

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

MUTASI DAN JENIS-JENIS MUTASI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat:

1. Menjelaskan berbagai macam mutasi dan penyebabnya.
2. Menganalisis peristiwa mutasi pada kromosom dan gen.

B. Uraian Materi

Mutasi didefinisikan sebagai suatu perubahan yang bersifat mendadak dan bersifat menurun sebagai akibat penyesuaian diri terhadap perubahan lingkungan. Dalam teori evolusi, proses mutasi merupakan "bahan baku" yang menyebabkan terjadinya variasi-variasi gen dari makhluk hidup. Adanya variasi-variasi genetik dari makhluk hidup menyebabkan bentuk makhluk hidup tidak tetap dari waktu ke waktu.

Mutasi pertama kali dikemukakan oleh **Seth Wright** (1870) yang melihat adanya kelainan pada kaki domba yang lebih pendek dari kaki domba lainnya, kelainan ini diturunkan kepada keturunannya. Selanjutnya, **Hugo de Vries** (1901) dalam bukunya "The Mutation Theory" mengenalkan istilah Mutasi. Dilanjutkan oleh **Thomas Hunt Morgan** (1910) dalam penelitiannya menemukan adanya lalat buah (*Drosophilla melanogaster*) yang bermata putih dan bermata merah. Kemudian, Herman Joseph Muller berhasil melakukan mutasi buatan dengan menggunakan sinar X. Proses terjadinya mutasi dikenal dengan istilah mutagenesis, sedangkan organisme yang mengalami perubahan tersebut dikenal dengan istilah mutan. Faktor yang menjadi penyebab terjadinya mutasi disebutkan **mutagen**. Makhluk hidup yang mengalami mutasi disebut **mutan**.

Syarat terjadinya mutasi adalah:

1. Adanya perubahan pada materi genetik
2. Perubahan tersebut bersifat dapat atau tidak dapat diperbaiki
3. Hasil perubahan tersebut diwariskan secara genetik pada keturunan berikutnya.

Mutasi terjadi pada frekuensi rendah di alam, biasanya lebih rendah daripada 1:10.000 individu. Mutasi di alam dapat terjadi akibat zat pembangkit mutasi (**mutagen**, termasuk karsinogen), radiasi surya maupun radioaktif, serta loncatan energi listrik seperti petir. Individu yang memperlihatkan perubahan sifat (fenotipe) akibat mutasi disebut **mutan**. Dalam kajian genetik, mutan biasa dibandingkan dengan individu yang tidak mengalami perubahan sifat (individu *tipe liar* atau "wild type"). Karakter mutan antara lain:

- Gen yang mengalami mutasi pada suatu individu, biasanya adalah gen resesif, sehingga dalam keadaan homozigot karakter perubahannya belum dapat dilihat.
- Gen yang mengalami mutasi umumnya bersifat lethal, sehingga jumlah makhluk hidup yang mengalami mutasi tampak sedikit.
- Individu yang mengalami mutasi biasanya mati sebelum dilahirkan atau sebelum dewasa.

Berdasarkan sel yang bermutasi ada 2 jenis mutasi yaitu:

1. Mutasi somatik

Mutasi somatic adalah mutasi yang terjadi pada sel somatik, yaitu sel tubuh seperti sel kulit. Mutasi ini tidak akan diwariskan pada keturunannya. Mutasi somatis adalah mutasi yang terjadi pada sel soma . bila perubahan sel somatis demikian besar, sel-sel dapat mati. Dan, kalau dapat bertahan hidup memiliki kelainan atau tak berfungsi secara normal. Bila sel somatis tidak tidak meliputi daerah yang luas, yang kurang penting, tidak membahayakan. Tetapi bila meliputi daerah yang luas atau alat yang amat penting dapat membahayakan bahkan dapat mematikan.

Bila perubahan sel itu terjadi ketiak sel somatis sedang giat membelah seperti dalam embrio dapat mengakibatkan karakter abnormal waktu lahir, tetapi tidak diturunkan kepada generasi berikutnya. makin muda jaringan yang mengalami perubahan genetik makin luas akibat abnormalan yang ditimbulkannya sebliknya makin dewasa jaringan itu ketika mengalami keabnormalan dan dapat ditolerir. Dalam bidang pertanian mutasi vegetatif banyak dipakai untuk meninggikan produksi dan mutu, seperti terhadap apel . anggur dan jeruk. Dibuat perubahan induksi pada suatu cabang pohon dewasa (misalnya dengan colchicine). Lalu cabang distek atau dicangkok , dan dibiakkan secara vegetatif pula. Sedangkan secara alamiah perubahan vegetatif pada tumbuhan dapat menimbulkan beraneka warna (belang) pada endosperm (biji), daun dan mahkota bunga. Misalnya pada ercis dan bunga pukul 4 (*Mirabilis jalapa*)

