



www.esaunggul.ac.id

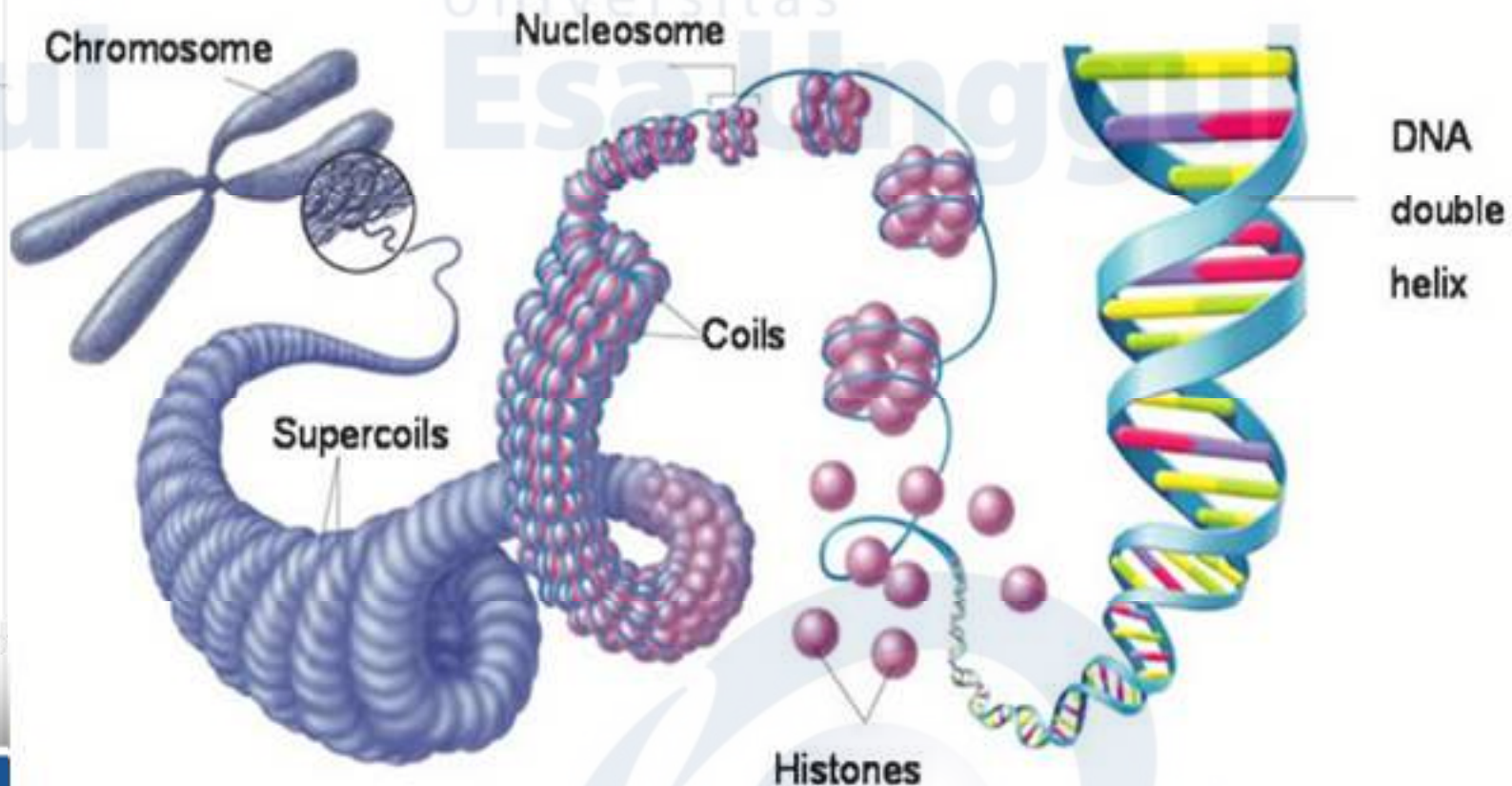
Pembelahan Sel

Dr. Henny Saraswati, M.Biomed

- Pembelahan sel merupakan cara sel untuk memperbanyak diri
- Hal ini adalah salah satu ciri makhluk hidup
- *Omnis cellula e cellula* → setiap sel berasal dari sel
- Dalam pembelahan sel ini juga terjadi proses penurunan sifat dari orang tua ke keturunannya

Apa itu kromosom??

- Kromosom adalah Kemasan DNA dan protein (histon) di dalam inti sel

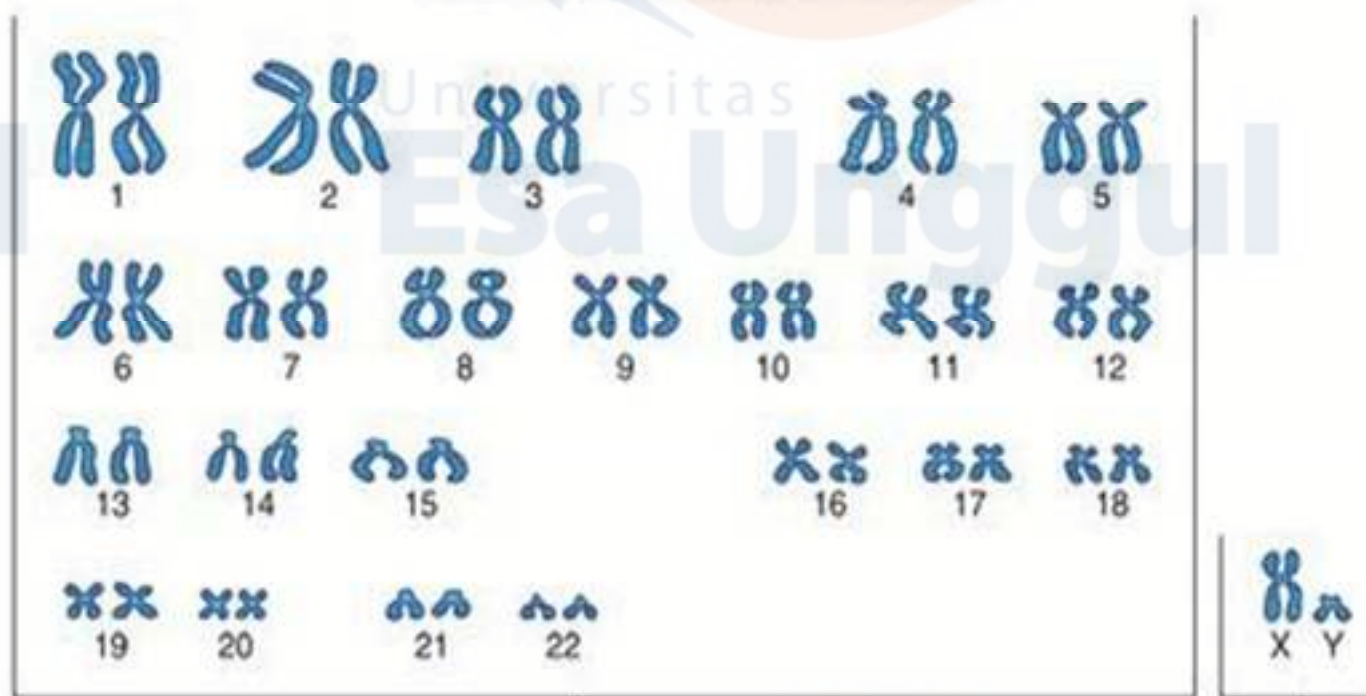


Kromosom manusia

- Terdapat 46 kromosom pada manusia (23 pasang)
- Terdiri dari 22 pasang **kromosom tubuh** (*autosome*) dan 1 pasang **kromosom kelamin** (*sex chromosome*)
- Kromosom kelamin :
 - Wanita : kromosom XX
 - Pria : kromosom XY

Kromosom manusia

Human chromosomes (a total of 46)



Autosomes (22 pairs)

2 sex chromosomes
(this example is male
(XY. Females have 2 X
chromosomes)

Jumlah kromosom pada makhluk hidup lain

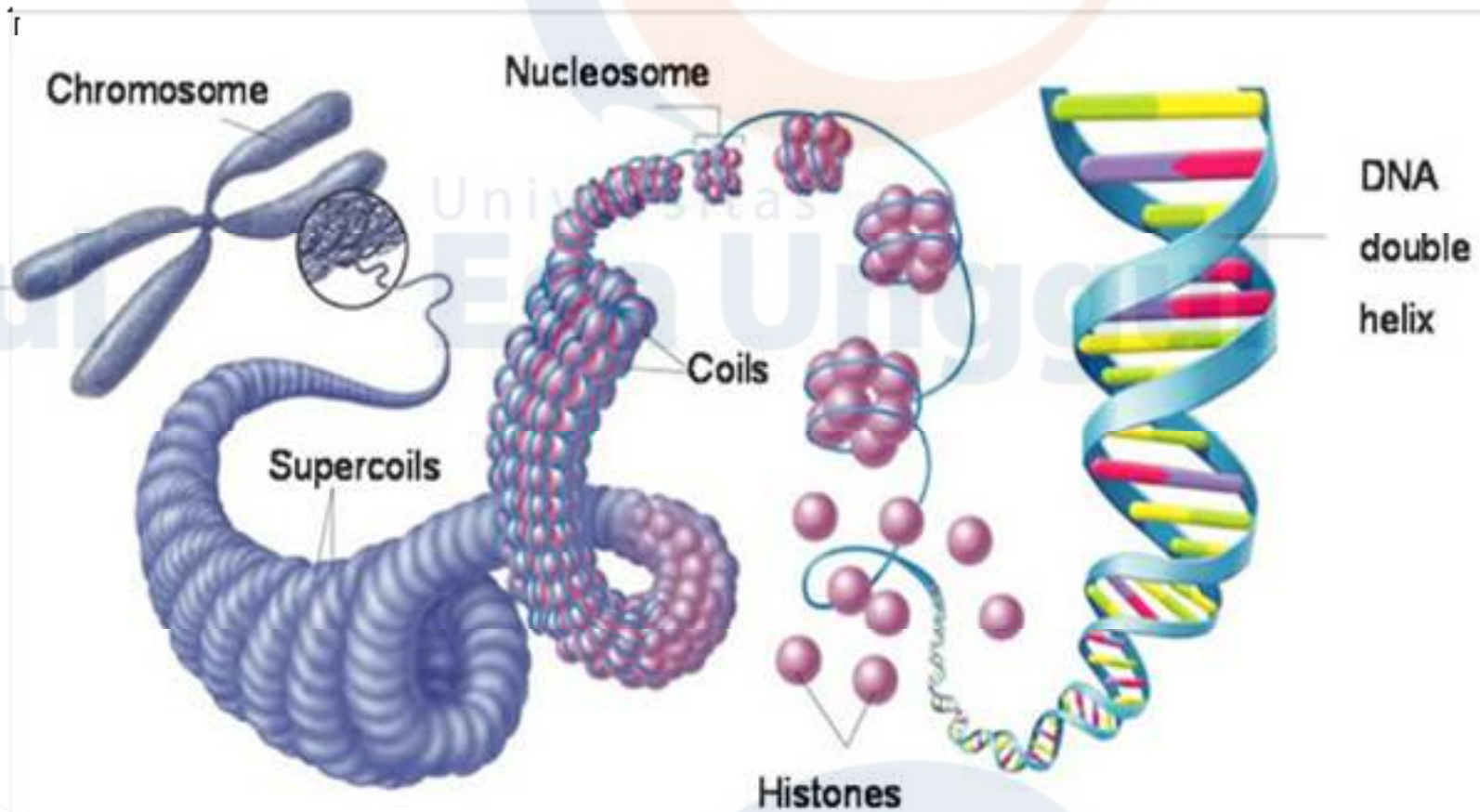
Table 11.1 Chromosome Number in Selected Eukaryotes

