

Fakultas Pertanian Universitas
Malikussaleh

GENETIKA TANAMAN

Buku Ajar

ELVIRA SARI DEWI, S.P., M.S

Tahun Ajaran 2016/2017

Genetika Tanaman

Copyright © 2017 oleh penulis

Kata Pengantar

Alhamdulillah, syukur kepada Allah SWT atas berkah dan kemudahan yang telah diberikan dalam menyelesaikan Buku Ajar perkuliahan MK Genetika Tanaman.

Buku Ajar ini mengulas mengenai materi genetik, bagaimana genetika Mendel dan pembelahan sel disertai materi diskusi. Buku Ajar ini diperuntukkan bagi mahasiswa Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh sebagai bacaan wajib dalam mengikuti mata kuliah Genetika Tanaman.

Demikian, semoga dengan adanya diktat ini dapat menambah khasanah sumber pustaka.

Februari 2017

Penulis

Bab 1

Materi Genetik

1.1 Pendahuluan

Asam nukleat dan protein ditemukan dalam setiap kromosom organisme kompleks. Makromolekul asam nukleat dalam makhluk hidup ini ditemukan pertama kali oleh Friedrich Miescher yang berasal dari Jerman pada tahun 1869. Ia berhasil menemukan senyawa yang mengandung fosfat dalam inti sel darah putih, disebut *nuklein*.

Selanjutnya pada tahun 1928, Frederick Griffith melakukan penelitian mengenai transformasi pada bakteri *Streptococcus pneumoniae* pada tikus. Tipe alami bakteri ini berbentuk sel bulat, diselubungi senyawa berlendir disebut *kapsula*. Sel-sel tipe alami akan membentuk koloni yang berkilap sebagai koloni halus (*smooth*, S). Tipe sel semacam ini bersifat virulen, dapat menyebabkan kematian jika disuntikkan dengan sel yang masih hidup. Selain itu ada strain mutan, tidak berkapsula, ukuran sel lebih kecil, dan membentuk koloni yang lebih besar (*rough*, R). Sel semacam ini bersifat avirulen, tidak menyebabkan kematian jika disuntikkan oleh sel mutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sel-sel avirulen dapat bertransformasi (berubah) menjadi sel virulen.

Bukti bahwa DNA sebagai materi genetik yang menyebabkan terjadinya transformasi pada *S. pneumoniae* ditunjukkan oleh Oswald Avery, Colin MacLeod, dan Mackyn McCarty pada tahun 1944. Penelitian terfokus pada lanjutan penelitian Griffith sebelumnya. Hasil ekstraksi sel virulen yang menghilangkan proteinya diberi beberapa perlakuan dengan berbagai enzim perusak protein (tripsin dan khimotripsin) maupun enzim penghancur RNA (RNase). Hasil yang didapat menunjukkan bahwa ekstrak tersebut masih dapat menyebabkan proses transformasi. Ini membuktikan bahwa senyawa penyebab transformasi

bukannlah RNA. Selanjutnya ekstrak tersebut diberi perlakuan dengan enzim perusak DNA, ternyata kemampuan untuk melakukan transformasi hilang. Ini membuktikan bahwa senyawa penyebab transformasi adalah DNA itu sendiri.

Setelah itu semakin banyak eksperimen mengarah pada pembuktian bahwa DNA adalah bahan genetik seperti yang dilakukan oleh A.D. Hershey dan Martha Chase pada tahun 1952 dengan eksperimennya *Waring blender experiment*. Eksperimen mengenai DNA terus berlanjut mengikuti perkembangan teknologi. Tentu bahasannya sudah jauh mendalam dengan implikasi yang lebih luas.

Selain DNA, pada sel tanaman dijumpai makromolekuler lain yaitu RNA atau *Ribonucleic Acid*. Pada beberapa virus yang tidak memiliki DNA, RNA berfungsi sebagai pelaksana pewarisan sifat seperti halnya fungsi DNA. Dalam sel dimana RNA bertindak sebagai bahan genetik, dijumpai molekul RNA lain yang disebut sebagai RNA non-genetik.

1.2 Tujuan

Bab ini bertujuan untuk:

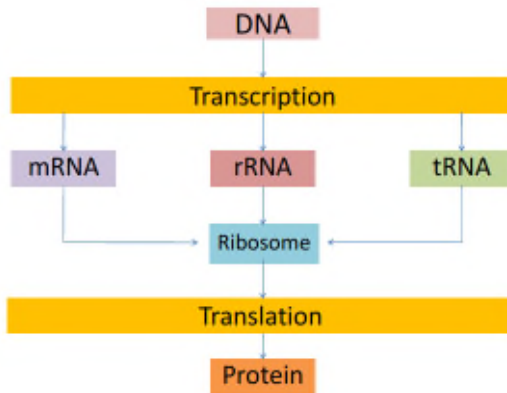
1. Menjelaskan mengenai konsep dasar DNA
2. Menjelaskan mengenai konsep dasar RNA

1.3 DNA

DNA (*Deoxyribonucleic Acid*) merupakan suatu substansi yang berisi petunjuk genetik untuk membentuk protein atau berisi informasi genetik yang dapat diturunkan dari generasi ke generasi berikutnya. Terdapat sedikitnya empat proses yang harus dilalui oleh suatu molekul sehingga dapat dikatakan sebagai bahan genetik:

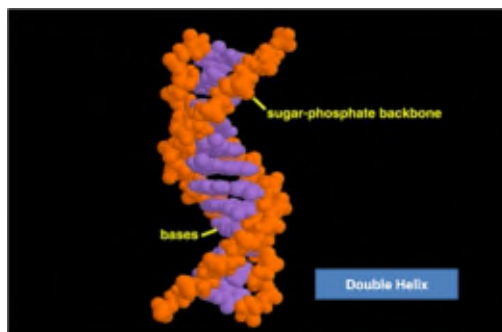
1. Replikasi: merupakan suatu proses dasar bagi setiap makhluk hidup.
2. Penyimpan informasi: bertindak sebagai tempat penyimpanan informasi genetik.
3. Ekspresi informasi: suatu proses kompleks dan dasar dari penurunan informasi dalam sel.
4. Variasi oleh mutasi: dasar munculnya variasi pada organisme terjadi melalui proses mutasi.

Berikut adalah skema sederhana bagaimana proses yang dilalui oleh DNA hingga membentuk protein.



Gambar 1. Skema proses DNA menjadi protein

DNA berbentuk *double helix*. Polimer DNA terbentuk dari monomer-monomer nukleotida yang terdiri dari deoksiribosa, fosfat dan empat basa organik (Adenin, Guanin, Timin dan Sitosin). Nukleosida merupakan kumpulan gula deoksiribosa dikombinasikan dengan salah satu basa (A, G, T dan S). Sedangkan nukleotida berisi gula deoksiribosa atau ribosa, fosfat dan basa nitrogen. Rantai DNA disebut juga rantai polinukleotida yang terdiri dari rangkaian nukleotida dengan komponen gula dan fosfat. Gugus P pada atom C 5' dari deoksiribosa pada satu nukleotida dan atom C 3' dari nukleotida berikutnya.

