



**MODUL MATA KULIAH BIOLOGI SEL  
(NAC 103)**

Topik :

**Siklus Sel dan Mitosis sel**

DISUSUN OLEH :

Dr. TITTA NOVIANTI, S.Si., M.Biomed.

Universitas  
**Esa Unggul**  
2020

## Siklus Sel dan Mitosis Sel

### A. Kemampuan Akhir Yang Diharapkan

Setelah mempelajari modul ini, diharapkan mahasiswa mampu :

1. Menjelaskan pengertian siklus sel dan mitosis sel
2. Menganalisis proses siklus sel dan mitosis sel pada organisme

### B. Uraian

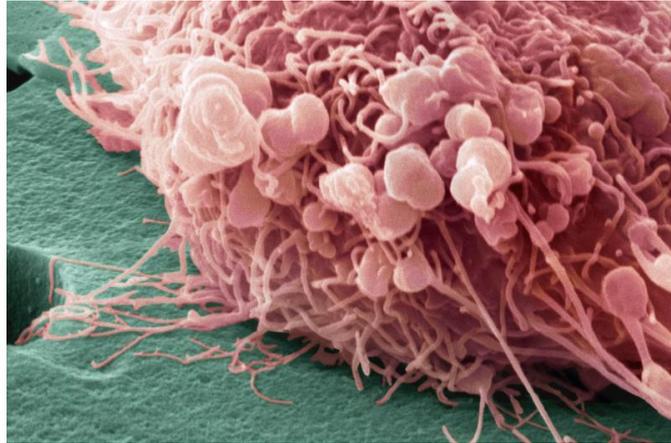
#### 1. Pendahuluan

Organisma multiseluler mengalami proses pertumbuhan dan perkembangan sel. Demikian pula manusia dengan susunan sel yang kompleks akan mengalami proses pertumbuhan karena terjadinya siklus sel dan reproduksi sel. Sel tumbuh dan berkembang serta membelah sehingga jumlah sel menjadi banyak. Sel baru hasil pembelahan tumbuh dan berdiferensiasi menjadi sel dewasa.

Manusia tumbuh dan berkembang, yang dimulai sejak pertama kali ovum dan sperma bertemu pada proses fertilisasi. Hasil fertilisasi zygote akan tumbuh dan berkembang antara lain karena adanya pembelahan sel sehingga sel bertambah banyak. Sel beregenerasi dengan cara menduplikasi isinya dan membelah sehingga menjadi 2 sel. Ini terjadi terus menerus dan berulang-ulang sehingga merupakan suatu siklus.

Siklus sel diperlukan agar organisme dapat berfungsi dengan baik, bahkan pada orang dewasa tetap diperlukan untuk menggantikan sel-sel yang mati. Selain ukuran sel harus bertambah, tugas utama siklus sel adalah menurunkan informasi genetik (DNA dan kromosom) dalam sel ke sel generasi yang berikutnya. Maka, siklus sel harus dikordinasi dengan baik. Bila terjadi kesalahan dalam siklus sel maka dapat mengakibatkan penyakit, antara lain kanker.

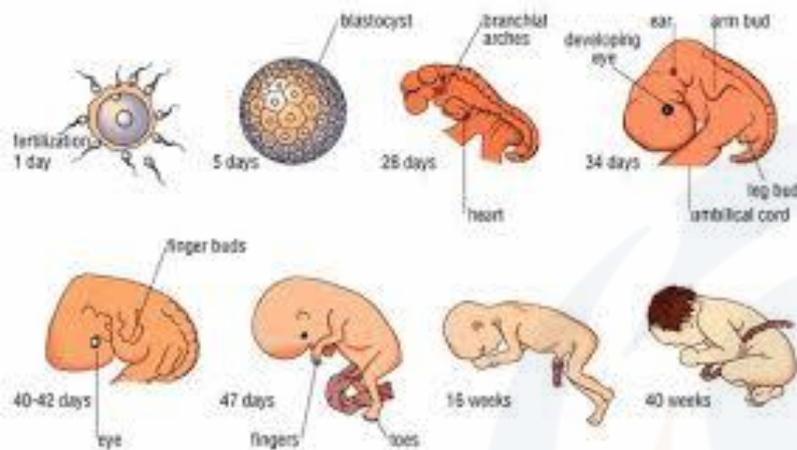
Pada kanker, sel berproliferasi terus karena adanya mutasi pada gen yang mengatur pertumbuhan dan apoptosis yang berpengaruh terhadap siklus sel, yaitu mitosis dan meiosis. Kanker ini dapat menyebabkan kematian. Karena itu kanker perlu dicegah dan diobati. Untuk dapat mencegah dan mengobati kanker, maka perlu dipelajari dan dipahami lebih lanjut siklus sel dan pengaturannya



Gambar 1. Pertumbuhan sel kanker yang tidak terkendali

## 2. Siklus sel

Tubuh terus mengalami perubahan dan pertumbuhan, dari satu sel zigot menjadi tubuh yang kompleks. Sel-sel terus memproduksi sel baru dengan cara membelah dirinya, tumbuh dan berkembang dan kemudian membelah diri lagi. Saat tubuh mengalami luka, sel-sel akan bekerja untuk menutup luka tersebut, dan membentuk sel baru. Semua itu tak akan bisa terjadi seandainya sel yang ada dalam tubuh tidak mengalami perkembangan.

