



**MODUL  
BIOLOGI  
(KES102, SESI KJ010)**

**Topik :  
Hukum Mendel  
(Pewarisan Sifat)**

**Disusun Oleh  
Febriana Dwi Wahyuni, M.Si.**

## **A. Kompetensi Dasar**

1. Mahasiswa mengetahui bunyi hukum Mendel
2. Mahasiswa memahami pewarisan sifat berdasarkan hukum Mendel

## **B. Kemampuan Akhir yang Diharapkan**

1. Mahasiswa dapat menjelaskan bunyi hukum Mendel
2. Mahasiswa dapat menjelaskan pewarisan sifat berdasarkan hukum Mendel

## **C. Topik Perkuliahan**

### **Pengertian Genetika**

Keturunan hewan, tumbuhan maupun manusia, masing-masing akan mirip dengan induknya dari generasi ke generasi. Misalnya, kucing akan melahirkan anak kucing, pohon mangga akan menghasilkan pohon mangga lagi dan manusia akan melahirkan anak manusia. Pengamatan lebih dekat terhadap makhluk hidup tersebut di atas, akan jelas bahwa pada hewan di samping terdapat kemiripan, terdapat juga perpaduan antara induk dan turunannya. Kadang-kadang turunannya mempunyai sifat-sifat seperti induknya, dan ada pula yang mempunyai sifat yang berbeda atau lain dari induknya dan mungkin memperlihatkan sifat yang sama sekali baru pada keluarga tersebut.

Genetika merupakan cabang ilmu dari biologi yang mencoba menjelaskan persamaan dan perbedaan sifat yang diturunkan pada makhluk hidup. Selain itu, genetika juga mencoba menjawab pertanyaan yang berhubungan dengan apa yang diturunkan atau diwariskan dari induk kepada turunannya, bagaimana mekanisme materi genetika itu diturunkan, dan bagaimana peran materi genetika tersebut.

Terkait dengan hal tersebut, hingga saat ini genetika telah banyak menunjukkan manfaat yang besar bagi manusia, khususnya di bidang peternakan, pertanian, kedokteran, dan psikologi. Berikut adalah uraian tentang implementasi dan manfaat genetika pada bidang tersebut dalam kehidupan.

#### **1. Penangkaran Tumbuhan dan Hewan**

Manusia sangat dibantu oleh genetika dalam usahanya untuk meningkatkan mutu hewan peliharaan dan tanaman budidaya melalui penangkaran (breeding). Manusia telah berhasil memperoleh bibit unggul macam-macam hewan ternak yang mempunyai sifat lebih baik seperti menghasilkan susu lebih banyak, lebih baik mutu dagingnya atau yang tahan terhadap penyakit hewan dan sebagainya. Di bidang pertanian penangkaran dilakukan untuk memperoleh bibit unggul tanaman budidaya yang lebih baik, seperti memiliki sifat buah yang manis dan tidak berbiji, buah yang tidak cepat busuk, buah yang berdaging tebal, tahan terhadap hama tanaman, tahan terhadap kekeringan. Tanpa penggunaan prinsip-prinsip genetika pada bidang pertanian dalam usaha meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil panen, lahan yang tersedia saat ini tak akan mampu memberi makan penduduk yang selalu bertambah.

#### **2. Kedokteran**

Penerapan prinsip genetika pada manusia berhubungan erat dengan sifatsifat menurun, terutama penyakit yang dapat diturunkan, seperti di bidang kedokteran telah berhasil mendiagnosis, mencegah, dan bahkan mencoba mengobati penyakit tersebut. Penyuluhan perkawinan telah banyak berjasa dalam memperkecil

kemungkinan bertambahnya individu memperoleh penyakit keturunan dari suatu perkawinan di mana salah satu pasangannya memiliki kelainan atau penyakit keturunan, yang dapat menimbulkan kematian pada turunannya.

### **Cara Mempelajari Genetika**

Dalam mempelajari penurunan sifat dari induk kepada turunannya, terdapat beberapa cara, antara lain berikut ini.

#### **1. Percobaan Penangkaran (Breeding)**

Percobaan ini, meliputi perkawinan silang antarorganisme yang memiliki sifat berbeda, yang kemudian diikuti dengan tabulasi turunan yang dihasilkan dan mencoba menganalisisnya untuk dapat menentukan pola penurunan sifat yang terjadi. Sebagai objek percobaan biasanya dipergunakan hewan atau tumbuhan. Beberapa hal yang perlu diperhatikan apabila kita akan memilih organisme sebagai bahan percobaan, antara lain berikut ini.

##### **a. Mempunyai daur hidup pendek**

Seseorang akan memperoleh sedikit keterangan tentang penurunan sifat apabila mempergunakan gajah sebagai hewan percobaan karena daur hidup gajah cukup lama sehingga memerlukan waktu bertahun-tahun untuk mengetahui pewarisan sifatnya. Berbeda apabila kita mempergunakan tikus, yang sudah siap untuk kawin setelah enam minggu sejak kelahirannya.

##### **b. Mempunyai turunan yang cukup banyak**

Untuk menganalisis hasil turunan dari suatu perkawinan silang diperlukan analisis statistik. Hal tersebut dapat dilaksanakan dengan baik apabila tersedia turunan yang relatif banyak, agar hasil yang diperoleh cukup berarti.

