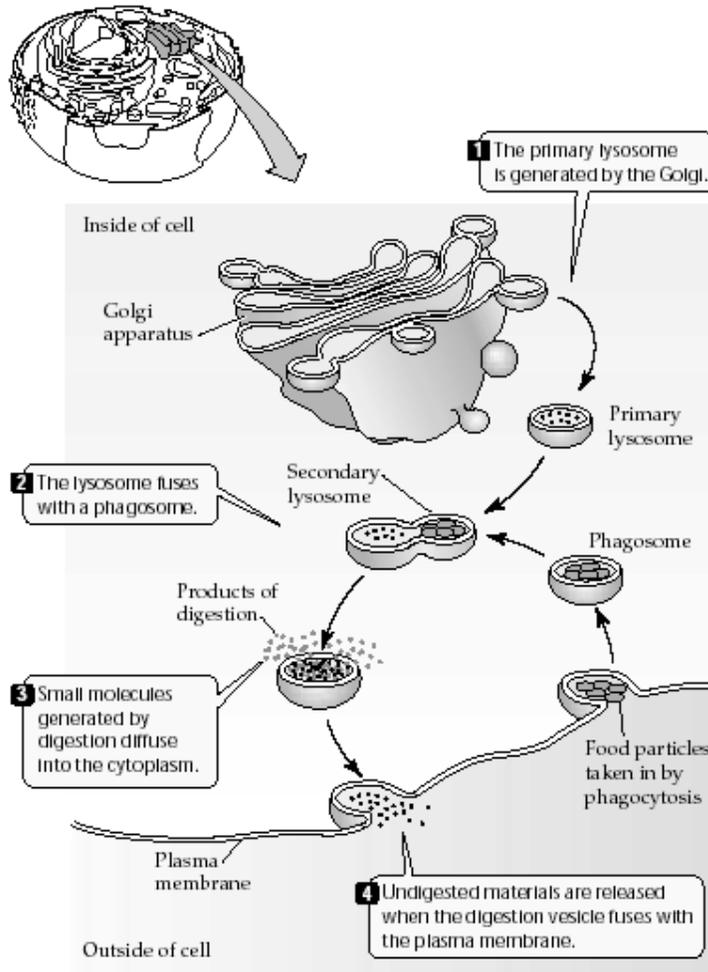
Gambar 6. Retikulum endoplasma. Tampak hasil gambar mikroskop elektron pada sisi kiri yang menunjukkan potongan RE dalam dua dimensi. Pada dasarnya RE merupakan struktur tertutup dari sitoplasma.

Badan Golgi (bahasa Inggris: *golgi apparatus, golgi body, golgi complex* atau *dictyosome*) adalah organel yang dihubungkan dengan fungsi ekskresi sel, dan struktur ini dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop cahaya biasa. Organel ini banyak dijumpai pada organ tubuh yang melaksanakan fungsi ekskresi, misalnya ginjal. Badan Golgi berfungsi menghasilkan sekret berupa butiran getah, lisosom primer, menyimpan protein dan enzim yang akan disekresikan. Pada sel tumbuhan badan Golgi disebut diktiosom. Organel ini menerima bahan, diolah dan akan disekresikan, dari RE.



Gambar 7. Badan Golgi. Badan Golgi memodifikasi protein dari RE dan mengirimkannya dengan tepat pada target yang dituju di dalam atau di luar sel

Lisosom terdapat pada sel hewan, bentuknya seperti bola dan ukuran diameternya kurang lebih 500nm. Lisosom mengandung enzim yang berfungsi untuk mencernakan bahan makanan yang masuk ke dalam sel baik secara pinosititis (makanannya berupa cairan) maupun secara fagosititis (makannya berupa padat). Pada Gambar 8 tampak lisosom primer yang baru dibentuk oleh badan Golgi yang mengandung enzim hidrolase yang bersifat laten. Lisosom primer bergabung dengan vakuola makanan membentuk lisosom skunder dan terjadilah proses pencernaan. Bahan yang bisa dicerna dikeluarkan ke sitoplasma sedangkan sisanya di keluarkan dari sel.



Gambar 8. Rangkaian fungsi lisosom sebagai bagian dari proses pencernaan yang terjadi di dalam sel.

Ribosom merupakan komponen penting di dalam sel. Ukurannya berkisar 20-25 nm. Ribosom tersusun dari RNA dan protein, terdiri dari sub unit besar dan sub unit kecil. Sub unit besar dan sub unit kecil akan bergabung bila ribosom sedang menjalankan fungsinya yaitu sintesis protein. Bila sintesis protein sudah selesai maka sub unit besar dan sub unit kecil akan berpisah kembali. Ribosom ada yang bebas terdapat di dalam sitoplasma dan ada juga yang menempel pada RE. Sub unit kecil merupakan tempat menempelnya mRNA yang membawa kode genetik yang akan ditranslasi menjadi polipeptida, sedangkan sub unit besar merupakan tempat menempelnya tRNA yang membawa asam amino yang akan dirangkai menjadi polipeptida.