Group	Total Number of Chromosomes	Group	Total Number of Chromosomes	Group	Total Number of Chromosomes
FUNGI		PLANTS		VERTEBRATES	
<i>Neurospora</i> (haploid)	7	<i>Haplopappus gracilis</i>	2	Opossum	22
<i>Saccharomyces</i> (a yeast)	16	Garden pea	14	Frog	26
INSECTS		Corn	20	Mouse	40
Mosquito	6	Bread wheat	42	Human	46
<i>Drosophila</i>	8	Sugarcane	80	Chimpanzee	48
Honeybee	32	Horsetail	216	Horse	64
Silkworm	56	Adder's tongue fern	1262	Chicken	78
				Dog	78

Bagaimana DNA bisa di kemas rapi di dalam sel?

- DNA akan terikat dengan protein yang bernama histon
- Setiap 200 nukleotida DNA akan terikat dengan 8 unit protein histon → nukleosom

Struktur kromosom

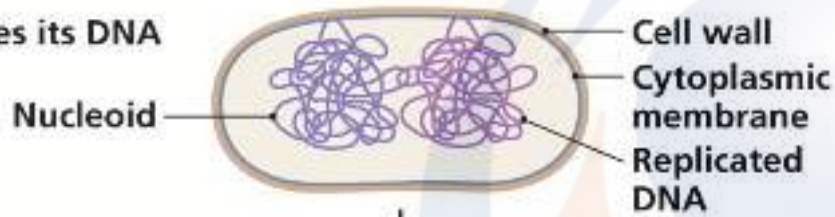


Pembelahan Sel

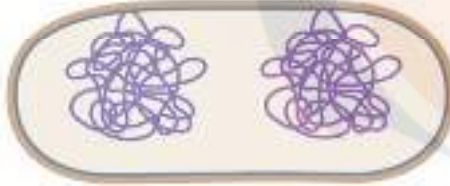
Pembelahan sel pada bakteri (sel prokariotik)

- Pada bakteri, pembelahan sel berlangsung lebih sederhana dibandingkan pada sel eukariotik
- Satu sel bakteri membelah menjadi 2 (dua) → *binary fusion*
 1. Ukuran sel bakteri membesar hingga 2 kali lipat
 2. DNA dari sel induk diduplikasi sehingga bisa diturunkan ke kedua sel baru

1 Cell replicates its DNA



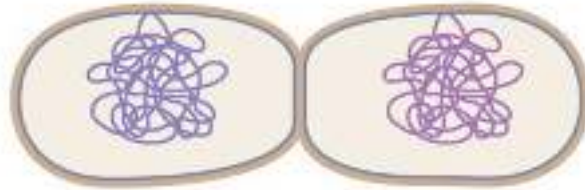
2 The cytoplasmic membrane elongates, separating DNA molecules



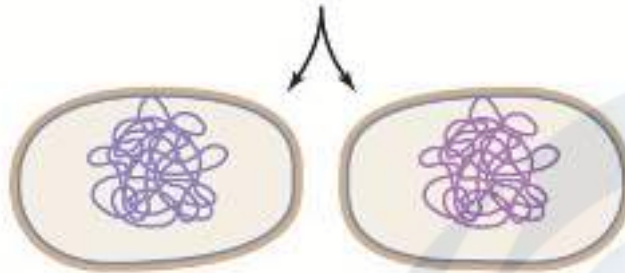
3 Cross wall forms; membrane invaginates



4 Cross wall forms completely



5 Daughter cells

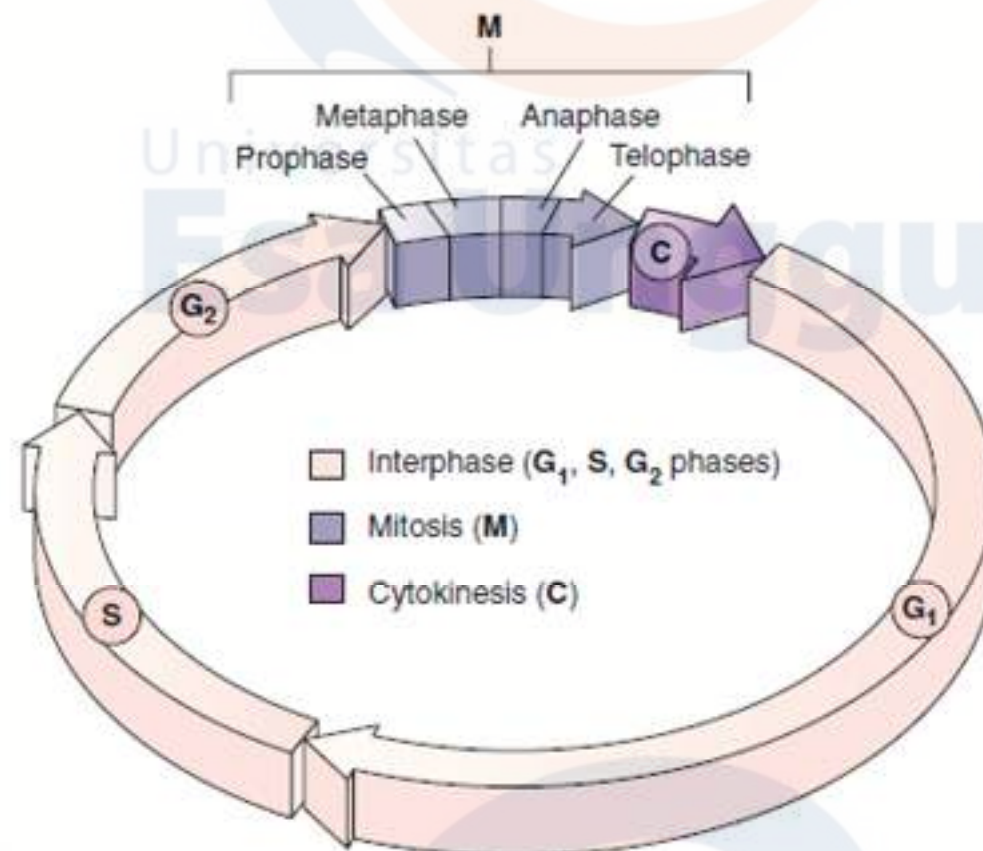


Proses pembelahan sel pada bakteri

Pembelahan sel pada sel-eukariotik

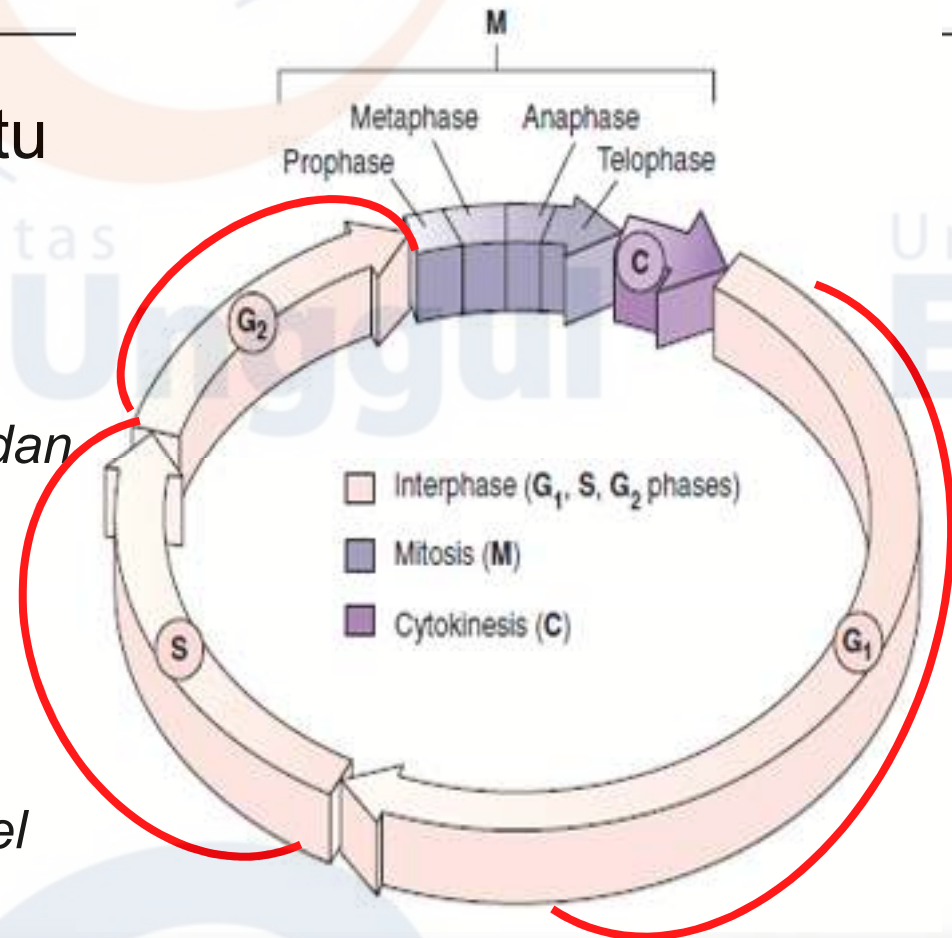
- Pada sel eukariotik proses pembelahan sel berlangsung lebih rumit
- Ada beberapa tahap :
 - Interfase
 - Mitosis
 - Sitokinesis