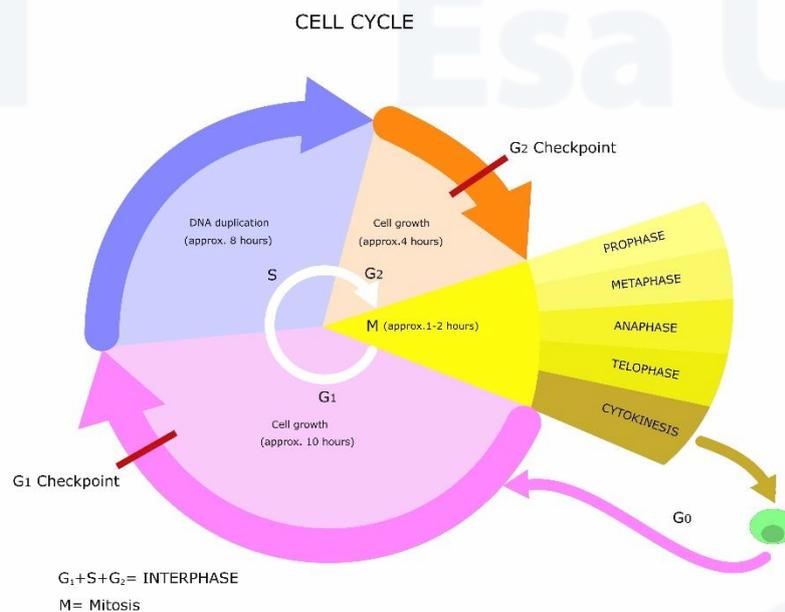


Gambar 2. Pertumbuhan sel dari zigot sampai menjadi organisme yang kompleks

Tanpa adanya siklus sel tersebut, manusia tidak akan tumbuh dan luka-luka tidak akan pernah sembuh. Reproduksi pun tidak mungkin terjadi. Bahkan

mungkin manusia sudah sejak dahulu kala mengalami kepunahan. Oleh karena itu siklus sel sangat penting bagi manusia untuk tumbuh dan berkembang.

Siklus sel diawali dengan pembelahan sebuah sel induk (mother cell) dan diakhiri dengan terbentuknya sel anak (daughter cells) atau kematian sel. Sebelum siklus dimulai, ada syarat yang harus dipenuhi oleh suatu sel. Sel tersebut haruslah tumbuh, menyalin DNA-nya, dan membagi dirinya menjadi dua. Tahapan siklus sel dibagi menjadi dua fase utama yakni interfase dan mitosis. Pada fase interfase, terjadi pertumbuhan sel dan penyalinan DNA. Sedangkan pada fase mitosis terjadilah pembagian sel jadi dua dan dibagilah sitoplasmanya lalu terbentuklah dua buah sel hasil pembelahan tadi.



Gambar 3. Siklus sel

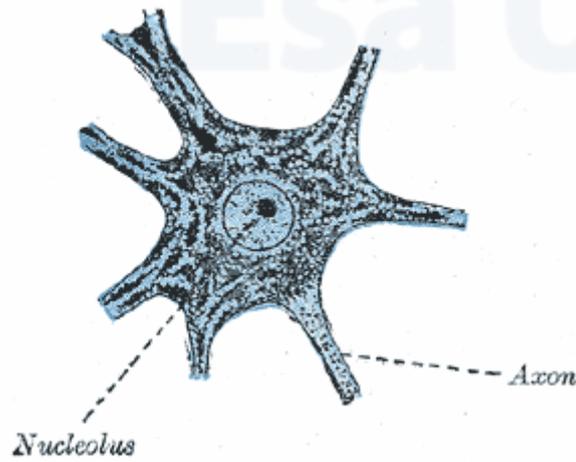
Siklus sel merupakan periode perubahan fase sel dari satu fase ke fase lainnya dan kembali ke fase semula. Siklus ini terjadi pada seluruh jaringan yang memiliki pergantian sel. Siklus sel dibagi menjadi 2 peristiwa besar, yaitu: mitosis (pembelahan sel) dan interfase. Pada fase mitosis yang berlangsung lebih singkat daripada interfase, terjadi pembagian nucleus dan cytoplasma sel, sehingga akhirnya terbentuk 2 sel anak.

Beberapa fase yang terjadi pada siklus sel antara lain: fase G0, fase G1, G2, M dan fase S.

a. Fase  $G_0$

Fase ini sebenarnya di luar dari siklus sel. Sel tidak menjalani pembelahan baik istirahat maupun sel yang sudah mengalami maturasi. Beberapa jenis sel seperti sel saraf, masuk ke fase  $G_0$  untuk selamanya. Oleh sebab itu, sel saraf yang matur tidak lagi beregenerasi.

Beberapa jenis sel dapat masuk ke fase  $G_0$  dan apabila dalam kondisi tertentu dapat masuk kembali ke siklus sel. Contohnya adalah sel hati dan sel usus. Adapun sel epitel terus menerus berada di fase siklus sel dan tidak masuk ke fase  $G_0$ , karena sel epitel selalu membelah dan tumbuh. Kita ketahui sel epitel senantiasa melakukan pembelahan diri untuk menjaga integritas barrier antara lingkungan interna dengan eksterna.



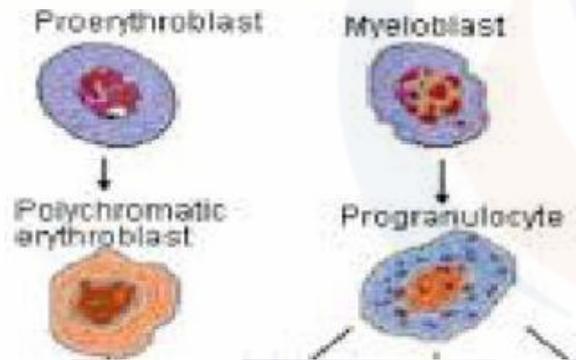
Gambar 4. Sel syaraf senantiasa memasuki fase  $G_0$  karena tidak melakukan pembelahan sel dan pertumbuhan sel

b. Fase  $G_1$

Fase  $G_1$  merupakan bagian pertama dari interfase. Fase ini dimulai segera setelah sel mengalami pembelahan sel atau mitosis. Pada fase ini sel secara metabolik aktif dan mengalami pertumbuhan. Pertumbuhan sel pada fase  $G_1$  meliputi pembentukan berbagai protein, pembentukan berbagai organel sel, dan penambahan volume sel. Dari fase ini sel dapat meneruskan ke fase S, menghentikan siklus sel masuk ke fase  $G_0$ , atau berhenti di fase fase  $G_1$ . Regulasi yang menentukan hal ini adalah cyclin  $G_1/S$  yang akan dijelaskan kemudian.