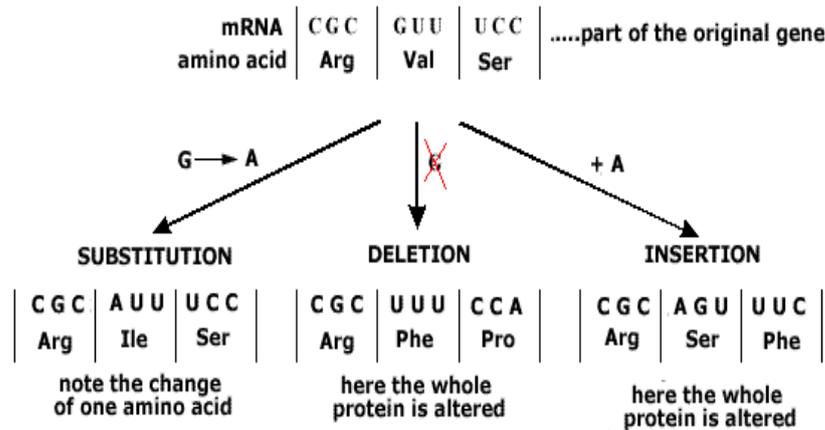
2. Mutasi Gametik/Germinal

Mutasi germinal adalah mutasi yang terjadi pada sel gamet, yaitu sel organ reproduksi yang meliputi sperma dan ovum pada manusia. Karena terjadinya di sel gamet, maka akan diwariskan kepada keturunannya. Hal ini terjadi terdapat pada makhluk hidup bersel banyak dan bukan yang bersel satu. Atau strukturnya yang lebih sederhana. Bila perubahan berlangsung pada gamet. maka akibat yang ditimbulkan begitu hebat dan gametpun segera mati. Selain itu terkaang menyebabkan gamet tidak mampu melakukan pembuahan dengan wajar. Oleh karena itu tak diteruskan pada keturunannya. Tetapi bila perubahan tidak begitu hebat dan gamet dapat melakukan pembuahan, terjadi generasi baru yang menerima perubahan bahan genetik tersebut.

Bila gonad terkena langsung radiasi atau diberi bahan kimia seperti gas murtad, maka kemungkinan besar mengalami perubahan genetik pada gamet, namun kalau radiasi terjadi pada bagian tubuh yang lain, bukan langsung ke gonad, suatu saat gonad menerima akibat radiasi secara tidak langsung itu. Bila radiasi menimbulkan ionisasi berantai pada jaringan dan akhirnya mencapai inti sel gamet. Makin dekat bagian tubuh yang kena radiasi ke gonad, makin besar kemungkinan gamet menerima perubahan genetik . sebaliknya semakin jauh bagian tubuh yang kena radiasi dari gonad ,makin kecil kemungkinan gamet menerima perubahan genetik itu.

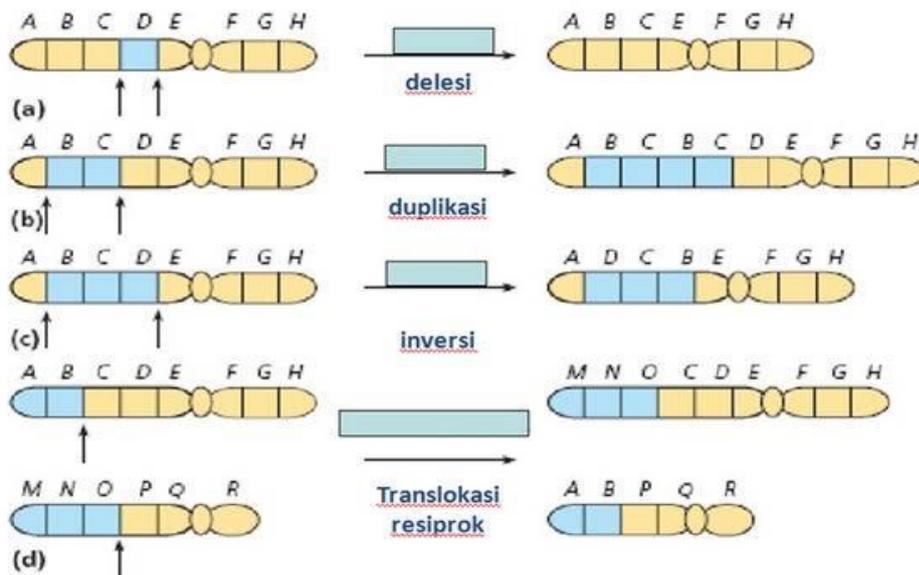
Berdasarkan tempat mutasi bermutasi ada 2 jenis mutasi yaitu:

- **Mutasi Kecil** (*point mutation*) adalah perubahan yang terjadi pada susunan molekul gen (DNA) sedangkan lokus gennya tetap Mutasi jenis ini menimbulkan alela . Mutasi ini biasa disebut mutasi gen.



Gambar 1. Mutasi Gen
sumber: <https://www.edubio.info>

- **Mutasi besar** (*gross mutation*) adalah perubahan yang terjadi pada struktur dan susunan kromosom . Istilah khusus untuk mutasi kromosom adalah aberasi . Mutasi ini biasa disebut mutasi kromosom atau aberasi.



Gambar 2. Mutasi Kromosom
sumber: www.edubio.info

Mutasi kromosom ini mengakibatkan perubahan sejumlah basa yang berdampingan pada rantai DNA atau perubahan runtunan nukleotida dalam suatu ruas gen sehingga akibat yang ditimbulkan pada fenotip individu menjadi lebih nyata. Mutasi kromosom sering terjadi karena kesalahan meiosis. Mutasi kromosom dibedakan menjadi dua yaitu, perubahan jumlah kromosom dan perubahan struktur kromosom.

Perubahan jumlah kromosom dapat dibedakan menjadi aneuploidi (penambahan atau pengurangan satu atau beberapa kromosom) dan euploidi (penambahan atau pengurangan set kromosom).

a) Euploidi

Euploidi adalah perubahan pada set kromosom pada tingkat ploidi. Individu normal (*wild type*) memiliki genom $2n$ (diploid). Namun mutasi dapat mengakibatkan terjadinya perubahan pada tingkat ploidi sehingga menjadi $3n$ (triploid), $4n$ (tetraploid), dan banyak n (poliploid). Banyak tumbuhan budidaya yang telah dimutasikan sehingga menghasilkan tumbuhan poliploid yang memiliki sifat unggul. Namun penambahan set kromosom pada hewan dan manusia biasanya akan menimbulkan kematian sebelum lahir karena metabolisme yang tidak seimbang.