Fase-fase pembelahan sel eukariotik



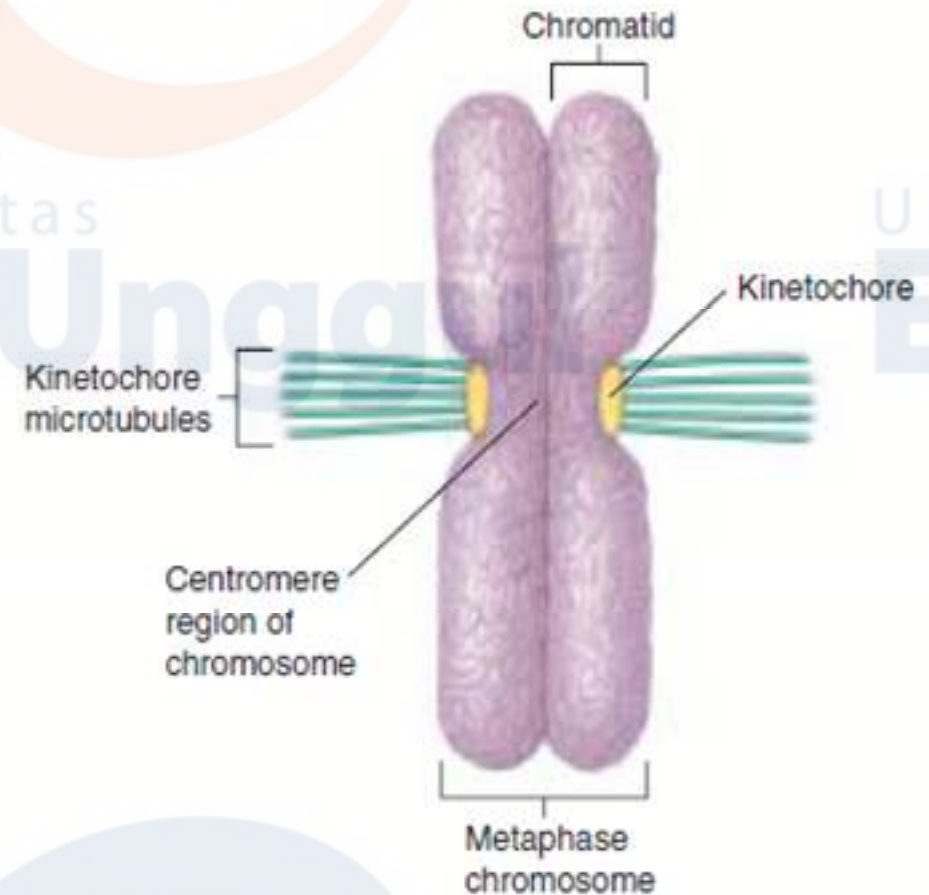
Interfase

- Fase ini merupakan fase yang lama terjadi dalam satu siklus sel (± 23 jam)
- Interfase terdiri dari 3 fase :
 - Fase G1 : terjadi peningkatan ukuran sel, pembentukan RNA dan protein
 - Fase S : terjadi penggandaan DNA
 - Fase G2 : terjadi pertumbuhan ukuran sel, sintesis protein dan pengecekan terakhir sebelum sel memasuki fase mitosis



Interfase

- Pada fase S, setiap kromosom akan bereplikasi menjadi 2 *sister chromatid*
- Kedua sister chromatid akan berikatan pada sentromer

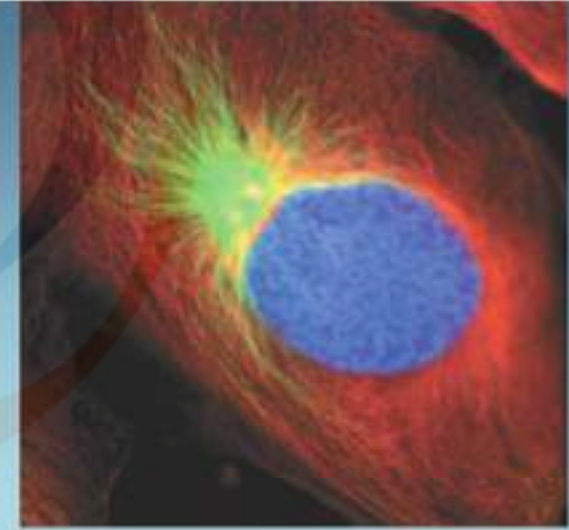


Mitosis

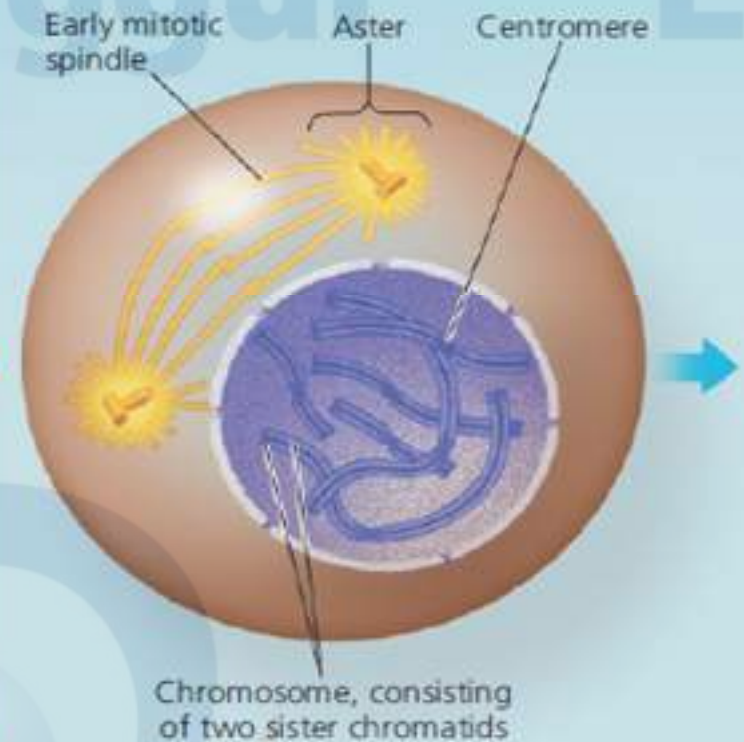
- Pada fase ini terjadi pembelahan sel menjadi 2
- Kromosom juga terpisah menjadi 2 bagian → ke bagian sel yang baru
- Mitosis ini dibagi menjadi 5 fase
 1. ***Profase***
 2. ***Metafase***
 3. ***Anafase***
 4. ***Telofase***

Profase

- Kromosom berkondensasi (bentuknya lebih padat) sehingga bisa diamati dengan mikroskop cahaya
- Terbentuknya benang spindel
- Dua sentrosom akan berpisah membentuk aster

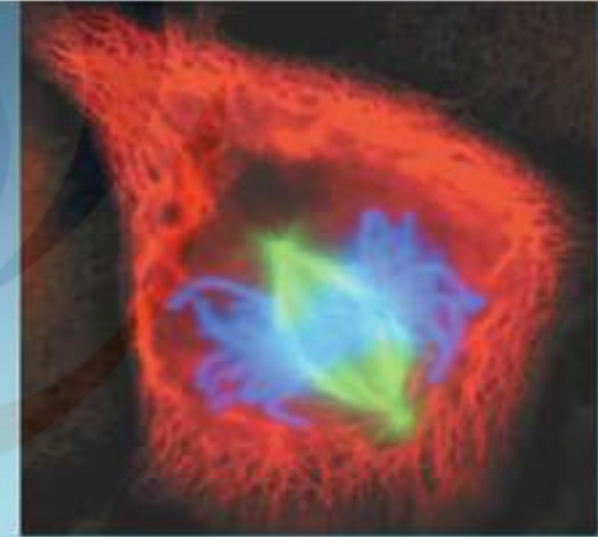


Prophase

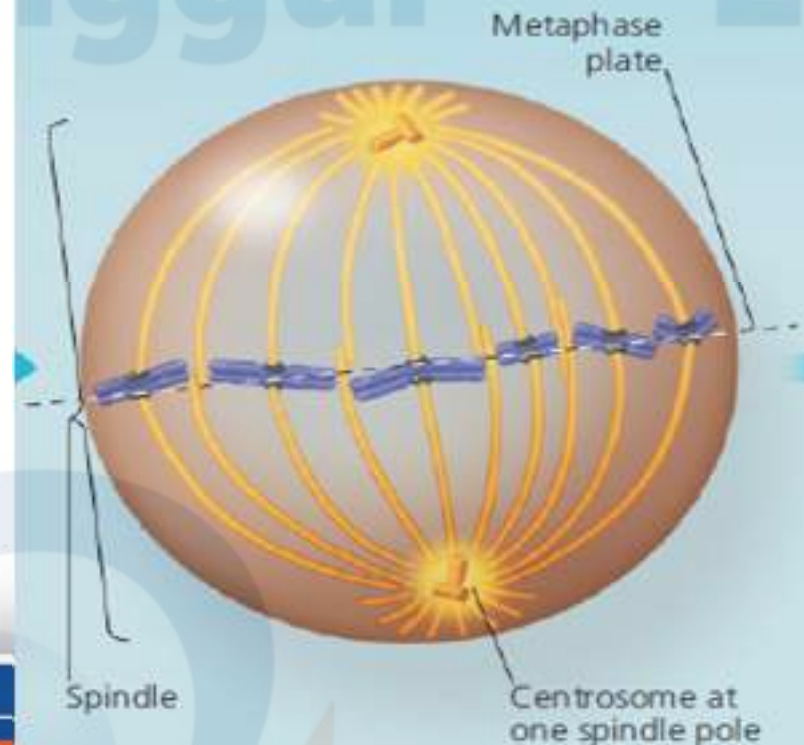


Metafase

- Pada fase ini sentrosom terletak pada kutub yang berseberangan
- Kromosom akan terletak di bagian tengah sel siap terpisah
- Kromosom tetap terikat dengan benang spindel

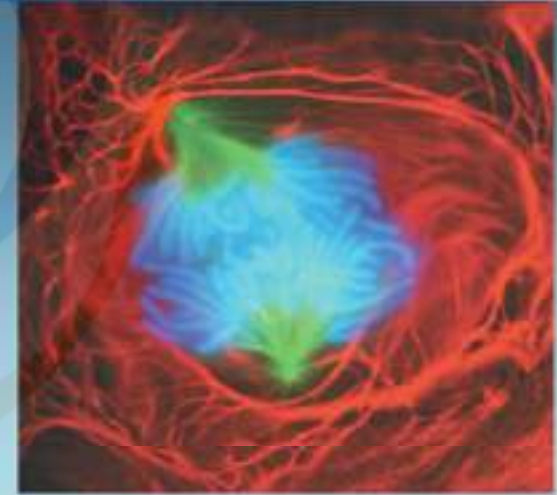


Metaphase

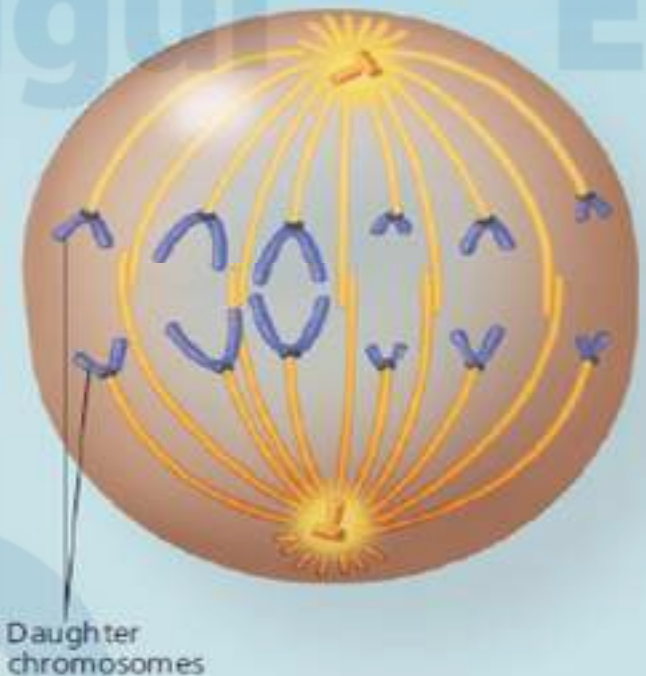


Anafase

- Pada fase ini *sister chromatid* pada kromosom akan terpisah
- Masing-masing *sister chromatid* akan menuju ke kutub yang berbeda
- Pada akhir anafase setiap sel baru mempunyai kromosom yang jumlahnya sama