Dalam fase  $G_1$  terjadi pembentukan makromolekul yang penting untuk dimulainya duplikasi DNA. Selain itu, sel juga mensintesis RNA, protein regulator yang penting untuk replikasi DNA dan enzim untuk membawa keluar aktivitas

sintesis ini serta volume sel yang berkurang karena pembelahan sel ketika mitosis akan kembali normal.



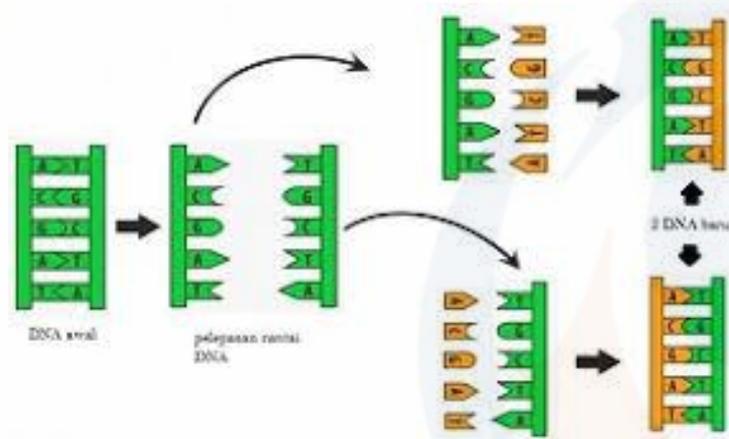
Gambar 5. Pertumbuhan dan perkembangan sel hasil pembelahan sel

c. Fase S

S adalah kepanjangan dari sintesis dan ciri utama dalam fase ini adalah sintesis DNA. Genom sel pada fase ini akan direplikasi sehingga menghasilkan salinan baru untuk proses pembelahan sel.

Selama fase S (fase sintesis) siklus sel, terjadi sintesis dan replikasi DNA dan centriole serta duplikasi genome. Semua yang diperlukan oleh nucleoprotein, termasuk histon didatangkan dan digabungkan ke dalam molekul DNA, membentuk materi chromatin.

Sel sekarang memiliki komplemen DNA 2 x normal. Jumlah sel autosom dan germinal berbeda, dimana DNA pada sel autosom adalah diploid sedangkan sel germinal yang dihasilkan dari meiosis memiliki chromosome yang haploid.

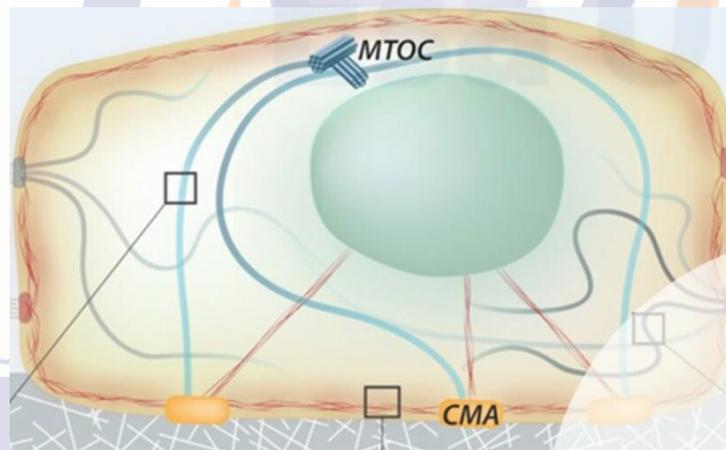


Gambar 6. Sintesis DNA, replikasi DNA sehingga setiap sel anak memiliki DNA yang sama

#### d. Fase G<sub>2</sub>

Pada fase G<sub>2</sub>, sel kembali mengalami pertumbuhan sel meliputi sintesis berbagai macam protein dan organel. Selain itu, mikrotubul juga mulai tersusun dan pada fase ini juga dilakukan pengecekan kerusakan DNA. Nucleoli juga terbentuk kembali, mulai terjadi duplikasi centrioles. Proses duplikasi centrioles ini baru sempurna pada fase G<sub>2</sub>.

Dalam fase G<sub>2</sub>, RNA dan protein yang penting untuk pembelahan sel akan disintesis, terjadi penyimpanan energi yang diperlukan untuk mitosis, sintesis tubulin untuk kumpulan dalam microtubule yang diperlukan untuk mitosis, replikasi DNA dianalisa dan kesalahan yang terjadi akan diperbaiki.



Gambar 7. Mikrotubul telah siap melakukan pembelahan sel

Sementara interphase merupakan interval antara pembelahan selama sel menjalankan fungsinya dan mempersiapkan mitosis. Karena itu, selain terjadi replikasi materi genetik, ukuran dan isi sel juga bertambah. Interphase dibagi menjadi 3 fase, yaitu: fase G<sub>1</sub> (presintesis), S (sintesis DNA) dan G<sub>2</sub> (post duplikasi DNA). Namun sel yang tidak membelah terus menerus (sel neuron dan sel otot), aktivitas sel (sementara ataupun tetap) tidak melalui siklus ini dan tetap dalam fase istirahat, yaitu fase G<sub>0</sub>. Sel anak yang terbentuk selama mitosis kemudian akan memasuki fase G<sub>1</sub>. Untuk sel-sel yang cepat membelah (sel-sel embrionik), G<sub>1</sub> berlangsung sangat cepat sedangkan untuk sel-sel lain (fibroblast, spermatogonia prepubertal) fase G<sub>1</sub> berlangsung sangat lama sehingga diperkirakan berada dalam fase G<sub>0</sub>.

Faktor-faktor yang memicu sel memasuki siklus sel, antara lain: beban mekanis (teregangnya otot polos), cedera pada jaringan (iskemia), dan kematian

sel. Seluruh faktor-faktor tersebut mengakibatkan pelepasan ligand oleh sel-sel. Seringkali ligand ini adalah growth factor yang secara tidak langsung menginduksi protooncogen, yaitu suatu gen yang berperan dalam mengatur proliferasi sel. Ligand yang menginduksi proliferasi berikatan dengan cell surface receptor protein dari sel target dan mengaktifasi salah satu jalur transduksi signal.