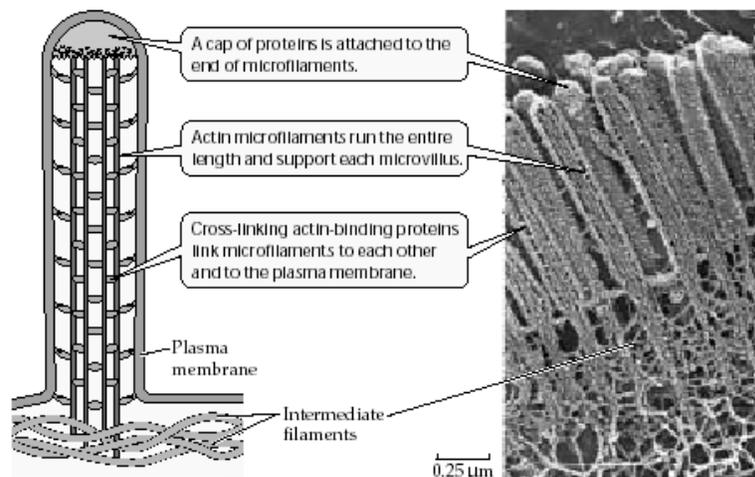
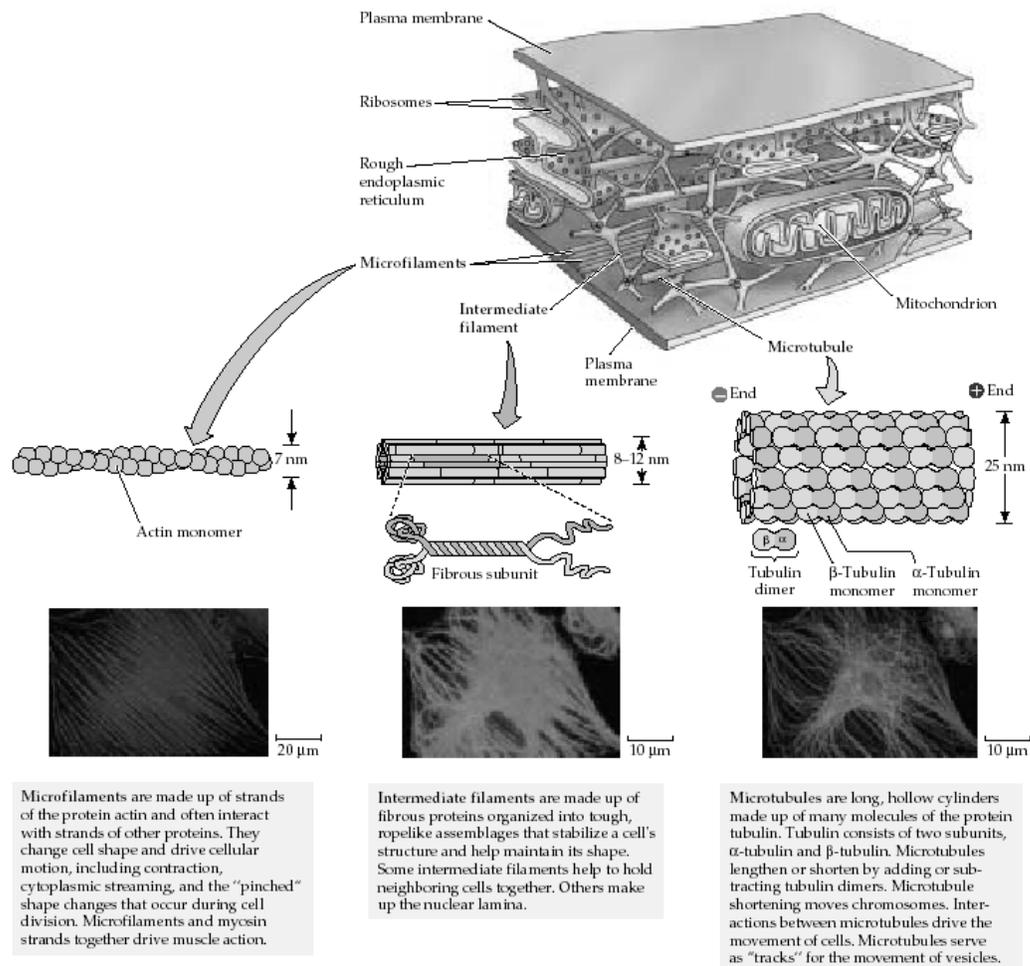
Badan mikro dibedakan dua kelas utama, yaitu peroksisom dan glioksisom. Peroksisom mengandung enzim katalase dan oksidase terdapat pada hewan dan tumbuhan. Sedangkan glioksisom umum terdapat pada endosperm biji dan berperan dalam

perkecambahannya selain mengandung katalase dan oksidase mengandung sebagian atau seluruh enzim daur glioksilat (proses pembentukan sumber energi untuk pertumbuhan dari lemak). Secara umum badan mikro berfungsi di dalam mengoksidasi lemak sebagai sumber energi.

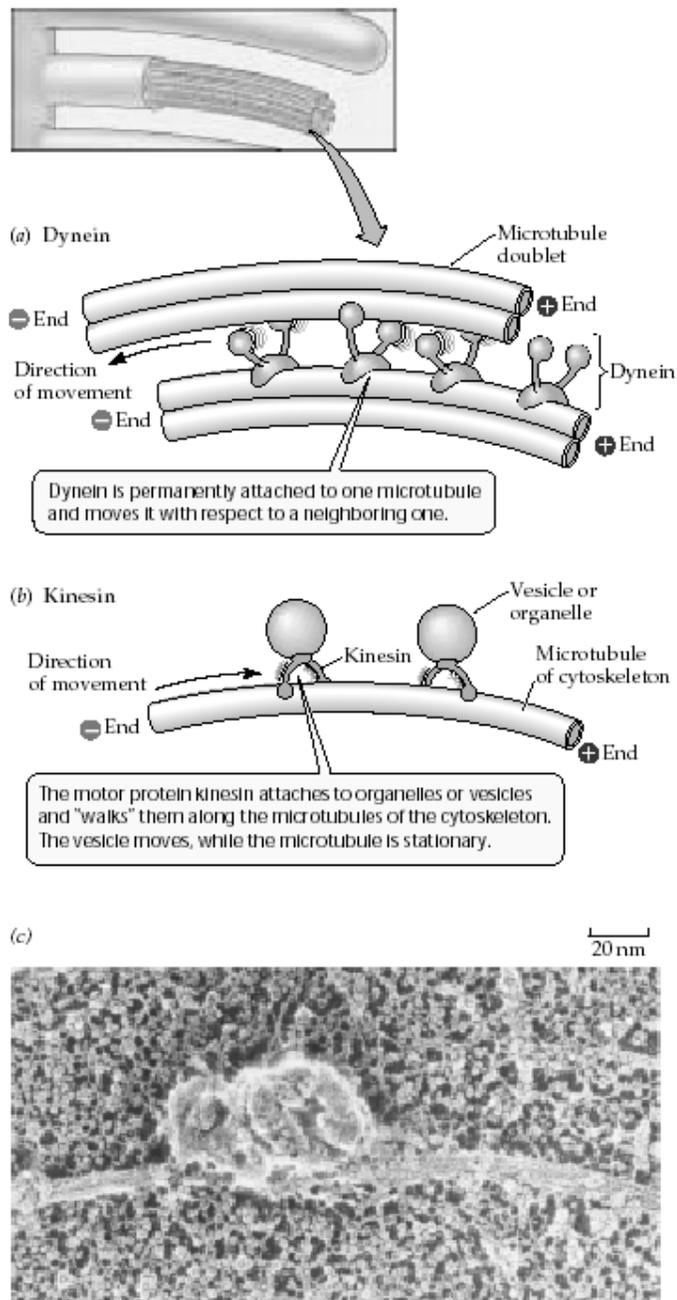
Dinding sel. Dinding sel hanya terdapat pada tumbuhan dan jamur. Fungsi dinding sel yaitu melindungi sitoplasma dan membran sitoplasma. Pada beberapa sel tumbuhan sel yang satu dengan sel yang lainnya dihubungkan dengan suatu celah yang disebut plasmodesmata. Bahan utama dinding sel pada tumbuhan adalah selulosa sedangkan pada jamur umumnya chitin.