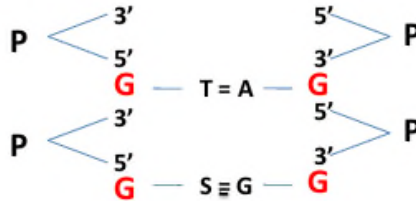


Gambar 2. Bentuk dan struktur DNA. DNA berbentuk double helix, fosfat dan gula menyusun rantai terluar sedangkan basa berada di bagian dalam.

Antar basa nitrogen diikat oleh ikatan Hidrogen. Setiap basa akan terikat dengan pasangannya masing-masing yaitu:

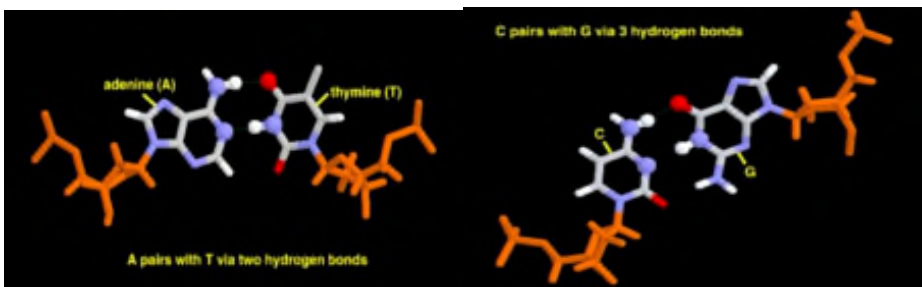
- Basa Adenin dengan Timin diikat oleh dua ikatan hidrogen
- Basa Guanin dengan Sitosin diikat oleh tiga ikatan hidrogen.

Perhatikan skema dan gambar berikut:



Gambar 3. Pasangan basa nitrogen DNA. P, fosfat terikat dengan G, gula dan basa nitrogen (T dengan A, S dengan G)

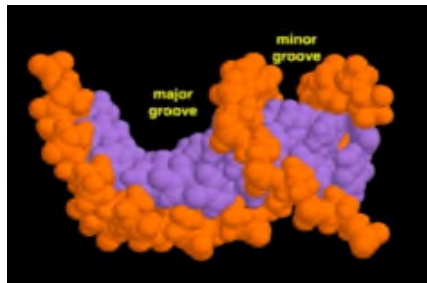
Kandungan keempat basa ini dalam DNA menunjukkan komposisi berbeda. Pada makhluk hidup tingkat tinggi nilai kandungan G+S sekitar 0,50, sedangkan pada makhluk hidup tingkat rendah berkisar antara 0,27 s/d 0,72. Rasio $([G] + [S])/([A] + [T])$ makhluk hidup berkisar antara 0,37 s/d 3,16. Semakin tinggi nilai kandungan G+S maka semakin sulit untuk mengurai molekul DNANYa. Berikut adalah gambar keempat basa nitrogen dalam DNA.



Gambar 4. Struktur kimia basa Adenin, Timin, Sitosin, dan Guanin.

Berdasarkan struktur kimianya, basa A dan G tergolong kedalam basa *purin* sedangkan S dan T, basa *pirimidin*. Umumnya molekul purin lebih besar dan bercincin dua. Sedangkan molekul pirimidin lebih kecil dan bercincin satu.

Struktur DNA terkenal dengan Watson-Crick Model. Dua rantai panjang polinukleotida membentuk *right-handed double helix*. Kedua rantai tersebut antiparalel, C 5' – C 3' berlawanan arah. Basa berbentuk rata dengan jarak 3,4 Å (0,34 nm) berada di pusat helix. Setiap putaran sempurna helix berjarak 34 Å, 10 basa setiap putarannya. Setiap putaran DNA terdapat lekukan besar (*major groove*) dan lekukan kecil (*minor groove*). Lekukan ini berfungsi sebagai tempat melekatnya molekul protein tertentu. Diameter helix berkisar 20 Å.



Gambar 5. Gambar.... Model tiga dimensi struktur DNA yang menggambarkan lekukan (groove) pada rantai DNA.

1.4 RNA

Kebanyakan prokariot dan eukariot memiliki asam nukleat lain disebut asam ribonukleat. Beberapa jenis virus yang tidak memiliki DNA, maka bahan genetik yang mengatur proses hereditas adalah RNA. Jenis ini biasa dikenal dengan sebutan RNA genetik, sedangkan pada sel dimana DNA merupakan substansi genetik maka RNA bertindak sebagai RNA nono genetik.

1.4.1 RNA genetic

Beberapa virus tumbuhan, virus hewan, dan bakteriofag memiliki RNA sebagai substansi genetik. Molekul RNA adalah polimer asam

nukleotida dari empat nukleotida. Sama halnya dengan DNA, setiap ribonukleotida juga terdiri dari gula pentosa, gugusan pospat, dan sebuah basa nitrogen. Perbedaannya adalah pada basa Timin yang diganti dengan basa Urasil.

Semua ribonukleosida berada dalam bentuk tripospat seperti adenosin tripospat (ATP), guanosis tripospat (GTP), sitidin tripospat (STP), dan uridin tripospat (UTP). Berikut adalah tabel basa nitrogen dalam RNA.

Tabel ... Empat basa nitrogen, ribonukleosida, dan ribonukleotida RNA

Basa	Ribonukleosida	Ribonukleotida	Singkatan
Adenin (A)	Adenosin	Asam adenilat (Adenosin monopospat)	AMP
Guanin (G)	Guanosin	Asam guanilat (Guanosin monopospat)	GMP
Sitosin (S)	Sitidin	Asam sitidilat (Sitidin monopospat)	SMP
Urasil (U)	Uridin	Asam uridilat (Uridin monopospat)	UMP

Tiap rantai RNA adalah polinukleotida yang terdiri dari banyak ribonukleotida. Pada beberapa virus tumbuhan seperti TMV, virus hewan seperti virus influenza, dan bakteriofag, dimana RNA bertindak sebagai bahan genetik, rantai RNA berbentuk tunggal. Namun pada virus tanaman seperti virus reovirus, RNA ditemukan dalam bentuk rantai ganda tidak berpilin.

1.4.2 RNA non genetik

RNA non genetik dijumpai pada sel dimana DNA sebagai substansi genetik. Terdapat tiga macam RNA non genetik, yaitu:

1. mRNA (messenger RNA)
Terbentuk melalui proses transkripsi dimana mRNA dicetak berdasarkan DNA *template* di nukleus. Jelasnya dapat dibaca pada bab replikasi DNA dan RNA.
2. tRNA (transfer RNA)
Molekul tRNA dibentuk dalam nukleus sebelum keluar ke sitoplasma.
3. rRNA (ribosomal RNA)
Molekul rRNA dibentuk dalam nukleus dan terdapat dalam ribosom. rRNA berfungsi dalam proses sintesis protein.

1.5 Soal dan Diskusi

1. Molekul apa saja yang bertanggung jawab terhadap hereditas pada sel prokariot dan sel eukariot?
2. Basa apa saja yang menyusun molekul DNA dan RNA?
3. Jelaskan tipe RNA yang sering dijumpai.