Umumnya, signal terbanyak yang diterima pada permukaan sel adalah protein kinase sitoplasma. Protein ini mengaktifasi serangkaian faktor transkripsi yang mengendalikan ekspresi protooncogenes dan akhirnya menghasilkan pembelahan sel.

Sel memiliki mekanisme kontrol, yaitu pada checkpoint. Tempat ini memeriksa kejadian-kejadian penting, seperti pertumbuhan sel, sintesis DNA, dan ketepatan segregasi chromosome sebelum sel meninggalkan suatu fase dalam siklus sel.

Terdapat 3 tempat untuk mengatur siklus sel (checkpoint), yaitu:

1. Restriction point, yaitu pada akhir fase G<sub>1</sub>, ketika sel menyelesaikan suatu siklus pembelahan. Sel tidak dapat menyelesaikan fase ini bila tidak memiliki nutrisi yang cukup ataupun growth factor. Bila ada kesalahan DNA, siklus sel akan tertahan pada fase G<sub>1</sub> dan tidak dapat memasuki fase S. Hal ini akan memberikan waktu bagi sel untuk memperbaiki kerusakan DNA sebelum memasuki fase S. Tertahannya siklus pada fase ini dimediasi oleh aktivitas p53.
2. Mitosis dimulai pada permulaan fase M. Sel tidak dapat melakukan titik ini bila ada kerusakan atau kesalahan DNA
3. Selesaiannya mitosis terdapat di akhir fase M. Sel akan tertahan di titik ini jika mitotic spindle gagal untuk berkumpul secara adekuat.

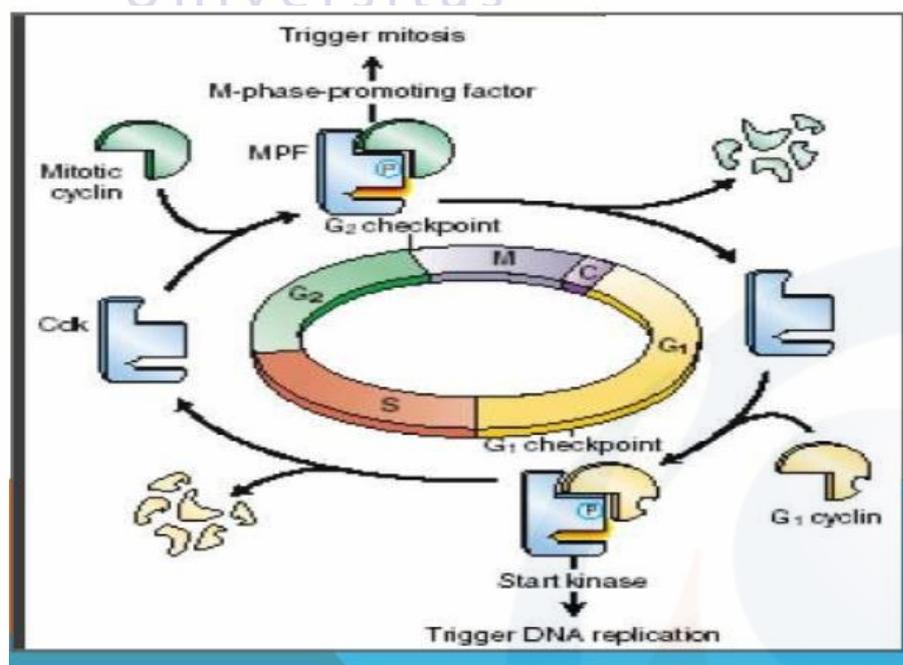
Terdapat 4 tempat terjadinya checkpoint, yaitu pada perbatasan fase G<sub>1</sub>/S, intra fase S, perbatasan fase G<sub>2</sub>/M dan dalam mitosis. Checkpoint terjadi pada perbatasan G<sub>1</sub>/S, G<sub>2</sub>/M dan M. Kerusakan DNA dapat diketahui oleh checkpoint karena adanya 3 komponen utama, yaitu: sensor kerusakan, signal transduksi dan efektor. Tertahannya suatu fase memerlukan sensor dan pengenalan akan tempat rusaknya DNA untuk memulai checkpoint.

Kemampuan sel untuk memulai siklus sel tergantung dari adanya protein cyclin dan cyclin-dependent kinase (CDKs). Cyclin mengontrol siklus sel dengan mengatur cyclin dependent kinases (CDKs). CDKs menjadi aktif ketika berikatan dan membentuk kompleks dengan protein cyclin. CDKs yang aktif akan

menstimulasi siklus sel terus menerus dengan memfosforilasi (dan karena itu mengaktifkan) protein spesifik dalam sel yang diperlukan untuk transisi ke tahap yang selanjutnya.

Peningkatan kadar cyclin sampai melewati ambang akan menyebabkan CDKs inhibitor tidak dapat lagi menghambat CDKs sehingga CDKs menjadi aktif dan berikatan dengan cyclin untuk membentuk kompleks cyclin-CDKs. Kompleks MPF yang dibentuk oleh cyclin B-CDKs akan memicu transisi fase G2 memasuki fase M. Peningkatan kecil kadar cyclin akan memproduksi peningkatan aktivitas MPF kinase yang besar sehingga terjadi kondensasi chromosome. Aktivitas ini bahkan dapat memicu mitosis pada sel-sel yang tidak membelah. Sementara untuk memasuki fase S, dikontrol oleh faktor transkripsi E2F.

Aktivitas cyclin juga dipengaruhi oleh beberapa jalur extracellular signaling yang memfasilitasi koordinasi pembelahan sel pada organism multiselular. Sebagai tambahan aktivitas cyclin, siklus sel dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: growth factor, hormon, interaksi sel dengan sel. Setelah membentuk fungsi spesifiknya, cyclin akan didegradasi melalui jalur ubiquitin-proteasome.



