

**MODUL 02**

**FISIOLOGI**

**(SFS310)**

Materi 02

Pengantar: Fisiologi Sel

Disusun Oleh

1. Kesit Ivanali, S.Ft, M.Biomed

**UNIVERSITAS ESA UNGGUL**

**2019**

**Teori dan Penemuan sel**

Sel adalah bahan organic penyusun semua organism multiseluler struktur dan fungsi organism akhirnya bergantung pada karakteristik structural dan kemampuan fungsional kolektif sel-sel penyusun nya. Semua sel baru dan kehidupan baru berasal hanya dan sel yang sudah ada. Karena kontinuitas kehidupan inilah ,sel pada semua organism pada hakikat nya memiliki struktur dan fungsi serupa .

di lihat dengan mata telanjang. partikel kecil yang masih dapat di lihat dengan mata yang berdiameter rata-rata 10 hingga 20 mikrometer =seperjuta meter .

Sebagian besar memiliki 3 bagian utama: membrane plasma, yang membungkus sel : nukleus , yang mengandung materi genetik sel : dan sitoplasma , bagian interior sel yang tidak ditempati nucleus .

**Membran Plasma Membungkus Sel**

**Membran plasma adalah** struktur membranosa tipis yang membungkus setiap sel. Dan terutama tersusun atas molekullipid (lemak) dan bertabur protein . sawar ini memisah ka nisi sel dari lingkungan sekitar , menbran plasma menjaga cairan intrased (CIS) agar tidak bercampur dengan cairan ekstrasel (CES) di luar sel. Membrane plasma bukan sekedar sawar mekanis penahan isi sel: protein nya secara selektif mengendalikan pergerakan molekulantara CIS dan CES .

**Nukleus Mengandung DNA**

**Nukleus** yang normal nya merupakan komponen tunggal sel yang paling besar dan terorganisasi , dapat terlihat sebagai struktur bulat atau oval yang biasa nya terletak dekat bagiantengah sel . struktur itu di kelilingi membran lapis-ganda ,

S**elubung inti ,** yang memisahkan nucleus dari bagian sellain nya. Selubung inti di tembus oleh banyak **pori inti** yang memungkin kan lalu-lintas antara nukleus dan sitoplasma .

Nukleus berisi materi genetik sel , **asam deoksiribonukleat (deoxyribonucleic acid, DNA)** yang memiliki 2 fungsi penting :

1. Mengarahkan sintesis protein
2. Berperan sebagai cetak biru genetik selama replikasi sel.

Asam deoksiribonukleat menyediakan kode atau “instruksi” untuk mengarahkan sintesis protein structural atau enzimatik spesifik di dalam sel .

Tiga jenis **asam ribonukleat (ribonucleic acid, RNA)** berperan dalam sintesis protein. Pertama, kode genetik DNA untuk protein tertentu di transkripsi menjadi molekul **RNA pelantara (messenger RNA, mRNA)** yang meninggalkan nukleus melalui pori inti. Di dalam sitoplasma , mRNA mengirimkan pesan bersandi ke **ribosom**, yang “membaca” sandi mRNA dan menerjemahkan nya menjadi sekuens asam aminountuk protein terpilih yang sedang di sintesis. **RNA ribosomal** (**ribosomal RNA, rRNA),** merupakan salah satu komponen penting ribosom. **RNA transfer (transfer RNA, tRNA)** yang memindah kan asam-asam amino yang sesuai di dalam sitoplasma ketempat yang telah di tentukan dalam protein yang tengah di buat .

**Sitoplasma terdiri dari berbagai organel, sitoskeleton, dan sitosol.**

**Sitoplasma** adalah bagian interior sel yang tidak di tempat inukleus. Sitoplasma mengandung sejumlah struktur organel(“organ mini”sel) khusus yang sitoskeleton (kerangka protein yang berfungsi sebagai”tulang dan otot” sel) yang tersebar di dalam sitosol (cairan kompleks mirip gel).

**Organel** merupakan struktur individual yang sangat terorganisasi dan menjalankan fungsi khusus di dalam sel. **Organel bermembran** adalah kompartemen tersendiri di dalam sel yang terbungkus membran mirip membran plasma . karena itu, isi sebuah organel membran terpisah dari sitosol sekelilingnya dan isi dari organel lain. Hampir semua sel manusia mengandung 5 jenis utama organel membran – reticulum endoplasma, kompleks golgi, lisosom, peroksisom, dan mitokondria . **organel tak bermembran** tidak di bungkus membrane sehingga berkontak langsung dengan sitosol. Organel tak-bermembran meliputi ribosom, vault, dan sentrio. **Organel tak-bermembran** adalan struktur terorganisasi yang menjalankan fungsi spesifik di dalam sel. Organel serupa pada semua sel, meskipun beberapa variasi terjadi bergantung pada kemampuan khusus tiap jenis sel.

**Sitoskeleton** adalah sistem jalinan serat dalam tubulus protein yang meluas ke semua bagian sitosol. Jalinan sitoskeleton yang kompleks ini member i bentuk pada sel, menunjang organisasi internal sel, dan mengatur berbagai pergerakan sel.

Bagian sitoplasma sisanya yang tidak di tempati organel dan sitoskeleton terdiri atas **sitosol** (“cairan sel”). Sitosolberupa massa semi-cair yang mempunyai gel . banyak reaksi kimia yang satu sama lain sejalan berlangsung di sitosol.

**Retikulum Endoplasma dan Sintesis Pemisahan**

**Retikulum endoplasma**  **(RE)**  adalah sistem membran kompleks berisi cairan yantersebar luas di seluruh sitosol. RE terutama berperan sebagai pabrik utama penghasil protein dan lipid. Dua jenih retikulum endoplasma , RE halus dan RE kasar. **RE kasar** terdiri atas tumpukan kantong saling berhubungan yang relative gepeng , sedang kan **RE halus** berupa jalinan tubulus-tubulus halus. RE halus dan RE kasar berhubungan satu sama lain.

**Retikulum Endoplasma Kasar Menyintesis protein untuk sekresi dan pembentukan membrane**

Permukaan luar membrane RE kasar bertaburkan partikel –partikel kecil yang member tampilan kasar atau granular pada mikroskop cahaya. Partikel-partikel ini adalah **ribosom**  yaitu “meja kerja”tempat berlangsung nya sintesis protein. Kita akan mendiskusikan struktur dan fungsi ribosom secara lebih terperinci di bahasan berikut nya.