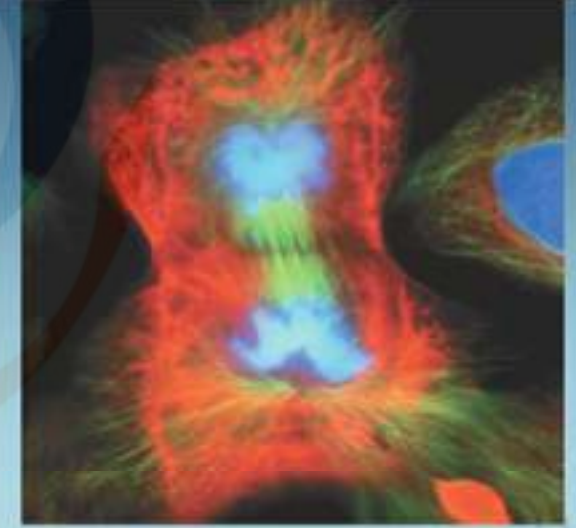


Anaphase

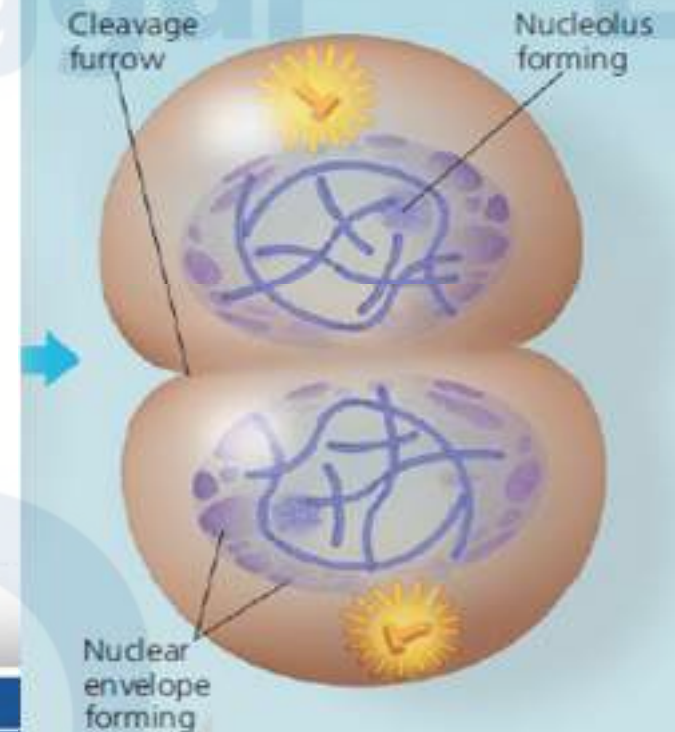


Telofase

- Pada fase ini 2 sel baru mulai terbentuk
- Inti sel mulai terbentuk
- Sentrosom mulai menghilang
- Langsung diikuti dengan fase sitokinesis



Telophase and Cytokinesis

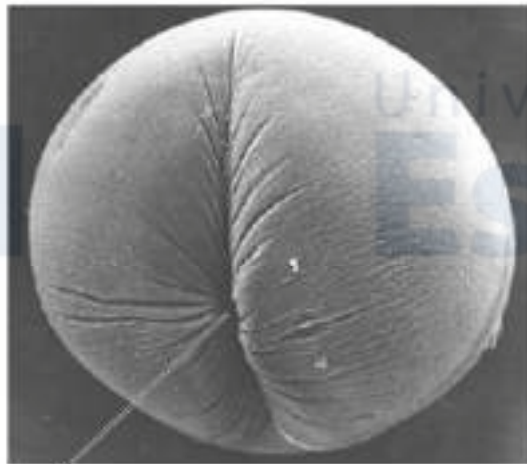


Sitokinesis

- Pembelahan sel menjadi 2 menjadi lengkap
- Pada sel hewan akan dimulain dengan pembentukan alur pembelahan (*cleavage furrow*) pada bagian tengah sel
- Sedangkan pada sel tumbuhan akan dimulai dengan pembentukan plat sel

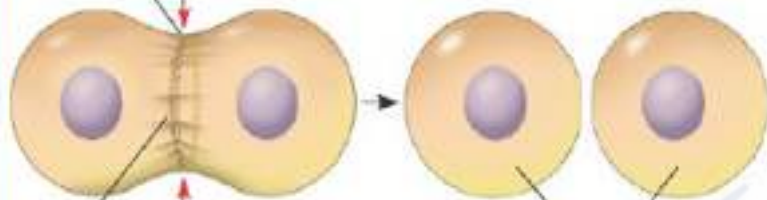
Perbedaan sitokinesis pada sel hewan dengan sel tumbuhan

(a) Cleavage of an animal cell (SEM)



100 μ m

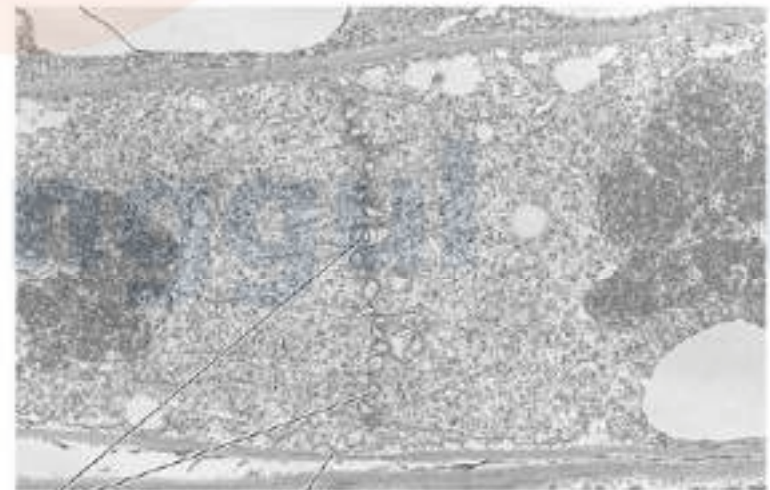
Cleavage furrow



Contractile ring of microfilaments

Daughter cells

(b) Cell plate formation in a plant cell (TEM)



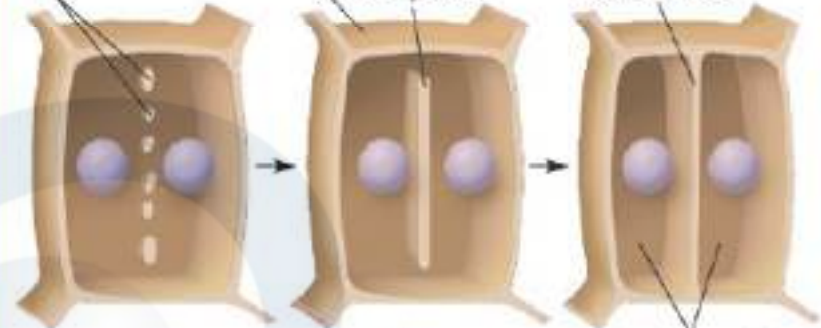
1 μ m

Vesicles forming cell plate

Wall of parent cell

Cell plate

New cell wall



Daughter cells

Mitosis pada sel tumbuhan



1 Prophase. The chromatin is condensing and the nucleolus is beginning to disappear. Although not yet visible in the micrograph, the mitotic spindle is starting to form.

2 Prometaphase. Discrete chromosomes are now visible; each consists of two aligned, identical sister chromatids. Later in prometaphase, the nuclear envelope will fragment.

3 Metaphase. The spindle is complete, and the chromosomes, attached to microtubules at their kinetochores, are all at the metaphase plate.

4 Anaphase. The chromatids of each chromosome have separated, and the daughter chromosomes are moving to the ends of the cell as their kinetochore microtubules shorten.

5 Telophase. Daughter nuclei are forming. Meanwhile, cytokinesis has started: The cell plate, which will divide the cytoplasm in two, is growing toward the perimeter of the parent cell.

Durasi proses pembelahan sel

- Sel manusia bisa membelah dalam 24 jam (setiap pembelahan)
 - Waktu yang dibutuhkan untuk setiap fase
 - Fase S : 10-12 jam
 - Fase G1 : 5-6 jam
 - Fase G2 : 4-6 jam
 - Fase mitosis : 1 jam
- } **Interfase**

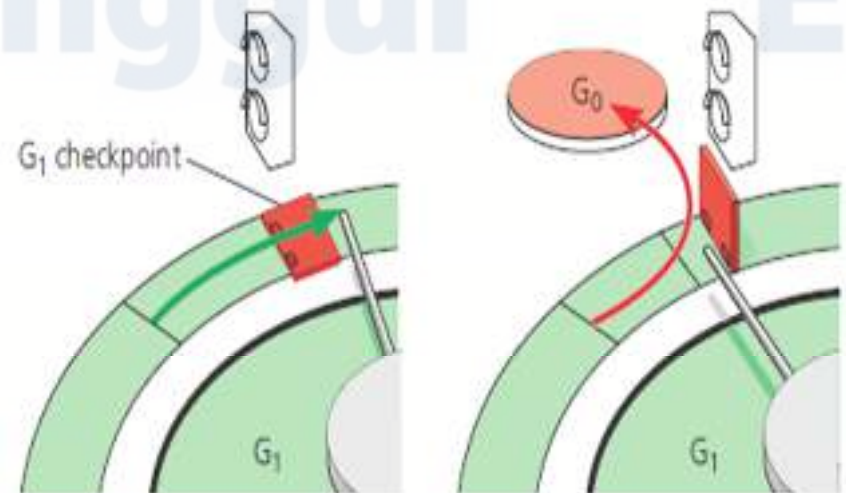
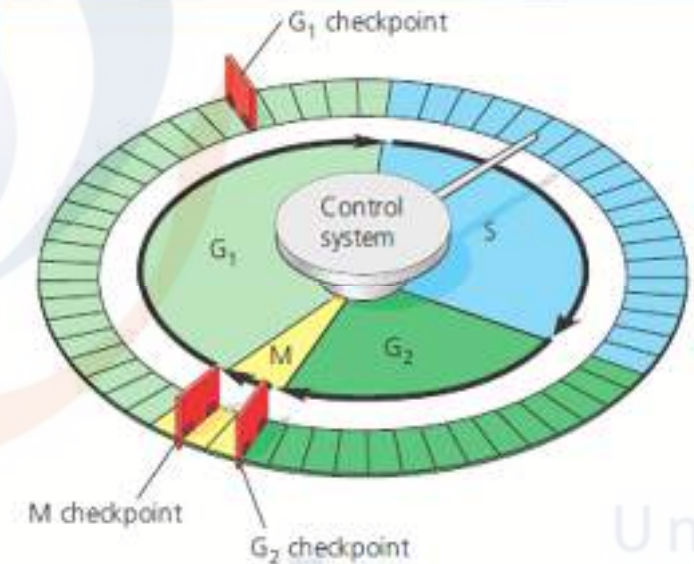
Kontrol dalam pembelahan sel