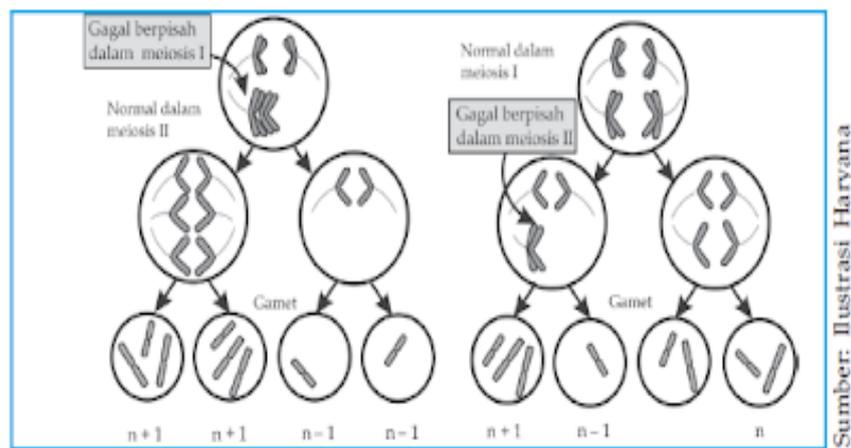
Tabel perubahan genom pada euploidi

Euploidi	Formula Kromosom	Perangkat Kromosom
Monoploid	n	A B C
Diploid	$2n$	AA BB CC
Triploid	$3n$	AAA BBB CCC
Tetraploid	$4n$	AAAA BBBB CCCC
Pentaploid	$5n$	AAAAA BBBBBB CCCCC
dst	$6n$	AAAAAA BBBBBB CCCCCC

b) Aneuploidi

Aneuploidi merupakan mutasi kromosom yang tidak melibatkan perubahan pada seluruh genom, tetapi terjadi hanya pada salah satu kromosom dari genom. Aneuploidi terjadi karena beberapa hal, diantaranya :

- **Anafase Lag**, yaitu peristiwa tidak melekatnya kromatid pada gelendong pada proses anafase meiosis I.
- **Nondisjunction**, yaitu peristiwa gagal berpisahnya kromosom homolog pada proses anafase dari meiosis I atau II . Pada peristiwa gagal berpisah, terdapat pasangan kromosom homolog dan pasangan kromatid yang melekat satu sama lain, tidak berpisah. Akibatnya terdapat gamet abnormal dengan kromosom berlebih dan kurang.



Sumber: Ilustrasi Haryana

Gambar 3. Mutasi Kromosom
sumber: www.edubio.info

Aneuploidi pada manusia dapat terjadi pada sel telur diantaranya:

- **Digini** adalah dua inti sel telur yang tetap terlindung satu plasma dan selanjutnya dibuahi satu sperma, yang sering terjadi karena kegagalan sel kutub (polosit) memisah.
- **Diandri** adalah satu sel telur yang dibuahi satu sperma, yang sering pada terlambatnya pembuahan. Seseorang yang mengalami aneuploidi umumnya berumur pendek, di samping itu pada sel-sel soma yang mengalami kanker juga dapat terjadi peristiwa aneuploidi.

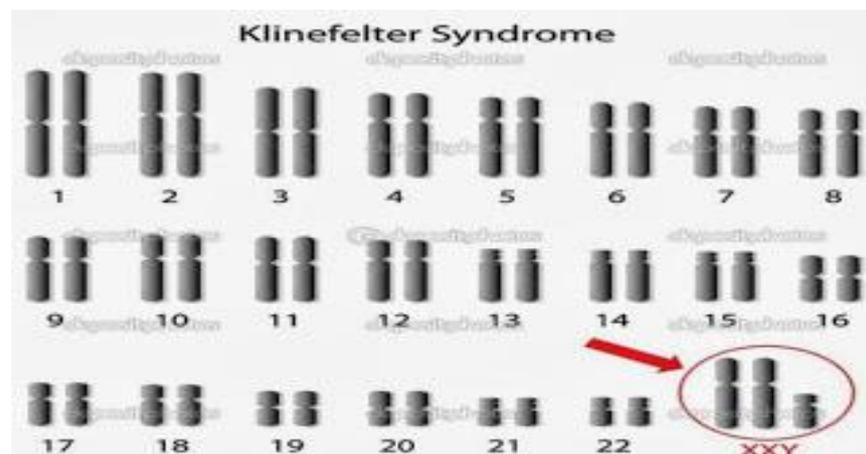
Bentuk-bentuk peristiwa aneuploid berakhiran dengan somi, sehingga aneuploid disebut juga dengan *aneusomi*. Jumlah kromosom aneuploidi antara lain sebagai berikut:

1. Monosomik ($2n-1$); yaitu mutasi karena kekurangan satu kromosom.
2. Nullisomik ($2n-2$); yaitu mutasi karena kekurangan dua kromosom.
3. Trisomik ($2n + 1$); yaitu mutasi karena kelebihan satu kromosom.
4. Tetrasomik ($2n + 2$); yaitu mutasi karena kelebihan dua kromosom..

Aneuploidi pada manusia dapat menyebabkan beberapa kelainan antara lain:

1) Sindrom Klinefelter

kariotipe ($22 AA+XXY$) ditemukan oleh H. F. Klinefelter , mengalami trisomik pada kromosom gonosom. Penderita Sindrom Klinefelter berjenis kelamin laki-laki, namun testisnya tidak berkembang (testicular disgenesis) sehingga tidak bisa menghasilkan sperma (aspermia) dan mandul (gynaecomastis) serta payudaranya tumbuh.