##### **c. Mempunyai variasi sifat**

Tidaklah mungkin menyelidiki pewarisan sifat bulu hitam tikus, apabila semua tikus yang disilangkan berbulu hitam. Alangkah baiknya apabila dipergunakan tikus yang mempunyai bulu hitam dan putih atau mempunyai mata berwarna merah dan putih. Begitu juga dengan kacang kapri ada yang berwarna merah atau pun putih, ada yang bijinya kisut ataupun licin. Artinya, sebaiknya organisme yang digunakan dalam penangkaran mempunyai banyak sifat.

##### **d. Mudah dilakukan**

Syarat ini merupakan hal yang perlu dipertimbangkan apabila mempergunakan hewan sebagai percobaan, di mana faktor makanan dan tempat pemeliharaan menjadi masalah. Pada umumnya, pilihan jatuh pada hewan-hewan kecil sebagai bahan percobaan. Tikus telah banyak dipilih sebagai hewan percobaan karena memenuhi persyaratan tersebut. Selain itu, lalat buah (*Drosophila melanogaster*) telah banyak dipilih sebagai hewan percobaan yang memenuhi keempat persyaratan tersebut di atas. Lalat memiliki mata yang beraneka warna, begitu pula bentuk sayap dan bulu pada tubuhnya. Makanan dan pemeliharaannya pun cukup sederhana.

## 2. Silsilah Keluarga

Mempelajari penurunan sifat pada manusia agak sukar, lain halnya apabila dilakukan pada hewan atau tumbuhan. Kita tidak dapat memaksa orang yang berambut keriting kawin dengan yang berambut lurus, demi penelitian penurunan sifat rambut keriting. Apabila memang terjadi perkawinan semacam itu, kita harus menunggu lama untuk mengetahui pola penurunan sifat tersebut kepada anak dan cucu mereka.

Dengan mempelajari silsilah keluarga, kita dapat mengetahui pola pewarisan sifat dari orang tua kepada turunannya. Dari catatan yang ada mungkin kita dapat mengetahui pola penurunan sifat, misalnya penyakit buta warna dan haemofilia. Dari sifat yang nampak pada morfologi manusia kita dapat menelusuri penurunan sifat tersebut. Sebagai contoh, rambut keriting, letak menempelnya telinga, ibu jari yang dapat melengkung ke belakang, lesung pipit di pipi, golongan darah. Mempelajari pola penurunan sifat dapat pula dilakukan terhadap anak kembar, kembar fraternal (kembar sesaudara, yaitu yang berasal dari zigot yang berbeda) atau kembar identik (yang berasal dari satu zigot).

## 3. Sitologi

Dengan mempelajari struktur sel, para ahli genetika dapat mempelajari sifat yang diturunkan. Kromosom sebagai pembawa sifat yang diturunkan dapat diketahui bentuk, jumlah, dan sifat-sifatnya. Beberapa pertanyaan sehubungan dengan hasil penangkaran, dapat dijelaskan melalui pengamatan sitologis.

## 4. Analisis Biokimia

Melalui analisis biokimia dapat diketahui susunan kimia dari kromosom serta gen yang terdapat pada kromosom. Mengapa reaksi fisiologis pada tubuh seorang albino berbeda dengan pada orang yang normal, telah dapat dijawab melalui analisis biokimia. Ternyata pada orang albino tidak dijumpai suatu enzim yang memecah asam amino yang akan menghasilkan pigmen melanin yang membuat rambut, kulit, dan iris mata hitam.

## Pengertian Gen

Pertama kali diperkenalkan oleh Thomas Hunt Morgan, ahli Genetika dan Embriologi Amerika Serikat (1911), yang mengatakan bahwa substansi hereditas yang dinamakan gen terdapat dalam lokus, di dalam kromosom. Menurut W. Johansen, gen merupakan unit terkecil dari suatu makhluk hidup yang mengandung substansi hereditas, terdapat di dalam lokus gen. Gen terdiri dari protein dan asam nukleat (DNA dan RNA), berukuran antara 4 – 8 m (mikron). Gen mempunyai sifat-sifat sebagai berikut.

- a. Mengandung informasi genetik.
- b. Tiap gen mempunyai tugas dan fungsi berbeda.
- c. Pada waktu pembelahan mitosis dan meiosis dapat mengadakan duplikasi.
- d. Ditentukan oleh susunan kombinasi basa nitrogen.
- e. Sebagai zarah yang terdapat dalam kromosom.

Fungsi gen antara lain:

- a. Menyampaikan informasi kepada generasi berikutnya.
- b. Sebagai penentu sifat yang diturunkan.
- c. Mengatur perkembangan dan metabolisme.

## Simbol-Simbol Gen















- a. Gen dominan, yaitu gen yang menutupi ekspresi gen lain, sehingga sifat yang dibawanya terekspresikan pada turunannya (suatu individu) dan biasanya dinyatakan dalam huruf besar, misalnya A.
- b. Gen resesif, yaitu gen yang terkalahkan (tertutupi) oleh gen lain (gen dominan) sehingga sifat yang dibawanya tidak terekspresikan pada keturunannya.
- c. Gen heterozigot, yaitu dua gen yang merupakan perpaduan dari sel sperma (A) dan sel telur (a).
- d. Gen homozigot, dominan, yaitu dua gen dominan yang merupakan perpaduan dari sel kelamin jantan dan sel kelamin betina, misalnya genotipe AA.
- e. Gen homozigot resesif, yaitu dua gen resesif yang merupakan hasil perpaduan dua sel kelamin. Misalnya aa.
- f. Kromosom homolog, yaitu kromosom yang berasal dari induk betina berbentuk serupa dengan kromosom yang berasal dari induk jantan.
- g. Fenotipe, yaitu sifat-sifat keturunan pada F1, F2, dan F3 yang dapat dilihat, seperti tinggi, rendah, warna, dan bentuk.
- h. Genotipe, yaitu sifat-sifat keturunan yang tidak dapat dilihat, misalnya AA, Aa, dan aa.