- Pengontrolan dilakukan untuk mengatur durasi fase-fase dalam pembelahan sel
- Sehingga semua fase akan mendapatkan waktu yang sesuai untuk prosesnya
- Pada sel eukariotik terdapat titik-titik pengontrolan yang disebut *checkpoint*



Checkpoint dalam kontrol pembelahan sel

- **G1 checkpoint** : apakah kondisi lingkungan sekitar sel mendukung proses selanjutnya
- **G2 Checkpoint** : apakah DNA telah tereplikasi, apakah kondisi lingkungan sekitar sel mendukung proses selanjutnya
- **M checkpoint** : apakah semua kromosom telah terikat dengan benang spindel



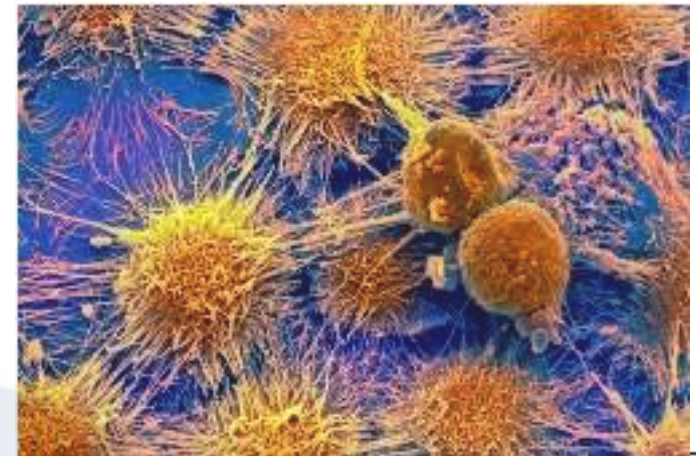
(a) If a cell receives a go-ahead signal at the G₁ checkpoint, the cell continues on in the cell cycle.

(b) If a cell does not receive a go-ahead signal at the G₁ checkpoint, the cell exits the cell cycle and goes into G₀, a nondividing state.

Sel Kanker dan Kontrol Pembelahan Sel

Sel Kanker berbeda dengan Sel Normal

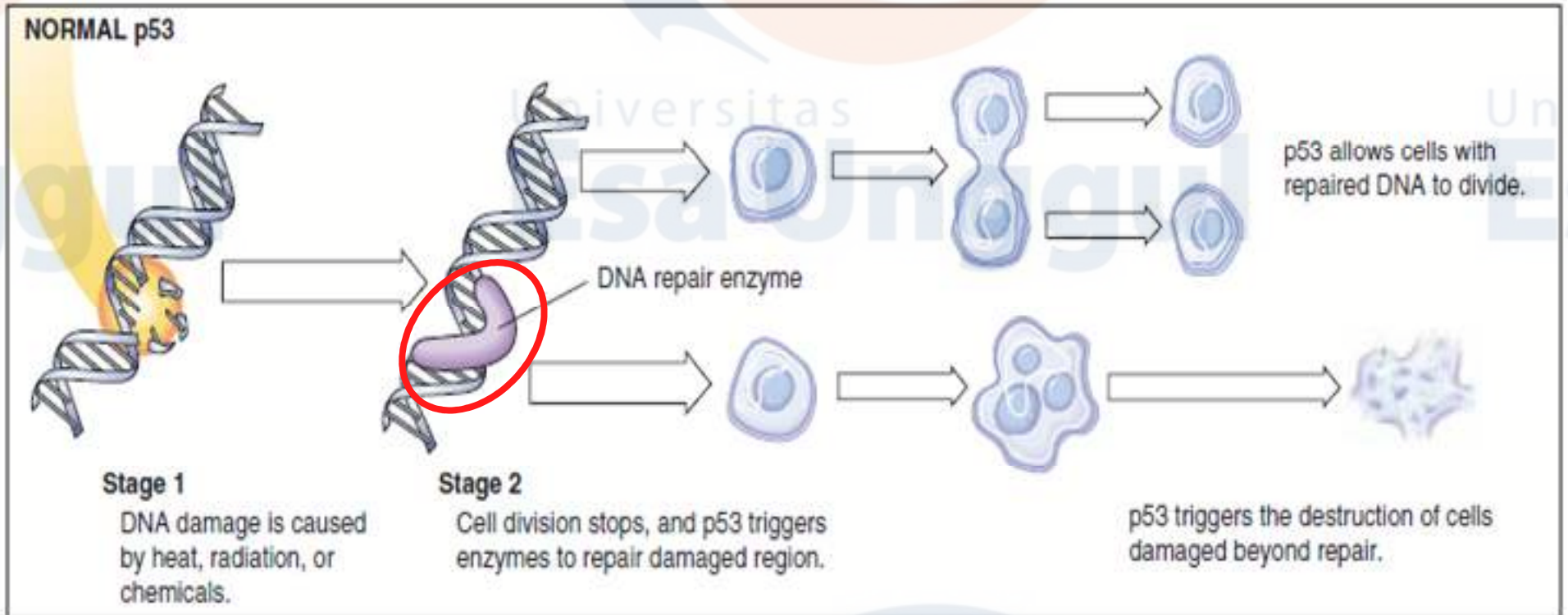
- Sel kanker tidak merespon terhadap sinyal pengontrolan pembelahan sel
- Sehingga sel kanker akan terus membelah → bahkan menyerang sel normal
- Titik *checkpoint* pada sel kanker juga berlangsung secara acak, tidak sama dengan sel normal



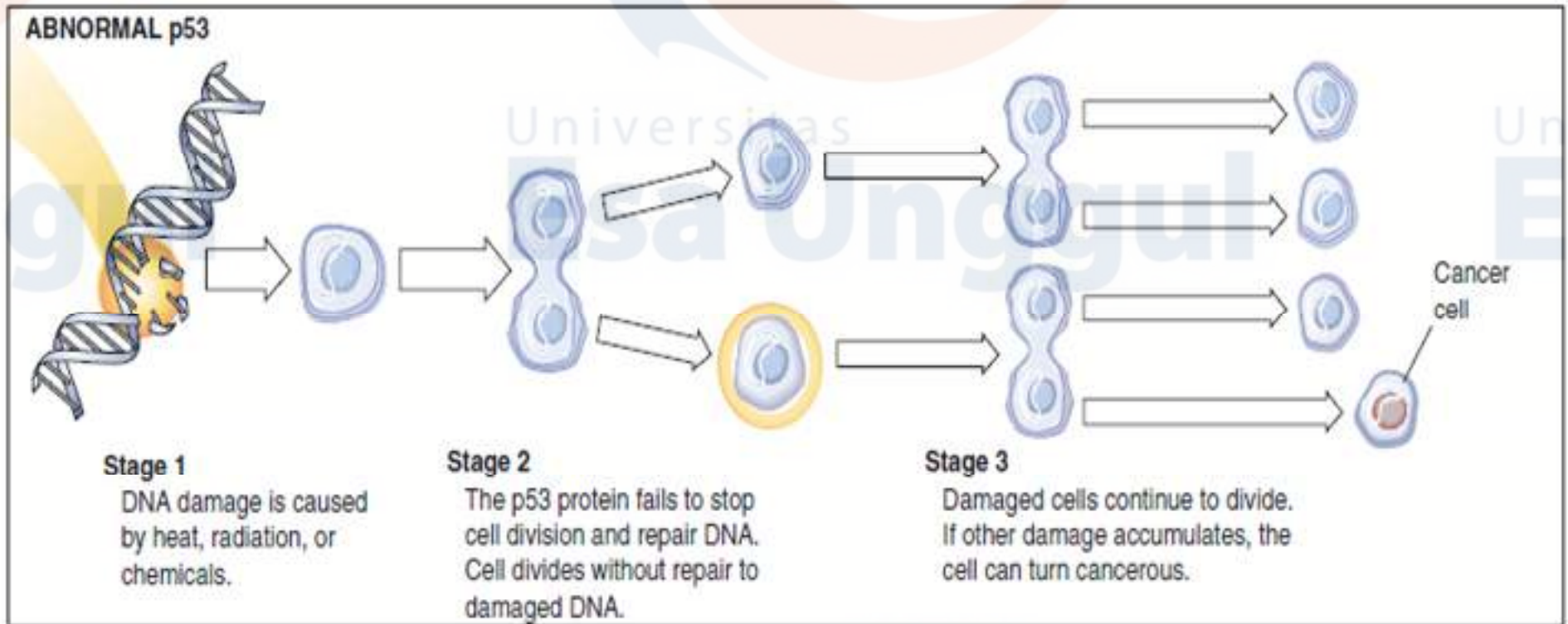
Sel kanker tidak memiliki gen pengontrol tumor (*tumor-supressor gene*)

- Pada sel yang normal gen *p53* akan menghasilkan protein p53 yang berperan dalam perbaikan kerusakan DNA
- Sehingga sel yang mengalami kerusakan DNA (mutasi) akan berhenti membelah atau mengalami apoptosis
- Sel kanker **tidak** memiliki atau mengalami kerusakan gen *p53* yang mengontrol pembelahan sel

Pada sel normal....



Pada sel kanker...