Retikulum endoplasma kasar, bersama ribosom nya , menyintesis dan membebaskan berbagai protein baru ke dalam lumen RE, ruang yang berisi cairan yang terbungkus membrane RE. protein-protein ini menjalan kan satu dari dua fungsi berikut:

1. Sebagai protein di tujukan untuk di pindahkan ke luar sel sebagai produk sekretorik, missal nya hormone atau enzim,
2. Protein lainnya di gunakan untuk membangun membran sel baru (membran plasma atau membran organel ) atau struktur sel lain nya, seperli limosom.

**Retikulum endoplasma halus menggemas protein baru di dalam vesikel transport.**

Retikulum endoplasma halus tidak mengandung ribosom sehingga tampak “halus “. Karena tidak mengandung ribosom, RE halus tidak terlihat dalam sintesis protein. RE halus memiliki fungsi lain yang berbeda-beda pada berbagai jenis sel.

Kontras dengan RE halus dengan kebanyakan sel, beberapa jenis sel khusus malah mengandung banyak RE halus, yang memiliki peran tambahan sebagai berikut :

1. Retikulum endoplasma halus banyak terdapat di sel yang di khusus kan untuk metabolism lipid –misalnya, sel yang menyereksi hormone steroid turunan lipid. Dinding membran RE halus, seperti pada RE kasar, mengandung enzim-enzim penyintesislipid. Jika sendirian, enzim penghasil lipid didinding membran RE kasar tidak mampu menyintesis cukup banyak lipid untuk mempertahan kan kadar sekresi hormone steroid yang ade kuat.
2. Di sel hati, RE halus mengandung enzim-enzim khusus untuk mendetoksifikasi bahan-bahan berbahaya yang di hasil kan melelui proses metabolisme di dalam asing lainya.
3. Sel otot memiliki RE halus termodifikasi yang kompleks di kenal sebagai retikum sarkoplasma, tempat penyimpan kalsium yang di gunakan dalam proses kontraksi otot.

**Kompleks Golgi dan Eksositosi.**

**Kompleks Golgi** berkaitan erat dengan retikulum endoplasma. Setiap kompleks golgi tersusun atas tumpukan kantong gepeng sedikit melengkung yang terbungkus membran . kantong-kantong di dalam setiap tumpukan Golgi tidak bersentuhan satu sama lain. Kantong gepeng ini terbentuk tipis di tengah, tetapi melebar atau menggembung pinggiran nya. Jumlah kompleks Golgi bervariasi, bergantung pada jenis sel.

**Vesikel transpor mengangkut muatan nya ke kompleks Golgi**  **untuk pengolahan lebih lanjut.**

Sebegian besar molekul yang baru di sintesis dan terlepas dari RE halusmemasuki tumpukan Golgi . saat vesikel transpor mencapai tumpukan Golgi, membran vesikel menyatu dengan membran yang terdekat dengan pusat sel. Membran vesikel membuka dan terintegrasi dengan membran Golgi, lalu isi vesikel di bebaskan ke dalam kantong Golgi.

Bahan mentah yang baru di sintesis dari RE ini bergerakdengan perantaraan vesikel yang melintasi lapisan-lapisan tumpukan Golgi, dari kantong terdalan yang terdekat. Dengan RE hingga kantong terluar di dekat membran plasma. Selama transit ini, berlangsung dua fungsi penting yang saling berkaitan:

1. Pengelola bahan mentah menjadi produk jadi. Di dalam kompleks Golgi, protein “mentah” dari RE di modifikasi menjadi bentuk akhir (sebagai contoh, dengan melekat kan karbohidrat ke protein tersebut).
2. Penyortiran dan pengaran produk jadi menuju destinasi akhirnya. Kompleks Golgi bertanggung jawab menyortir dan memisah kanproduk berdasar kan fungsi nya dan destinasi nya. Seperti produk yang akan di sekresikanke luar sel atau yang akan di gunakan untuk membentuk membran plasma yang baru.

**Kompleks Golgi menggemaskan vesikel sekretorik untuk di keluarkan melalui eksositosis.**

Produk jadi mengumpul di dalam pinggiran kantong-kantong kompleks Golgi yang melebar. Pinggiran kantong terluar kemudian melepas membentuk vesikel terbungkus- membran yang mengandung produk tertentu. Agar setiap jenis produk mencapai tempatberfungsi nya masing-masing, setiap jenis vesikel membawa jenis spesifik sebelum melepaskan nya (seperti secarik surat yang di taruh di dalam amplop ) vesikel-vesikel bermuatan spesifik yang destinasi nya berbeda-beda terbungkus di dalam membran yang mengandung berbagai protein permukaan. Setiap Janis protein berfungsi sebagai **penanda pelabuhan (docking marker)** spesifik (seperti alamat di amplop surat ) .setiap vesikel dapat” berlabuh” sepertti kunci dan gembok serta “mengosongkan”muatan spesifik nya hanya di **penerima penanda pelabuhan (docking marker acceptor )** yang sesuai, yakni protein yang berada hanya destinasi yang tepat di dalam sel ( seumpama alamat rumah ).jadi, setiap produk Golgi dapat mencapai tempat berfungsi nya masing-masingkarena di sortir dan di kirim kan layak nya amplop berisi surat yang di kirim kan sesuai dengan alamat yang di kirim kan saja.

**Lisosom dan Endositosis**

**Lisosom** merupakan organel kecil degradatif terbungkus membran yang menguraikan molekul organik (lys bearti” penguraian “;some bearti “badan”). Tidak seperti ciri semua organel lain, yang struktur nya seragam, ukuran dan bentuk lisosom beragam bergantung pada isi yang di cerna. Lisosom berupa badan bulat atau oval yang kecil (garis tengah 0,2 hingga 0,5um ).

**Lisosom mencerna bahan ekstraseluler yang masuk ke sel melalui fagositosis**

Lisosom terbnetuk dari penonjolan kompleks Golgi. Sebuah lisosom mengandung sekitar 40 macam **enzim hidrolitik** kuat yang di sintesis di RE, lalu di angkut ke kompleks Golgi untuk di kemas di dalam lisosom yang menonjol tersebut. Enzim ini mengatalisis **hidrolisis,** reaksi yang menguraikan molekul organik melalui penambahan air (H20)di tempat ikatan (hidrolisis bearti “memisahkan dengan air”; lihat h.A-13). Di dalam lisosom, molekul organic berupadebris sel dan benda asing, seperti bakteri, yang terbawa masuk ke sel.