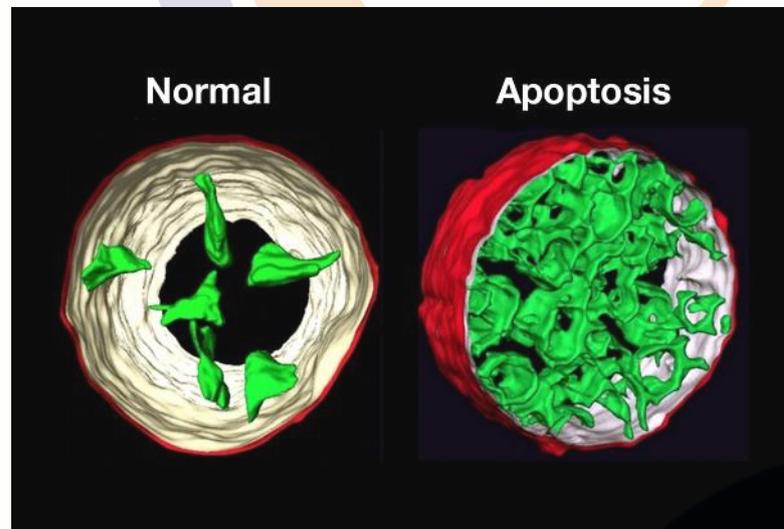
Gambar 8. Siklus sel dan check point

### **Checkpoint Kerusakan DNA Saat Siklus Sel**

Telah disebabkan sebelumnya pada artikel mengenai mekanisme replikasi DNA bahwa terdapat potensi kesalahan penyalinan DNA maupun kerusakan dari faktor eksternal seperti radiasi. Untuk mencegah agar kerusakan DNA ini diteruskan maka pada pada siklus sel terdapat mekanisme pengecekan kerusakan DNA.

Sistem pengecekan kerusakan DNA ini terjadi pada saat sebelum fase  $G_1$  dan setelah fase  $G_2$ . Efek sistem ini adalah:

- Berhentinya siklus sel di  $G_1$ , S, atau  $G_2$
- Melambatnya replikasi DNA
- Meningkatnya ekspresi gen yang berperan dalam perbaikan DNA
- Induksi apoptosis (kematian sel terprogram)



Gambar 9. Perbandingan morfologi sel normal dan sel yang mengalami apoptosis

### **3. Pembelahan sel Mitosis**

Pada suatu proses pertumbuhan dan perkembangan suatu makhluk hidup, bisa terjadi karena adanya proses bertambahnya jumlah sel-sel pada bagian penyusun tubuh. Proses penambahan jumlah sel-sel pada bagian penyusun tubuh juga bisa berlangsung melalui tahapan proses pembelahan sel secara mitosis. Pembelahan sel secara mitosis yakni, suatu proses pembelahan sel, yang biasanya terjadi pada bagian-bagian sel somatis (pada bagian sel-sel yang berfungsi sebagai penyusun tubuh).

Pada proses pembelahan sel secara mitosis tersebut pada setiap sel-sel indukan yang mempunyai sifat diploid (biasa disebut  $2n$ ) dan akan menghasilkan dua buah sel anakan, yang masing-masing tetap mempunyai sifat diploid. Jumlah yang dimiliki oleh kromosom sel-sel anakan adalah sama dengan jumlah kromosom yang dimiliki oleh sel-sel indukannya. Apabila pada sel-sel indukannya mengandung sejumlah 46 kromosom, maka pada sel-sel anaknya juga mengandung sejumlah 46 kromosom.

Pada makhluk hidup seperti halnya hewan dan manusia, proses pembelahan sel secara mitosis terjadi pada bagian sel-sel meristem somatis (bagian-bagian dari sel tubuh yang relatif masih muda) yang akan mengalami suatu proses pertumbuhan dan perkembangan. Seperti contohnya pada sel telur yang sudah dilakukan proses pembuahan oleh sperma yang nantinya akan menjadi zigot. Zigot akan mengalami proses membelah diri dalam beberapa kali secara mitosis yang memiliki fungsi untuk proses pembentukan suatu embrio.

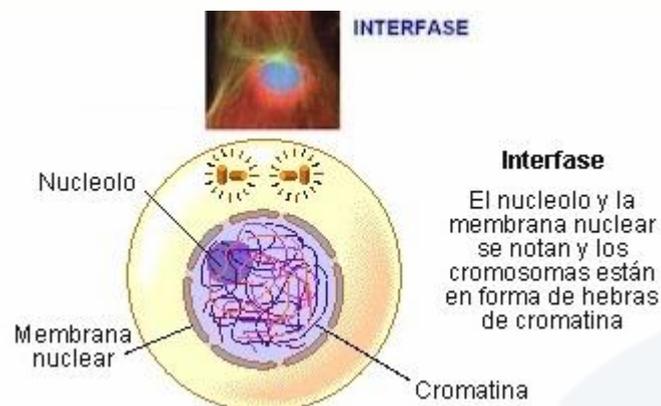
Waktu yang dibutuhkan selama siklus pembelahan sel secara mitosis akan bergantung pada jenis-jenis organisme dan juga keadaan / kondisi dari temperatur di sekitarnya. Proses pembelahan pada nukleus yang masih aktif dari tahap profase ke tahap telofase akan diselesaikan dalam kurun waktu kurang lebih tiga jam pada suhu sekitar 15 derajat celcius dan juga apabila dalam kurun waktu kurang lebih satu setengah jam, maka pada suhu sekitar 25 derajat celcius.

Perbedaan tersebut diduga akibat proses reaksi kimia yang telah dikendalikan oleh enzim yang sangat sensitive dengan kondisi suhu. Fase yang paling lama terjadi adalah pada proses pembelahan sel secara mitosis pada bagian ujung akar kacang kapri adalah tahap interfase, yang mungkin membutuhkan kurun waktu kurang lebih 23 jam pada suhu sekitar 15 derajat celcius dan jika kurun waktu kurang lebih 15 jam, maka pada suhu sekitar 25 derajat celcius.