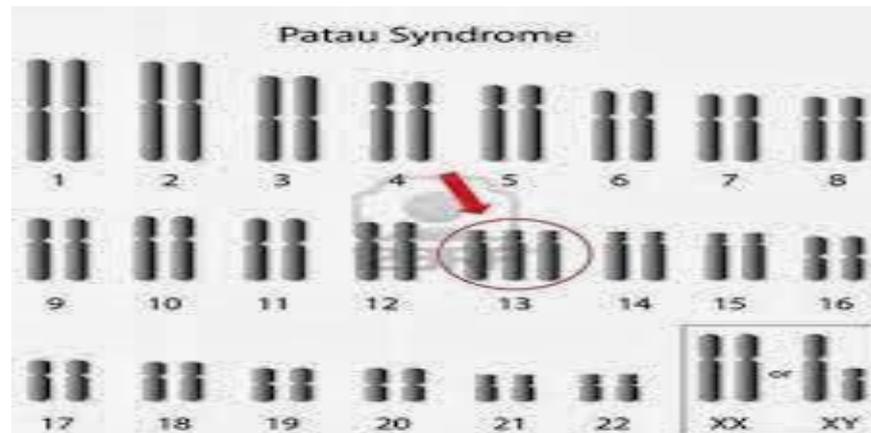


Gambar 4. Mutasi Kromosom pada sindrom Klinefelter
sumber: www.edubio.info

2) Sindrom Patau

Dengan kariotipe ($45A+XX/XY$), ditemukan oleh K. Patau pada tahun 1960. Sindrom ini disebabkan trisomik pada kromosom autosomnya mengalami kelainan pada kromosom nomor 13, 14, atau 15. Penderita Sindrom patau memiliki mata serius, kerusakan pada otak dan peredaran darah serta langit-langit mulut yang terbelah, Bayi

yang mengalami Sindrom Patau jarang bertahan hidup lebih dari satu tahun.



Gambar 5. Mutasi Kromosom pada sindrom Patau
sumber: www.edubio.info

3) Sindrom Turner,

Dengan kariotipe (22AA+X0) ditemukan oleh H. H. Turner pada tahun 1938. Jumlah kromosomnya 45 dan kehilangan 1 kromosom kelamin. Penderita Sindrom Turner berjenis kelamin wanita. Meskipun penderitanya memiliki jenis kelamin wanita, ia tidak memiliki ovarium yang sempurna, steril (mandul), ciri seksualnya tidak berkembang, dan cenderung lebih pendek arena terdapat kekurangan pada kromosom nomor 23.



Gambar 6. Mutasi Kromosom pada sindrom Turner
sumber: www.edubio.info

4) Sindrom Jacobs

Kariotipe (22AA+XYY), trisomik pada kromosom gonosom. Penderita sindrom ini umumnya berwajah kriminal, suka menusuk-nusuk mata dengan benda tajam, seperti pensil,dll dan juga sering berbuat kriminal. Penelitian di luar negeri mengatakan bahwa sebagian besar orang-orang yang masuk penjara adalah orang-orang yang menderita Sindrom Jacobs.

5) Sindrom Edward,

Kariotipe (45A+XX/XY), trisomik pada autosom. Autosom mengalami kelainan pada kromosom nomor 18. Sindrom ini

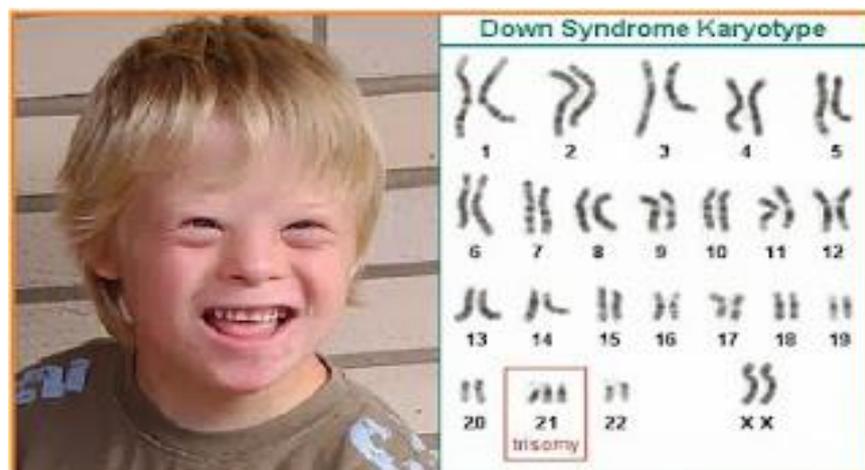
ditemukan oleh I . H . Edwards tahun 1960 . Penderita sindrom ini mempunyai tengkorak lonjong, bahu lebar pendek, telinga agak ke bawah dan tidak wajar.



Gambar 7. Mutasi Kromosom pada sindrom Edward
sumber: www.edubio.info

6) Sindrom down

Dengan mempunyai karotipe $2n + 1$ ($45A + XX$ atau $45A + XY$) . susunan kromosonya mengalami trisomi pada autosom , yaitu kromosom nomor 21 . Pengaruhnya menyebabkan pertumbuhan mental terhambat dan berkurangnya ketahanan terhadap infeksi . Ciri-ciri penderita ini bermata sipit, kaki pendek, dan berjalan lambat.



Gambar 8. Mutasi Kromosom pada sindrom Down
sumber: www.edubio.info

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

PENYEBAB MUTASI

A. Tujuan Pembelajaran

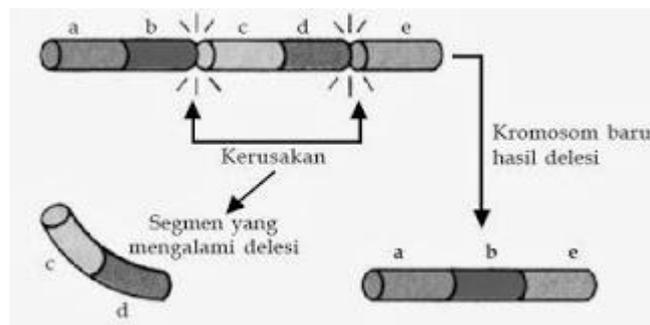
Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan dapat menjelaskan faktor-faktor penyebab terjadinya mutasi.

