



MODUL BIOLOGI
(KES 102)

Materi Pertemuan 9
Hukum Mendel

Disusun Oleh:
Reza Fadhillah, S.TP., M.Si

UNIVERSITAS ESA UNGGUL
2018

Pengertian Genetika dan Hukum Mendel

A. 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 sifat-sifat 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.

B. 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

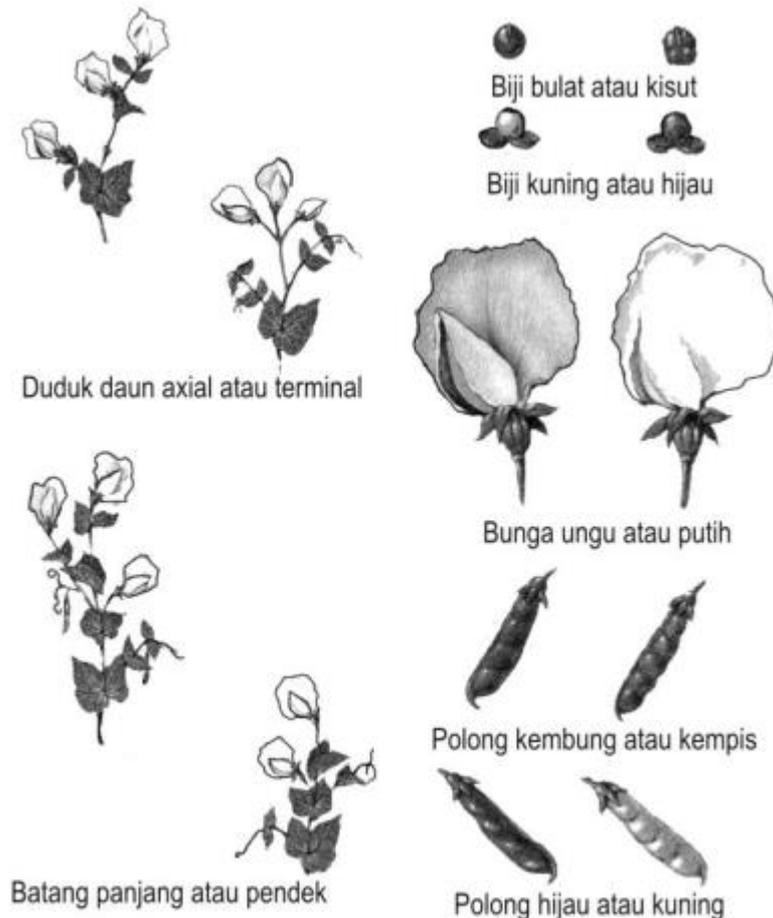
Dengan mempelajari struktur sel, para ahli genetika dapat mempelajari sifat yang diturunkan. Kromosom sebagai pembawa sifat yang diturunkan dapat diketahui bentuk, jumlah, dan sifat-sifatnya. Beberapa pertanyaan sehubungan dengan hasil penangkaran, dapat dijelaskan melalui pengamatan sitologis.

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.

C. PENELITIAN MENDEL DAN HUKUM MENDEL

Nama lengkapnya ialah Gregor Mendel (1822–1884). 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 1.1). Mendel memilih tanaman kapri yang berbunga merah dan putih untuk mempelajari penurunan sifat bunga merah dan putih kacang kapri. Dia berulang kali mengadakan pembastaran antara tanaman kacang kapri bunga merah dengan tanaman kapri berbunga putih dan hasilnya dicatat dengan sangat teliti. Caranya dengan menyerbukkan tepung sari bunga putih ke putik bunga merah.



Gambar 1.1.
Aneka Sifat Tanaman Kapri pada Penelitian Mendel

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 1.2) yang dikenal dengan istilah monohibrid, yaitu terkait dengan warna bunga.