Nukleus atau inti sel. Bagian-bagian inti sel terdiri dari membran inti, nukleoplasma (kariolimp) dan kromosom, serta nukleolus. Membran inti memisahkan inti sel dan sitoplasma. Membran inti terdiri atas dua lapisan membran dan pada daerah-daerah tertentu terdapat pori-pori yang berfungsi sebagai tempat keluar masuknya bahan kimia. Lapisan membran yang sebelah luar berhubungan dengan membran retikulum endoplasma. Inti sel mengandung nukleoplasma, yaitu suatu cairan kental berbentuk jeli. Bahan kimia yang terdapat pada nukleoplasma antara lain larutan fosfat, gula ribosa (pentosa), protein, nukleotida, dan asam nukleat. Pada nukleoplasma terdapat benang-benang kromatin yang tampak jelas pada saat pembelahan sel membentuk kromosom. Fungsi kromosom yaitu mengontrol aktivitas hidup sel dan pewarisan sifat-sifat yang diturunkan. Nukleolus merupakan suatu benda berbentuk bulat terdiri dari filamen dan butiran-butiran. Secara kimiawi nukleolus terdiri atas ADN, ARN, dan protein. Nukleolus berfungsi untuk sintesa ARN ribosom.

Sitoskeleton merupakan rangka sel. Sitoskeleton terdiri dari 3 macam yaitu : mikrotubul, mikrofilamen, dan filamen intermediet. Mikrotubul tersusun atas dua molekul protein tubulin yang bergabung membentuk tabung. Fungsi mikrotubul memberikan ketahanan terhadap tekanan pada sel, perpindahan sel (pada silia dan flagella), pergerakan kromosom saat pembelahan sel (anafase), pergerakan organel, membentuk sentriol pada sel hewan. Mikrofilamen merupakan filamen protein kecil yang tersusun atas dua rantai protein aktin yang terpilin menjadi satu. Mikrofilamen memiliki fungsi memberi tegangan pada sel, mengubah bentuk sel, kontraksi otot, aliran sitoplasma, perpindahan sel (misalnya pseudopodia) dan pembelahan sel. Filamen intermediet tersusun atas beberapa macam protein yang membentuk serat seperti kabel. Protein yang menyusunnya bermacam-macam seperti keratin pada molekul protein rambut. Fungsinya memberi tegangan sel, mempertahankan posisi nukleus dan organel tertentu.



Gambar 9. Tiga komponen penting dari sitoskeleton: mikrotubul, filamen mikro, dan filamen intermediet. Pada gambar di atas ditunjukkan struktur dan ukuran dan masing-masing fungsinya. Pada gambar bawah tampak bagaimana peran sitoskeleton yang meyokong vili.



Gambar 10. Pada gambar ini juga ditunjukkan fungsi lainnya dari sitoskeleton sebagai tempat berjalannya vesikula atau organel yang harus berpindah dari titik yang satu ke titik yang lainnya dengan tepat di dalam sel.

C. Mitokondria dan Kloroplas sebagai organel pembangkit energi

1. Mitokondria

Mitokondria hati umumnya mempunyai lebar kira-kira 0,5 – 1,0 um dan panjang kira-kira 3,0 um. Ukuran ini khas bagi tipe mitokondria yang bebas dalam sitoplasma seperti pada hati, ginjal dan pankreas. Dalam jaringan lain yang kebebasan mitokondria lebih terbatas, terdapat bentuk dan ukuran yang lebih bervariasi.

Di dalam sel mitokondria terdapat secara acak, misal dalam hati; atau menunjukkan asosiasi ultrastruktur, misal dalam otot lurik yang mitokondrianya tersusun secara teratur di antara serabut-serabut otot dan posisi mitokondria dalam daerah flagel spermatozoa.

Jumlah mitokondria tiap sel sangat bervariasi sesuai dengan tipe sel yaitu berkisar antara tidak ada (nol) hingga ratusan ribu. Ganggang tidak berwarna *Leucothrix* dan *Vitreoscilla* tidak mempunyai mitokondria. Spermatozoa dan flagellata tertentu seperti *Chromulina* hanya mempunyai satu mitokondria per sel; hati kurang lebih mempunyai 800 mitokondria per sel; beberapa telur “sea urchin” (bulu babi) dan amuba Chaos mempunyai hingga 500.000 mitokondria per sel. Pada beberapa keadaan terdapat kaitan langsung antara jumlah mitokondria per sel dengan keperluan metabolisme sel.