B. Uraian Materi

1. Perubahan struktur kromosom

Mutasi karena perubahan struktur kromosom berlangsung secara spontan, dan dapat juga dilakukan secara eksperimental dengan induksi bahan kimia atau radiasi. Perubahan ini umumnya dapat dilihat pada sel selama mitosis atau meiosis. Beberapa hal yang menyebabkan perubahan struktur kromosom adalah sebagai berikut:

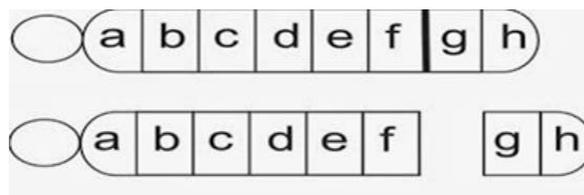
a. Delesi kromosom



Gambar 9. Delesi kromosom
sumber: www.edubio.info

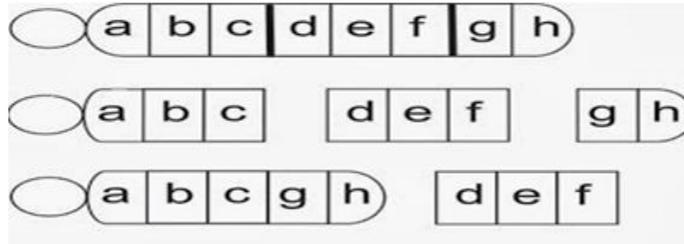
Delesi adalah mutasi akibat hilangnya dua atau lebih nukleotida yang berdampingan. Apabila rangkaian basa yang hilang merupakan suatu ruas yang lebih kecil dari panjang gen, maka gen tersebut akan bermutasi, tetapi bila rangkaian nukleotida yang hilang lebih besar dari ruas suatu gen, maka gen tersebut akan hilang dari kromosom.

Delesi dapat dibedakan menjadi beberapa macam antara lain sebagai berikut:
1) Delesi terminal, yaitu delesi yang kehilangan ujung segmen kromosom.



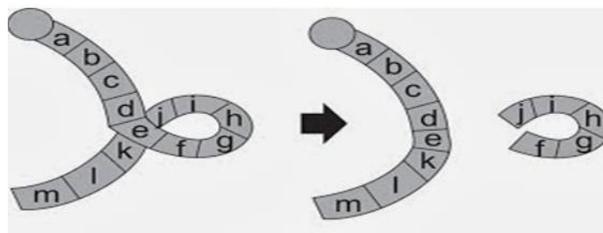
Gambar 10. Delesi terminal
sumber: www.edubio.info

- 2) Delesi interstitial/interkalar, yaitu delesi yang kehilangan bagian tengah kromosom.



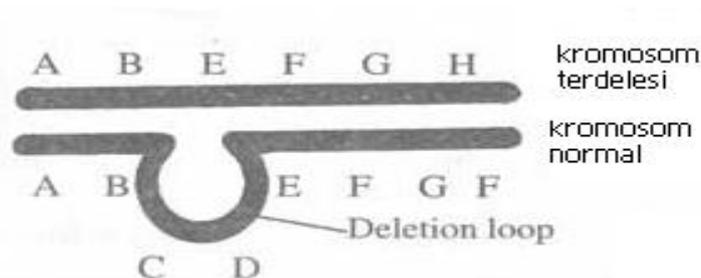
Gambar 11. Delesi interkalar
Sumber: : www.edubio.info

- 3) Delesi cincin, yaitu delesi yang kehilangan segmen kromosom sehingga berbentuk lingkaran seperti cincin.



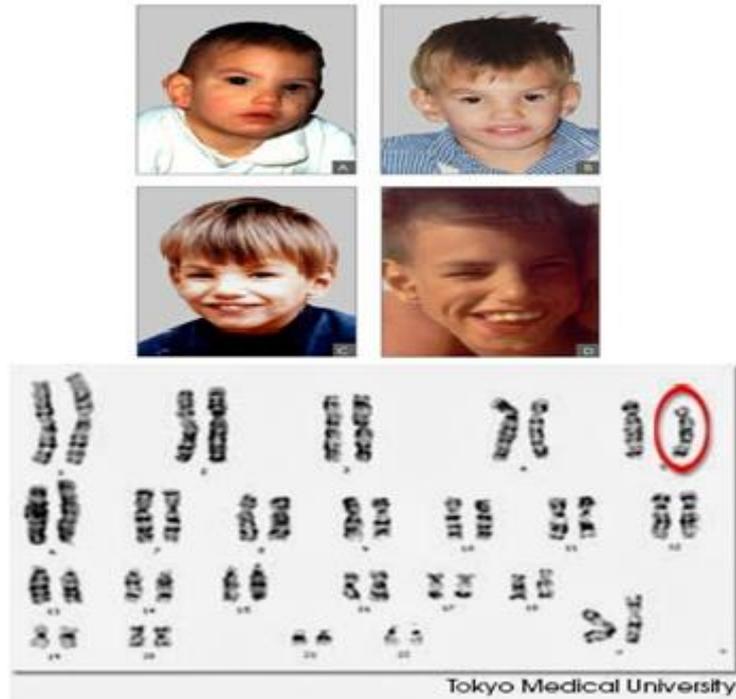
Gambar 12. Delesi cincin
Sumber: : www.edubio.info

- 4) Delesi loop, yaitu delesi cincin yang membentuk lengkungan pada kromosom lainnya. Hal ini terjadi pada waktu meiosis, sehingga memungkinkan adanya kromosom lain (homolognya) yang tetap normal.



Gambar 13. Delesi loop
Sumber: : www.edubio.info

Satu contoh delesi yang terkenal pada manusia adalah yang menimbulkan sindrom *Cri-du-chat*. Delesi penyebab timbulnya sindrom itu bersifat heterozigot. Delesi terjadi pada lengan pendek kromosom 5B. Teriakan para bayi pengidap sindrom ini terdengar seperti bunyi meong kucing. Sindrom itu juga ditandai dengan ukuran kepala yang kecil, abnormalitas pertumbuhan yang parah, serta adanya keterbelakangan mental. Para penderita biasanya meninggal pada masa bayi atau awal masa kanak-kanak sekaipun ada juga yang tetap hidup hingga dewasa.