Bab 2

Replikasi DNA dan RNA

3.1 Pendahuluan

Setiap materi genetik yang ada dalam makhluk hidup akan mengalami proses perbanyakan untuk mendukung proses pertumbuhan dan perkembangan. Proses perbanyakan materi genetik ini dikenal dengan replikasi. Proses ini lah yang mengawali proses pertumbuhan sel, walau replikasi bukanlah satu-satunya proses yang terlibat.

Replikasi juga dikenal sebagai proses penggandaan DNA atau RNA atau pengkopian molekul bahan genetik tersebut. Rantai anakan yang dihasilkan biasanya identik dengan rantai materi genetik yang digandakan. Meskipun secara umum proses replikasi ini sama namun secara detail, setiap proses replikasi baik DNA ataupun RNA tidaklah sama.

Replikasi merupakan proses yang kompleks dan melibatkan banyak protein yang dikodekan oleh bahan genetik itu sendiri. Secara umum, proses ini terkait dengan bagaimana proses ekspresi gen dan metabolisme sel secara menyeluruh. Gangguan pada salah satu proses ini akan mempengaruhi kemampuan sel untuk bereplikasi.

3.2 Tujuan

Bab ini bertujuan untuk:

1. Memberikan pemahaman proses terjadinya replikasi DNA dan RNA
2. Memberikan pemahaman mengenai komponen yang terlibat dalam proses replikasi DNA

3.3 Replikasi DNA

Replikasi terjadi karena putusnya ikatan Hidrogen yang menghubungkan pasangan-pasangan basa, diikuti terlepasnya kedua pita DNA dan terbentuknya pita komplemen DNA tersebut.

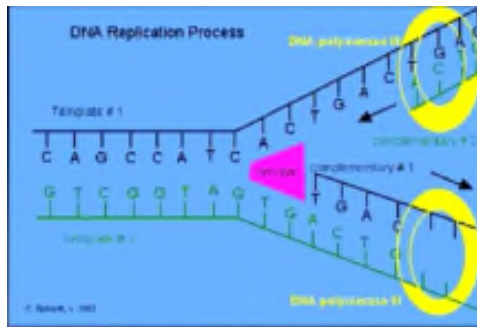
Proses replikasi DNA memerlukan:

1. Rantai DNA asli
2. Enzim helicase
3. Nukleotida-nukleotida bebas
4. Enzim DNA polimerase

Rantai DNA asli dibantu oleh enzim helicase akan memisah. Enzim ini bertugas untuk memutuskan ikatan hidrogen dari pasangan basa sehingga rantai DNA terpisah. Kemudian dengan adanya enzim DNA polimerase, nukleotida bebas yang terdapat dalam sitoplasma dipasangkan pada rantai DNA yang terbuka sebagai komplemennya. Enzim ini berperan selain untuk memasangkan pasangan basa juga memperbaiki nukleotida rusak di rantai DNA.

Lebih rinci, replikasi DNA dan RNA ditentukan oleh:

1. DNA cetakan, yaitu DNA atau RNA yang akan direplikasi.
2. Molekul deoksi ribonukleotida, yaitu dATP, dTTP, dCTP, dan dGTP. Deoksi ribonukleotida terdiri dari 3 komponen:
 - a. Basa purin atau pirimidin
 - b. Gula 5-karbon (deoksiribosa)
 - c. Gugud fosfat
3. Enzim DNA polimerase, yaitu enzim utama yang mengkatalisasi proses polimerasi nukleotida menjadi rantai DNA.
4. Enzim primase, yaitu enzim yang mengkatalisis sintesis primer untuk menginisiasi replikasi DNA.
5. Enzim helikase, yaitu enzim yang membuka ikatan hidrogen pada rantai DNA, dibantu oleh enzim girase.
6. SSB (*single strand binding protein*), yaitu molekul protein yang menstabilkan rantai DNA yang sudah terbuka.
7. Enzim DNA ligase, yaitu enzim yang berperan untuk menyambung bagian-bagian DNA.



Gambar 6. Skema replikasi DNA secara keseluruhan

3.4 Replikasi RNA

Secara umum proses replikasi RNA hampir sama dengan proses replikasi DNA. Molekul RNA dapat dijumpai pada beberapa jenis virus seperti virus TMV (*Tobacco Mosaic Virus*). Replikasi rantai tunggal RNA TMV membutuhkan:

1. Rantai cetakan RNA asli untuk direplikasi.
2. Enzim polimerase yang dikendalikan oleh RNA atau disebut replikase.

Sintesis RNA virus akan mengarah dari 5' → 3', sama seperti DNA. Dimulai dari ujung 3' molekul asli. Replikasi RNA tidak memiliki mekanisme reparasi menyebabkan laju mutasi pada virus TMV tinggi. Replikasi RNA TMV dimulai pada saat inang terinfeksi oleh virus. Selanjutnya RNA inang yang masuk ke dalam sel ditranslasi untuk menghasilkan beberapa kopi enzim replikase dan protein selubung. Replikase mensintesis rantai pelengkap atau komplementer (rantai negatif) dengan menggunakan rantai induk (rantai positif). Sintesis rantai baru (-) dilakukan pada ujung 3' molekul cetakan sehingga arah sintesis adalah dari 5' → 3'. Rantai baru (-) digunakan sebagai cetakan rantai (+) dengan arah 5' → 3'. Rantai (+) ini memiliki rantai nukleotida yang sama dengan urutan nukleotida RNA virus yang menginfeksi sel inang pertama kali.

Protein selubung yang dihasilkan dari proses translasi akan mengenali bagian rantai RNA (+) tertentu dan membentuk piringan protein. Saat ujung 3' diperpanjang, piringan protein ditambahkan pada bagian RNA yang melipat. Semakin banyak piringan protein yang ditambahkan

maka ujung 5' akan ditarik ke arah piringan protein selubung sehingga menghasilkan susunan heliks protein yang mengelilingi genom RNA.

3.5 Soal dan Diskusi

1. Jelaskan mengapa terjadinya proses replikasi pada DNA dan RNA
2. Sebutkan tahapan dasar proses replikasi DNA
3. Apa saja yang diperlukan oleh RNA pada virus untuk dapat bereplikasi?

Bab 3

Ekspresi Gen

4.1 Pendahuluan

Ada berbagai definisi gen, dalam hal ini gen adalah fragmen atau bagian dari DNA, termasuk bagian yang mengkodekan protein (polipeptida) yang bertanggung jawab terhadap suatu sifat. Ekspresi gen menggambarkan bagaimana suatu informasi dari DNA mengalir ke RNA melalui proses transkripsi dalam nukleus diikuti oleh pengangkutan RNA ke dalam sitoplasma yang kemudian ditranslasi dalam protein.

Pada eukariot, DNA terbungkus dalam kromosom yang berdiameter 2nm. DNA tersebut terhubung dengan protein histon dan non histon untuk membentuk struktur nukleoprotein disebut chromatin (diameter 200nm). Kromatin merupakan bentuk paling padat selama proses mitosis. Proses pembentukan protein ini melalui dua tahapan yaitu transkripsi dan translasi yang akan dibahas berikut.