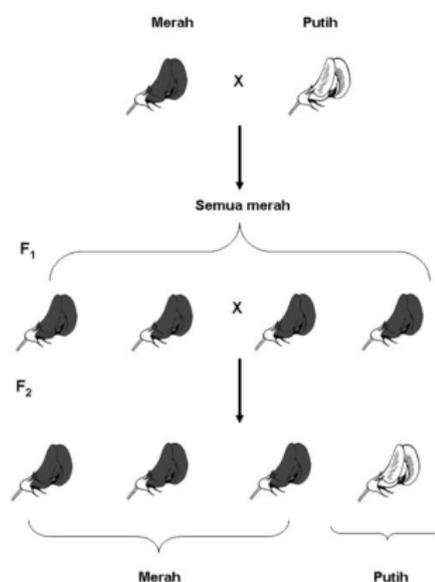


Gambar 1.2.
Contoh Penyerbukan Silang antara
Tanaman Bunga Ungu dan Putih

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 (Gambar 1.3).

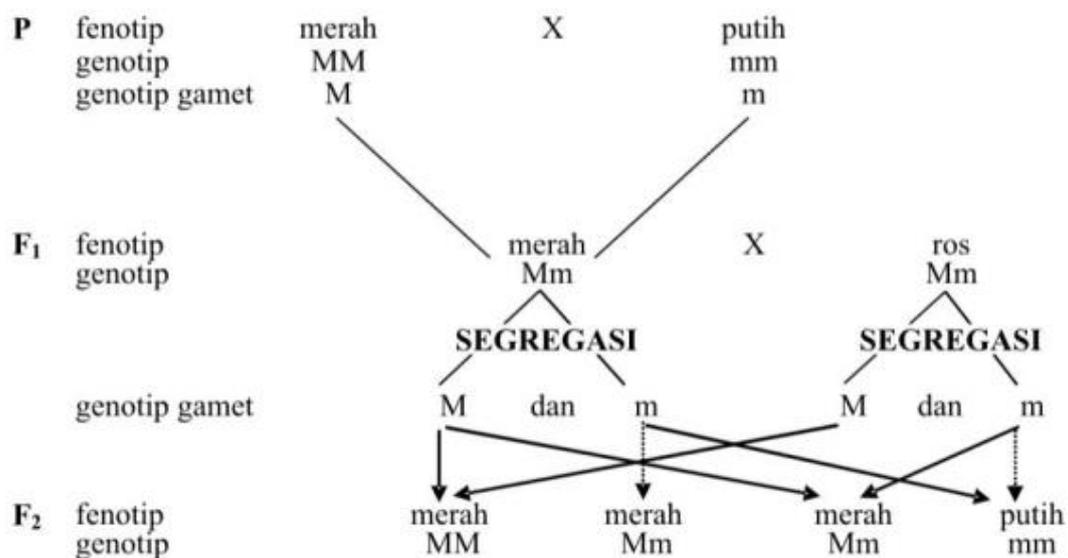


Gambar 1.3.

Pembastaran antara tanaman kacang kapri bunga merah dan bunga putih menghasilkan turunan F₁ yang semuanya berbunga merah, dan turunan F₂ yang berbunga merah 3 bagian dan berbunga putih 1 bagian atau 3:1.

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. Penjelasan tentang apa itu gen secara mendalam akan Anda pelajari pada bagian lain dari modul ini. 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 1.3). 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.

Bagaimana genotip dari turunan F₂ tersebut? Untuk mengetahui genotip tanaman F₂ tersebut pelajari Gambar 1.4 di bawah ini.



Gambar 1.4.

Pembastaran tanaman kacang kapri berbunga merah dengan kacang kapri yang berbunga putih, akan menghasilkan turunan F₂ dengan tanaman kacang kapri berbunga merah 3 bagian, dan yang berbunga putih 1 bagian (3:1), dilihat dari fenotip dan genotipnya.

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 (lihat dan pelajari bagan Gambar 1.4). Agar Anda dapat mempelajari dan memahami bagan pada Gambar 1.3. dan 1.4. maka terlebih dahulu diperkenalkan beberapa istilah yang dipakai pada genetika. Kalau kita lihat tanaman kacang kapri berbunga merah atau berbunga putih maka apa yang dapat dilihat itu disebut sebagai fenotip. Apa fenotip tanaman kacang kapri yang berbunga merah itu? Fenotipnya ialah merah. Apa fenotip tanaman kacang kapri yang berbunga putih? Fenotipnya ialah putih. Begitu pula hal ini berlaku untuk fenotip rambut keriting pada orang yang mempunyai rambut keriting atau fenotip hidung mancung untuk orang berhidung mancung.