Pembelahan sel secara mitosis biasanya diawali pada saat telah terjadinya suatu proses peleburan antara sel-sel pada kelamin jantan dan sel-sel pada kelamin betina yang nantinya akan membentuk zigot yang mempunyai sifat diploid ( $2n$ ). Dalam proses pertumbuhan dan perkembangannya, zigot akan melakukan proses pembelahan berkali-kali secara mitosis sehingga menghasilkan jumlah yang sangat banyak yakni jutaan sel. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan zigot akan melakukan proses pembelahan diri dari yang semula berjumlah satu sel saja bisa menjadi berjumlah 2 sel, 4 sel, 8 sel, 16 sel, 32 sel, 64 sel, dan seterusnya.

Pada proses pembelahan sel secara mitosis, sel-sel tidak bisa langsung melakukan proses pembelahan menjadi dua buah, melainkan harus melewati beberapa fase-fase ataupun tahapan-tahapan, yakni melewati tahap profase, tahap metafase, tahap anafase, dan juga tahap telofase. Pada saat sel-sel telah siap untuk memulai melakukan proses pembelahan, maka akan langsung terjadi tahap interfase. Tahap interfase disebut juga dengan fase istirahat. Pada tahapan interfase tersebut sel-sel belum bisa langsung memperlihatkan proses dan kegiatannya saat membelah diri.

Tahapan Interfase biasanya ditandai dengan bagian-bagian inti sel yang akan terlihat keruh dan selanjutnya secara lambat laun akan terlihat benang-benang kromatin yang sangat halus. Dan juga pada fase ini, sel-sel dalam kondisi / keadaan yang dinamis, dimana pada bagian sel-sel yang masih aktif akan mengadakan proses sintesis zat dan melakukan proses pengumpulan energi-energi sebagai suatu proses persiapan untuk melakukan proses pembelahan sel secara mitosis.



Gambar 10. Pada fase interfase terjadi sintesis mikrotubul

Maka akibatnya akan terjadi suatu proses penimbunan zat dan juga energi yang bisa menyebabkan masa maupun volume yang bertambah menjadi semakin besar, sehingga akan terjadi ketidak seimbangan dengan bagian luar dari sel. Pada akhirnya kondisi / keadaan ini, akan mendorong sel-sel untuk melakukan proses pembelahan sel secara mitosis. Setelah tahap interfase pada proses pembelahan sel secara mitosis memasuki fase yang dinamakan mitotic yang akan terurai sebagai berikut, tahap profase, tahap metafase, tahap anafase dan juga tahap telofase.

Mitosis dimulai pada akhir fase G2 dan mengakhiri siklus sel. Mitosis adalah suatu proses terbaginya sitoplasma dan nucleus sama besar menjadi 2 anak sel yang identik. Pertama-tama, materi nucleus terbagi dalam suatu proses yang disebut karyokinesis. Proses ini kemudian diikuti oleh pembagian sitoplasma yang disebut cytokinesis. Fase mitosis dibagi lagi menjadi 5 tahap, yaitu: prophase, prometaphase, metaphase, anaphase dan telophase

Awal prophase, chromosome berkondensasi sehingga dapat terlihat secara microscopis. Tiap chromosome terdiri dari 2 sister chromatid yang paralel, yang bergabung pada satu titik, yaitu: centromere. Kondensasi chromosome akan diikuti dengan menghilangnya nucleolus. Centrosome terbagi menjadi 2 bagian, setiap bagian terdiri atas sepasang centriole dan sebuah microtubule-organizing center (MTOC) yang akan bermigrasi menuju ke kutub yang berlawanan

Dari setiap MTOC, akan berkembang menjadi astral rays dan spindle fibers. Keduanya akan menjadi mitotic spindle apparatus. Astral rays merupakan microtubule yang berjalan keluar dari kutub spindle. Microtubule ini akan membantu menyesuaikan dengan MTOC pada kutub sel. Bila microtubule terletak di daerah centromere, maka disebut sebagai spindle fibers yang membantu mengarahkan migrasi chromosome ke kutub. Tanpa adanya centriole, microtubule-nucleating material akan menyebar dalam sitoplasma sehingga astral rays dan spindle fibers tidak tepat terbentuk dan mitosis tidak terbentuk secara tepat.

Pada daerah centromere dari tiap chromatid akan terbentuk kinetochore. Spindle fibers berikatan dengan kinetochore sebagai persiapan migrasi chromatid untuk karyokinesis. Saat nuclear lamina difosforilasi, prometaphase dimulai dan akan menghasilkan pemecahan dan hilangnya membran nucleus. Selama fase ini, 19 chromosome diatur secara acak di seluruh sitoplasma. Microtubule yang melekat dengan kinetochore disebut mitotic spindle microtubule. Sedangkan microtubule yang tidak tergabung dalam spindle apparatus disebut polar microtubule.

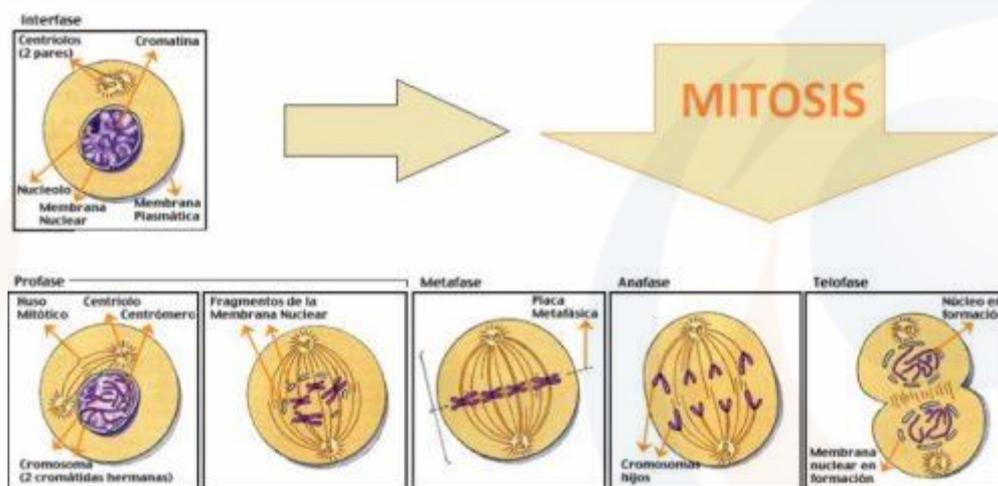
Polar microtubule ini berfungsi untuk mempertahankan jarak antara 2 kutub selama proses mitosis. Microtubule mitotic spindle turut membantu dalam migrasi chromosome sehingga bergabung menjadi 1 baris dengan mitotic spindle. Selama metaphase, chromosome berkondensasi maksimal dan berada dalam 1 baris pada bidang equator mitotic spindle. Tiap chromatid tersusun paralel pada equator dan spindle microtubule melekat dengan kinetochore dan menyebar ke kutub spindle.