Mitokondria berputar dan berubah bentuk menjadi bermacam-macam konformasi. Satu mitokondria dapat menunjukkan perubahan bentuk dalam perjalanan waktu. Pada otot lurik dan sel-sel lain yang mitokondrianya tidak terdapat bebas dalam sitosol plastisitas strukturnya berkurang. Plastisitas dan gerak mitokondria dalam sel menjamin penyebaran ATP di seluruh sel yaitu di tempat-tempat yang memerlukan ATP.

Mitokondria dibatasi oleh dua membran yaitu membran luar dan membran dalam. Masing-masing membran mempunyai ciri membran unit. Kedua membran itu tidak bersinambungan. Membran dalam membentuk krista. Karena struktur membrannya rangkap maka mitokondria mempunyai dua ruangan yaitu ruang antar membran dan matriks. Ruang antar membran sangat sempit tetapi luas permukaannya besar karena melipatnya membran dalam. Matriks nampak halus pada perbesaran rendah, tetapi pada perbesaran kuat, beberapa bahan partikel terlihat antara lain granula matriks, ribosom, poliribosom dan filamen DNA.

Struktur morfologi yang paling bervariasi adalah krista. Dalam satu sel tertentu krista biasanya seragam dan khas bagi sel itu. Dalam tipe-tipe sel yang berbeda, bentuk krista sangat berbeda.

Sebagian besar mitokondria mempunyai krista seperti lamela atau seperti tubul. Krista yang berbentuk seperti lamela adalah yang paling umum, lamela relatif paralel atau bertumpuk teratur. Sebagai contoh yaitu mitokondria pankreas dan ginjal.

Variasi lain adalah krista “fenestrated” (berlubang-lubang). Contohnya adalah mitokondria otot terbang insekta. Pada mitokondria lain, krista terutama berbentuk tubul, misal sebagian besar protozoa dan sel-sel mamalia penghasil steroid. Sebab terjadinya perbedaan bentuk krista belum diketahui. Efek umum krista adalah menambah luas permukaan membran dalam, sehingga sel menerima enzim respirasi yang cukup untuk memenuhi permintaan ATP.

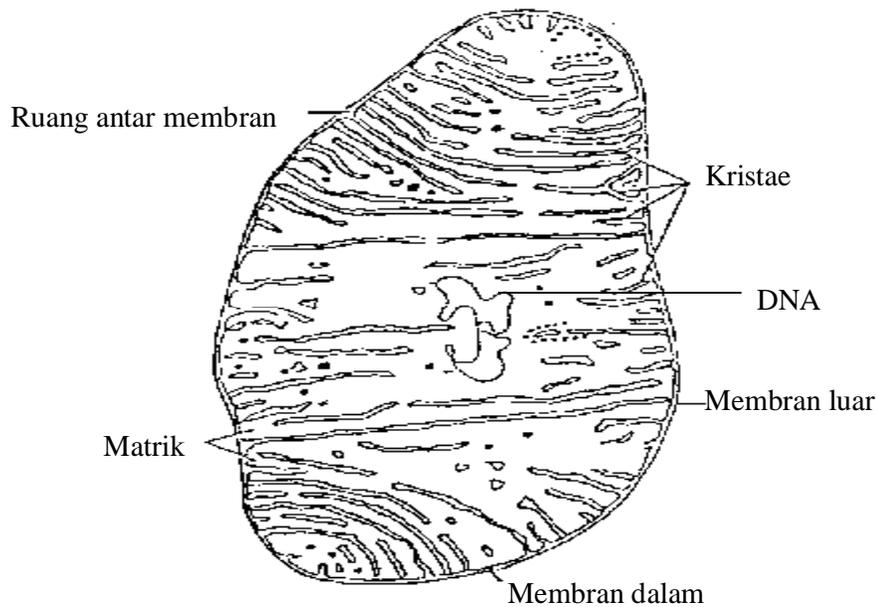
Pada mitokondria utuh, secara kuantitatif air merupakan komponen paling dominan. Air berperan dalam reaksi enzimatik, selain sebagai medium fisis agar metabolit dapat berdifusi di antar sistem enzim.

Komponen utama berat kering mitokondria adalah protein. Persentase protein berkaitan dengan jumlah membran dalam yang ada, karena banyak protein enzimatik dan struktural terdapat dalam membran dalam. Pada beberapa mitokondria, membran dalam dapat mengandung 60% protein total organel. Berdasarkan penyebaran enzim dalam mitokondria tikus, terlihat bahwa membran dalam mengandung 21,3% protein total dan membran luar 4% protein total mitokondria. Menurut perhitungan ini 67% protein terdapat dalam matriks dan sisanya dalam ruang antar membran. Protein mitokondria dapat dikelompokkan dalam dua bentuk, yaitu protein dapat larut dan protein tidak dapat larut. Protein dapat larut terutama adalah enzim matriks dan beberapa protein membran perifer (ekstrinsik). Protein tidak dapat larut biasanya adalah protein integral dan protein enzim lainnya.

Komposisi lipida mitokondria sangat bervariasi bergantung kepada sumbernya, tetapi pada semua keadaan fosfolipida adalah bentuk yang sangat dominan, umumnya lebih dari $\frac{3}{4}$ total lipida adalah fosfolipida. Fosfatidilkolin dan fosfatidiletanolamin umum terdapat dalam jumlah banyak, tetapi kardiolipin terdapat dalam tingkat yang nyata dan kolesterol yang terendah. Banyaknya kardiolipin dan sedikitnya kolesterol secara komposisi, membedakan membran mitokondria dari membran sel yang lain.

Perbedaan yang jelas antar membran dalam dan luar adalah bahwa membran dalam mengandung kardiolipin lebih banyak. Kolesterol terutama terdapat di membran luar. Penyebaran yang berbeda ini yang tentunya berhubungan dengan struktur dan fungsi, belum dimengerti dengan jelas. Umumnya, membran luar lebih menyerupai membran intrasel yang lain dari pada membran dalam.