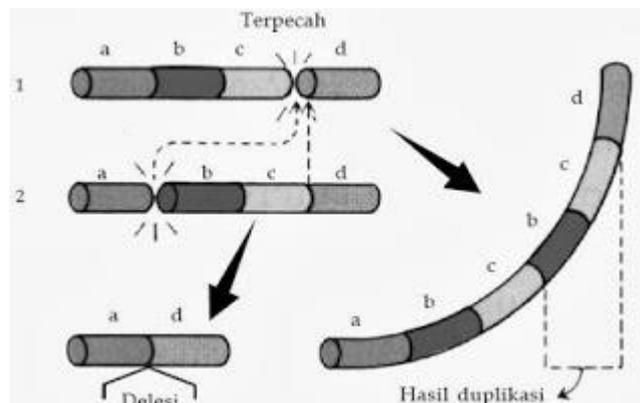


Gambar 14. Sindrom *Cri-du-chat* karena delesi kromosom
 Sumber: : www.edubio.info

b. Duplikasi kromosom

Duplikasi adalah mutasi yang terjadi karena penambahan ruas kromosom atau gen dengan ruas yang telah ada sebelumnya. Sehingga, terjadi pengulangan ruas-ruas DNA dengan runtunan basa yang sama yang mengakibatkan kromosom mutan lebih panjang.

Contoh perubahan fenotip akibat proses duplikasi adalah gen bar pada *Drosophila melanogaster*. Penambahan gen pada kromosom lalat buah ini mengakibatkan peningkatan enzim tertentu yang menyebabkan ketidakseimbangan metabolisme.

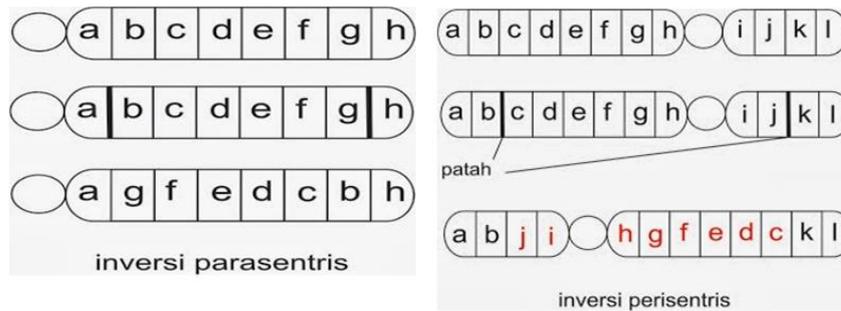


Gambar 15. Duplikasi kromosom
 sumber: www.edubio.info

c. Inversi kromosom.

Inversi adalah perubahan urutan letak gen dalam suatu kromosom . Misalnya pada satu ruas kromosom terdapat urutan ruas ABCDEF, setelah inversi diperoleh ruas AEDCBF. Jadi, terjadi pemutaran ruas BCDE.

Inversi dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu: inversi parasentrik dan inversi perisentrik. *Inversi parasentris*, yaitu bila sentromer berada di luar ruas yang terbalik, sedangkan *inversi perisentris*, yaitu bila sentromer terdapat dalam segmen yang berputar.



Gambar 16. Inversi kromosom
sumber: www.edubio.info

d. Translokasi kromosom

Translokasi adalah mutasi yang terjadi akibat perpindahan ruas DNA (segmen kromosom) ke tempat yang baru, baik dalam satu kromosom atau antarkromosom yang berbeda.

Translokasi dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, yakni sebagai berikut:

- 1) Translokasi tunggal, jika kromosom yang patah pada satu tempat, kemudian bagian yang patah tersebut bersambungan dengan kromosom lain yang bukan homolognya.



Gambar 16. Translokasi tunggal
sumber: www.edubio

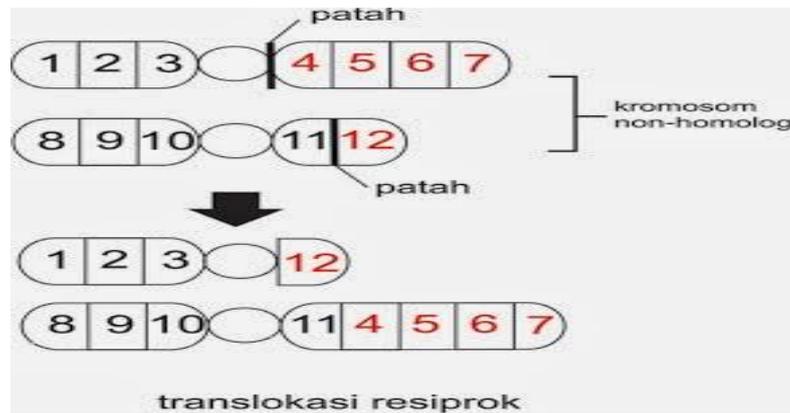
- 2) Translokasi perpindahan, terjadi jika kromosom patah di dua tempat dan patahannya bersambungan dengan kromosom lain yang bukan homolognya.



Gambar 17. Translokasi perpondahan
sumber: www.edubio

3) Translokasi resiprok

Terjadi jika dua buah kromosom yang bukan homolognya patah pada tempat tertentu, kemudian patahan tersebut saling bertukar.