Sister chromatid harus dipertahankan kedekatannya ketika chromosome berkondensasi dan membentuk satu garis pada metaphase mitotic spindle.

Berpisahannya sister chromatid yang terletak pada equator dari metaphase plate dan bermigrasi menuju kutub yang berlawanan akan memulai anaphase . Migrasi chromatid diarahkan oleh sisi perlekatan kinetochore. Migrasi chromatid ini mungkin disebabkan karena pemendekan microtubule melalui depolimerisasi pada ujung kinetochore. Di akhir anaphase, mulai terbentuk celah (cleavage furrow) pada plasmalemma, yang akhirnya akan menjadi tempat sel membelah selama cytokinesis.

Pada telophase, tiap chromosome telah mencapai kutub yang dituju, terjadi defosforilasi nuclear lamina dan membran nucleus kembali dibentuk. Chromosome terurai dan terorganisasi menjadi heterochomatin dan euchromatin pada sel interphase. Nucleolus berkembang dari NORs pada tiap chromosome.

Celah tersebut bertambah dalam sampai hanya tinggal midbody, yaitu jembatan kecil sitoplasma dan sisa microtubule yang menghubungkan 2 sel anak. Polar microtubule dikelilingi oleh contractile ring dalam membran plasma yang terdiri dari filamen actin dan myosin yang melekat pada membran plasma. Kontraksi cincin ini diikuti oleh depolimerisasi sisa spindle microtubule yang akan memisahkan kedua sel anak. Saat pemisahan dan segera sesudahnya, actin dan myosin serta sisa microtubule dari mitotic apparatus dihilangkan. Pemisahan ini dikenal dengan cytokinesis. Mitosis akan menghasilkan 2 sel anak yang identik, termasuk seluruh genome dan tiap sel anak memiliki jumlah chromosome yang diploid ( $2n$ ).



Gambar 11. Tahap Tahap Pembelahan Mitosis

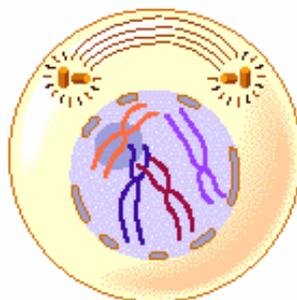
## 1. Tahap Profase

Pada tahap-tahap profase ini, bagian dari benang-benang kromatin akan terjadi suatu proses memendek dan juga menebal dan akan membentuk sebuah kromosom. Kemudian, pada setiap bagian kromosom akan melakukan proses membelah dan juga memanjang menjadi dua bagian, yakni pada masing-masing anak dari kromosom yang sering disebut dengan kromatid, dan pada bagian dinding inti akan mulai melakukan proses melebur.

Ciri-ciri yang dimiliki oleh tahap profase adalah sebagai berikut :

Di bagian dalam karioteka (membran inti))

- Pada bagian-bagian dari nukleolus akan menghilang.
- Terjadi proses pembentukan pada kromosom yang terbentuk dari benang-benang kromosom.
- Pada bagian karioteka (yang sering disebut dengan membran inti) akan menghilang dan terjadi proses pemecahan.
- Terjadi proses duplikasi (penggandaan) pada bagian-bagian dari kromosom dan kemudian menjadi kromatid.
- Selanjutnya kromatid hasil dari duplikasi (penggandaan) akan melakukan suatu proses pelekatan pada bagian dari sentromer.
- Di bagian luar karioteka (membran inti)
- Akan terlihat dua pasang sentriol (ini biasanya terjadi khusus pada sel hewan saja) yang kemudian dikelilingi oleh aster, yang terbentuk menjadi sentrosom.
- Pada bagian sentriol akan mengalami pergerakan menuju ke bagian kutub yang mempunyai arah berlawanan karena aster. Aster merupakan benang-benang spindel yang akan membentuk suatu bangunan menyerupai bentuk bintang.
- Benang-benang spindel tersebut akan melakukan proses pengikatan kromosom-kromosom pada bagian konetokor pada sebuah sentrosom.



**Profase**  
Los cromosomas se condensan y la membrana nuclear desaparece

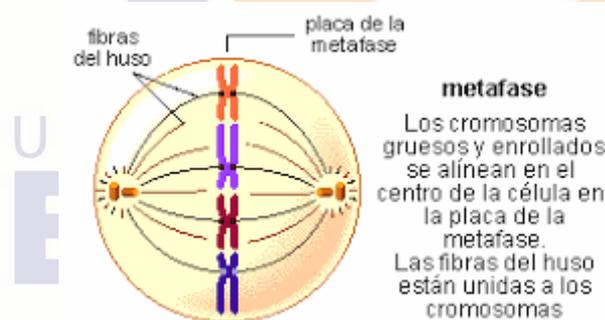
Gambar 12. Tahap Profase

## 2. Tahap Metafase

Pada tahap-tahap metafase ini, bagian dari benang-benang yang terdiri dari sepasang kromatid yang akan menuju ke bagian-bagian tengah dari sel dan akan langsung menempatkan dirinya pada bagian bidang tengah dari sel-sel tersebut. Bidang ini biasa disebut dengan bidang ekuator. Bidang ekuator merupakan suatu bidang tempat terjadinya proses pembelahan sel.