Selain lipida, sejumlah molekul organik kecil yang berbeda terdapat berasosiasi dengan membran mitokondria antara lain molekul redoks yang berpartisipasi dalam transfer elektron. Ubikinon (koenzim Q), flavin (FMN dan FAD) dan piridin nukleotida (NAD⁺) biasanya terikat membran yaitu berasosiasi dengan membran dalam.



Gambar 11. Struktur umum dari mitokondria dengan bagian-bagiannya.

Kurang lebih 120 macam enzim telah diidentifikasi terasosiasi dengan mitokondria. Kira-kira 37% merupakan enzim oksidoreduktase, 10% adalah ligase dan kurang dari 9% adalah hidrolase.

Monoaminoksidase merupakan enzim marker membran luar. Membran dalam lebih kompleks dari pada membran luar. Suksinat dehidrogenase adalah enzim marker membran dalam. Enzim-enzim tranpor elektron dan fosforilasi oksidatif terasosiasi dengan membran dalam.

Matriks mengandung sekumpulan enzim daur asam sitrat (daur Krebs) dan enzim yang terlibat dalam sintesis protein, asam nukleat dan asam lemak. Semua enzim daur asam sitrat terdapat bebas dalam matriks kecuali suksinat dehidrogenase, yang merupakan komponen membran dalam. Jadi, agar piruvat dapat teroksidasi sempurna menjadi CO_2 dan H_2O dengan bantuan enzim-enzim matriks, suksinat harus mengadakan kontak dengan membran dalam sebelum dapat dioksidasi menjadi fumarat.

DNA mitokondria terdapat dalam bentuk sirkular tunggal dan “catenated”, yaitu dua atau lebih untai berkaitan bersama-sama seperti kaitan dalam rantai, di dalam matriks mitokondria. Satu mitokondria biasanya mempunyai 2-6 kopi DNA, sehingga jumlah mtDNA per sel mencapai 10^8 atau bergantung kepada jumlah mitokondria dalam tipe sel tertentu.

Peran mtDNA dalam mitokondria sama dengan peran DNA inti sel eukariot, yaitu memproduksi rRNA, tRNA dan mRNA. Sistem genetika mitokondria sangat bergantung kepada sistem genetika inti.

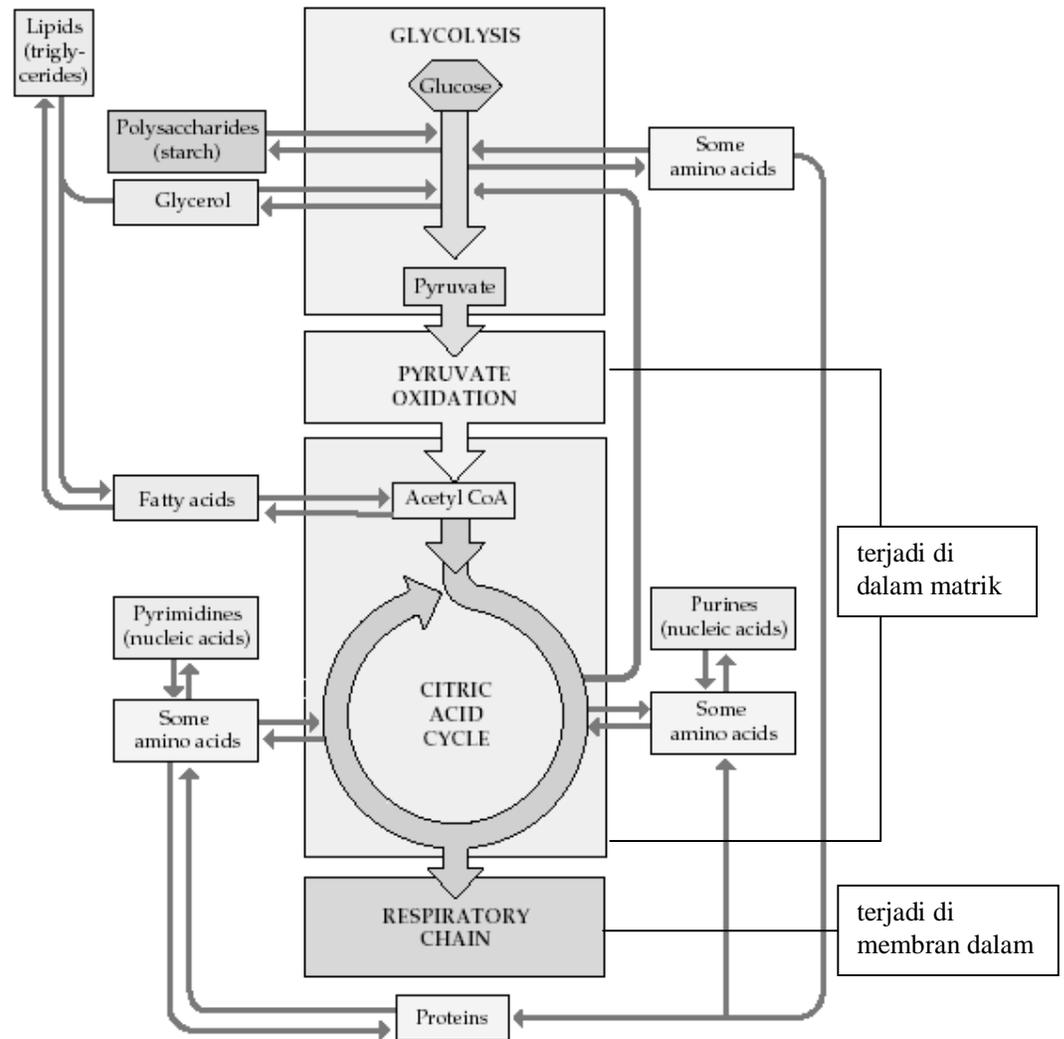
Mekanisme transkripsi dan translasi di dalam mitokondria bergantung kepada genetik inti. Bahan- bahan tertentu seperti rRNA, tRNA dan mRNA tidak bergantung kepada inti. Tetapi, protein tertentu ditentukan oleh inti seperti protein ribosom, RNA polimerase, DNA polimerase, tRNA aminoasil sintetase dan faktor- faktor sintesis protein. Fenomena yang menarik adalah bahwa mtDNA tidak dapat diekspresi dan direplikasi tanpa bantuan inti.