Bahan ekstraseluler yang di serang enzim lisosomaldi bawa ke dalam sel melalui proses fagositosis, salah satu jenis endositosis. **Endositosis ,** kebalikan dari eksositosis,merujuk pada proses memasukan bahan ektraseluler ke dalam sel (endo artinya “di dalam” ). Endositosis dapat berlangsung dalam tiga cara –pinositosis, endositosis ,diperantarai-reseptor,dan fagositosis-bergantung pada kandungan bahan yang di masukan.

**PINOSITOSIS** pada **pinositosis** (“sel minum”), tetesan CES di serap secara non selektif. Pertama, membran plasma melengkung ke dalam, membentuk kantong berisi sedikit CES. Membran plasma kemudian menyegel permukaan kantong, memerangkap isinya dalam sebuah **vesikel endositis** kecil intraseluler ,atau **endosom.** Dinamin , protein, yang bertanggung jawab atas vesikel endositotik, yang membentuk cincin yang melingkari dan”memuntir leher” kantong, melepas kan vesikel dari membran plasma ektra yang di tambah kan ke permukaan sel sewaktu eksositosis.

**ENDOSITOSIS DIPERANTARAI RESEPTOR** tidak seperti pinositosis ,yang melibat kan penyerapan non selektif cairan sekitar, **ENDOSITOSIS DIPERANTARAI-RESEPTOR** merupakan proses sangat selektif yang memungkinkan sel memasukan molekul besar spesifik yang di butuhkan dari lingkungan nya. Endositosis diperantarai-reseptor di picu oleh peningkatan molekul target spesifik, bagi molekul tersebut. Pengikatan ini menyebabkan membran plasma di tempat tersebut melengkung ke dalam, kemudian menyegel permukaan nya, memerangkap molekul yang terikat.

**Fagositosis** pada **fagositesis (“sel makan”),** partikel multimolekul besar di masukan ke sel. Sebagian besar sel tubuh melangsungkan pinositosis, banyak yang menjalan kan endositosis diperantarai-reseptor, tetapi hanya beberapa sel khusus yang mampu melakukan fagositosis, yang paling terkenal adalah jenis-jenis tertentu sel darah putih yang berperanpenting dalam mekanisme pertahanan tubuh. Ketika sebuah sel darah putih bertemu dengan partikel besar, seperti bakteri atau debris jaringan, sel tersebut menjulurkan permukaan nya; juluran tersebut di kenal sebagai**; pseudopodia (“kaki semu “)** yang mengelilingi atau menelan partikel dan memerangkap di sebuah vesikel yang terbentuk di dalam sel. Selanjut nya lisosommenyatu dengan membran vesikel tersebut, tempat enzim-enzim tersebut aman menyerang bakteri atau bahan lain yang terperangkap tanpa merusak bagian sel lainnya.

**Lisosom menyingkirkan organel yang rusak.**

Lisosom juga dapat menyatu dengan organel yang sudahusang atau rusak untuk menyingkirkan bagian sel yang sudah tidak berguna tersebut. Proses pencernaan-diri selektif ini , di kenal sebagai **autofagi** (auto bearti “sendiri”; fag bearti “makan”) memungkin kan pembaruan perangkat sel. Pada bagian besar sel, semua organel dapat di perbarui. Sebagian orang orang tidak mampu membentuk satu atau lebih enzim lisosomal . akibat nya adalah akumulasi masif senyawa yang normal nya di cerna oleh enzimyang tidak ada tersebut . manifestasi klinis sering menyertai gangguan jenih ini karena lisosom yang membengkak mengganggu aktivitas normal sel. Lebih dari lima puluh penyakit yang di sebut sebagai penyakit simpanan lisosomal telah teridentifikasi, dan semua nya berbeda.

**Peroksisom dan Detoksifikasi**

**Peroksisom** adalan organel bermembran menghasil kandan menguraikan hydrogen peroksia (H202)dalam proses degradasi molekul yang berpotensi toksik (peroxi merujuuk pada “hydrogen peroksida”). Biasanya, dalam sebuah sel, terdapat beberapa ratus peroksisom kecil yang ukuran nya sekitar sepertiga hingga separuh ukuran rerata lisosom. Organel ini jga berasal dari RE dan kompleks Golgi.

**Peroksisom mengandung enzim oksidasi yang mendetoksifikasi berbagai zat sisa.**

Peroksisom mirip dengan lisosom, yakni berupa kantong terbungkus membran yang mengandung enzim. Bedanya , lisosom mengandung enzim hidrolitik, sedangkan peroksisom berisi beberapa enzim oksidatif kuat dan mengandung sebagian besar katalase sel**.**

**Enzim oksidatif** , seperti nama nya, menggunakan oksigen ( O2 ) untik melepaskan hydrogen dari molekul organik tertentu. Reaksi ini membantu tubuh mendetoksifikasi berbagai sampah yang di hasil kan di dalam sel atau senyawa asing toksik yang masuk ke sel, misal nya alcohol dalam minuman keras.

Produk utama yang di hasil kan di peroksisom , hydrogen peroksida ( H202), di bentuk oleh oksigen molekular dan atom hidrogen yang di lepas kan oleh molekul toksik.

**Mitokondria dan Produksi ATP**

**Mitokondria** adalah organel energy atau “pembangkit tenaga” sel; organel ini mengekstrasi energy dari nutrien dalam makanan dan mengubah nya menjadi bentuk yang dapat di gunakan oleh sel untuk beraktivitas. mitokondria menghasil kan sekitar 90%energi yang sel dan, konsekuensi nya, seluruh tubuh –perlukan untuk bertahan hidup dan menjalan kan fungsi.

**Mitokondria dibungkus oleh dua membran**

Mitokondria merupakan struktur berbentuk batang atau oval seukuran bakteri. Pada kenyataan nya, mitokondria adalah turunan bakteri yang menginvasi atau di telan oleh sel primitive pada awal sejarah evolusi dan kemudian menjadi organel permanen.

Sepanjang usia seseorang, terjadiakumulasi penyimpangan pada DNA mitokondria secara bertahap ; penyimpangan ini terungkap berperan dalam proses penuaan dan sejumlah penyakit. Penyakit mitokondria di perkirakan menjangkit 1 dari 4000 orang. Manifestasi klinis penyakit ini sangat beragam, bergantung pada lokasi dan derajat mutasi DNA mitokondria. Penyakit yang menonjol di antara penyakit- penyakit mitokondria adalah penyakit debilitatif pada usia lanjut , seperti beberapa bentuk penyakit otot dan penyakit sistem saraf degeneratif kronis, salah satu contoh nya Charcot-marietooth tipe 2a. gejala umum pada penyakit mitokondria antara lain adalah kelelahan kronis, nyeri dan kelemahan otot, inkoordinasi ,kejang ,kebutaan ,dan ketulian.