4.2 Tujuan

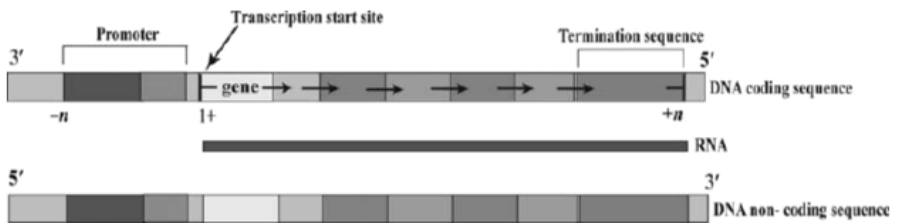
Bab ini bertujuan untuk:

1. Memberikan pemahaman mengenai bagaimana gen berekspresi.
2. Menjelaskan proses terjadinya sintesis protein.

4.3 Transkripsi

Sintesis protein dimulai dari transkripsi yaitu proses pembentukan *messenger RNA* (mRNA) dari rantai DNA atau gen. Hanya satu rantai DNA yang dijadikan *template* atau cetakan untuk membentuk mRNA. Proses transkripsi dilakukan oleh enzim RNA polimerase II (RNAP II) pada eukariot, misalnya tanaman. Dalam pelaksanaan RNAP II dikendalikan oleh faktor transkripsi yaitu urutan DNA (*cis-regulatory*

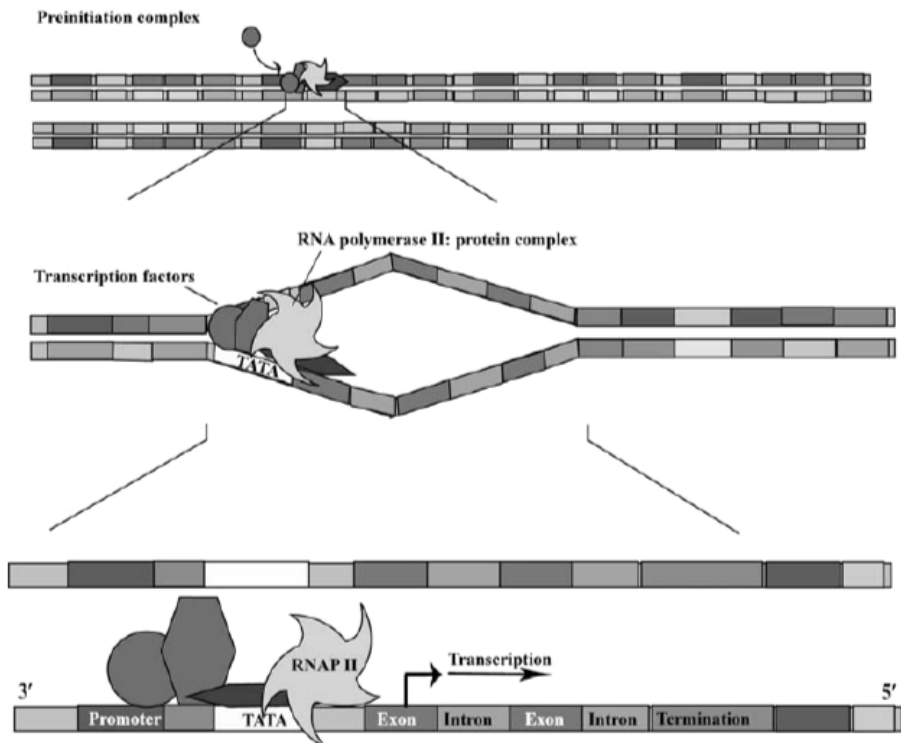
region) dan protein (*trans-acting factors*). Bagian awal atau *cis* dari proses transkripsi disebut promotor. Letak promotor adalah pada bagian akhir gen ke 5'. Promotor terdiri dari pusat promotor dan berbagai elemen yang membantu kapan dan dimana gen akan ditranskrip. Pusat promotor adalah saat RNAP II dan GTFs (*general transcription factors*) terikat untuk memulai transkripsi. Biasanya tempat mulainya transkripsi, yaitu tempat dimana ribonukleotida pertama dari RNA yang akan disintesis adalah pasangan basa, disebut sebagai +1 *site*. Jadi gen promotor akan berada sebelum +1 *site* tersebut dan nukleotida akan bermuatan negatif, sementara semua nukleotida yang berada setelah +1 *site* akan bermuatan positif.



Gambar 7. Struktur gen promotor. Transkripsi dimulai pada 1+, DNA yang mengarah ke 3' akan bermuatan negatif. Sedangkan DNA yang mengarah ke 5' akan bermuatan positif.

Pusat promotor pada gen eukariot terdiri dari *consensus sequence*, yaitu basa sering kali ditemukan pada tempat tertentu dan telah mengalami evolusi. Terletak pada -25 sampai -30 disebut *TATA box* atau *Goldberg Hogness box*. Disebut TATA karena basa T dan A adalah tetap.

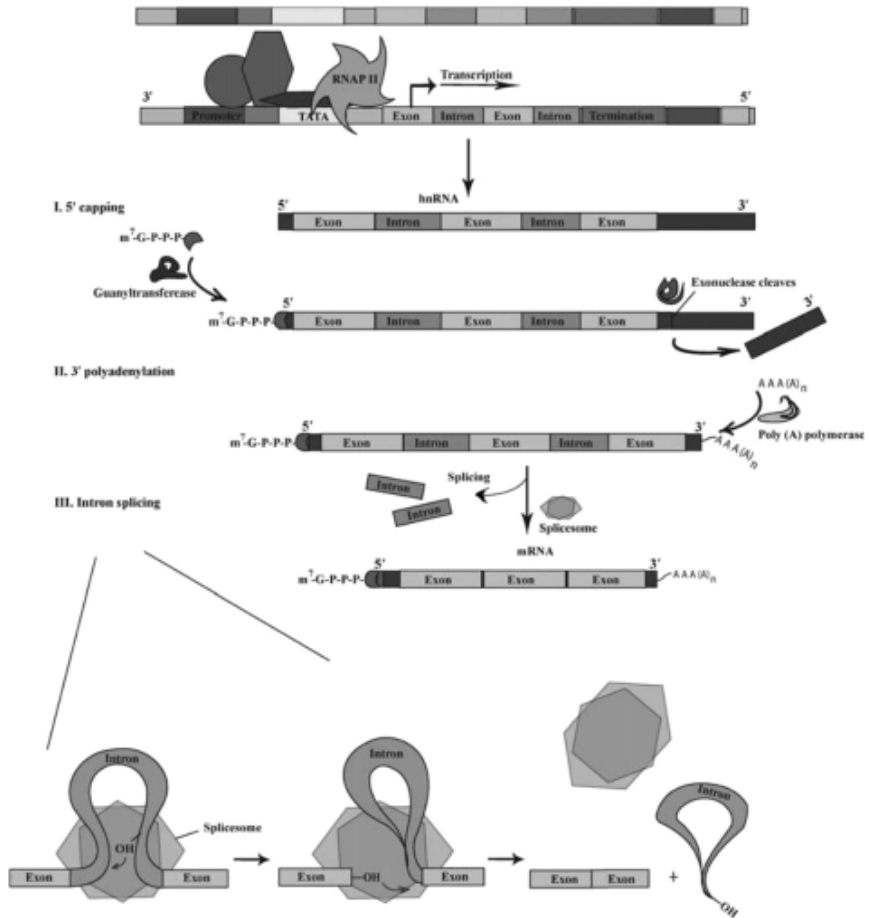
Inisiasi dimulai saat RNAP II dan GTFs terikat pada pusat promotor namun masih dalam status tidak aktif disebut *preinitiation complex* (PIC). Kemudian sebanyak 11 – 15 pasangan basa gen yang berada disekitaran tempat pemisahan akan terpisah, menyebabkan DNA terbuka. Selanjutnya cetakan DNA akan diaktifkan oleh RNAP II untuk memulai tahapan awal transkripsi.