Jadi, pengertian fenotip berkaitan dengan sifat luar tanaman atau makhluk hidup sebagai ekspresi gen yang dimilikinya. Istilah lain yang perlu diketahui oleh Anda ialah istilah genotip. Tadi dikatakan bahwa tanaman kacang kapri yang berbunga merah mempunyai gen MM. Gen M inilah yang menyebabkan tanaman tersebut menjadi berwarna merah bunganya. Susunan gen pada tanaman kacang kapri berbunga merah adalah MM dan ini dikatakan bahwa genotip tanaman kacang kapri berbunga merah mempunyai genotip MM. Dengan demikian, kalau bicara mengenai genotip maka kita berbicara susunan gen yang terdapat pada kromosom sel tanaman atau makhluk hidup lain dan sudah barang tentu tidak tampak dari luar. Akan tetapi, perlu diingat bahwa tidak berarti pada kromosom tanaman tersebut ada gen bertuliskan MM atau mm.

Huruf-huruf ini hanya dipergunakan sebagai simbol untuk menerangkan bahwa gen yang dimiliki itu gen tentang warna bunga. Mari kita pelajari bersama Gambar 1.4. Pembastaran pada Gambar 1.4 ini merupakan pembastaran dengan melihat fenotipnya dan melihat genotipnya, yaitu bunga merah dan putih. Kacang kapri bunga merah genotipnya MM, dan kacang kapri bunga putih genotipnya mm. Selanjutnya, kacang kapri bunga merah akan menghasilkan sel kelamin dengan gen M, dan kacang kapri bunga putih akan menghasilkan sel kelamin dengan gen m.

Pembastaran ini akan menghasilkan turunan F1 berupa kacang kapri berwarna merah dengan genotip Mm. Di sini kelihatan ada sifat dominan gen M terhadap gen m sehingga semua kacang kapri yang dihasilkan akan berbunga merah meskipun genotipnya Mm. Jadi, pengaruh m (putih) tidak tampak karena "tertutup" atau "kalah" oleh gen M (merah).

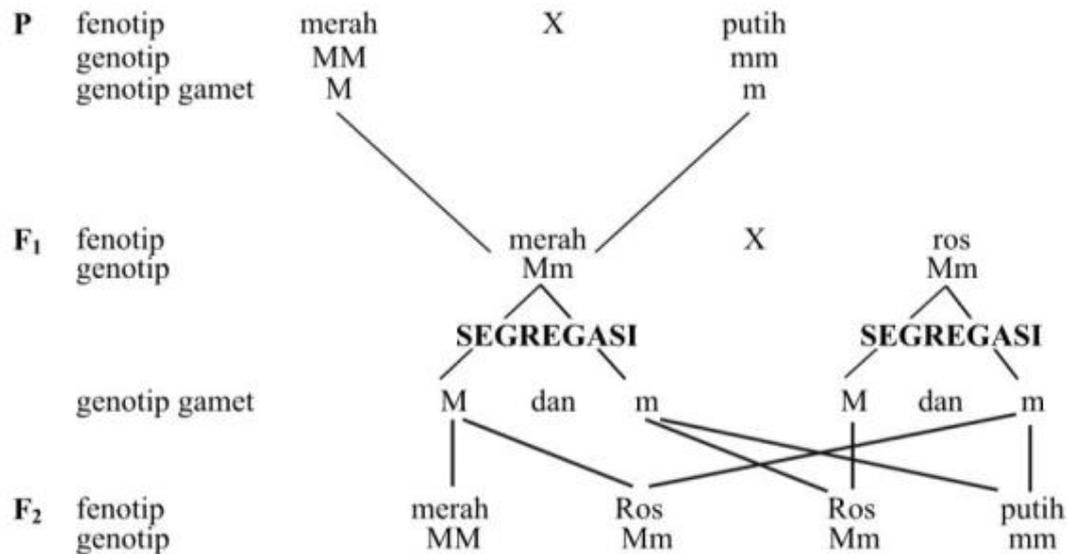
Selanjutnya, turunan F1 akan dibastarkan dengan turunan F1 lainnya, yaitu kacang kapri bunga merah (Mm) dengan kacang kapri bunga merah (Mm) maka akan dihasilkan turunan F2 yang terdiri dari 3 bagian kacang kapri bunga merah, dengan genotip MM, Mm, dan Mm, serta 1 bagian kacang kapri berbunga putih dengan genotip mm. 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:

		Serbuk sari	
		50% M	50% m
Sel telur	50% M	25% MM merah	25% Mm merah
	50% m	25% Mm merah	25% mm putih

Marilah kita lihat hasil percobaan Mendel yang lain. Mendel membastarkan tanaman kacang kapri bunga merah dengan tanaman kacang kapri bunga putih. Turunan F1 diperoleh tanaman kacang kapri berbunga ros (merah muda), bukan bunga berwarna merah.

Hal ini terjadi karena gen merah (M) mempunyai pengaruh sama dengan gen putih (m). Jadi di sini tidak ada gen yang dominan, yang terjadi pada turunan F1 di sini ialah turunan yang mempunyai sifat intermediet, yaitu mempunyai sifat antara dari kedua induknya. Untuk memahami sifat tentang intermediet pelajari Gambar 1.5. berikut:



Gambar 1.5.

Pembastaran tanaman kacang kapri berbunga merah dengan kacang kapri berbunga putih, akan menghasilkan turunan F₂ dengan tanaman kacang kapri berbunga merah 1 bagian, yang berbunga ros 2 bagian dan yang berbunga putih 1 bagian atau dengan perbandingan = 1:2:1. Di sini ada sifat intermediet.

Turunan F₁ mempunyai fenotip ros, dengan genotip Mm. Kemudian turunan F₁ dibastarkan dengan turunan F₁ lainnya. Turunan F₁ (Mm) akan menghasilkan gamet dengan genotip M dan m. Hasil pembastaran akan diperoleh turunan F₂ = 1 bagian bunga merah (MM), 2 bagian bunga ros (Mm), dan 1 bagian bunga putih (mm). Atau dapat dikatakan akan diperoleh perbandingan pada turunan F₂ = 1 : 2 : 1. Secara bagan dapat digambar sebagai berikut:

		Serbuk sari	
		50% M	50% m
Sel telur	50% M	25% MM merah	25% Mm ros
	50% m	25% Mm ros	25% mm putih