Sifat semiotonom mitokondria terlihat dari cara sintesis ribosom mitokondria. RNA ribosom mitokondria ditranskripsi di mtDNA sedang protein ribosom mitokondria ditranskripsi dari DNA inti, kemudian ditranslasi pada ribosom sitoplasma dan akhirnya diangkut ke dalam mitokondria untuk perakitan partikel nukleoprotein (ribosom).

Mitokondria tumbuh dengan penambahan komponen-komponen pada struktur tua, akibatnya satu mitokondria membelah menjadi dua. Satu atau lebih krista yang terletak di tengah-tengah tumbuh memanjang melewati matriks dan kemudian berfusi dengan membran di depannya sehingga membentuk satu pemisah. Matriks dipisahkan menjadi dua kompartemen. Membran luar berinvaginasi pada bidang pemisah, setelah itu mengadakan konstiksi sehingga terjadi fusi antara kedua membran dalam. Dengan demikian terbentuklah dua mitokondria anak yang terpisah.

Seluruh proses tumbuh yang ditunjukkan oleh bertambahnya luas permukaan membran dan pembelahan, diatur oleh inti.

Diferensiasi mitokondria menjadi organel yang berfungsi bergantung kepada genom mitokondria dan bekerja bersama-sama genom inti dalam mengarahkan perakitan enzim respirasi. Pada tingkat inilah terlihat dengan jelas saling ketergantungan kedua genom sel itu. Tidak satupun dari genom yang berfungsi secara terpisah dapat mendiferensiasi mitokondria.



Gambar 11. Rangkaian respirasi sel yang melibatkan mitokondria, oksidasi asam piruvat, siklus asam sitrat, dan rantai respirasi terjadi pada mitokondria. Dalam gambar ditunjukkan juga berbagai sumber energi yang dapat digunakan dalam menghasilkan energi.

2. Kloroplas

Sel sebagian besar tumbuhan tinggi umumnya mengandung antara 50 – 200 kloroplas. Kalau dilihat dari samping bentuknya seperti lensa dengan satu sisi/permukaan cembung dan permukaan lain cekung, datar atau cembung. Sumbu panjang kloroplas itu sering berukuran 5–10 μm . Dilihat dari atas kloroplas nampak sebagai elips (Gambar 8).

Pada tumbuhan rendah dan terutama pada beberapa mikroorganisme, bentuknya sangat berbeda dari yang terlihat pada tumbuhan tinggi dan sering jumlahnya terdapat sedikit.

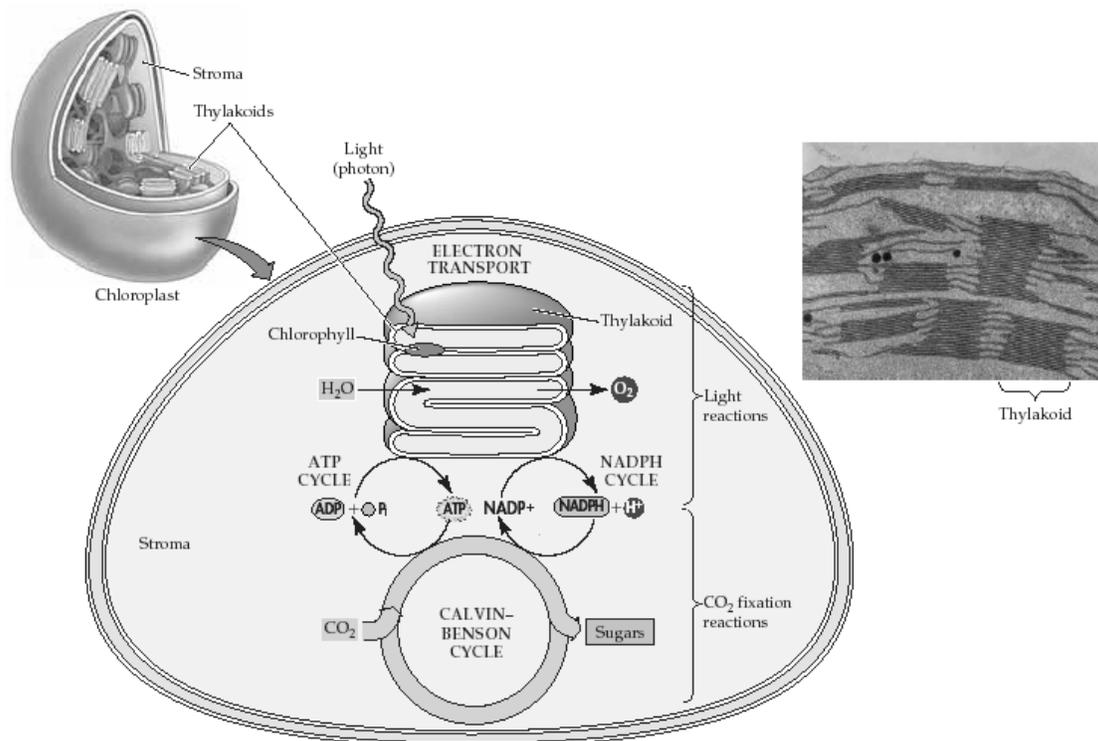
Sebagai contoh:

Euglena gracilis : kurang lebih 10 kloroplas/sel

Chlamydomonas : satu kloroplas/sel, berbentuk mangkuk

Spirogyra : satu kloroplas/sel, berbentuk pita yang memanjang di seluruh sel

Pada dasarnya, kloroplas (Gambar 9) dibatasi oleh dua sistem membran yaitu membran luar dan membran dalam, yang dipisahkan oleh ruang antar membran. Membran dalam dihubungkan dengan suatu kompleks membran yaitu membran bagian dalam yang melintasi bagian dalam kloroplas. Dengan demikian, organel itu adalah suatu sistem tiga membran.