## **PENURUNAN SIFAT (HEREDITAS)**

Masalah penurunan sifat atau hereditas mendapat perhatian banyak peneliti. Peneliti yang paling populer adalah Gregor Johann Mendel yang lahir tahun 1822 di Cekoslovakia. Mendel mengadakan percobaan di kebunnya dengan tanaman kacang kapri. Di kebunnya Mendel mempunyai tanaman kacang kapri yang beraneka ragam, ada yang mempunyai bunga merah dan putih, ada yang tanamannya tinggi dan rendah, duduk bunga, warna dan bentuk polong berbeda (Gambar 1). Adapun beberapa keunggulan kacang kapri apabila digunakan sebagai bahan penelitian untuk pewarisan sifat adalah:

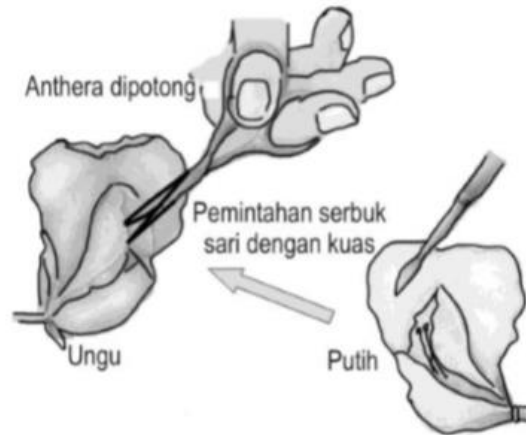
1. Bisa melakukan percobaan kawin silang
2. Memiliki banyak varietas
3. Kecil dan mudah ditumbuhkan
4. Organ-organ seksual terdapat dalam bunga

Mendel memilih tanaman kapri yang berbunga merah dan putih untuk mempelajari penurunan sifat bunga merah dan putih kacang kapri. Dia berulang kali mengadakan pembastaran (perkawinan silang) antara tanaman kacang kapri bunga merah dengan tanaman kapri berbunga putih dan hasilnya dicatat dengan sangat teliti. Caranya dengan menyebarkan tepung sari bunga putih ke putik bunga merah.

Panjang Batang	Letak Bunga	Bentuk Polong	Warna Polong	Warna Bunga	Bentuk Biji	Warna Biji
 Tinggi	 Ketiak Batang	 Halus	 Hijau	 warna	 Halus	 Kuning
 Pendek	 Ujung Batang	 Kripit	 Kuning	 Putih	 Kripit	 Hijau

Gambar 1. Sifat keragaman kacang kapri

Secara terinci percobaan Mendel dengan tanaman kacang kapri dapat diterangkan sebagai berikut. Mula-mula Mendel memilih tanaman kacang kapri yang bunganya merah. Tanaman kapri bunga merah diserbuki sendiri, artinya serbuk sari bunga kapri merah diserbukkan pada putik bunga kapri merah yang sama. Setelah itu, ditunggu sampai kacang kapri menghasilkan buah. Setelah buah kacang kapri masak, kemudian diambil bijinya dan ditanam lagi. Dari biji tersebut, akan diperoleh tanaman kapri yang berbunga merah. Kemudian diadakan penyerbukan sendiri dan setelah buah masak diambil bijinya dan ditanam lagi, dilakukan begitu berulang kali sehingga yakin bahwa tanaman kacang kapri tersebut akan selalu menghasilkan tanaman kapri yang berbunga merah saja. Demikian pula hal itu dilakukan pada tanaman kapri berbunga putih, berulang kali sehingga yakin bahwa tanaman kapri berbunga putih akan selalu menghasilkan tanaman kapri yang berbunga putih saja. Dikatakan bahwa telah diperoleh tanaman kacang kapri berbunga merah galur murni, dan tanaman kacang kapri berbunga putih galur murni. Selanjutnya, apa yang akan dilakukan pada percobaan itu? Caranya sebagai berikut: Sediakan tanaman kacang kapri berbunga merah dan kacang kapri berbunga putih. Kedua tanaman kacang kapri galur murni, yaitu yang berbunga merah dan yang berbunga putih dipergunakan sebagai induk, atau sebagai Parental (disingkat P). Serbuk sari dari bunga merah diletakkan pada kepala putik bunga putih. Ini artinya telah diadakan penyerbukan silang dengan satu sifat beda (Gambar 2) yang dikenal dengan istilah monohibrid, yaitu terkait dengan warna bunga.



Gambar 2. Contoh penyerbukan silang antara tanaman bunga ungu dan putih

Setelah diadakan penyerbukan, tunggu beberapa bulan sampai muncul buah pada tanaman kacang kapri bunga merah atau pada tanaman yang berbunga putih. Setelah buah masak, bijinya diambil dan biji-biji tadi ditanam lagi. Tunggu beberapa minggu sampai tanaman kacang kapri yang tumbuh dari biji tersebut berbunga. Tanaman kacang kapri hasil pembastaran ini disebut sebagai turunan ke-1, atau sebagai Filial ke-1 (disingkat F1). Amati warna-warna bunga yang terjadi. Warna bunga apa saja yang timbul pada tanaman kacang kapri F1 tersebut? Mendel mencatat bunga yang timbul, yaitu semua bunganya berwarna merah pada tanaman kacang kapri F1.