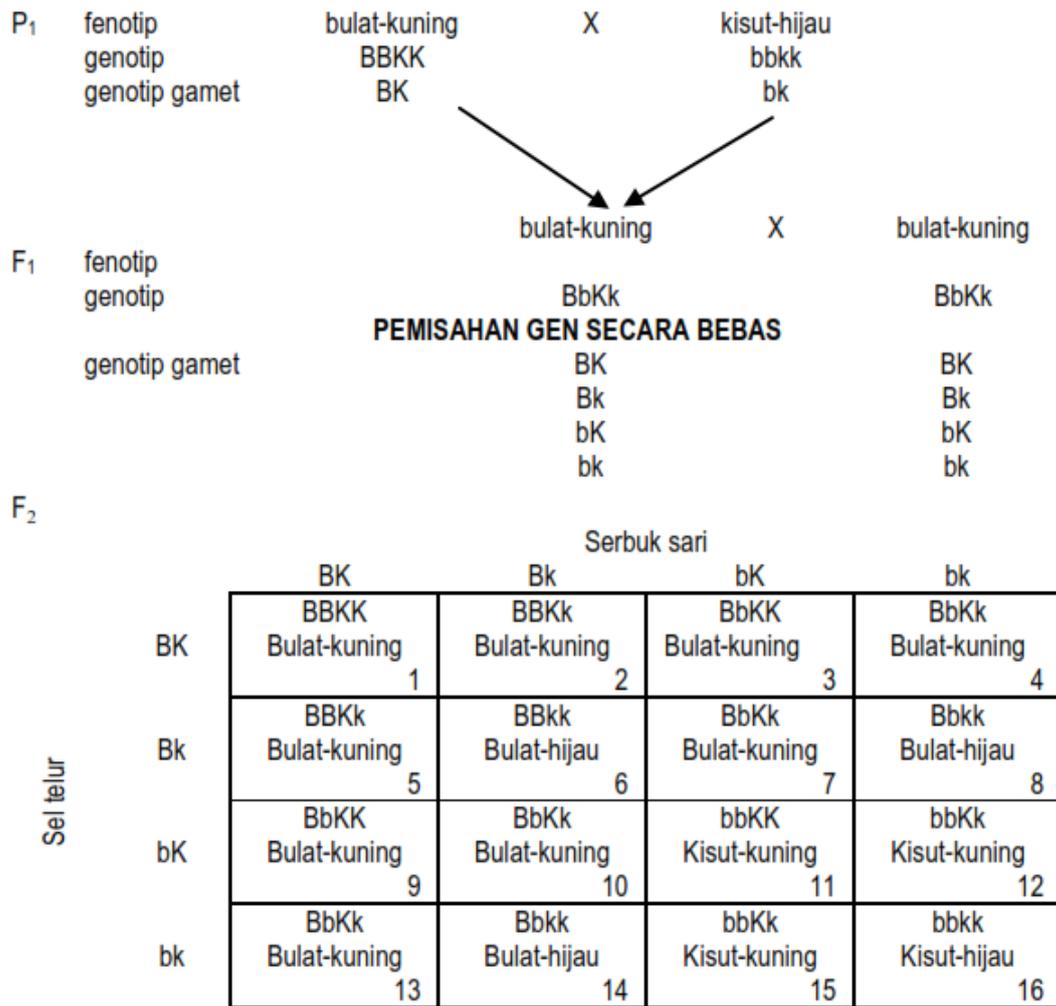
Pembastaran yang dilakukan oleh Mendel seperti dibicarakan di atas ialah pembastaran dengan satu sifat beda atau disebut sebagai pembastaran monohybrid. Pembastaran ini hanya melibatkan satu sifat, misalnya hanya sifat warna bunga. Selanjutnya Mendel melakukan percobaan lain, yaitu melibatkan dua sifat beda atau disebut sebagai pembastaran dihibrid. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui apakah prinsip-prinsip pada

pembastaran monohibrid juga berlaku pada dihibrid. Apa yang Mendel lakukan? Mendel membastarkan tanaman kacang kapri biji bulat warna kuning (selanjutnya disingkat bulat-kuning) galur murni, dengan kacang kapri biji kisut warna hijau (disingkat kisut-hijau), juga galur murni. Diperoleh turunan F1 dibastarkan dengan turunan F1 lainnya dan menghasilkan turunan F2 sebagai berikut:

315 bulat-kuning
108 bulat-hijau
101 kisut-kuning
32 kisut hijau

Hal yang menarik dari hasil pembastaran ini ialah timbul dua jenis biji baru yang sebelumnya tidak dimiliki oleh P (induk) atau oleh turunan F1. Kedua jenis biji ini adalah bulat-hijau dan kisut-kuning. Jenis baru ini, lain dari P maupun dari F1, disebut sebagai kombinasi baru atau rekombinasi. Mengapa disebut sebagai rekombinasi? Pertanyaan ini dapat dijawab dengan melihat susunan gen dari kedua jenis biji tersebut. Susunan gennya lain dengan yang telah diketahui, yaitu pada P maupun pada F1. Jadi, di sini terjadi susunan baru dari gen. Selain itu, diperoleh macam biji seperti macam biji induknya (P), yaitu bulat-kuning dan kisut-hijau, yang selanjutnya disebut sebagai kombinasi parental. Disebut demikian karena fenotipnya sama dengan induk yang dibastarkan.