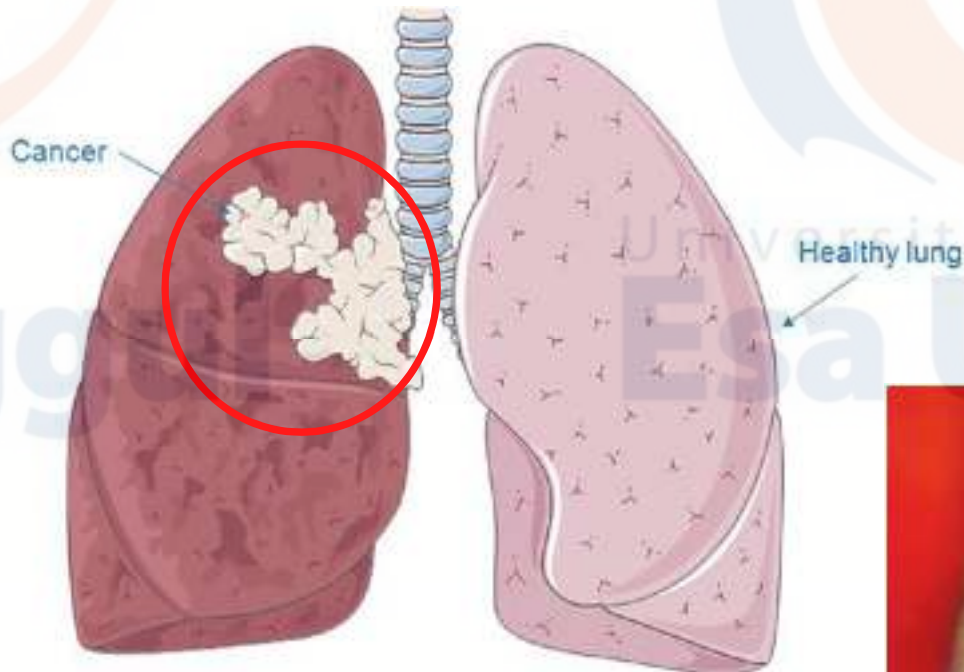


Tumor benigna dan maligna

- **Tumor benigna (tumor jinak)** : *kumpulan sel abnormal yang terdapat pada suatu lokasi di tubuh. Bisa diangkat melalui operasi*
- **Tumor maligna (tumor ganas/kanker)** : *kumpulan sel abnormal yang dapat merusak jaringan di sekitar sel dan dapat menyebar ke seluruh tubuh melalui aliran darah atau limfe*
 - * *Penyebaran sel kanker ke seluruh tubuh disebut **metastasis****

Kanker paru

Faktor risikonya : merokok, terpapar asbes atau karsinogen dan genetik



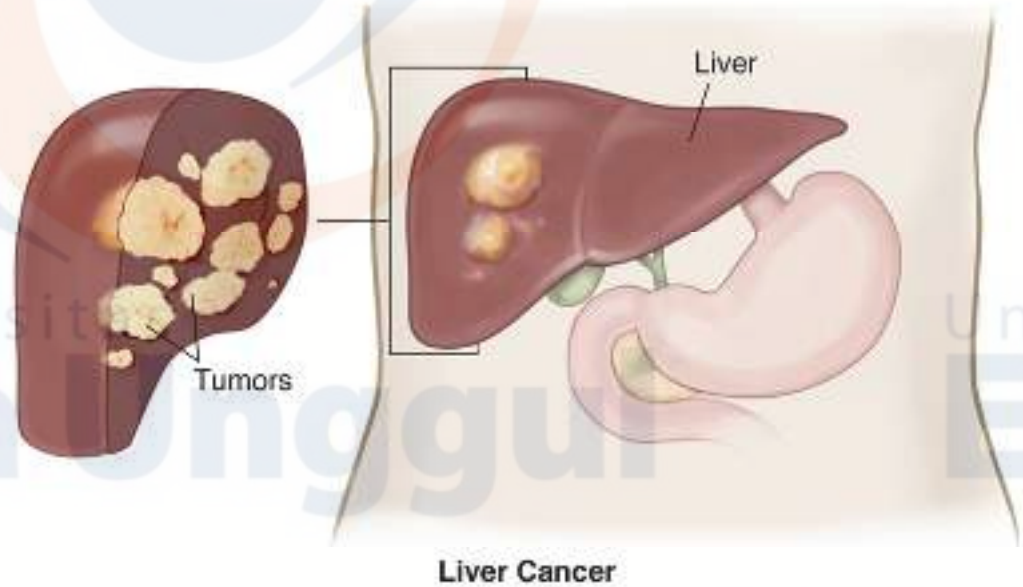
Paru normal

Kanker paru



Kanker hati

Faktor risiko : infeksi virus Hepatitis C atau B, konsumsi alkohol, obesitas, sirosis, penggunaan jarum suntik bergantian

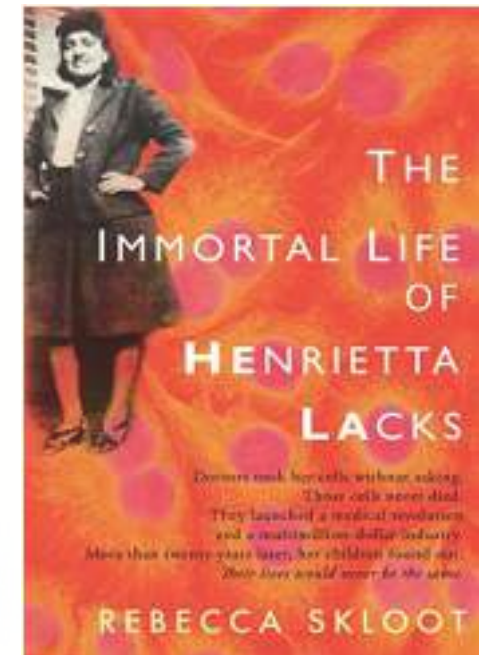


Terapi untuk kanker

- **Radiasi** : menggunakan sinar X, sinar gamma untuk membunuh sel kanker
- **Kemoterapi** : menggunakan obat yang menghambat fase pembelahan sel, dapat berdampak pada sel normal
- **Imunoterapi** : menggunakan sistem imun tubuh untuk melawan kanker → antibodi monoklonal, vaksin kanker
- **Terapi hormon** : menggunakan obat untuk menghambat pembentukan hormon → kanker payudara, prostat
- **Transplantasi sel punca** : sel punca ditransplantasikan untuk mengganti sel punca di sumsum tulang yang rusak karena kemoterapi

Hanrietta Lacks

- Seorang petani Afro-Amerika yang menderita adenokarsinoma pada serviks
- Sel tumornya diambil tanpa sepengetahuannya pada tahun 1951
- Sampai saat ini sel tsb tetap hidup (*immortal cell*) untuk riset vaksin polio, kloning, dll → dikenal dengan sel HeLa
- Keluarganya tidak mendapat kompensasi apapun



Apa itu Meiosis

- Merupakan pembelahan sel dimana sel baru memiliki jumlah kromosom setengah dari jumlah kromosom sel induk
- Pada manusia terjadi pada pembelahan sel telur dan sel sperma (sel-sel gamet)
- Disebut juga dengan reproduksi seksual

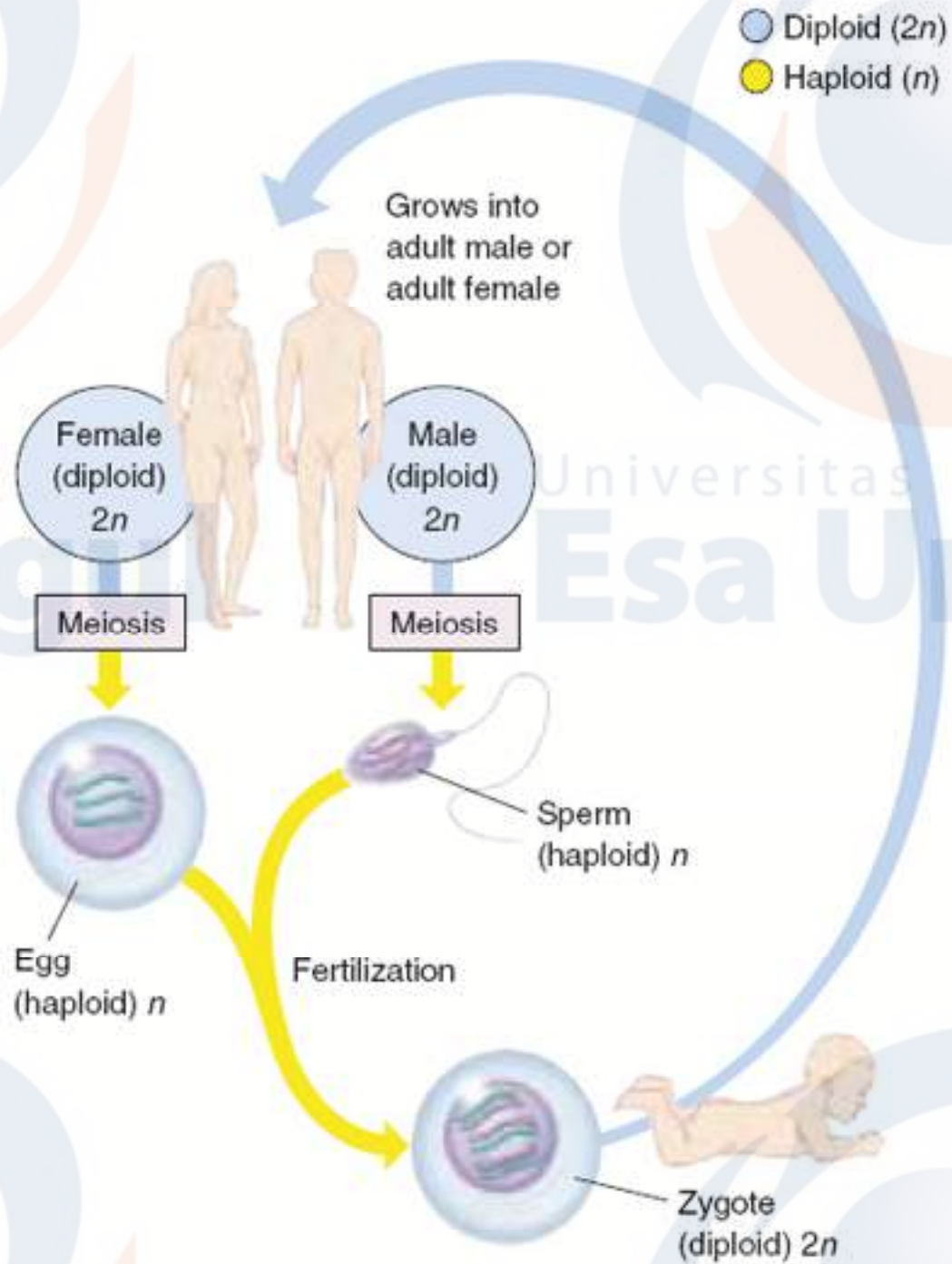
Sel diploid vs haploid

- **Sel Diploid** adalah sel dengan jumlah kromosom berpasang-pasangan
 - *Pada manusia, sel tubuh ada 23 pasang kromosom*
- **Sel Haploid** adalah sel dengan jumlah kromosom separuh dari jumlah kromosom sel diploid
 - *Pada manusia, sel telur dan sel sperma ada 23 kromosom*