Apa kesimpulan Mendel dari hasil percobaannya? Mendel menyimpulkan bahwa sifat merah dari bunga disebut sifat dominan terhadap sifat putih dari bunga tanaman kacang kapri. Artinya, sifat merah akan "mengalahkan" sifat putih bunga pada tanaman kacang kapri sehingga sifat putih "tertutup" oleh sifat merah sehingga sifat putih tidak tampak.

Sifat putih yang seolah-olah tertutup atau kalah oleh sifat merah, disebut sebagai sifat resesif. Sifat merah atau putih dari bunga, atau sifat bulat atau lonjong dari bentuk biji, selanjutnya kita sebut sebagai gen. Pada waktu itu Mendel menyebut sifat tanaman seperti warna bunga, bentuk biji, tinggi rendahnya tanaman sebagai sifat atau faktor saja.

Selanjutnya, apa yang dilakukan Mendel? Mendel membastarkan tanaman kacang kapri F1 dengan tanaman kacang kapri F1 lainnya. Jadi, di sini tanaman kacang kapri F1 yang berbunga merah dibastarkan dengan kacang kapri F1 yang berbunga merah juga. Hasilnya bagaimana? Ternyata turunan yang dihasilkan atau turunan ke-2 atau Filial ke-2 (disingkat F2), memberikan hasil tanaman kacang kapri yang berbunga merah dan putih dengan perbandingan 3:1. Artinya, dari biji hasil pembastaran atau penyilangan setelah ditanam akan menghasilkan 3 bagian tanaman kacang kapri yang berbunga merah dan 1 bagian tanaman kacang kapri berbunga putih (Gambar 3). Ini berarti apabila dihasilkan 100 tanaman kacang kapri pada turunan F2 maka akan dihasilkan 75 tanaman kacang kapri yang berbunga merah, dan 25 tanaman kacang kapri yang berbunga putih pada turunan F2 tersebut.





Umpamakan sifat atau gen bunga merah kita namakan M, dan sifat atau gen bunga putih kita namakan m. Ada perjanjian cara penulisan simbol huruf bagi gen yang bersifat dominan dan yang resesif. Gen yang dominan ditulis dengan huruf kapital (huruf besar), sedangkan yang bersifat resesif ditulis dengan simbol huruf kecil. Maka tanaman yang berbunga merah galur murni mempunyai genotip MM, dan yang berbunga putih galur murni mempunyai genotip mm. Gen-gen tadi juga berpasangan atau memiliki alel. Oleh karena itu, gen pada tanaman kacang kapri selalu ditulis dengan simbol huruf secara lengkap, misalnya MM, Mm, dan mm.

Seperti telah diketahui bahwa bunga akan menghasilkan serbuk sari, yaitu sel kelamin (disebut gamet) jantan dari bunga. Bunga akan menghasilkan sel kelamin (gamet) betina yang disebut sel telur, dan terdapat dalam putik bunga. Serbuk sari bunga warna merah mengandung separuh jumlah gen yang dimiliki sel tanaman kacang kapri (MM), yaitu memiliki gen M, dan sel telurnya mengandung gen M; sedangkan serbuk sari bunga warna putih akan mengandung gen m, dan sel telurnya mengandung gen m.

Apa yang dapat disimpulkan dari pembastaran yang dilakukan Mendel? Beberapa kesimpulan dari percobaan Mendel adalah sebagai berikut.

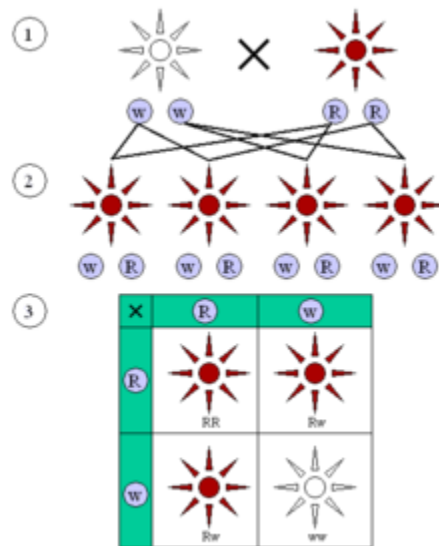
1. Gen dominan (M) akan "mengalahkan pengaruh" gen resesif (m) sehingga tanaman kacang kapri turunan F1 dengan genotip Mm akan berbunga merah. Ini disebut sebagai prinsip dominan.
2. Turunan F1 dengan genotip Mm akan menghasilkan dua macam gamet yang bergenotip M dan m dalam jumlah yang sama. Ini artinya kalau dihasilkan 100 serbuk sari maka 50 serbuk sari akan bergenotip M, dan sisanya 50 serbuk akan bergenotip m. Begitu pula jika dihasilkan 100 sel telur maka yang 50 akan bergenotip M, dan yang 50 lagi akan bergenotip m. Dengan kata lain, akan menghasilkan 50% serbuk sari bergenotip M dan 50% bergenotip m; dan 50% sel telur bergenotip M dan 50% bergenotip m. Hal ini terjadi karena pada waktu pembentukan sel kelamin (gamet), pasangan gen Mm akan mengadakan pemisahan (disebut juga segregasi) sehingga masing-masing sel kelamin yang terbentuk memperoleh hanya satu gen saja, M atau m. Peristiwa pemisahan ini selanjutnya disebut sebagai prinsip segregasi atau Hukum Mendel I.
3. Apabila diadakan pembastaran antara tanaman turunan F1 dengan tanaman F1 lainnya maka akan terjadi turunan F2 yang terdiri dari 3 bagian (75%) bunga merah dan 1 bagian (25%) bunga putih. Secara bagan dapat digambarkan dengan papan catur (papan Punnet) sebagai berikut:

Penelitian Mendel menghasilkan hukum Mendel I dan II. Mendel melakukan persilangan monohybrid atau persilangan satu sifat beda, dengan tujuan mengetahui pola pewarisan sifat dari tetua kepada generasi berikutnya. Persilangan ini untuk membuktikan hukum Mendel I yang menyatakan bahwa pasangan alel pada proses pembentukan sel gamet dapat memisah secara bebas. Hukum Mendel I disebut juga dengan hukum segregasi.

Mendel melanjutkan persilangan dengan menyilangkan tanaman dengan dua sifat beda, misalnya warna bunga dan ukuran tanaman. Persilangan dihibrid juga merupakan bukti berlakunya hukum Mendel II berupa pengelompokkan gen secara

bebas saat pembentukan gamet. Persilangan dengan dua sifat beda yang lain juga memiliki perbandingan fenotip F2 sama, yaitu 9 : 3 : 3 : 1. Berdasarkan penjelasan pada persilangan monohybrid dan dihibrid tampak adanya hubungan antara jumlah sifat beda, macam gamet, genotip, dan fenotip beserta perbandingannya. Persilangan monohybrid yang menghasilkan keturunan dengan perbandingan F2, yaitu 1 : 2 : 1 merupakan bukti berlakunya **hukum Mendel I yang dikenal dengan nama Hukum Pemisahan Gen yang Sealel (*The Law of Segregation of Allelic Genes*)**. Sedangkan persilangan dihibrid yang menghasilkan keturunan dengan perbandingan F2, yaitu 9 : 3 : 3 : 1 merupakan bukti berlakunya **Hukum Mendel II yang disebut Hukum Pengelompokan Gen secara Bebas (*The Law Independent Assortment of Genes*)**. Dengan mengikuti secara saksama hasil percobaan Mendel, baik pada persilangan monohybrid maupun dihibrid maka secara sederhana dapat kita simpulkan bahwa gen itu diwariskan dari induk atau orang tua kepada keturunannya melalui gamet.

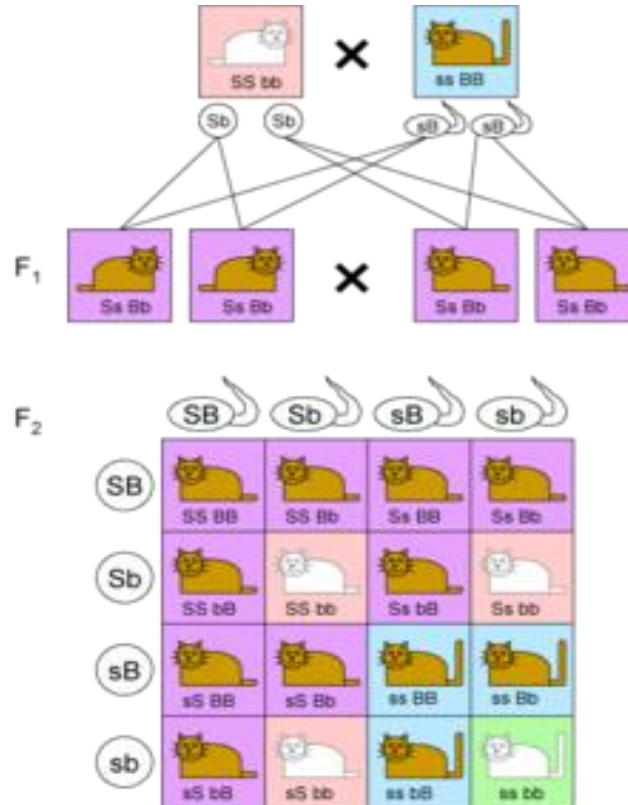
Persilangan monohibrida adalah persilangan sederhana yang hanya memperhatikan satu sifat atau tanda beda. Sedangkan persilangan dihibrida merupakan perkawinan dua individu dengan dua tanda beda. Persilangan ini dapat membuktikan kebenaran Hukum Mendel II yaitu bahwa gen-gen yang terletak pada kromosom yang berlainan akan bersegregasi secara bebas dan dihasilkan empat macam fenotip dengan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1. kenyataannya, seringkali terjadi penyimpangan atau hasil yang jauh dari harapan yang mungkin disebabkan oleh beberapa hal seperti adanya interaksi gen, adanya gen yang bersifat homozigot letal dan sebagainya.



Gambar 5. Hukum Pewarisan Mendel

Alel/gen dominan dan resesif pada orang tua (1, P), anak (2, F1) dan cucu (3, F2) menurut Mendel. Hukum Pewarisan Mendel adalah hukum mengenai pewarisan sifat pada organisme yang dijabarkan oleh Gregor Johann Mendel dalam karyanya "Percobaan mengenai Persilangan Tanaman". Hukum ini terdiri dari dua bagian:

1. Hukum pemisahan (segregation) dari Mendel, juga dikenal sebagai **Hukum Pertama Mendel**, dan
2. Hukum berpasangan secara bebas (independent assortment) dari Mendel, juga dikenal sebagai **Hukum Kedua Mendel**.