Pembastaran dihibrid dapat ditulis seperti pada Gambar 1.6 berikut ini. Pada pembentukan gamet turunan F1, Mendel menyatakan bahwa sebuah gamet hanya akan mempunyai salah satu gen dari sepasang gen sehingga sebuah gamet hanya akan mempunyai B (gen bulat) atau b (gen kisut) dan K (gen kuning) atau k (gen hijau). Empat macam gamet akan dihasilkan dalam jumlah yang sama, yaitu BK, Bk, bK dan bk. Dari turunan F2 terdapat 16 kemungkinan kombinasi turunan yang terdiri dari: 9 bagian bulat-kuning, 3 bagian bulat-hijau, 3 bagian kisut-kuning dan 1 bagian kisut-hijau sehingga dapat dikatakan bahwa perbandingan turunan yang diperoleh pada F2 adalah = 9:3:3:1. Perbandingan ini dapat ditulis dengan cara lain, yaitu $9/16 : 3/16 : 3/16 : 1/16$.



Gambar 1.6.

Pembastaran antara tanaman kacang kapri biji bulat-kuning dengan tanaman kacang kapri biji kisut-hijau akan menghasilkan turunan F₂ dengan perbandingan 9:3:3:1.

Dari pembastaran dihibrid yang dilakukan Mendel tersebut di atas dapat dibuat kesimpulan bahwa:

- Pada pembastaran dihibrid, yaitu yang melibatkan dua sifat beda, setiap pasang gen dari turunan F₁ akan memisah dan mengelompok secara bebas menuju gamet pada waktu pembentukan gamet. Karena ada peristiwa pemisahan dan pengelompokan secara bebas ini pada turunan F₁, dengan genotip BbKk akan dihasilkan 4 macam gamet, yaitu BK, Bk, bK dan bk, yang masing-masing mempunyai perbandingan $\frac{1}{4} : \frac{1}{4} : \frac{1}{4} : \frac{1}{4}$. Selanjutnya pemisahan secara bebas ini disebut Mendel sebagai prinsip pemisahan gen secara bebas atau disebut sebagai Prinsip/Hukum Mendel II. Untuk memahami prinsip ini perhatikan papan catur (Gambar 1.6.).
- Karena dari turunan F₁ dihasilkan 4 macam gamet maka turunan F₂ akan dihasilkan 16 kemungkinan macam genotip atau kombinasi, seperti yang tampak pada papan catur tersebut, dengan perbandingan fenotip = 9 : 3 : 3 : 1, yaitu 9 bulat-kuning, 3 bulat-hijau, 3 kisut-kuning

dan 1 kisut-hijau. Dari 4 macam fenotip yang dihasilkan, muncul 2 fenotip baru, yaitu bulat-hijau dan kisut-kuning, yang berbeda dari fenotip induk (P) dan juga dari fenotip turunan F1

D. 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?

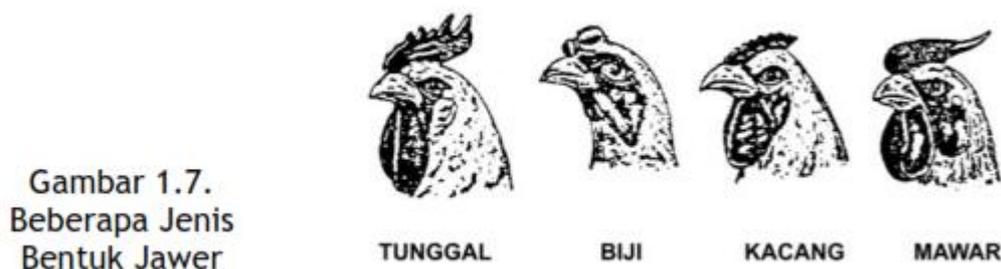
Ahli genetika dari Inggris yang bernama Bateson telah menjelaskan mengapa terjadi semacam penyimpangan dari temuan Mendel. Penyimpangan yang tampak pada perbandingan fenotip tersebut dapat dijelaskan karena banyak ciri-ciri atau sifat-sifat makhluk hidup dipengaruhi oleh dua atau lebih pasangan gen. 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 F2 nya.

1. Dua Gen mempengaruhi Satu Sifat

Pada peternakan ayam diketahui adanya macam-macam bentuk jengger atau jawer ayam. Macam bentuk jawer ada 4 macam, yaitu sebagai berikut.