Gambar 8. Skema singkat proses awal transkripsi. Preinisiasi dibentuk oleh faktor transkripsi dan RNAP II. Bersatunya preinisiasi dengan TATA menyebabkan terputusnya ikatan hidrogen pada DNA sehingga rantai DNA terpisah.

Promotor elemen yang tidak dibutuhkan pada tahap inisiasi transkripsi namun mempengaruhi level, tingkat, waktu atau jaringan khusus disebut CAAT box (CCAAT) dan gene-specific response elements. CAAT terletak pada lokasi -70 sampai -80. Tipe selanjutnya dari cis-regulatory adalah enhancer, yaitu variasi lokasi antar gen, yang dapat berfungsi pada jarak relatif jauh (> 1kb) ke hulu maupun ke hilir tempat transkripsi tanpa kehilangan fungsinya.

mRNA yang dihasilkan dari proses transkripsi ini belumlah matang atau siap untuk dipindahkan dari nukleus yang disebut *pre-mRNA* atau *heterogeneous nuclear RNA* (hnRNA). Sebelum ditransfer ke sitoplasma, *pre-mRNA* harus melewati beberapa tahapan yaitu *5' capping*, *3' polyadenylation* (*polyA tail*), dan *splicing* bagian *introns* dan menyambung kembali bagian *exons*.



Gambar 9. Skema singkat proses awal transkripsi. Preinisiasi dibentuk oleh faktor transkripsi dan RNAP II. Bersatunya preinisiasi dengan TATA menyebabkan terputusnya ikatan hidrogen pada DNA sehingga rantai DNA terpisah.

Tahapan 5' capping dimulai sekitar 20 – 30 ribonukleotida hnRNA telah dicetak, ini merupakan tambahan 7-methyl-guanosine ke ujung akhir 5' dari transkrip. Struktur berbentuk topi ini berfungsi untuk menstabilkan dan melindungi mRNA dari 5' → 3' exonuclease (tipe RNAses saat di sitoplasma). Pada eukariot gen, protein yang mengkodekan tempat seringkali terganggu oleh introns (protein yang tidak mengkodekan apapun), bagian introns ini nantinya akan dibuang dari rantai hnRNA.

Sambungan 5' exon-intron terdiri dari urutan AG/GURAGU, sedangkan sambungan 3' exon-intron terdiri dari urutan YAG/RNNN (Y, pirimidin;

R, purin; N, pirimidin atau purin). Selanjutnya *spliceosome* yang terdiri dari inti RNAs kecil (snRNAs-RNA yang terdiri dari 100 – 300 basa) dan berbagai protein akan melewati bagian intron, sehingga bagian intron ini akan terpotong. Kebanyakan mRNAs terdiri dari polyadeny di ujung 3' yang terdiri dari sekitar 200 A sisa disebut ekor polyA. Molekul ekor polyA akan melindungi mRNA dari RNAses, menstabilkan molekul, dan membantuk pergerakan rantai mRNA matang untuk selanjutnya ditranslasi dalam ribosom.

4.4 Translasi

Translasi adalah proses penterjemahan mRNA yang dihasilkan pada proses transkripsi di nukleus untuk menghasilkan polypeptida. Sebanyak tiga rangkaian nukleotida (*kodon*) akan diterjemahkan guna mendapatkan satu asam amino. Dikarenakan hanya ada empat kemungkinan nukleotida (A, G, S atau U) dalam setiap tiga pasangan kodon sehingga terdapat $4 \times 4 \times 4 = 64$ kombinasi atau kodon. Sebuah kodon akan diterjemahkan dari 5' → 3' sebagaimana terbaca pada molekul mRNA. Ada tiga kodon yang tidak mengkodekan asam amino apapu, disebut *stop kodon*, yaitu UAA, UAG, dan UGA. Berikut adalah tabel 20 jenis asam amino yang terdapat dalam protein.

Tabel ... 20 asam amino dalam protein

Amino Acid	Three-Letter Abbreviation	One-Letter Abbreviation
Alanine	Ala	A
Arginine	Arg	R
Asparagine	Asn	N
Aspartate	Asp	D
Cysteine	Cys	C
Glutamine	Gln	Q
Glutamate	Glu	E
Glycine	Gly	G
Histidine	His	H
Isoleucine	Ile	I
Leucine	Leu	L
Lysine	Lys	K
Methionine	Met	M
Phenylalanine	Phe	F
Proline	Pro	P
Serine	Ser	S
Threonine	Thr	T
Tryptophan	Try	W
Tyrosine	Tyr	Y
Valine	Val	V

Tabel.. Urutan kodon dan terjemahannya.

First Base	Second Base				Second Base			
	U	C	A	G				
U	UUU	Phe	UCU	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	<u>UUC</u>		UCC	<u>UAC</u>		<u>UGC</u>		C
	UUA	Leu	UCA	UAA	Stop	<u>UGA</u>	Stop	A
	UUG		UCG	UAG	<u>UGG</u>		Trp	G
C	CUU		CCU	CAU	His	CGU		U
	CUC	Leu	CCC	<u>CAC</u>		CGC	Arg	C
	CUA		CCA	CAA	Gln	CGA		A
	CUG		CCG	CAG		CGG		G
A	AUU		ACU	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	<u>AAC</u>		<u>AGC</u>		C
	<u>AUA</u>		ACA	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	AAG		AGG		G
G	GUU		GCU	GAU	Asp	GGU		U
	GUC	Val	GCC	<u>GAC</u>		GGC	Gly	C
	GUA		GCA	GAA	Glu	GGA		A
	GUG		GCG	GAG		GGG		G

^aThe codons are written in the 5' → 3' direction.

Kodon pertama yang diterjemahkan disebut initiation kodon (start) biasanya terdiri dari AUG yang mengkodekan methionine. Jika tidak ditemukan maka urutan kodon tersebut akan dilewati sampai ditemukannya urutan kodon inisiasi ini. Proses berikutnya adalah translasi perpanjangan dan terakhir adalah translasi terminasi.

4.4.1 Translasi inisiasi

Translasi mRNA terjadi dalam ribosom dan dibantu oleh tRNA. Pada eukariot, ribosom terdiri dari dua sub unit, satu besar dan satunya lagi kecil. Bagian terbesar ribosom terdiri dari tiga tipe ribosomal RNAs (rRNAs) (28S rRNA, 5S rRNA, dan 5,8S rRNA) bersama dengan 49 protein. Bagian sub unit kecil terdiri dari 18S rRNA, dan 33 protein. Ribosom akan terikat pada ujung 5' mRNA dan bergerak turun ke 3'. Kemudian asam amino yang tepat dibawa melalui molekul tRNA and bergabung dengan faktor tambahan membentuk inisiasi kompleks.