**Mitokondria membentuk retikulum mitokondria pada beberapa Janis sel.**

Pada otot rangka dan jenis sel lain nya, mitokondria jarang terdapat sendirian, tetapi saling terkait dalam sebuah jalinan, **retikulum mitokondria.** Sistem teroganisasi ini secara efisien mendistribusikan bahan-bahan yang penting untuk menghasil kan energy-contoh nya, O2 dan produk akhir makananseperti asam lemak-dari permukaan sel hingga ke dalam sel. O2 dan asam lemak yang sulit larut dalam air , menjadi lebih mudah larut sehingga dapat bergerak lebih cepat melalui membran berminyak yang mengelilingi jalinan mitokondria ke timbang melintasi sitosol yang berair.

Retikulum mitokondria bersifat dinamis, terus mengalami perubahan sering adanya mitokondria yang bergabung ke, atau memisahkandiri dari jalinan, bergantung pada kebutuhan energy sel.

**Mitokondria memainkan peran utama dalam pembentukan ATP.**

Sumber energy tubuh adalah energy kimia yang tersimpandi ikatan karbon dalam makanan yang di telan. Namun sel-seltidak memilikipeerangkat untuk menggunakan energy ini secara langsung. Sel harus mengestraksi energy dari nutrien makanan dan mengubah nya menjadi bentuk yang dapat di gunakan yaitu ikatan fosfat berenergi tinggi **adenosin trifosfat ( ATP )** yang terdiri atas adenosindengan tiga gugus fosfat melekat padanya (tri artinya “3”) (lihat h.A-16). Ketika ikatan berenergi tinggi (seperti ikatan fosfat terminal dengan adenosin ) terputus, sejumlah besar energy di bebaskan.

Adenosin trifosfat merupakan pembawa energy universal “mata uang”energy umum di tubuh . sel dapat “menjual” ATPuntuk membayar “harga” energy untuk menjalan kan fosfat perangkat sel. Untuk segera memperoleh energy yang berguna, sel memutuskan ikatan fosfat pada ATP , yang menghasil kan **adenosin difosfat (ADP )** adenosin dengan dua gugus fosfat melekat padanya (di artinya “dua”) di tambah fosfat inorganic (Pi) dan energi :

Pemutusan

**ATP 🡪ADP + Pi + energy untuk digunakan oleh sel.**

**GLIKOLISIS** di antara ribuan enzim di sotosol, terdapat 10 enzim yng bertanggung jawab atas **GLIKOLISIS ,**proses kimia yang melibat kan 10 reaksi berangkai yang menguraikan molekul gula enam karbon , glukosa, menjadi dua molekul **piruvat,** masing-masing dengan tiga karbon (gly-bearti “manis”; lys bearti “penguraian”). Selama proses ini, dua atom hydrogen di bebaskan dan di pindah kan ke dua molekul NADH untuk di gunakan lebih lanjut, (sebentar kita akan mempelajari NADH lebih dalam. ) sebagian energy dari ikatan kimia glogosa yang terputus langsung di gunakan untuk mengubah ADP menjadi ATP . naman glikolisis tidak lah efisien dalam konteks ekstraksi energi ; hasil akhir hanya dua molekul ATP permolekul glukosa yang diproses . banyak energy yang semula terkandung dalam molekul glokosa masih tersimpan di ikatan kimia-kimia molekul piruvat. Produksi energi yang rendah pada glikolisis tidak memadai untuk memenuhi kebutuhan tubuh akan ATP. Di sini lah mitokondria berperan.

**SITRUS ASAM SITRAT** piruvat yang di hasil kan melalui glikolisis di sitosol secara selektif di angkut k dalam matriks mitokondria . disini, salah satu atom nya di bebaskan dalam bentuk CO2 yang kemudian yang di keluarkan dalam tubuhsebagai produk akhir, atau sampah. Selain itu, ataom hidrogen lain di bebaskan dan di pindah kan ke NADH yang lain. Molekul dua karbon yang tersisa setelah proses penguraian sebua gugus asetil berikatan berikatan dengan koenzim A ( CoA ),turunan asam pantotenat ( salah satu vitamin B ),menghasil kan senyawa **asetil koenzim A (asetil CoA )**

Asetil CoA kemudia masuk ke **siklus asam sitrat**,sebuah siklus delapan reaksi biokimia yang di katalisisoleh enzim-enzim matriks mitokondria. Siklus reaksi ini dapat di banding kan dengan satu putaran bianglala,kecuali bahwa molekul nya sendiri tidak secara fisik berputar dalam dalam sebuah siklus. Di puncak bianglala, asetil CoA molekul dua karbon memasuki tempat duduk yang sudah di tempati oleh oksaloasetatyang memiliki empat karbon. Kedua molekul ini berikatan untuk membentuk molekul asam sitrat enam karbon ( pada ph intraselular , asam sitrat terdapat dalam bentuk ion,sitrat ), dan perjalanan mengelilingi siklus asam sitrat pun di mulai . ( siklus ini jga di kenal dengan **siklus krab**s**,** penghargaan terhadap penemu utama nya,atau  **siklus asam trikarboksilat,** karena sitrat mengandung tiga gugus karboksilat.) pada masing-masing tahap dalam siklus ini ,enzim-enzim matriks memodifikasi molekul pada penumpang nya untuk membentuk molekul yang sedikit berbeda . perubahan molekular ini memiliki konsekuensi penting sebagai berikut.