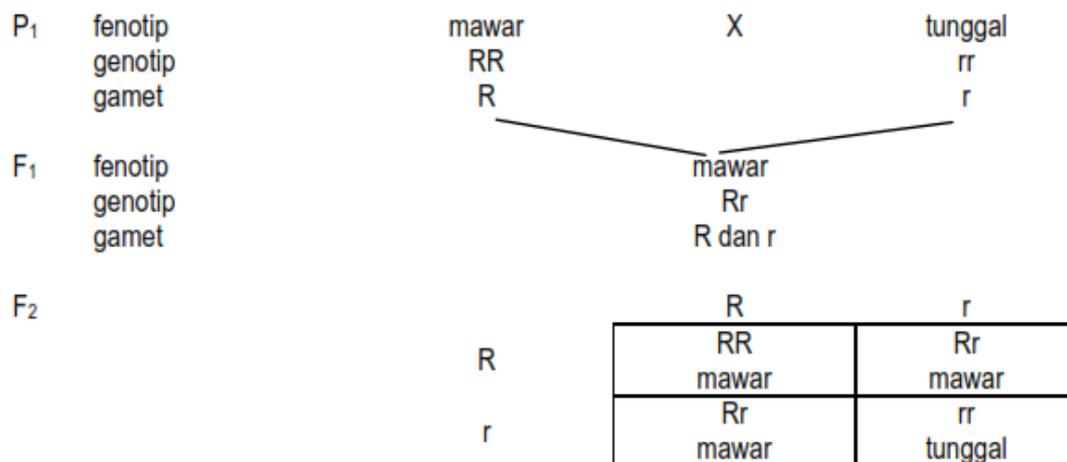
- a. bentuk tunggal (single), terdapat pada ayam Leghorn.
- b. bentuk mawar (ros), terdapat pada ayam Wyandotte.
- c. bentuk kacang (pea), terdapat pada ayam Brahma.
- d. bentuk biji (walnut), terdapat pada ayam Malaya.

Bentuk jawer dapat Anda lihat pada Gambar 1.7. berikut ini.



Gambar 1.7.
Beberapa Jenis
Bentuk Jawer

Pembastaran antara ayam jawer mawar dengan jawer tunggal menghasilkan turunan F₁ yang semuanya mempunyai jawer mawar. Ini berarti bahwa jawer mawar mempunyai sifat dominan terhadap jawer tunggal. Gen R adalah gen untuk timbulnya jawer mawar dan gen r untuk timbulnya jawer tunggal. Pada turunan F₂ akan diperoleh 3 mawar dan 1 tunggal (Gambar 1.8).