Gambar 18. Translokasi resiprok
sumber: www.edubio

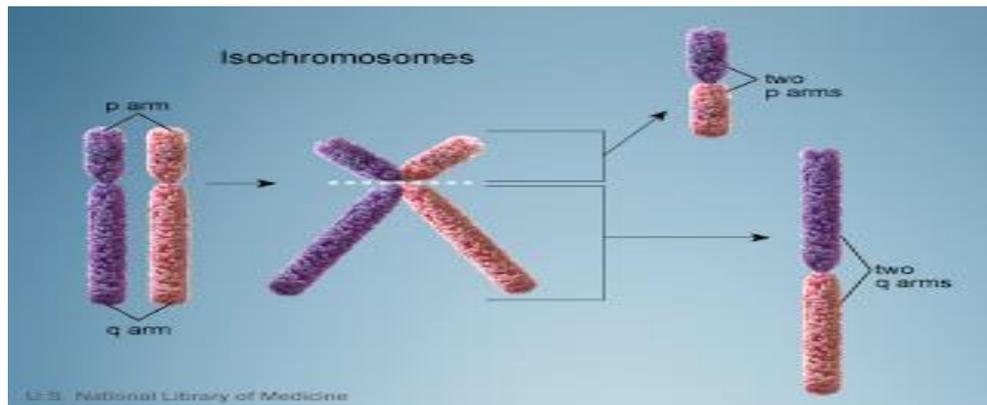
Translokasi resiprok dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:.

- Translokasi resiprok homozigot, yaitu translokasi homozigot ialah translokasi yang mengalami pertukaran segmen dua kromosom homolog dengan segmen dua kromosom non homolog.
- Translokasi resiprok heterozigot, yaitu translokasi heterozigot ialah translokasi yang hanya mengalami pertukaran satu segmen kromosom ke satu segmen kromosom nonhomolognya.
- Translokasi Robertson, yaitu translokasi Robertson ialah translokasi yang terjadi karena penggabungan dua romosom akrosentrik menjadi satu kromosom metasentrik. Peristiwa semacam ini dapat disebut juga fusion (penggabungan).

e. Isokromosom.

Isokromosom ialah mutasi kromosom yang terjadi pada waktu menduplikasikan diri, pembelahan sentromernya mengalami perubahan arah pembelahan sehingga terbentuklah dua kromosom yang masing-masing berlengan identik (sama). Dilihat dari pembelahan sentromer maka isokromosom disebut juga fision, jadi peristiwanya berlawanan dengan

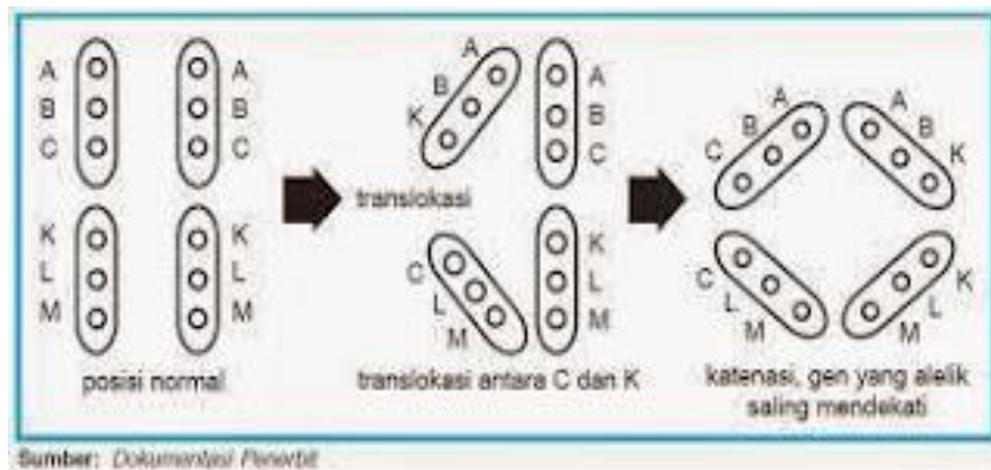
translokasi Robertson (fusion) yang mengalami penggabungan.



Gambar 19. Isokromosom
sumber: www.edubio

f. Katenasi

Katenasi adalah mutasi kromosom yang terjadi pada dua kromosom non homolog yang pada waktu membelah menjadi empat kromosom, saling bertemu ujung-ujungnya sehingga membentuk lingkaran.



Gambar 20. Katenasi
sumber: www.edubio

2. Mutagen

Mutasi gen disebut juga **mutasi titik** (point mutation). Mutasi ini terjadi karena adanya perubahan struktur gen (DNA), akibatnya asam amino yang dikodekan berubah sehingga terbentuk protein yang salah.

Kejadian mutasi gen sangat jarang terlihat, hal ini disebabkan mutasi yang terjadi pada suatu gen tidak dapat menunjukkan penampakannya, karena jumlah gen yang terdapat dalam satu individu banyak sekali yang bermutasi bersifat letal, sehingga gejala mutasi tidak dapat diamati sebab individu segera mati sebelum dewasa. Gen yang bermutasi umumnya bersifat resesif, sehingga selama dalam keadaan heterozigot tidak akan terlihat.

Penyebab beberapa penyebab mutasi gen, antara lain:

- Delesi : hilangnya satu atau beberapa basa nitrogen.
- Addisi : penambahan satu atau beberapa basa nitrogen (sering disebut juga insersi).
- Substitusi : pertukaran pasangan basa nitrogen.

Jenis –jenis mutasi gen :

- **Mutasi salah arti** (*missens mutation*), yaitu perubahan suatu kode genetik umumnya pada posisi 1 dan 2 pada kodon) sehingga menyebabkan asam amino terkait (pada polipeptida) berubah . perubahan pada asam amino dapat menghasilkan fenotip mutan apabila asam amino yang berubah merupakan asam amino esensial bagi protein tersebut . jenis mutasi ini dapat disebabkan oleh peristiwa transisi dan transversi.