1. Dua karbon “di tending keluardari perjalanan”di keluarkan satu persatu dari sitrat enam karbon, mengubah nya kembali menjadi oksaloasetatempat karbon yang kini berada di puncak siklus guna menjemput asetil CoA lain untuk putaran siklus berikut nya. Koenzim A juga di daur ulang ; pada akhir siklus , CoA di lepaskan,memungkin kan untuk berikatan dengan gugus asetil baru untuk membentuk asetil CoA lain.
2. Atom karbon yang di bebaskan ,yang semula terdapatdalam senyawa asetil CoA yang memasuki siklus , di ubah menjadi dua molekul CO2 ingat bahwa dua atom karbon memasuki siklus dalam bentuk asetil CoA dan dua atom karbon meninggalkan siklus dalam bentuk dua molekul CO2 karbondioksida ini, dan CO2 yang di hasil kan selama pembentukan gugus asetildari piruvat, keluar dari matriks mitokondria, kemudia meninggal kan sel sebelum akhir nya masuk ke darah, darah membawa CO2 ke paru, tempat molekul ini dieliminasi ke asmosfer melalui pernafasan. Oksigen yang di gunakan untuk membuat CO2 dari atom-atom yang di bebaskan ini berasal dari molekul yang terlibat dalam reaksi, buakn oksigen molekular bebas dari pernafasan.
3. Atom hidrogen juga “dicampakan” selama siklus pada empat tahap konversi kimia. Tujuan utama siklus asam sitrat adalah menghasil kan hidrogen-hidrogen ini untuk masuk ke sistem transpor electron di membran dalam mitokondria. Hidrogen-hidrogen tersebut di pindah kan ke dua molekul pengangkut hidrogen berbeda **nikotinamida adenindinukleotida (NAD+),** turunan niasin (salah satu vitamin B) , dan  **flavin adenine dinukleotida ( FAD),**  turunan riboflavin (salah satu vitamin B). pemindahan hidrogen mengubah masing-masing senyawa tersebut menjadi NADH dan FADH2. Untuk setiap putaran siklus asam sitrat , di hasil kan tiga NADH dan satu FADH2. .
4. Satu lagi molekul ATP dihasilkan untuk setiap molekul asetil CoA yang diproses, sebenarnya, ATP tidak secara langsung di produksi melalui siklus asam sitrat . **guanosin di fosfat**  **(GDP),** membentuk **guanosin trifosfat (GTP),** molekul berenergi tinggi yang serupa dengan ATP . energy dari GTP kemudian di pindahkan ke ATP sebagai berikut :

**ADP +GTP –ATP+ GDP**

Karena setiap melekul glukosa di ubah menjadi dua molekul asetil CoA memenuhi dua putaran siklus asam sitrat, dihasilkan tambahan dua molekul ATP dan setiap molekul glukosa.

Sejauh ini , sel masih belum memperoleh banyak ke untungan energi . namun siklus asam sitat penting dalam mempersiapkan molekul pengangkut hidrogen masuk ke tahap akhir, fosforilasi oksidatif , yang menghasil energy jauh lebih banyak ketimbang sejumlah kecil ATPyang di produksi oleh siklus itu sendiri.

**FORFORILASI OKSIDASI** sejuml;ah besar energy yang belum terpakai masih tersimpandi dalam hidrogen yang di bebaskan, yang mengandung electron pada tingkat energy tinggi. **Fosforilasi oksidasi**  merujuk pada proses sintesis ATP dengan menggunakan energy yang di bebaskan electron ketika electron di pindah kan ke O2 . proses ini melibat kan dua kelompok protein, ke dua nya terletak di membran dalam metokondria :sistem trasnpor electron dan ATP sintase.

Keuntungan besar “dalam penangkapan energy di mulai ketika NADH dan FADH2 masuk ke sistem traspor electron .**Sistem transpor electron.**

Begitulah sistem transpor electron mulai bekerja, electron berenergi tinggi di ekstrak dari atom dari hidrogen NADH dan FADH2 , lalu di pindah kan melalui serangkaian langkah dari satu molekul pengangkut electron ke yang lain dalam satu lini perakitan beberapa langkah :

1. Akibat pemberian ion hidrogen (H+) dan electron di dalam sistem transpor elektron ,NADH dan FADH2 di ubah kembali menjadi NADH+dan FAD .
2. Membebaskan ke duanya untuk mengambil atom hidrogen lain yang di lepaskan selama glikolisis dan siklus asam sitrat. Dengandemikian NADH+ dan FAD menghubungkan siklus asam sitrat dan sistem transpor electron .molekuk-molekul pengangkut electron tersusun dalam urutan spesifik di membran dalam sehingga electron berenergi tinggi jatuh pada tingkat energy dari tinggi ke rendah sewaktuk berpindah dari satu molekulpengangkut ke yang laindalam sebuah rantai reaksi.
3. Akhirnya, ketika berada pada tingkat energy terendah , electron terikat pada oksigen molekular (O2)yang berasal dari udara nafas kita . oksigen memasuki mitokondria dan berfungsi sebagai akseptor electron berakhir pada sistem transpor electron. Oksigen bermuatan negatif ini (negatif karena telah mendapat elekron tambahan )lalu bergabung dengan ion hidrogen bermuatan positif ( positif karena telah menyumbangkan electron pada permulaan sistem transpor electron ) untuk membentu air H2O.
4. Ketika bergerak melalui rantai reaksi ini,electron melepaskan energy bebas. Sebagian energy yang di lepaskan hilang dalam bentuk panas, tetapi sebagia di manfaatkan mitokondriauntuk membentuk ATP. Pada tiga tempat dalam sistem transpor electron (kompleks I, III, dan IV ), energy yang di lepaskan selama pemindahan electron di gunakan untuk mengangkut ion hidrogen (H+)melintasi membran dalam mitokondria dari matriks menuju ruang di antara membram mitokondria dalam dan luar, dikenal dengan ruang antar membran
5. Akibatnya, ion hidrogen lebih terkonsentrasi pada ruang antar membran ketimbang di matriks. Gradient H+ yang di hasilkan sitem transpor electron ini.
6. Menyediakan energy yang menggerakan sintesis ATP oleh ATP sintase, enzim mitokondria terikat membran. **ATP sintase** meliputi unit dasar yang tertanam di membrane dalam, terhubung melalui sebuah tangkai ke headpiece yang terletak di matriks, dengan stator yang menjembatani unit dasar dan headpiece . karena lebih terkonsentrasi pada ruang antar membran ketimbang di matriks ,iaon H+memiliki kecenderungan tinggi untuk mengalir balik ke dalam matriks melintasi membran dalam melalui saluran-saluran yang terbentuk di antara unit dasar dan stator pada kompleks ATP sintase.
7. Aliran ion H+ ini mengaktifkan ATP sintase dan menggerakan sintesis ATP oleh headpiece dan tangkai berputar ke atas .
8. Mirip aliran air yang membuat putaran kincir air. Akibat perubahan bentuk dan posisi saat berputar , headpiece mampu berturut-turut mengambil ADP dan Pi , menggabungkan keduanya , dan melepaskan produk ATP.

**Sel menghasil kan lebih banyak energy dalam keadaan aerob dari pada anaerob.**

Sel merupakan pengubah energy yang lebih effisien jika oksigen . pada kondisi **anaerob** (“tidak ada udara”, lebih spesifik lagi “tidak ada O2” ), penguraian glukosa tidak dapat berjalan melampaui glikolisis, yang berlangsung di sotosol dan menghasilkan hanya dua molekul ATP permolekul glukosa. Energy yang belum terpakai di molekul glukosa tetap terkunci dalam ikatan molekul piruvat, yang akhir nya di ubah menjadi **laktat** jika tidak masuk ke jalur yang ujung-ujung nya menuju fosforilasi oksidatif .