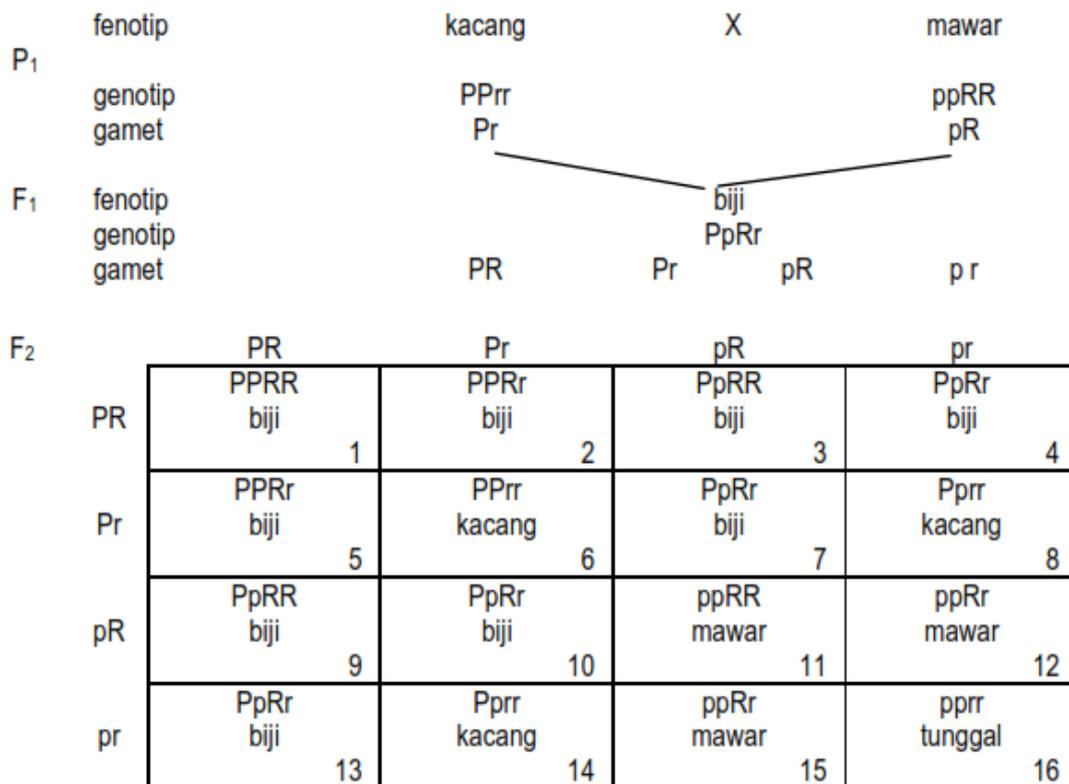
Gambar 1.8.

Pembastaran ayam jawer mawar dengan jawer tunggal menghasilkan turunan F₁ semuanya mawar, dan pada turunan F₂ terdapat 3 mawar dan 1 tunggal.

Apabila diadakan pembastaran antara ayam jawer kacang dengan jawer tunggal, akan menghasilkan turunan F₁ yang semuanya mempunyai jawer kacang. Ini menunjukkan bahwa jawer kacang dominan terhadap jawer tunggal. Gen P adalah gen untuk timbulnya jawer kacang dan gen p untuk timbulnya jawer tunggal. Dan pada turunan F₂ akan diperoleh 3 jawer kacang dan 1 jawer tunggal (Gambar 1.9).

Lihat kedua macam pembastaran (Gambar 1.8 dan 1.9). Keduanya tidak memperlihatkan hal-hal yang luar biasa. Keduanya menunjukkan pembastaran monohibrid dengan memperlihatkan sifat dominan. Akan tetapi, kita lihat dengan teliti kedua pembastaran seperti tertulis di atas. Dari kedua pembastaran tersebut akan timbul pertanyaan: Mengapa genotip jawer tunggal pada pembastaran ke satu (Gambar 1.8) ditulis sebagai rr, dan ditulis sebagai pp pada pembastaran kedua (Gambar 1.9)? Jawaban atas pertanyaan ini akan terjawab dari hasil pembastaran berikut ini, yaitu antara jawer kacang dengan jawer mawar, yang keduanya bersifat dominan seperti pada pembastaran terdahulu. Jawer kacang dominan terhadap jawer tunggal dan jawer mawar dominan terhadap jawer tunggal.

- d. Jawer biji akan muncul apabila terdapat paling sedikit ada satu gen P bersama-sama dengan paling sedikit satu gen R. Jadi genotip jawer biji ialah PPRR, PPRr, PpRR, PpRr.



Gambar 1.10.

Pembastaran antara ayam jawer kacang dan jawer mawar menghasilkan turunan F₁ semuanya jawer biji, dan pada turunan F₂ terdapat 9 jawer biji, 3 jawer mawar, 3 jawer kacang, dan 1 jawer tunggal.

Apa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pembastaran tersebut di atas? Kesimpulannya ialah berikut ini.

- Jawer tunggal terjadi sebagai hasil interaksi dari dua gen yang resesif, yaitu gen p dan r.
- Jawer biji baru muncul apabila terjadi interaksi antara dua gen yang dominan, yaitu P dan R.
- Hasil pembastaran tersebut bukan menyimpang dari temuan Mendel, akan tetapi disebabkan karena dugaan dua gen bekerja sama (berinteraksi) mempengaruhi satu sifat makhluk hidup.