Gambar 6. Hukum Segregasi (Hukum Mendel I)

Perbandingan antara B (warna coklat), b (warna putih), S (buntut pendek), dan s (buntut panjang) pada generasi F2. Hukum segregasi bebas menyatakan bahwa pada pembentukan gamet (sel kelamin), kedua gen induk (Parent) yang merupakan pasangan alel akan memisah sehingga tiap-tiap gamet menerima satu gen dari induknya. Secara garis besar, hukum ini mencakup tiga pokok:

1. Gen memiliki bentuk-bentuk alternatif yang mengatur variasi pada karakter turunannya. Ini adalah konsep mengenai dua macam alel; alel resesif (tidak selalu nampak dari luar, dinyatakan dengan huruf kecil, misalnya w dalam gambar di sebelah), dan alel dominan (nampak dari luar, dinyatakan dengan huruf besar, misalnya R).
2. Setiap individu membawa sepasang gen, satu dari tetua jantan (misalnya ww dalam gambar di sebelah) dan satu dari tetua betina (misalnya RR dalam gambar di sebelah).
3. Jika sepasang gen ini merupakan dua alel yang berbeda (Sb dan sB pada gambar 2), alel dominan (S atau B) akan selalu terekspresikan (nampak secara visual dari luar). Alel resesif (s atau b) yang tidak selalu terekspresikan, tetap akan diwariskan pada gamet yang dibentuk pada turunannya.

## **Hukum Asortasi Bebas (Hukum Mendel II)**

Hukum kedua Mendel menyatakan bahwa bila dua individu mempunyai dua pasang atau lebih sifat, maka diturunkannya sepasang sifat secara bebas, tidak bergantung pada pasangan sifat yang lain. Dengan kata lain, alel dengan gen sifat yang berbeda tidak saling mempengaruhi. Hal ini menjelaskan bahwa gen yang menentukan tinggi tanaman dengan warna bunga suatu tanaman, tidak saling mempengaruhi. Seperti nampak pada Gambar 5, induk jantan (tingkat 1) mempunyai genotipe  $ww$  (secara fenotipe berwarna putih), dan induk betina mempunyai genotipe  $RR$  (secara fenotipe berwarna merah). Keturunan pertama (tingkat 2 pada gambar) merupakan persilangan dari genotipe induk jantan dan induk betinanya, sehingga membentuk 4 individu baru (semuanya bergenotipe  $wR$ ). Selanjutnya, persilangan/perkawinan dari keturunan pertama ini akan membentuk individu pada keturunan berikutnya (tingkat 3 pada gambar) dengan gamet  $R$  dan  $w$  pada sisi kiri (induk jantan tingkat 2) dan gamet  $R$  dan  $w$  pada baris atas (induk betina tingkat 2).

Kombinasi gamet-gamet ini akan membentuk 4 kemungkinan individu seperti nampak pada papan catur pada tingkat 3 dengan genotipe:  $RR$ ,  $Rw$ ,  $Rw$ , dan  $ww$ . Jadi pada tingkat 3 ini perbandingan genotipe  $RR$ , (berwarna merah)  $Rw$  (juga berwarna merah) dan  $ww$  (berwarna putih) adalah 1:2:1. Secara fenotipe perbandingan individu merah dan individu putih adalah 3:1. Kalau contoh pada Gambar 5 merupakan kombinasi dari induk dengan satu sifat dominan (berupa warna), maka gambar 6 menggambarkan induk-induk dengan 2 macam sifat dominan: bentuk buntut dan warna kulit. Persilangan dari induk dengan satu sifat dominan disebut monohybrid, sedang persilangan dari induk-induk dengan dua sifat dominan dikenal sebagai dihibrid, dan seterusnya.

Pada Gambar 6, sifat dominannya adalah bentuk buntut (pendek dengan genotipe  $SS$  dan panjang dengan genotipe  $ss$ ) serta warna kulit (putih dengan genotipe  $bb$  dan coklat dengan genotipe  $BB$ ). Gamet induk jantan yang terbentuk adalah  $Sb$  dan  $Sb$ , sementara gamet induk betinanya adalah  $sB$  dan  $sB$  (nampak pada huruf di bawah kotak). Kombinasi gamet ini akan membentuk 4 individu pada tingkat F1 dengan genotipe  $SsBb$  (semua sama). Jika keturunan F1 ini kemudian dikawinkan lagi, maka akan membentuk individu keturunan F2. Gamet F1nya nampak pada sisi kiri dan baris atas pada papan catur. Hasil individu yang terbentuk pada tingkat F2 mempunyai 16 macam kemungkinan dengan 2 bentuk buntut: pendek (jika genotipenya  $SS$  atau  $Ss$ ) dan panjang (jika genotipenya  $ss$ ); dan 2 macam warna kulit: coklat (jika genotipenya  $BB$  atau  $Bb$ ) dan putih (jika genotipenya  $bb$ ).

Perbandingan hasil warna coklat:putih adalah 12:4, sedang perbandingan hasil bentuk buntut pendek:panjang adalah 12:4. Perbandingan detail mengenai genotipe  $SSBB$ : $SSBb$ : $SsBB$ : $SsBb$ :  $SSbb$ : $Ssbb$ : $ssBB$ : $ssBb$ :  $ssbb$  adalah 1:2:2:4: 1:2:1:2: 1.