4.4.2 Translasi perpanjangan

Translasi perpanjangan terjadi saat sintesis polypeptida dengan asam amino bersatu. Sebelum perpanjangan, ribosom besar bergabung membentuk ribosom kompleks. Saat ini ribosom memiliki tiga tempat yaitu peptidyl (P), aminoacyl (A), dan exit (E). Posisi P adalah tempat inisiator kodon AUG bersama posisi A. kemudian tRNA tertentu akan

memasuki posisi A dan anti kodon berpasangan dengan kodonnya. Ikatan peptida terbentuk antara asam amino yang melekat pada tRNAs di posisi P dan A. Inisiator asam amino dilepaskan dari tRNA dan ribosom mulai menggerakkan mRNA atau berpindah ke posisi pembentukan polypeptida di posisi P dan melepaskan posisi A yang kemudian akan pindah ke kodon berikutnya untuk diterjemahkan. Selanjutnya tRNA masuk ke posisi E untuk dilepaskan dan meninggalkan ribosom untuk selanjutnya diaktifkan kembali. Proses ini akan berulang sampai seluruh rantai polypeptida terbentuk.

4.4.3 Translasi terminasi

Sintesis polypeptida selesai saat ribosom mencapai kodon *stop* di posisi A. Dikarenakan tidak ada tRNAs yang dapat berpasangan dengan kodon ini, protein faktor pelepas terikat ke ribosom. Faktor pelepas ini menyebabkan rantai polypeptida terlepas dari posisi dan keluar dari ribosom. Kemudian ribosom kembali lagi ke bentuk asalnya yang terdiri dari dua sub unit.

4.5 Soal dan Diskusi

1. Bagaimana gen dapat mengekspresikan sifat yang dibawa oleh suatu makhluk hidup?
2. Molekul apa yang dihasilkan dari proses transkripsi DNA?
3. Apa yang diterjemahkan dari proses translasi DNA?

Bab 4

Genetika Mendel

5.1 Pendahuluan

Selama ribuan tahun petani dan peternak telah berupaya untuk memuliakan tanaman dan hewan ternak guna menghasilkan hibrida yang bermanfaat. Proses ini terkadang menghasilkan tanaman atau hewan yang luar biasa atau bahkan kebalikannya tanpa mereka mengerti bagaimana proses ini bisa terjadi. Pengetahuan mengenai mekanisme genetika ini terungkap jelas setelah banyaknya penelitian mengenai bagaimana suatu sifat itu diturunkan.

Seiring dengan perkembangan teknologi pada tahun 1890an, para ahli biologi menemukan fakta dasar mengenai proses membelahnya sel dan reproduksi secara seksual. Penelitian mengenai genetika langsung berubah ke arah bagaimana sebenarnya karakter diwariskan dari generasi ke generasi. Banyak dugaan dan penelitian-penelitian berusaha mengungkap hal ini, namun hanya Mendel yang secara umum mampu memberikan jawaban yang masih digunakan dan dipelajari sampai sekarang.

Siapakah Mendel? Gregor Mendel terkenal dengan sebutan *Father of Genetics* atau bapak genetika. Dia adalah seorang biarawan dari daerah yang kita kenal sebagai Republik Czech. Dia merupakan orang pertama yang menggambarkan bagaimana kromosom diwariskan antar generasi. Mendel mengkombinasikan dua hal yaitu:

1. Dikenal sebagai prosedur pemuliaan klasik seperti mencatat semua data secara akurat terhadap semua karakter yang muncul pada setiap keturunan dari tetua terpilih dan mengendalikan penyerbukan dari tanaman yang diteliti, dan
2. Menggunakan statistik, dia menggambarkan bagaimana setiap sifat atau karakter pada setiap generasi.

Menggunakan tanaman kacang arcis (*Pisum sativum*), Mendel mampu menjelaskan bagaimana pemisahan sifat-sifat pada setiap generasi dan secara tidak langsung menggambarkan aturan bagaimana kromosom berperan dalam sel tanpa dilatar belakangi oleh pengetahuan keberadaan sel ataupun kromosom. Karya Mendel ini baru dikenal pada abad ke-20, jauh setelah dia tiada.

5.2 Tujuan

Bab ini bertujuan untuk:

1. Menjelaskan apa yang diteliti oleh Mendel
2. Menjelaskan bagaimana Hukum Mendel 1
3. Menjelaskan bagaimana Hukum Mendel 2

5.3 Penelitian Mendel

Pisum sativum atau kacang ercis merupakan tanaman yang dipilih oleh Mendel untuk diteliti karena tanaman ini memiliki sifat fenotipe yang dapat dibedakan dengan jelas seperti:

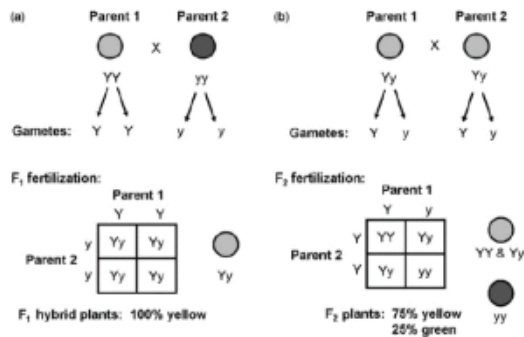
1. Warna bunga (putih atau ungu)
2. Posisi bunga (axil atau terminal)
3. Panjang batang (panjang atau pendek)
4. Bentuk biji (bulat atau kisut)
5. Warna biji (kuning atau hijau)
6. Bentuk polong (besar atau kecil)
7. Warna polong (kuning atau hijau)

Karakter Mendel ini ternyata dikendalikan oleh gen tunggal sehingga protein yang dibentuk dari gen tunggal tersebut langsung digunakan untuk memunculkan karakter fenotip. Hal ini menyebabkan tidak ditemukannya sifat *intermediate* pada keturunan. Karakter Mendel mungkin saja memiliki jenis yang bermacam-macam yang menghasilkan berbagai macam protein dengan karakter berbeda, namun gen yang mengendalikan sifat tersebut berada pada satu lokasi dalam kromosom yang disebut sebagai *lokus*. Gen yang berbeda ini disebut sebagai *alel* dan berbeda satu sama lain pada deretan DNA.

Tanaman kacang ini termasuk tanaman menyerbuk sendiri dan homozigot untuk sifat tersebut, artinya dua kromosom homolog memiliki alel yang sama. Saat tanaman homozigot menyerbuk sendiri

akan menghasilkan keturunan yang selalu homozigot. Mendel melacak pemisahan sifat dengan cara menyilangkan tanaman homozigot yang memiliki sifat berbeda. Sebagai contoh, daripada membiarkan tanaman tersebut menyerbuk sendiri, dia cenderung akan menyilangkan tanaman homozigot kuning dengan tanaman homozigot hijau untuk warna biji dan mencatat rasio fenotipe keturunan dari setiap generasi.