Ciri-ciri yang dimiliki oleh tahap metafase adalah sebagai berikut :

- Terjadi suatu proses peleburan karioteka (membran inti) secara sempurna.
- Benang-benang spindel akan menempati daerah-daerah bekas inti.
- Kromatid akan melakukan pergerakan menuju ke arah bidang ekuator atau disebut dengan bidang pembelahan dan kemudian sentromernya akan terikat dengan benang-benang spindel.
- Kromatid akan berjajar di sepanjang bidang ekuator atau bidang pembelahan.



Gambar 13. Tahap Metafase

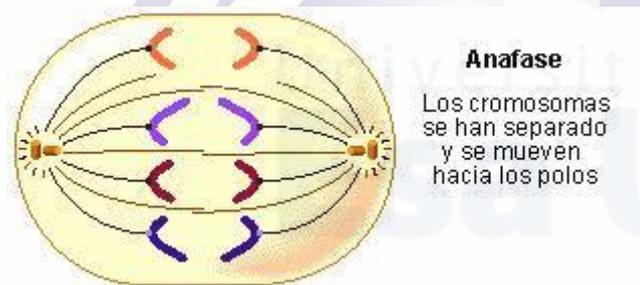
## 3. Tahap Anafase

Pada tahap-tahap anafase ini, pada kedua bagian kromatid akan memisahkan dirinya dari pasangannya dan akan melakukan pergerakan menuju ke bagian ujung atau bagian kutub sel-sel yang mempunyai arah saling berlawanan. Mulai pada waktu tersebut, pada bagian kromatid akan berlaku sebagai kromosom yang baru.

Ciri-ciri yang dimiliki oleh tahap anafase adalah sebagai berikut :

- Bagian sentromer akan membelah menjadi dua bagian dan bagian kromatid akan berpisah.

- Pada Benang-benang spindel antar bagian kromosom dan juga bagian sentriol akan memendek sehingga masing-masing kromosom akan tertarik ke bagian kutub yang mempunyai arah berlawanan.
- Tarikan pada benang-benang spindel pada bagian kromosom adalah sebagai akibat dari proses kontraksi pada bagian mikrotubulus.
- Kromosom sudah sampai pada masing-masing bagian kutubnya.
- Serat-serat antara kromosom akan mengalami perenggangan sehingga bagian sel akan menjadi memanjang.



Gambar 14. Tahap anafase

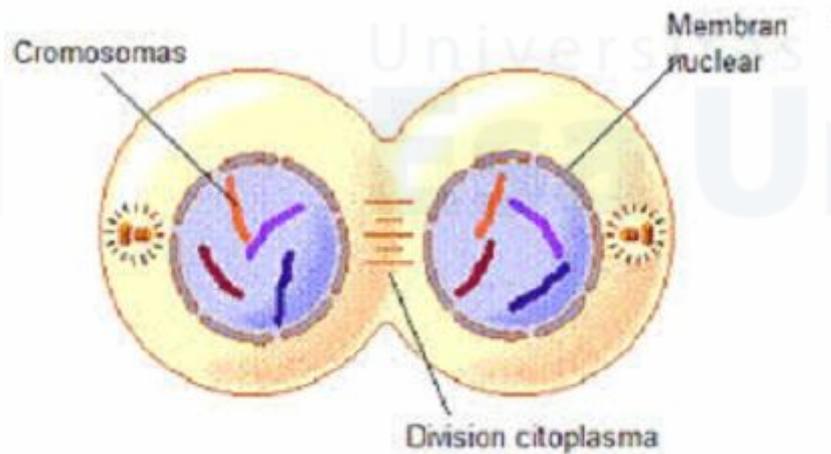
#### 4. Tahap Telifase

Pada tahap-tahap telifase ini, pada setiap bagian dari kutub akan terbentuk kromosom-kromosom yang memiliki sifat identik. Maka bagian dari dinding inti sel-sel akan mengalami proses pembentukan kembali. Pada bagian dari plasma sel yang akan terbagi menjadi dua bagian yang sama biasa disebut dengan tahap sitokinesis. Tahap sitokinesis yang terjadi pada sel hewan, biasanya ditandai dengan proses melekungnya bagian dari sel-sel ke dalam dan juga ditandai dengan proses terbentuknya bagian dari membran sel. Sedangkan tahap sitokinesis yang terjadi pada sel tumbuhan, biasanya ditandai dengan proses terbentuknya bagian dari dinding sel dan tentunya juga ditandai dengan terbentuknya membran sel yang baru di bagian tengah-tengah sel

Ciri-ciri yang dimiliki oleh tahap telifase adalah sebagai berikut :

- Pada bagian benang-benang spindel yang memiliki fungsi sebagai pengantung kromosom akan hilang (aster akan menghilang).
- Pada bagian karioteka (membran inti) akan terbentuk kembali pada setiap bagian-bagian kutub dari sel dan juga akan melingkupi pada bagian kromosom.
- Kromosom akan mengalami sebuah proses yang dinamakan dekondensasi yang menjadi kromatin.
- Bagian nukleolus akan mengalami pembentukan kembali.

- Bagian matrik pada sitoplasma akan kembali dalam kondisi yang jernih.
- Terjadi suatu proses penebalan pada bagian dari plasma (proses ini biasa disebut sebagai plasmakinesis) pada bagian-bagian bidang ekuator yang memiliki peran sebagai langkah awal dalam proses sitokinesis.
- Terbentuk selaput-selaput pemisah pada bagian -bagian bidang ekuator / bidang pembelahan (sebagai proses sitokinesis) dan juga akan terbentuk dua buah sel-sel anak yang baru.



Gambar 15. Tahap Telofase

### Referensi

- Albert, B., A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts dan P. Walter. 2014. *Molecular Biology of the Cell. 6th ed.* Garland Science. Uk
- Ashasima,. 2010. *Division of Life Sciences, Komaba Organization for Educational Excellence, College of Arts and Sciences.* The University of Tokyo.
- Campbell, N. A., B. Jane And Reece. Campbell Biology. 8 th Ed. Pearson education. Amerika
- Krauss, G. 2008. *Biochemistry of Signal Transduction and Regulation. 4th Edition.* WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim



Universitas  
**Esa Unggul**



Universitas  
**Esa Unggul**