## **PENYIMPANGAN SEMU HUKUM MENDEL**

Hasil-hasil pembastaran seperti yang dilakukan oleh Mendel, ternyata tidak semuanya berlaku untuk pembastaran makhluk hidup lainnya. Perbandingan fenotip seperti 3:1 dan 9:3:3:1, pada turunan F2 tidak selalu ditemukan. Misalnya pada suatu pembastaran diperoleh hasil turunan F2 dengan perbandingan 9:7 atau 9:3:4, bukan 9:3:3:1. Penyimpangan yang terjadi seperti itu disebut sebagai penyimpangan semu dari temuan Mendel karena sebenarnya perbandingan yang diperoleh seperti di atas

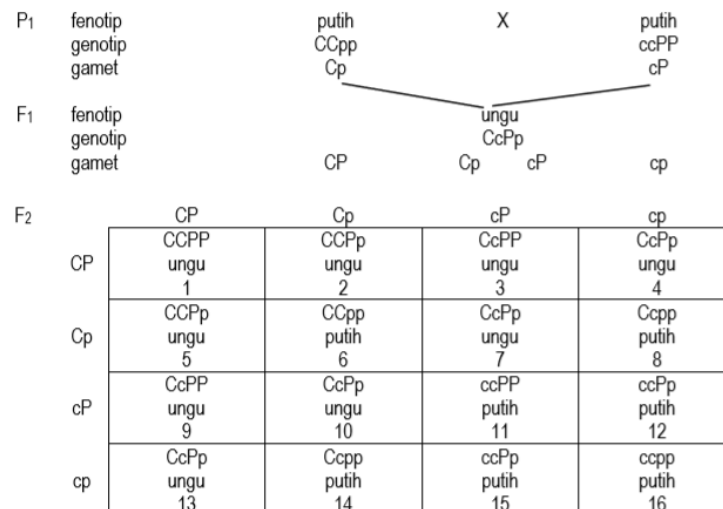
dapat dilihat sebagai perbandingan gabungan dari perbandingan 9:3:3:1 yang ada. Perbandingan 9:7 merupakan perbandingan 9:(3+3+1), dan perbandingan 9:3:4 merupakan perbandingan 9:3:(3+1). Selain perbandingan fenotip pada turunan F2 yang tidak sesuai dengan penemuan Mendel, muncul pula fenotip baru yang tidak sesuai dengan prinsip yang ditemukan oleh Mendel. Di sini tampak seolah-olah ada "penyimpangan" dari apa yang telah ditemukan oleh Mendel. Mengapa dapat terjadi semacam penyimpangan seperti itu?

Ahli genetika dari Inggris yang bernama Bateson telah menjelaskan mengapa terjadi semacam penyimpangan dari temuan Mendel. Penyimpangan yang tampak pada perbandingan fenotip tersebut dapat dijelaskan karena banyak ciri-ciri atau sifat-sifat makhluk hidup dipengaruhi oleh dua atau lebih pasangan gen. Perbandingan fenotip pada turunan F2 akan berubah (tidak sesuai dengan temuan Mendel) dengan berbagai ragam, tergantung dari bentuk interaksi atau saling mempengaruhi antar sifat atau gen.

Beberapa contoh di bawah ini menerangkan beberapa bentuk interaksi gen tersebut, dengan perbandingan fenotip yang diperoleh pada turunan F2nya.

### 1. Kriptomeri

Penelitian lain dari Bateson ialah pada tanaman kacang buncis. Tanaman yang berbunga putih dibastarkan dengan tanaman yang berbunga ungu. Turunan F1 akan berbunga ungu semuanya. Pada turunan F2 diperoleh tanaman dengan bunga ungu dan putih, dengan perbandingan 9 ungu : 7 putih. Penjelasan dari pembastaran ini dapat dilihat pada Gambar 7. Kalau kita lihat induk P, di sini tampak merupakan pembastaran monohybrid. Akan tetapi, kalau kita lihat turunan yang diperoleh pada F2 sejumlah 16 kombinasi, dengan perbandingan 9 : 7. Hal ini menunjukkan bahwa pembastaran tersebut di atas antara tanaman berbunga putih dan tanaman berbunga ungu merupakan dihibrid (melibatkan 2 faktor beda). Mengapa pada turunan F2 tidak diperoleh perbandingan turunan 9:3:3:1, tetapi diperoleh dengan perbandingan 9:7? Hal ini dapat diterangkan sebagai berikut.



Gambar 7. Pembastaran antara kacang buncis berbunga putih dan kacang buncis berbunga ungu menghasilkan turunan F1 semuanya berbunga ungu, dan pada turunan F2 terdapat 9 berbunga ungu dan 7 berbunga putih (9:7).