Dengan menyilangkan homozigot berbeda, Mendel menghasilkan dua tanaman berkromosom homolog masing-masing memiliki alel yang berbeda. Dua alel berbeda berada pada satu gen disebut heterozigot. Semua tanaman dari persilangan awal (generasi F1) bergenotip sama, tetapi dapat saja memiliki satu atau dua fenotip tetua berbeda. Pada tanaman heterozigot, Mendel menemukan bahwa adanya variasi tertentu, terdapatnya sifat yang menutupi sifat yang lainnya. Sifat yang menutupi sifat lain disebut dominan, sedangkan sifat yang tertutupi tersebut dinamakan resesif.



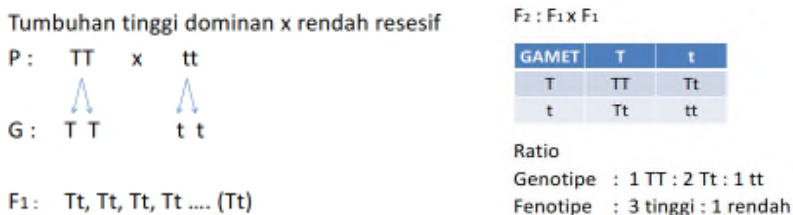
Gambar 1. Gambar.... Monohybrid. Persilangan monohybrid melibatkan satu sel dengan dua alel yang terpisah pada saat pembentukan gamet (a) persilangan monohibri: (b) F1 menverbuk sendiri.

Setelah menyilangkan tetua homozigot dan menghasilkan tanaman hibrida heterozigot (F1), Mendel membiarkan hibrida tersebut untuk menyerbuk sendiri. Beberapa tanaman F2 akan memunculkan sifat resesif itu kembali. Mendel menyadari bahwa sifat tersebut tidaklah hilang atau hancur oleh alel dominan, namun fenotipnya hanya tertutupi pada tanaman heterozigot. Pengamatan pada F2 menunjukkan bahwa 75% adalah tanaman yang dominan, sementara sisanya 25% merupakan tanaman resesif.

Menggunakan data hasil persilangan, ternyata tanaman memiliki dua kopi materi genetik. Meskipun Mendel tidak mengetahui bahwa setiap tanaman memiliki dua deretan DNA berbeda pada dua kromosom homolog, dia dapat memprediksi frekuensi pemisahan dari setiap generasi yang dihasilkan. Dasar penemuan Mendel adalah bahwa tanaman terdiri dari dua versi dari setiap gen dan gen tersebut merupakan partikel yang dapat terpisah pada setiap generasi keturunan.

5.4 Pemisahan Gen Sealel (Hukum Mendel 1)

Pada persilangan dengan satu sifat beda atau *monohibrid*, Mendel menggambarkan hukum pertamanya yaitu bagaimana sifat diteruskan dari generasi ke generasi tanpa mengetahui bahwa DNA mengendalikan sifat yang diamati tersebut. Alel dominan dan resesif berpisah pada keturunan dari tetua heterozigot. Dimana dua kromosom homolog akan terpisah selama proses pembentukan sel gamet. Praktisnya, setengah sel gamet dihasilkan dari satu alel dan setengah dari alel lain pada tanaman heterozigot.

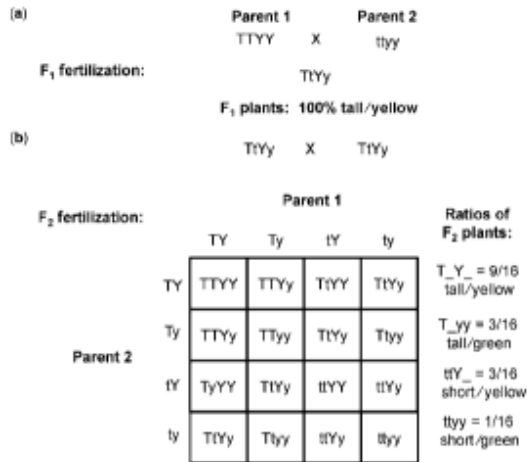


Gambar 2. Persilangan monohibrid dengan satu sifat beda. F₁ dari tetua homozigot akan menghasilkan keturunan heterozigot. F₂ dari F₁ yang menyerbuk sendiri menghasilkan 75% tanaman tinggi dan 25% tanaman rendah (3:1)

5.5 Pemisahan dan Pengelompokan secara bebas (Hukum Mendel 2)

Saat tanaman dengan dua sifat beda disilangkan (dihibrid), Mendel menemukan bahwa sifat terpisah secara bebas. Fenomena ini dijelaskan dalam *Hukum Pengelompokan Secara Bebas*, kromosom dari pasangan kromosom homolog berbeda berpisah secara bebas selama

proses pembentukan sel gamet. Kromosom merupakan molekul bebas DNA dan hanya kromosom homolog yang berpasangan ada saat pembentukan gamet tersebut. Sehingga kromosom non homolog akan terbagi secara acak ke dalam *daughter cells*.



Gambar 10. Persilangan dihibrid model dua gen, alel dari dua gen tersebut terpisah secara bebas dan mengelompok saat proses pembentukan gamet: (a) persilangan dihibrid; (b) F₁ menyerbuk sendiri.

5.6 Soal dan Diskusi

1. Bagaimana Mendel menjelaskan proses hereditas tanpa mengetahui adanya gen?
2. Bagaimana kromosom berpisah selama proses reproduksi pada tanaman?

Bab 5

Mitosis dan Meiosis

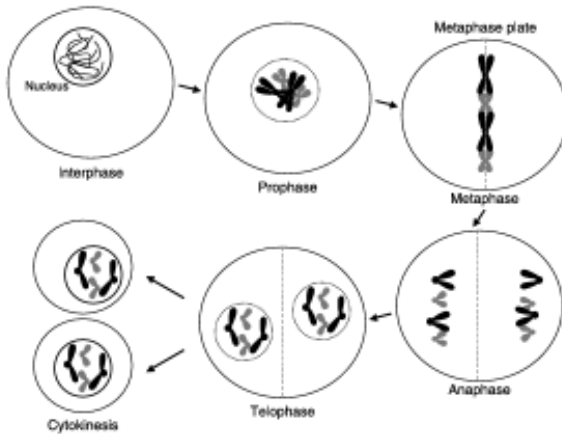
5.1 Pendahuluan

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman disebabkan oleh pembelahan pada sel. Pembelahan ini terbagi kedalam mitosis dan meiosis. Umumnya sel pada tanaman maupun organisme hidup lainnya akan mengalami proses pengkopian yang persis sama dimana kromosom asli tetap berjumlah sama. Proses sederhana yang menyebabkan tanaman tumbuh disebut mitosis (pembelahan pada sel somatik), sel membelah menjadi dua sel yang sama persis dengan aslinya. Dalam mitosis, jumlah kromosom tetap dalam sel anak yang dihasilkan dari pembelahan *sister chromatid* pada sentromernya. Sedangkan untuk dapat memperbanyak diri melalui proses seksual, sel harus membelah secara meiosis. Meiosis merupakan proses pembelahan akibat pengurangan jumlah setengah jumlah kromosom dari diploid menjadi haploid. Mitosis dan meiosis merupakan cara sel untuk memperbanyak diri dan setiap proses tersebut memiliki tujuan berbeda-beda tergantung jumlah kromosom yang dibutuhkan oleh setiap sel anak.