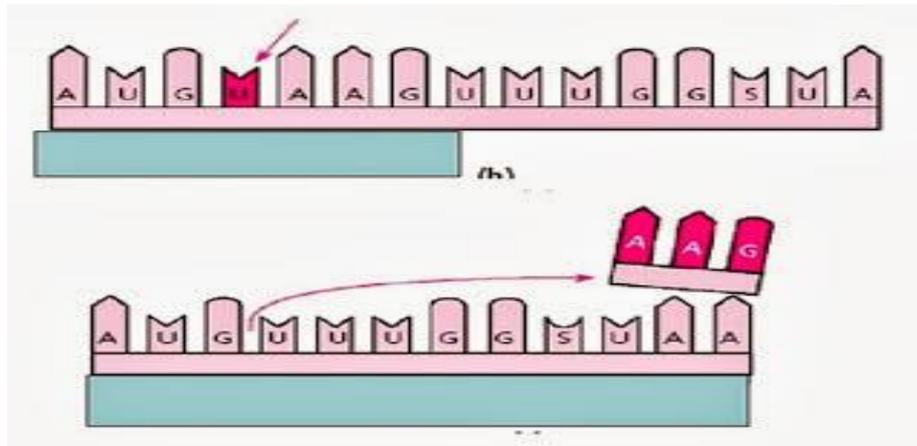
Gambar 21. Mutasi salah arti
sumber: www.edubio

- **Mutasi diam** (*silent mutation*), yaitu perubahan suatu pasangan basa dalam gen (pada posisi 3 kodon) yang menimbulkan perubahan satu kode genetik tetapi tidak mengakibatkan perubahan atau pergantian asam amino yang dikode. mutasi diam biasanya disebabkan karena terjadinya mutasi transisi dan tranversi.



Gambar 21. Mutasi diam
sumber: www.edubio

- **Mutasi tanpa arti** (*nonsense mutation*), yaitu perubahan kodon asam amino tertentu menjadi kodon stop . hampir semua mutasi tanpa arti mengarah pada inaktifnya suatu protein sehingga menghasilkan fenotip mutan . mutasi ini dapat terjadi baik oleh tranversi, delesi maupun insersi.



Gambar 22. Mutasi tanpa arti
sumber: www.edubio

3. Faktor Penyebab Mutasi

Zat atau sesuatu yang menyebabkan mutasi disebut dengan mutagen. Macam-macam penyebab mutasi dapat di bedakan sebagai berikut :

1) Mutasi alami (mutasi spontan)

Mutasi spontan adalah perubahan yang terjadi secara alamiah atau dengan sendirinya. Diduga faktor penyebabnya adalah panas, radiasi sinar kosmis, batuan radioaktif, sinar ultraviolet matahari, radiasi dan ionisasi internal mikroorganisme serta kesalahan DNA dalam metabolisme.

2) Mutasi buatan

Mutasi buatan adalah mutasi yang disebabkan oleh usaha manusia, antara lain dengan :

- a. Pemakaian bahan radioaktif untuk diagnosis, terapi, deteksi suatu penyakit, sterilisasi dan pengawetan makanan.
- b. Penggunaan senjata nuklir.
- c. Penggunaan roket dan televisi.

Mutagen merupakan faktor yang menyebabkan terjadinya mutasi. Mutagen dibagi menjadi 3, yaitu:

- Mutagen bahan kimia , contohnya adalah kolkisin dan zat digitonin. Kolkisin adalah zat yang dapat menghalangi terbentuknya benang-benang spindel pada proses anafase dan dapat menghambat pembelahan sel pada anafase.
- Mutagen bahan fisika , contohnya sinar ultraviolet , sinar radioaktif, dan sinar gamma. Sinar ultraviolet dapat menyebabkan kanker kulit.
- Mutagen bahan biologi, diduga virus dan bakteri dapat menyebabkan terjadinya mutasi. Bagian virus yang dapat menyebabkan terjadinya mutasi adalah DNA-nya.

4. Pemanfaatan Mutasi

Pemanfaatan mutasi dibedakan menjadi dua yaitu pemanfaatan yang menguntungkan dan pemanfaatan yang merugikan. Beberapa contoh pemanfaatan mutasi yang menguntungkan antara lain:

1) Terapi sel-sel tumor

Aplikasi radiasi sinar mengion (dikenal sebagai radioterapi , seperti penyinaran dengan sinar X) dan kemoterapi untuk menghambat perkembangan sel-sel tumor dan kanker.

- 2) Pemuliaan
Radiasi sinar mengion, seperti sinar gamma dari Co-60, atau terhadap beberapa kemikalia, seperti EMS dan DS, digunakan untuk mengubah susunan basa nitrogen pada DNA atau untuk menyebabkan mutasi segmental dan harapannya sel yang akan mengalami mutasi akan menguntungkan. Cara pemuliaan kebanyakan dilakukan terhadap tanaman hortikultura, seperti tanaman sayuran dan tanaman hias (ornamental).
- 3) Zat kimia seperti digitonin igundan kolkisin dakan untuk mendapatkan benih yang bersifat unggul seperti gandum, tomat, dan kol poliploidi.
- 4) Tanaman Poliploidi dianggap menguntungkan karena memiliki buah besar, tidak berbiji, dan produktivitasnya tinggi.



Gambar 23. Pemuliaan tanaman
sumber: Slideshare.com

Dampak mutasi yang merugikan antara lain:

- 1) Terjadi mutasi gen menyebabkan beberapa kelainan pada manusia antara lain sindrom turner , sindrom down , albino.
- 2) Penggunaan sinar radioaktif pada proses mutasi dapat menyebabkan tumbuhnya sel kanker dan cacat bawaan pada janin dalam rahim.
- 3) Pemberian insektisida yang tidak sesuai dosisnya dapat mengakibatkan mutasi pada hama sehingga akan mengalami peledakan hama dalam jumlah besar untuk merusak tanaman.

C. Rangkuman

1. Penyebab mutasi kromosom karena perubahan struktur kromosom berlangsung secara spontan, dan dapat juga dilakukan secara eksperimental dengan induksi bahan kimia atau radiasi. Perubahan ini umumnya dapat dilihat pada sel selama mitosis atau miosis. Beberapa penyebabnya antara lain: delesi kromosom, duplikasi kromosom, inversi kromosom, traanslokasi kromosom, isokromosom dan katenasi.