Gambar 12. Struktur kloroplas, secara skematis tampak bagian-bagian dari kloroplas dan fungsinya masing-masing.

Bentuk membran bagian dalam yang paling umum adalah satu kantung yang dipipihkan yang disebut tilakoid. Tilakoid itu terdapat dalam stroma. Tumpukan beberapa tilakoid disebut grana, sehingga masing-masing tilakoidnya disebut tilakoid grana. Tilakoid yang memanjang ke stroma disebut tilakoid stroma. Bagian dalam tilakoid disebut lokulus. Membran-membran pada kloroplas membatasi tiga kompartemen yang terpisah yaitu ruang antar membran, stroma dan lokulus.

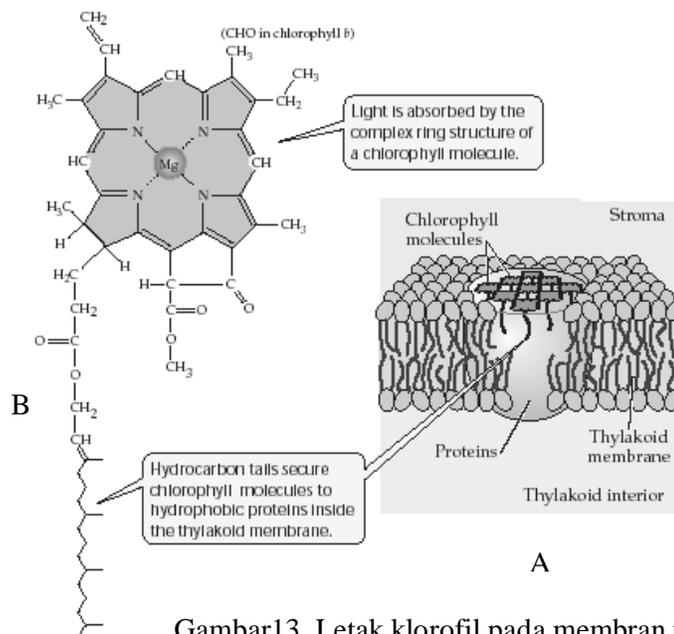
Reaksi-reaksi fotosintesis bergantung cahaya berlangsung dalam tilakoid sedang reaksi asimilasi (fiksasi) CO₂ terjadi dalam stroma.

Membran luar kloroplas tumbuhan tinggi dipisahkan dari membran dalam oleh ruang kira-kira 10 nm. Membran tersebut permeabel bagi bermacam-macam senyawa dengan berat molekul rendah seperti nukleotida, fosfat organik, derivat-derivat fosfat, asam karboksilat dan sukrosa. Dengan demikian ruang antar membran mengandung molekul-molekul nutrisi sitosol.

Membran dalam bekerja sebagai pembatas fungsional antara sitosol dan stroma. Membran dalam tidak permeabel bagi sukrosa dan berbagai anion, misal di- dan trikarboksilat, fosfat dan senyawa-senyawa seperti nukleotida dan gula fosfat.

Membran dalam permeabel bagi CO_2 dan asam-asam monokarboksilat tertentu, misal asam asetat, asam gliserat dan asam glikolat. Membran dalam kurang permeabel bagi asam amino. Membran dalam mengandung protein pembawa tertentu untuk mengangkut fosfat, fosfoglisarat, dihidroksiaseton fosfat, dikarboksilat dan ATP.

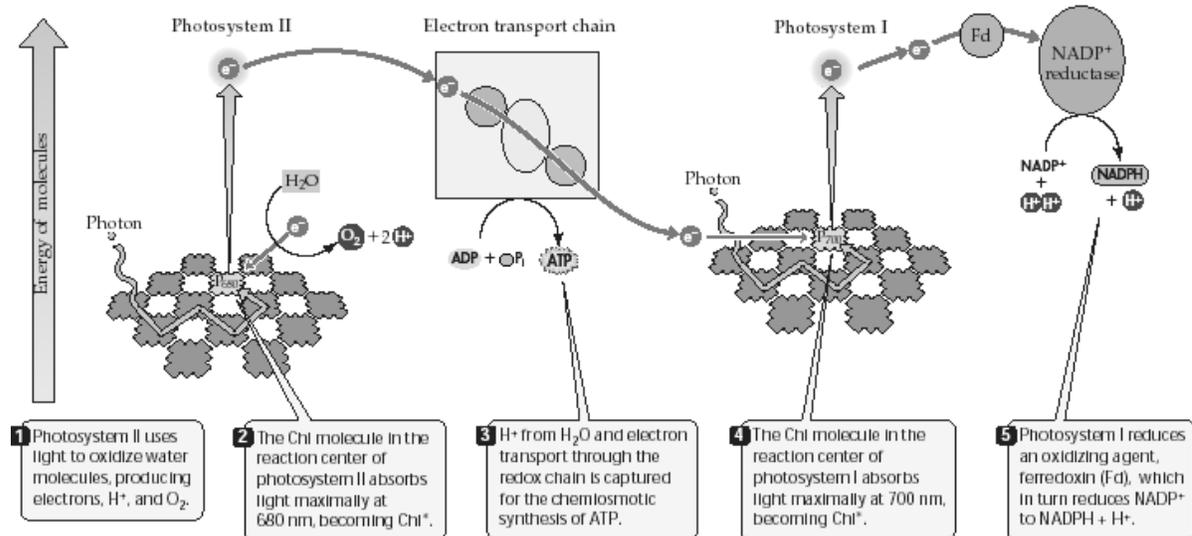
Sistem membran bagian dalam yang terdapat dalam stroma membentuk suatu jalinan yang sangat kompleks. Membran tilakoid mengandung enzim lengkap untuk melaksanakan reaksi-reaksi fotosintesis yang bergantung cahaya. Membran tilakoid merupakan tempat klorofil, pembawa-pembawa elektron dan faktor-faktor yang menggabungkan transpor elektron dengan fosforilasi.