**Energi yang tersimpan di dalam ATP di gunakan untuk sintesis , traspor ,dan kerja mekanis.**

Begitu terbentuk, ATP di bawa keluar dari mitokondria, kemudia siap sedia sebagai sumber energy di dalam sel aktivitas yang memerlukan pemakaian energy di bedakan menjadi tiga katagori.

1. Sistematis senyawa kimia baru,misal nya senyawa sintesis protein oleh RE. beberapa sel khusus nya sel dengan laju sekresi tinggi dan sel dalam fase pertumbuhan , menggunakan hingga 75% ATP yang di hasil kan nya hanya untuk menyintesis kan senyawa kimia baru.
2. Transpor membran , misal nya transpor selektif molekul melintasi tubulus ginjal sewaktu proses pembentukan urine. Sel ginjal dapat menghabiskan hingga 80% “mata uang”ATP untuk menjalan kan mekanismetranspor membran selektif ini.
3. Kerja mekanisme,misal nya kontraksi otot jantung untuk memompa darah atau kontraksi otot rangka untuk mengangkat sebuah benda. Aktifitas ini memerlukan banyak ATP.

**Mitokondria memain kan peran kunci dalam kematian sel terprogram.**

Selain berperan sentral dalam menghasil kan sebagian besar ATP untuk di gunakan sel, mitokondriamemeinkan peran kunci tersendiri dalam kematian sel terprogram, proses yang di kenal dengan **apoptosis .** setiap sel memiliki jalur biokimia instrinsik yang, jika di picu , menyebabkan sel mengeksekusi dirinya sendiriakibat nya lolos sitokrom c (salah satu komponen sistem transpor electron )dari mitokondria , yang di luar mitokondria menjalan kan fungsi yang sama sekali berbeda, yakni mengaktif kan enzim pemotong protein intraselular yang memotong sel menjadi bagian- bagian kecil yang layak buang. Apoptosis merupakan bagian alami kehidupan organisme; proses ini mengeleminasi sel yang tidak lagidi perlukan atau rusak. (Istilah apoptosis bearti “penanggalan “,merujuk pada penanggalan selyang tidak lagi berguna, sebagaimana daun pohon yang berguguran pada musim gugur.).

**Ribosom dan Sistensis Protein**

**Ribosom** menjalan kan sistensis protein dengan menerjemahkan mRNA ke rantai asam amino dalam urutan teratur yang di perintah kan oleh sandi DNA sebelum nya. Ribosom membawa seleuruh komponenyang turut serta dalam sintesis protein mRNA, tRNA, dan asam amino serta menyediakan enzim dan energy yang di perlukan untuk menyambungkan asam-asam amino sekaligus sifat protein yang di sintesis oleh ribosom tertentu di tentukan oleh mRNA yang di terjemah kan. Setiap mRNA berfungsi sebagai sandi bagi satu protein saja.

**Ribosom**  berada bebas di sitosol atau melekat pada RE kasar.seriap subunit tersusun rRNA dan protein ribosomal. Kedua submit ini di bawa bersamaan ketika sebuah protein tengah di sintesis saat kedua subunit menyatu, terbentuk lah sebuah alur. Pada penerjemahan, rRNA bergerak melalui alur ini. Ribosom juga memiliki tiga situs ikatan tempat tRNA berinteraksi dengan mRNA. Situs A adalah tempat tRNA yang baru dating, mengandung asam amino yang telah di tentukan, terikat ke mRNA. Situs P adalah tempat tRNA , yang membawa rantai asam aminoyang sedang berkembang, terikat k mRNA. Pada setiap tahap translasi ,rantai asam amino dari tRNA di situs P di potong dan di sambung kan ke asam amino pada tRNA yang baru tiba di situs A . situs E adalah tempat tRNA kosong terikat sebelum terlepas dari ribosom. Setelah setalah asam amino pada tRNA yang baru di tambah pada rantai asam amino, ribosom bergerak maju di sepanjang mRNA, mengembalikan posisi semua tRNA di situs berikut nya. tRNA yang tadi nya berada disitus E. meninggalkan ribosom. tRNA yang kini telah kosong, tadi nya berada di situs P, bergerak menuju situs E. tRNA yang tadi nya berada di situs A, dan sekarang mengandung rantai asam amino yang sedang berkembang, bergerak menuju situs P. tRNA yang baru dating membawa asam aminoberikut nya dalam urutan protein bersangkutan, memasuki situs A yang kosong. Proses ini terus berulang hingga seluruh asam amino yang telah di tentukan untuk protein yang tengah di sintesis kan, di bawah instruksi mRNA, tersambung.

**Vault Sebagai Truk Seluler**

Vault yang berukuran tiga kali ribosom,berbentuk seperti tong octagonal. Nama vault berasal dari banyak lengkungan, yang mengingatkan penemu nya akan atap katedral atau kubah. Sebagaimana tong, bagian dalam vault berongga. Jika di buka, tampak seperti sepasang bunga kuncup dengan tiap-tiap separuh bagian memiliki delapan “kelopak” yang melekat kesebuah cincin di tengah sebuah seldapat mengandung ribuan vault, tetapi belum di ketahui hingga tahun 1990-an.

**Vault boleh jadi berperan sebagai kendaraan transpor seluler.**

Saat ini fungsi vault belum dapat di pastikan, tetapi bentuk nya yang octagonal dan bagian dalam nya yang berongga dapat member petunjuk. Pori inti juga terbentuk octagonal dan seukuran vault, yang menimbulkan spekulasi bahwa Vault dapat jadi merupakan”truk”seluler. Menurut pendapat ini, vault akan menambatkan diri di atau masuk ke pori nukleus, mengambil molekul yang di sintesis di nukleus, dan mengirim kan muatan nya ke bagian lain sel.

**Sentrosom, Sentriol, dan Organisasi Mikrotubulus**

**Sentrosom,** atau **pusat sel,** terletak dekat nukleus , tersusun atassentriol yang di kelilingi sebuah massa protein amorf. **Sentriol** adalah sepasang struktur silindris pendek yang tegak lurus satu sama laindi bagian bawah sentrosom. Sentrosom merupakan pusat pengatu rmikrotubulus utama sel. Mikrotubulus adalah salah satu komponen sitoskeleton. Jika sel tidak membelah, mikrotubulus terbentuk dari masa amorf dan memancar keluar kesegala arah dari sentrosom. Mikrotubulus ini merupakan tambatan bagi banyak organel bermembran juga berperan sebagai “jalan tol” tempat melintasnya vesikelyang di angkut di dalam sel oleh “motor molekuler”.