Perbandingan sel diploid vs haploid

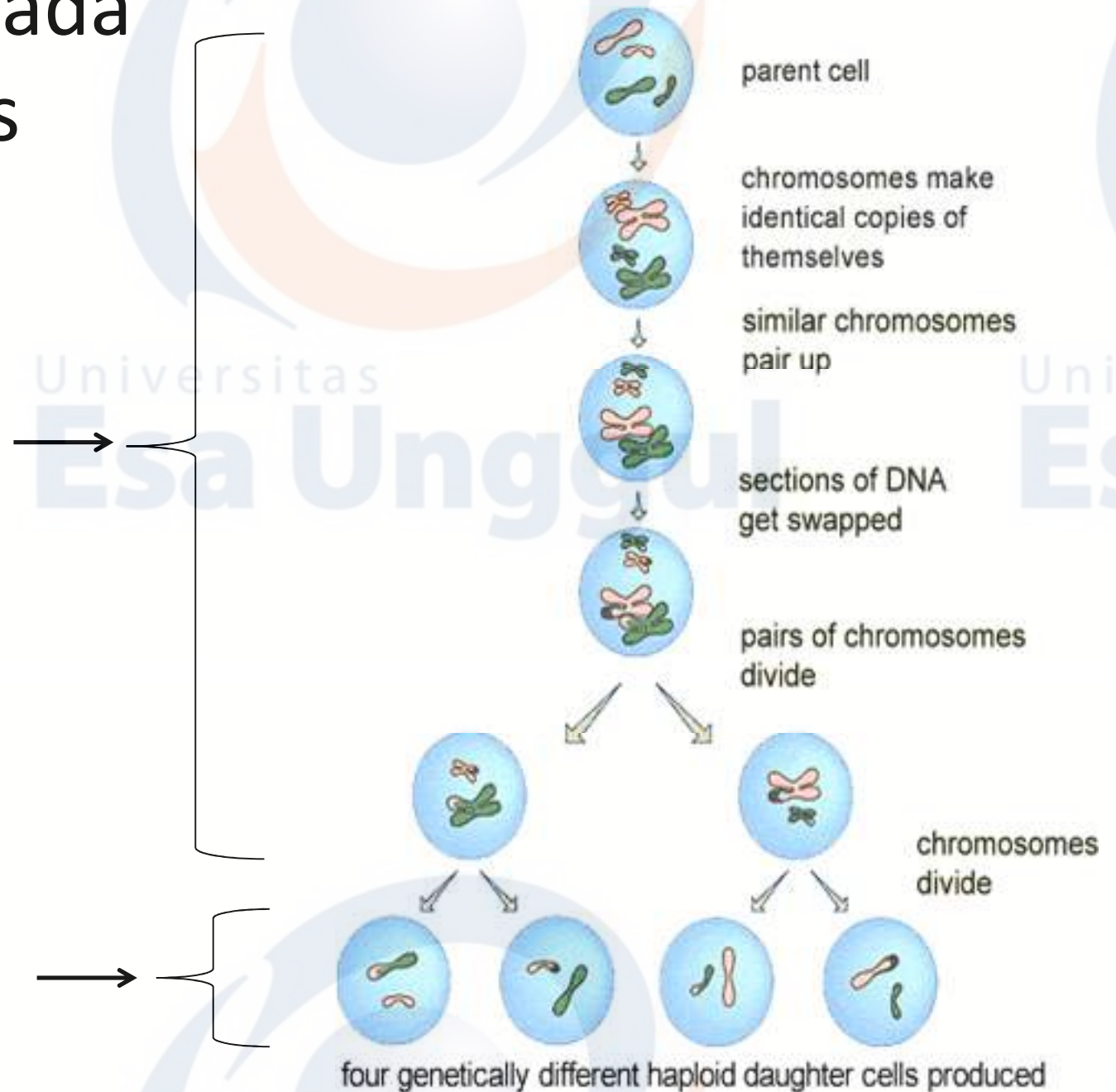
Sel Diploid	Sel haploid
Jumlah kromosom adalah berpasang-pasangan ($2n$)	Jumlah kromosom setengah jumlah kromosom sel diploid (n)
Dihasilkan dari proses mitosis	Dihasilkan dari proses meiosis
Contoh sel: sel otot, sel kulit, sel darah (sel-sel tubuh)	Contoh sel: sel sperma dan sel telur (sel gamet)
	Disebut juga dengan reproduksi seksual

Siklus seksual manusia



Tahapan pada Meiosis

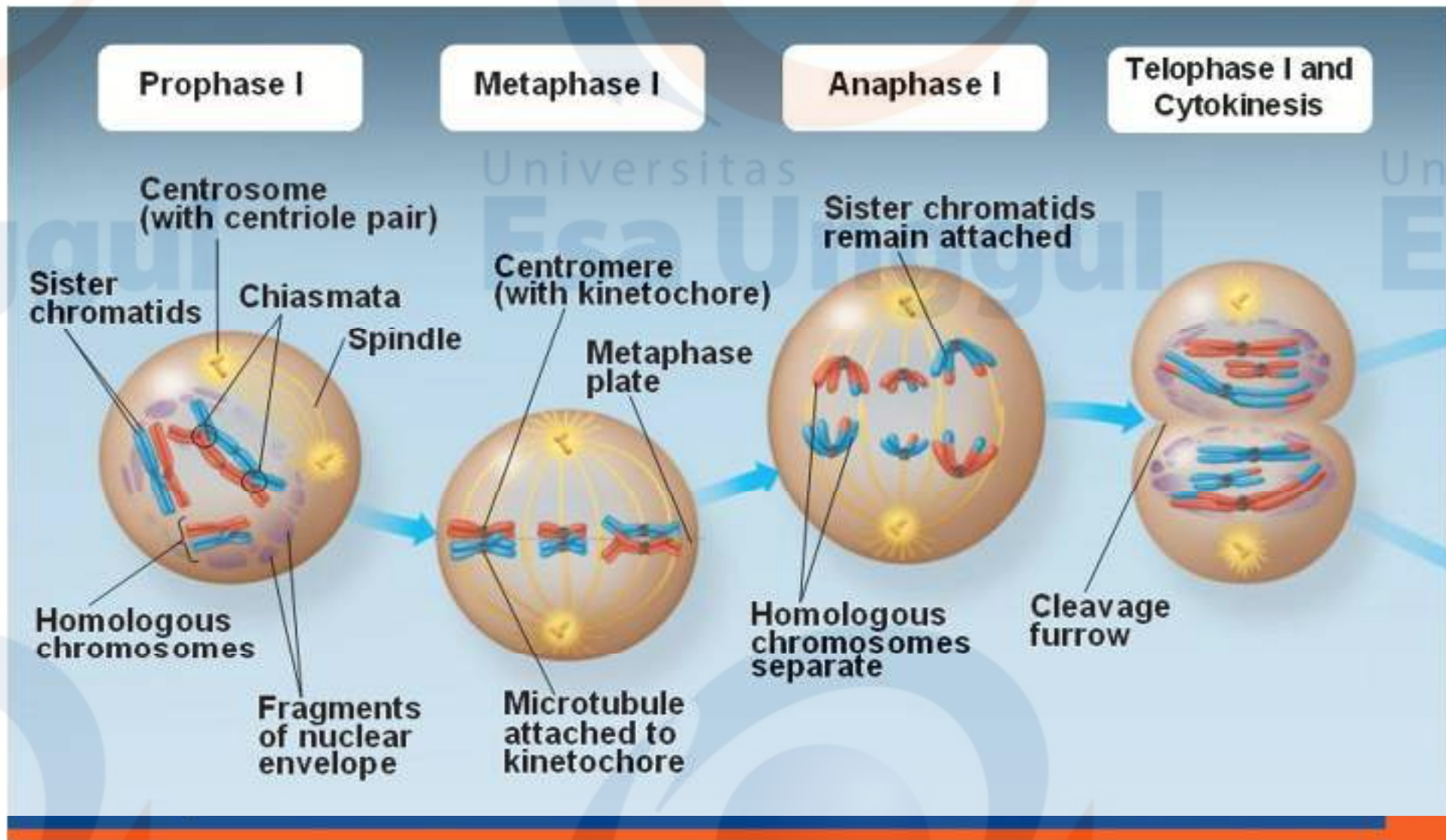
- Meiosis I
 - Profase I
 - Metafase I
 - Anafase I
 - Telofase I
- Meiosis II
 - Profase II
 - Metafase II
 - Anafase II
 - Telofase II



Perbedaan antara Meiosis I dan Meiosis II

Meiosis I	Meiosis II
1. Menghasilkan 2 sel baru dengan jumlah kromosom setengah dari jumlah kromosom sel induk (haploid)	1. Menghasilkan 4 sel baru dengan jumlah kromosom setengah dari jumlah kromosom sel induk (haploid)
2. Sister chromatid tidak terpisah	2. Sister chromatid terpisah
3. Durasi panjang dan lebih rumit	3. Durasi pendek dan lebih sederhana