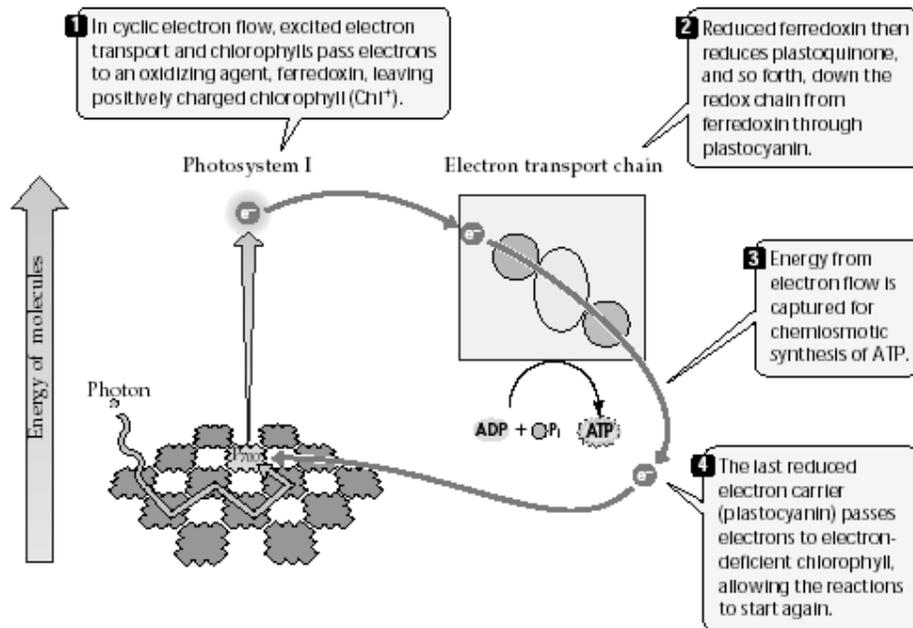
Gambar13. Letak klorofil pada membran tilakoid grana (A) dan struktur klorofil yang berintikan Mg pada kepalanya.

Stroma mengandung enzim-enzim yang penting untuk melaksanakan asimilasi CO₂ dan mengubahnya menjadi karbohidrat. Beberapa macam partikel juga terdapat seperti butir pati, plastoglobulin yaitu tempat penyimpanan lipida, plastokinon dan tokoforilkinon. Stroma juga mengandung ribosom dan DNA.

Membran tilakoid kira-kira 50% terdiri atas lipida, kurang lebih 10% dari padanya adalah fosfolipida. Lipida yang khas bagi klorofil adalah galaktolipida dan sulfolipida, yang masing-masing 45% dan 4% dari total lipida. Selain itu terdapat molekul-molekul lipida seperti klorofil, karotenoid dan plastokinon. Jumlah klorofil kira-kira 20% dari lipida total membran tilakoid.



Gambar14. Peristiwa transfer elektron non siklik dan fotolisis air yang terjadi pada tilakoid grana, terdapat dua fotosistem, fotosistem I dan II pada saat reaksi terang.



Gambar15. Menunjukkan bagaimana peristiwa transfer elektron siklik pada Fotosistem I produknya bukan NADPH tetapi ATP.

Kloroplas mempunyai tingkat otonomi di dalam sel yang dalam banyak hal sama dengan mitokondria. Dalam stroma terdapat DNA. Dengan genom itu sejumlah protein khas kloroplas dibuat dengan menggunakan ribosom yang juga terdapat dalam stroma. Kloroplas juga melakukan replikasi.

Seluruh genom kloroplas terdapat di dalam satu molekul DNA kloroplas (ctDNA) yang sirkular. Biasanya DNA terdapat dalam kopi berganda sebanyak 20-60 ctDNA per kloroplas. Panjang DNA sering 45 um, tetapi bergantung kepada spesies dapat berkisar antara 40-60 um.

ctDNA cukup besar sehingga dapat mengkode lebih dari 150 protein. Masing-masing dengan berat molekul 50.000 dalton. Ini kira-kira sama dengan jumlah berbagai protein yang terdapat dalam kloroplas, baik protein struktural maupun enzim yang penting untuk fotosintesis, sintesis karbohidrat, lipid dan protein. Namun kloroplas tidak mengkode semua protein itu sendiri. Replikasi dan diferensiasi dikontrol sebagian oleh genom inti dan sebagian oleh ctDNA.

Banyak protein stroma dan protein membran tilakoid dikode seluruhnya oleh DNA inti dan dibentuk di ribosom sitoplasma. Misalnya subunit kecil enzim ribulosa difosfat karboksilase dan enzim-enzim daur Calvin, asam nukleat polimerase dan aminoasil-tRNA sintetase disintesis disitoplasma di bawah arahan inti dan dimasukkan ke dalam kloroplas.

Dengan demikian, kloroplas bergantung kepada genom inti untuk melaksanakan daur Calvin dan fotofosforilasi.

Kloroplas berasal dari kloroplas yang sudah ada selama daur hidup tumbuhan tinggi dan diteruskan ke sel-sel turunannya selama pembelahan sel. Tipe pembelahan sama seperti pada mitokondria. Penyempitan terjadi dekat tengah-tengah plastida dan kedua turunan dihasilkan dari pemisahan membran-membran di daerah itu.

Umumnya pembelahan kloroplas tidak serempak di dalam jaringan atau sel tumbuhan. Sejumlah faktor-faktor lingkungan mempengaruhi replikasi dan diferensiasi. Karena itu puncak replikasi akan terlihat apabila keadaan lingkungan optimal.

Referensi

- Karp, G., 2007. *Cell and Molecular Biology concepts and experiments*, John Wiley & Sons, Inc. (Asia).
- Thorpe, N.O, 1984. *Cell Biology*. John Wiley & Sons, Inc, NewYork.
- Alberts, B., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts and J.D. Watson, 1989, *Molecular Biology of the cell*, Garland Publ., Inc, New York.
- Campbell, N.A., J.B. Reece, L.G. Mitchell, 2002. *Biologi*. Erlangga. Jakarta.