**Sitosol: Gel Sel**

Sitosol, yang menempati sekitar 55% volume total sel, adalah bagian semi cair sitoplasma yang mengelilingi organel. Gambar nya yang tidak jelas di bawah mikroskop electron member kesan salah bahwa sitosol berupa campuran cair dengan konsentrasi seragam, padahal sebenar nya merupakan massa mirip gel yang sangat teratur dengan komposisi dan konsistensi yang berbeda-beda di bagian sel.

**Sitosol penting dalam metabolisme antara, sintesis protein di ribosom, dan penyimpanan nutrien.**

Ada tiga kategoti umum aktivitas yang berkaitan dengan sitosol :

1. Regulasi enzimatik metabolisme
2. Sintesis protein di ribosom
3. Penyimpanan lemak, karbohidrat dan vesikel sekretorik.

**REGULASI ENZIMATIK METABOLISME ANTARA istilah metabolisme antara** secara kolektif merujuk pada sekelompok besar reaksi kimia di dalam sel yang melibatkan degradasi,sintesis dan transformasi molekul organic kecil, misal nya gula sederhana ,asam amino, dan asam lemak. Reaksi –reaksi ini ini penting, pada akhirnya dalam menangkap energy yang di pakai untuk aktivitas sel serta menyediakan bahan mentah yang di perlukan untuk mempertahan kan struktur, fungsi, dan pertumbuhan sel.

**SINTESIS PROTEIN DI RIBOSOM** di sotosol, juga tersebar ribosom bebas, yang menyintesis protein untuk di gunakan di sitosol itu sendiri.

**PENYIMPANAN LEMAK, GLIKOGEN, DAN VESIKEL SEKRETORIK** kelebihan nutrien yang tidak segera di gunakan untuk menghasil kan ATP di ubah di sitosol menjadi bentuk-bentuk simpanan yang mudah di lihat dengan mikroskop cahaya.massa non permanen bahan simpanan semacam ini di kenal dengan **badan inklusi** .badan inklusi tidak terbungkus membran , dan dapat ada dapat tidak ,bergantung pada jenis sel dan keadaan. Produk simpanan terbesar dan terpenting adalah lemak. Droplet lemak kecil-kecil terdapat di dalam sitosol berbagai sel. Di **jaringan adipose,** jaringan khusus untuk menyimpan lemak ,molekul lemak simpanan dapat menempati hampir seluruh bagian sitosol, tempat molekul-molekultersebut menyatu membentuksebuah droplet lemak besar. Produk simpananlain yang dapat di lihat adalah **glikogen**, bentuk simpanan glukosa, yang tampak sebagai kelompokan atau granul yang tersebar di seluruh bagian sel.

**Sitoskeleton: “Otot dan Tulang” Sel**

Sitoskeleton memiliki tiga element

1. Mikrotubulus
2. Mikroflamen
3. Filament antara

Tiga komponen tersebut saling terkait secara structural dan terkoordinasi secara fungsional guna menunjang kelangsungan fungsi terintegrasi tertentu sel bersangkutan.

**Mikrotubulus Membantu Mempertahankan bentuk asimetrik sel dan berperan dalam pergerakan sel yang kompleks.**

**Mikrotubulus** adalah elemen sitoskeleton terbesar.struktur ini berbentuk tabung panjang berongga tak bercabang yang ramping, terutama tersusun atas  **tubulin,**  molekul protein globular kecil.

Mikrotubulus juga berperan penting dalam bebertapa pergerakan sel yang kompleks meliputi (1) transpor vesikel sekretorik atau bahan lain dari satu bagian ke bagian lain sel, (2) pergerakan juluran khusus sel, misal nya silia dan flagella,serta (3) distribusi kromosomselama pembelahan sel melalui pembentukan gelendong mitotic. Mari lah kita bahas tiap-tiap peran ini.

**Transpor aksonal** adalah contoh yang baik untuk menunjukan penting nya sistem yang di atur dalam memindah kan vesikel sekretorik . di sel saraf, bahan-bahan kimia spesifik di lepaskan dari ujung terminal akson yang memanjang untuk memengaruhi otot atau struktur lain yang di kendalikan sel saraf bersangkutan.

**Motor molekuler** adalah pengangkutnya. Motor molekuler adalah protein yang merekat ke partikel yang akan di angkut, kemuadia memanfaat kan energy dari ATP untuk “berjalan” di sepanjang mikrotubulus sambil “membopong” partikel tersebut (motor artinya “pergerakan”). **Kinesin** ,motor molekuleryang mengangkut vesike sekretorikmenuju ujung akson,terdiri atas dua “kaki”, satu tangkai, dan satu ekor mirip kipas. Ekor kinesin terikat ke vesikel sekretorik yang hendak di pindah kan, sementara kaki nya mengayun ke depan selangkah demi selangkah, seolah-olah berjalan menggunakan molekul tubulin sebagai batu pijakan.

**PERGERAN SILIA DAN FLAGELA** mikrotubulus juga merupakan komponen struktual dan fungsional dominan pada silia dan flagella. Juluran motil khusus dari permukaan sel ini memungkinkan sel memindahkan bahan-bahan melintasi permukaan nya ( pada kasus sel yang diam )atau mendorong diri nya sendiri bergerak dalam lingkungan nya (pada kasus sel motil). **Silia** adalah juluran kecil pendek-pendek seperti rambut yang berjumlah banyak pada permukaan sel bersilia. **Flagela**  ialah juluran panjang mirip pecut biasa nya sebuah sel memiliki satu atau beberapa flagella. Meskipun menjulur dari permukaan sel, silia mau flagella merupakan struktur intraselular kedua terbungkus membran plasma.

Silia memecut atau menyapu secara bersama-samake arah tertentu,layak nya pergerakan terpadu sebuah team dayung. Pada manusia sel bersilia melapisi saliuran nafas,oviduk saluran reproduksi wanita, dan vartikel (bilik)berisi cairan di otak. Gerakan menyapu terpadu ribuansilia di saluran nafas membantu menahan partikel asing tetap berada di luar paru dengan menyapu keluar debudan partikel lain yang terhirup. Di saluran reproduksi wanita, gerakan yang menyapu silia yang melapisi oviduk menarik sel telur (ovum) yang di lepaskan dari ovarium selama ovulasi yang menuntun nya kea rah uterus (rahim) di otak, sel bersilia yang melapisi vartikel menghasil kan cairan serebropinal, yang mengalir melalui partikel dan mengelilingi otak dan medulla spinalis, membentuk bantalan dan membasuh struktur saraf yang rapuh ini. Gerakan memecut silia membantu melancarkan sirkulasi cairan penunjang ini.