Meiosis I



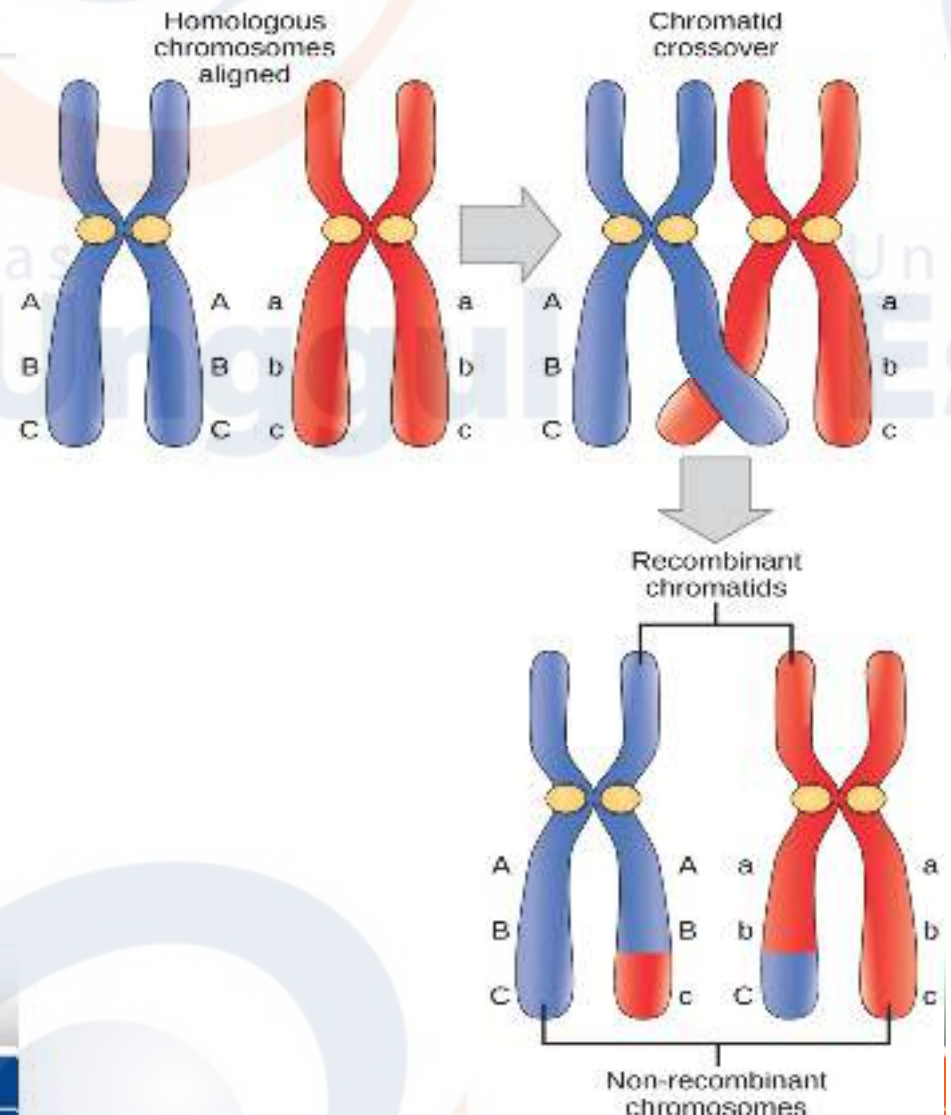
Profase I

- Terdiri dari 5 fase :
 - **Leptonema** : kromosom akan berkondensasi (memadat)
 - **Zigoten** : Sentrosom akan membelah menjadi 2 dan bergerak ke kutub yang berlawanan dan akan terjadi proses **sinapsis**
 - **Pakiten** : Kromosom akan menggandakan diri menjadi 2 kromatid yang saling melekat pada sentromer
 - **Diploten** : Terjadi proses pindah silang antara 2 kromatid
 - **Diakinesis** : terbentuknya benang-benang spindel

Sinapsis dan Pindah silang

- Sinapsis
 - Proses dimana kromosom-kromosom yang berpasang-pasangan akan berjajar
- Pindah silang:
 - Proses pertukaran segmen antara kromatid yang berdekatan

Karena proses pindah silang ini keanekaragaman makhluk hidup terbentuk → tidak sama dengan induknya



Chiasmata formation



Only one chiasma is illustrated but many occur per pair.



Multiple Chiasmata formation

Kiasma

- Bukti adanya proses pindah silang adalah pembentukan **kiasma**
- **Kiasma** adalah perlekatan antara 2 kromatid yang saling pindah silang berbentuk huruf X
- Kiasma bisa dilihat pada mikroskop

Metafase I

- Kromosom akan berjejer di bidang “ekuator” sel
- Benang-benang spindel akan melekat pada sentrosom kromosom

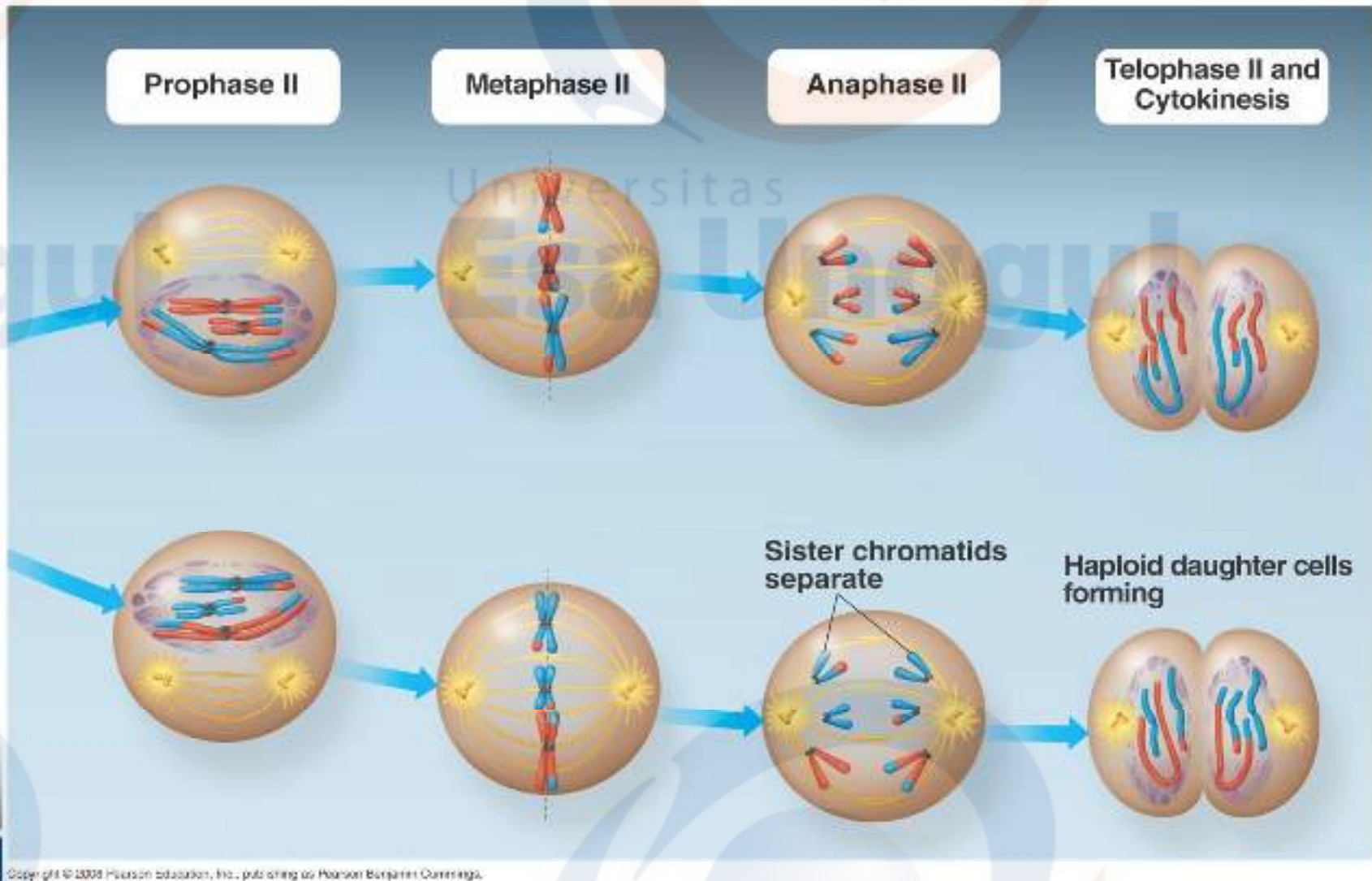
Anafase I

- Kromosom akan bergerak ke kutub-kutub berlawanan ditarik oleh benang spindel

Telofase I

- Inti sel mulai terbentuk
- Sel akan terpisah menjadi 2 sel
- Akan dilanjutkan dengan sitokinesis dan meiosis II

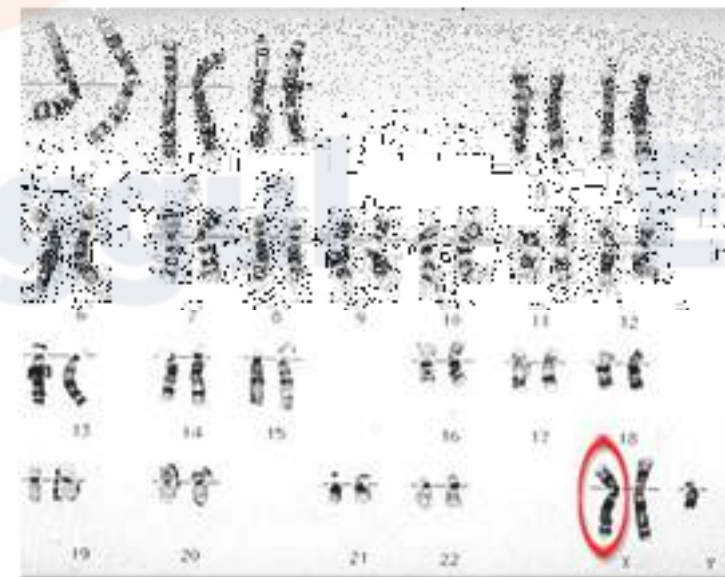
Meiosis II



Sindroma-sindroma karena kelainan kromosom

Sindrom Klinefelter

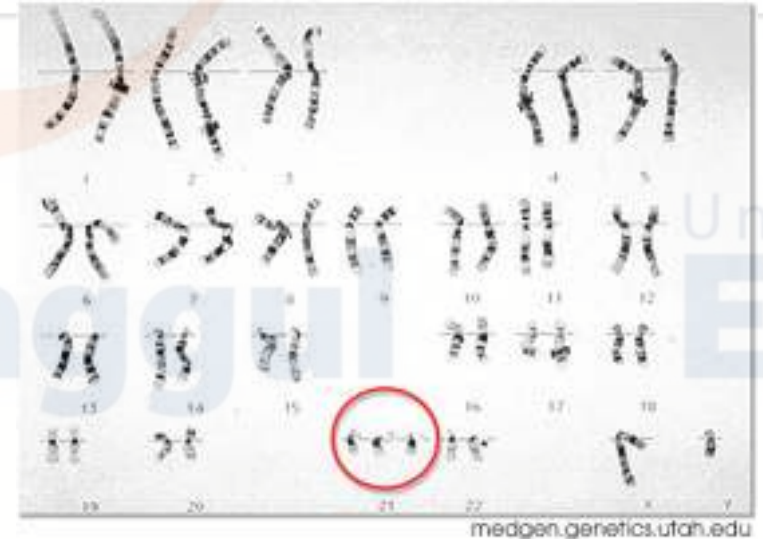
- Individu memiliki 47 kromosom (44 kromosom tubuh dan kromosom kelamin XXY)
- Penyebabnya : Kegagalan dalam pemisahan kromosom pada proses meiosis
- Individu dianggap sebagai laki-laki
- Testis tidak terbentuk dan hormon testosteron rendah
- Masalah kesehatan: diabetes tipe 2, gangguan katup jantung



medgen.genetics.utah.edu

Sindrom Down

- Terjadi karena adanya penambahan kromosom pada kromosom no.21 → trisomi 21
- Disebabkan karena kegagalan pembelahan kromosom pada proses meiosis
- Muka lebar, bentuk telinga abnormal, lidah lebar
- Gangguan kesehatan: gangguan pernafasan, kemampuan bicara, gangguan penglihatan, hipotiroidisme



Universitas
Esa Unggul

QUESTIONS???

Unive
Esa