5.2 Tujuan

Bab ini bertujuan untuk:

1. Menjelaskan proses pembelahan mitosis
2. Menjelaskan proses pembelahan meiosis
3. Menjelaskan apa itu rekombinasi



Gambar 11. Tahapan pembelahan mitosis berdasarkan pengaturan kromosom

5.3 Mitosis

Dalam mitosis, kromosom berada dalam jumlah yang tetap selama proses pembelahan. Selama mitosis, setiap tahapan harus berlangsung dengan sempurna, karena kehilangan kromosom selama proses pembelahan dapat menyebabkan perubahan pada tanaman dewasa. Tahapan selama mitosis adalah: interfase, profase, metafase, anafase dan telofase.

Interfase: kromosom berada dalam keadaan tenang, sel mempersiapkan dirinya untuk membelah. Selama fase sintesis (*S phase*) kromosom menggandakan DNA dan membentuk *sister chromatids*.

Profase: merupakan proses awal mitosis, kromosom menebal dan nukleus mulai menghilang. Pada tahapan ini, kromosom dapat dilihat dengan jelas dan tidak beraturan.

Metafase: kromosom mulai teratur di tengah sel dan *sister chromatids* berada pada daerah yang berlawanan. Sentromer berada tepat di tengah-tengah kemudian terbagi dua dan tertarik ke arah yang berlawanan dan mulai memasuki tahap selanjutnya.

Anafase: kromosom terlihat berbentuk seperti huruf V dengan sentromer ditarik ke kutub berlawanan. Selama proses ini sel memiliki jumlah kromosom sebanyak $4N$, karena sentromer berada diantara

sister chromatid pecah dan menghasilkan dua kromosom. Saat kromosom mencapai kutub, membran nukleus kembali muncul dan sel mulai masuk tahap pembelahan selanjutnya.

Telofase: dua *sister chromatids* dari semua kromosom telah terpisah dan sel mulai membelah menjadi dua melalui proses *cytokinesis*.

5.4 Meiosis

Meiosis merupakan proses pembelahan sel gamet untuk menghasilkan sel haploid, jumlah kromosom setengah dari jumlah kromosom sel asli. Meiosis terjadi dua kali, pertama sel akan mengalami pengurangan jumlah kromosom (Meiosis I) dan *sister chromatids* terpisah, proses ini identik dengan mitosis (Meiosis II).

Kedua proses pembelahan sel ini (mitosis dan meiosis) pada dasarnya akan mengalami tahapan yang sama selama proses pembelahan seperti kromosom menebal, kromosom berada di tengah-tengah sel dan kemudian bergerak ke arah kutub dan akhirnya membelah. Perbedaan keduanya adalah pada bagaimana interaksi kromosom homolog.

Meiosis I

Profase I: Kromosom homolog berpasangan disebut *tetrad*. Kromosom homolog berinteraksi satu dengan yang lain sehingga menyebabkan perpindahan bahan genetik atau *crossing over (recombinant)* atau pindah silang.

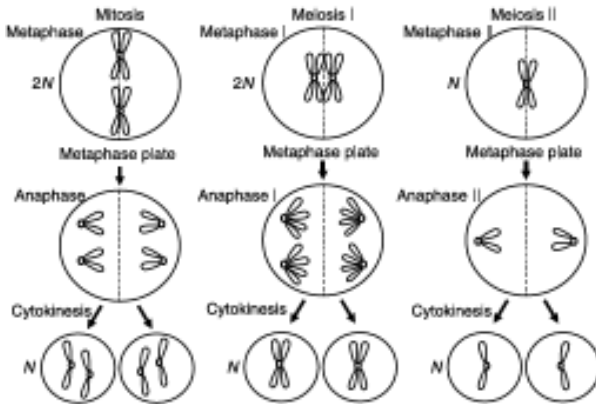
Metafase I: Kromosom homolog pada *tetrad* berada pada jalur metafase dengan setiap kromosom di sisinya.

Anafase I: kromosom homolog dengan masing-masing dua *sister chromatids* nya ditarik ke bagian kutub berlawanan. Sentromer tetap saat kromosom homolog berpisah pindah secara sempurna ke kutub masing-masing.

Telofase I: sel akan berpisah dan setiap sel anak yang dihasilkan memiliki jumlah kromosom haploid.

Meiosis II

Pembelahan meiosis kedua ini sama dengan pembelahan mitosis.



Mitosis dan dua tahap pembelahan Meiosis, perbedaannya hanya pada pengaturan kromosom homolog.

5.5 Rekombinasi

Dalam genetika, rekombinasi adalah suatu proses penggabungan sel dari satu atau lebih sel ke sel target. Sel yang digabungkan tersebut disebut sebagai biakan rekombinan. Secara lebih rinci, rekombinasi merupakan proses pertukaran elemen genetik antara untai DNA yang berlainan, atau antara bagian-bagian gen yang terletak dalam satu untai DNA.

Berikut adalah beberapa fungsi dari rekombinasi pada sel, diantaranya adalah:

1. Memelihara perbedaan genetik
2. Perbaikan DNA
3. Regulasi ekspresi gen tertentu
4. Penyusunan kembali genetik selama perkembangan

Terdapat tiga tipe rekombinasi gen, yaitu:

1. Rekombinasi homolog
2. Rekombinasi khusus
3. Rekombinasi replikatif

5.6 Soal dan Diskusi

1. Bagaimana proses pembelahan pada sel?
2. Bagaimana kaitan pertumbuhan dan perkembangan tanaman dengan pembelahan sel?
3. Jelaskan mengenai rekombinasi pada sel tanaman?

Referensi

- Crowder, L. V. 1997. Genetika Tumbuhan. Diterjemahkan oleh Lilik Kusdiarti. Penyunting Sutarso. Cetakan ke-5. Yogyakarta. UGM Press.
- Goodenough, U. 1988. Genetika. Jilid I. Edisi Ketiga. Diterjemahkan oleh Soenartono Adisoemarto. Erlangga. Jakarta.
- Hartwell, L. H., L. Hood., M. L. Goldberg., A. E. Reynolds., L. M. Silver.l dan R. C. Veres. 2000. Genetics. From Genes to Genomes. The McGraw-Hill Co. USA.
- Pai, Anna C.1992. Dasar-Dasar Genetika Ilmu untuk Masyarakat. Edisi Kedua. Diterjemahkan oleh Muchidin Apandi. Erlangga. Jakarta
- Stewart Jr, C. N. 2008. Plant Biotechnology and Genetics: Principles, Techniques, and Applications. John Wiley & Sons, Inc. NJ. USA.
- Suryo. 2004. Genetika. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Yatim, W. 1986. Genetika. Tarsito. Bandung.
- Ramli, K. Agustus, 2016. Rekombinasi Genetik. <https://kamriantiramli.wordpress.com/tag/fungsi-rekombinasi-genetik/>