Defek silia primer dan silia motil terungkap berkaitan dengan beragam penyakit pada manusia; defek silia primer di antara terlibat dalam salah satu kelainan perkembangan ginjal (penyakit ginjal polikistik ) sementara defek silia motil berhubungan dengan, antara lain, penyakit pernafasan kronik.

**PEMBENTUKAN GELENDONG MITOTIK** pembelahan sel melibatkan dua aktivitas berbeda yang saling terkait ;mitosis (pembel;ahan nukleus) yang bergantung pada mikrotubulus dan sitokinesis (pembelahan sitoplasma )yang bergantung pada mikrofilamenakan di uraikan pada bahasan berikut nya.selama **mitosis** ,kromosom inti yang mengandung DNA mengalami replikasi , menghasil kan dua set kromosom identik. Kedua set duplikat kromosom ini di pisahkan dan di tarik ke sisi sel yang berrlawanan sehingga bahan genetiktersebar merata di kedua paruh sel.

**Mikrofilamen penting bagi sistem kontraktil sel dan sebagai pengeras mekanis.**

**Mikroflamen** adalah elemen terkecil (garis tengah 6nm)sitoskleton. Mikroflamen yang paling jelas di lihat di bagian besarsel adalah yag tersusun atas **aktin**, molekul protein yang terbentuk globular mirip tubulin. Tidak seperti tubulin ,yang membentuk taung berongga, aktin tersusun dalam dua untai yang saling memilin membentuk mikroflamen. Di sel otot, protein **miosin**  membentuk mikroflamen jenis lain. Pada kebanyakan sel , miosin tidak terlalu banyak dan tidak membentuk flamen yg jelas.

Mikroflamen menjalan kan dua fungsi; (1)berperan pentin dalam berbagai sistem kontraktl sel, dan (2) bekerja sebagai pengeras mekanis untuk beberapa cuatan sel spesifik. Struktur berbasis aktin terlibat dalam kontraksi otot pembelahan sel , dan pergerakan sel. Sistem kontraktil sel yang paling kentara, paling teratur, dan paling jelas di pahamiadalah yang di temukan di otot. Otot mengandung banyak mikroflamen aktin dan miosin, yang melaksanakan kontraksi otot melalui pergeseran mikroflamen aktin relative terhadapmikroflamen miosin yang diam menggunakan ATP sebagai sumber energy miosin adalah motor molekuler yang memiliki kepala yang berjalan di sepanjang mikroflamen aktin, menarik nya ke dalam dia antara mikroflamen – mikroflamen miosin. Pergeseran mikroflamendan pembentukan gaya di picu oleh rangkaian kompleks proses elektrik, biokimiawi dan mekanis yang di mulai ketika sel otot di rangsang untuk berkontraksi.

Sel-sel selain sel otot boleh jadi jga memiliki struktur “mirip otot”. Beberapa sistem kontraktil mikroflamen ini tyerbentuk sebentar saja untuk melaksanakan sebuah fungsi spesifik manakala di butuhkan.

**MIKROFLAMEN SEBAGAI PENGERAS MEKANIS** selain peran mereka dalam sistem kontraktil sel, flamen aktin berfungsi sebagai pengeras atau penyokong mekanis untuk beberapa tonjolan sel , yang tersering adalah mikrovili.  **Mikrovili**  adalah tonjola-tonjolan mikroskopik no motil seperti rambutdari permukaan sel epitel yang melapisi usus halus dan tubulus ginjal. Adanya mikrovili penambah luas permukaan yang tersedia untuk memindah kan bahan melintasi membra plasma. Di usus halus, mikrovili memperbesar luas permukaan yang tersedia untuk menyerap nutrien yang telah di cerna . di tubulus ginjal , mikroili membesar luas permukaan yang tersedia untuk menyerap nutrien yang telah di cerna. Di tubulus ginjal ,mikrovili meningkatkan luas permukaan serap yang menyelamat kan bahan- bahan bermanfaat yang melewati ginjal sehingga bahan-bahan tersebut dapat di simpan dan di manfaatkan oleh tubuh, bukan di eliminasi melalui urine.

**Filamen antara penting di bagian sel yang rentan terhadap stress mekanis.**

**Filamen antara** berukuran di antara mikrotubulus dan mikrofilamen (diameter nya 7 hingga 11 nm) karena itu di beri nama demikian. Protein yang menyusun filamen antara bervariasi pada bagian jenis sel , tetapi secara umum berbentuk molekul ireguler seperti benang.

Jenis filament antara di sesuaikan dengan peran structural atau penahan stress komponen ini di berbagai jenis sel spesifik. Secara umum, hanya satu kelas filamen antara yang terdapat di satu jenis sel. Dua contoh penting adalah sebagai berikut :

1. Neurofilamen filamen antara yang di temukan di akson sel saraf. Bersama dengan mikrotubulus ,neurofilamen menguatkan dan menstabil kan juluran sel ini.
2. Sel kulit mengandung jalinan ireguler filament antara yang tersusun atas protein **keratin** . filament intra sel ini berhubungandengan filament intrasel yang menyatukan sel-sel bersebelahan, menciptakan jalinan filamen bersinambungan yang meluas ke seluruh bagian kulit dan menguat kan kulit . ketika sel kulit permukaan mati, rangka keratin nya yang liat menetap, membentuk lapisan pelindung luar yang kedap air. Rambut dan kuku jga merupakaan struktur keratin.

Filamen antara mewakili hingga 85% protein total di sel saraf dan kulit penghasil keratin, sementara di sel lain filament ini menyusun rata-rata hanya sekitar 1% protein total. Abnormalitas neurofilamen turut berperan pada beberapa penyakit saraf.

**Sitoskeleton berfungsi sebagai kesatuan integral dan menghubungkan bagian-bagian lain sel.**

Secara kolektif ,elemen-elemen sitoskeleton dan sambungannya menopang membran plasma dan bertanggung jawabatas bentuk spesifik , kekakuan, dan geometri spasialberbagai jenis sel. Lebih lanjut, semakin banyak bukti yang menunjukan bahwa sitoskeleton berfungsi sebagai kerangka. Untuk mengatur kelompokan enzim yang berperan pada banyak. Aktivitas sel. Karena itu , keranggka internal itu bekerja sebagai “tulang “sel.