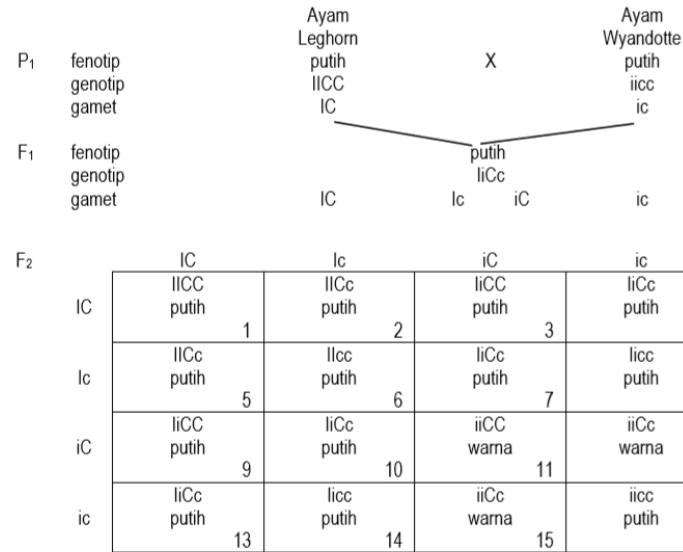
Gen C adalah gen untuk timbulnya warna. Gen P adalah gen untuk enzim yang dapat menimbulkan warna, sedangkan gen p adalah gen yang tidak dapat membuat enzim. Enzim dapat terjadi kalau ada gen P. Warna bunga (yaitu ungu) dapat timbul apabila suatu tanaman mempunyai gen untuk warna (gen C) dan gen untuk enzim (gen P). Sehingga bila pada tanaman terdapat gen C dan gen P maka tanaman tersebut menjadi berwarna (ungu). Kalau hanya ada gen C, tetapi tidak ada gen P (misal hanya ada gen p), warna bunga akan menjadi putih. Apabila pada genotip tanaman hanya terdapat gen C atau gen P saja maka tidak akan timbul warna (ungu).

Di sini dikatakan bahwa tanaman akan berbunga ungu apabila gen P berada bersama gen C atau dapat pula dikatakan bahwa gen P akan mempunyai pengaruh dalam pembentukan warna apabila berada bersama dengan gen C. Dikatakan di sini bahwa gen P itu tersembunyi atau disebut kriptomer (kriptos = tersembunyi). Lihat Gambar 7 sekali lagi. Turunan pada F<sub>2</sub> yang berbunga putih, bila tanaman itu hanya memiliki gen C saja atau gen P saja, dan tidak dalam keadaan bersama antara gen C dan P. Pada pembastaran tersebut di atas seolah-olah hasil turunan F<sub>2</sub> menyimpang dari temuan Mendel, yaitu bukan 9:3:3:1, melainkan 9:7 karena adanya peristiwa bahwa apabila dua gen yang dominan bertemu (gen C dan P), akan mempengaruhi sifat suatu individu (dalam hal ini warna ungu bunga kacang buncis).

## 2. Epistasis dan Hipostasis

Pada umumnya ayam Leghorn bulu putih itu dominan terhadap warna bulu hitam atau warna lainnya. Akan tetapi, pada ayam Wyandotte bulu putih ternyata bersifat resesif terhadap warna lainnya pada ayam tersebut. Penyelidikan menunjukkan bahwa pada Leghorn bulu putih terdapat gen warna, dan di samping itu terdapat pula gen pencegah timbulnya warna. Secara genetik ayam Leghorn putih sebenarnya mempunyai sifat warna, akan tetapi tidak mampu untuk menimbulkan warna tersebut karena mempunyai juga gen pencegah warna. Gen pencegah warna dapat ditulis dengan huruf I, dan gen warna dengan huruf C maka Leghorn bulu putih mempunyai genotip IICC, dan ayam Wyandotte bulu putih mempunyai genotip iicc.

Untuk lebih jelas maka gen-gen yang ada pada kedua macam ayam tersebut ialah I adalah gen untuk mencegah warna, i adalah gen untuk menimbulkan warna. C adalah gen untuk warna, dan c gen untuk tidak ada warna. Apabila ayam Leghorn bulu putih (IICC) dibastarkan dengan ayam Wyandotte bulu putih (iicc) maka akan diperoleh turunan F<sub>1</sub> yang berbulu putih, dan pada turunan F<sub>2</sub> akan diperoleh 13 ayam bulu putih dan 3 ayam berwarna (13:3). Penjelasan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Pembastaran antara ayam Leghorn putih dan ayam Wyandotte putih menghasilkan turunan F1 semuanya berbulu putih, dan pada turunan F2 terdapat 13 ayam berbulu putih dan 3 berbulu berwarna (13:3).

Pada ke-13 ayam yang putih terdapat pencegah timbulnya warna (gen I), dan gen untuk warna (gen C). Jadi meskipun ada gen C, akan tetapi ada gen I (pencegah warna) maka ayam-ayam tadi akan menjadi berbulu putih. Bagaimana dengan ayam yang berwarna (ada 3 bagian)? Pada ayam berwarna terdapat gen warna C, tetapi tidak terdapat gen pencegah warna (gen I) sehingga timbullah warna pada bulu ayam tersebut.

Dapat disimpulkan bahwa apabila pada suatu genotip ayam terdapat gen I maka tidak akan timbul warna. Gen I seolah-olah menutupi gen warna (gen C) untuk muncul. Gen yang menutupi ini, yaitu gen I, dikatakan sebagai gen epistasis. Gen yang ditutupi, yaitu gen C, dikatakan sebagai gen hipostasis.

Pada peristiwa epistasis dan hipostasis ini terdapat interaksi antara 2 gen, yang akan mempengaruhi fenotip atau sifat individu, dalam contoh di atas ialah pada bulu ayam. Pada peristiwa pembastaran di atas tampak seolah-olah “menyimpang” dari temuan Mendel (9:3:3:1), yang sebenarnya perbandingannya  $(9 + 3 + 1) : (3) = 13 : 3$ . Oleh karena itu, dikatakan sebagai “penyimpangan semu dari temuan Mendel.”

## DAFTAR PUSTAKA

Wirjosoemarto, Koesmadji. 2009. Hukum Mendel dan Pewarisan Sifat. Repository UT.