

Aplikasi Hukum Mendel Sebagai Aplikasi dari Teori Kombinatorial Untuk Menentukan Kemungkinan Kemunculan Golongan Darah Dalam Sistem ABO Pada Sebuah Keluarga

Chairuni Aulia Nusapati 13513054
Program Sarjana Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
13513054@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Golongan darah seseorang dalam sistem klasifikasi ABO dipengaruhi oleh gen pembentuk darah yang diwariskan oleh orangtuanya. Pewarisan sifat golongan darah dapat dijelaskan menggunakan analisa dengan Hukum Mendel, sebuah hukum yang membahas pewarisan sifat secara genetik. Hukum Mendel itu sendiri merupakan aplikasi dari berbagai studi, salah satunya adalah aplikasi sebuah cabang matematika diskrit yang membahas penyusunan objek-objek, yaitu kombinatorial.

Kata Kunci—sistem klasifikasi ABO, Hukum Mendel, kombinatorial

I. PENDAHULUAN

Persoalan penentuan golongan darah merupakan sebuah persoalan yang cukup penting. Sejak kecil, biasanya seseorang telah dicatat golongan darahnya. Salah satu pencatatan golongan darah yang lazim dilakukan adalah pencatatan golongan darah dengan sistem ABO. Salah satu contoh pentingnya penentuan golongan darah adalah ketika transfusi darah. Transfusi darah dengan golongan yang tidak sesuai dapat mengakibatkan efek samping yang tidak diinginkan, bahkan kematian. Contoh lain pentingnya penentuan golongan darah adalah menentukan apakah benar seseorang adalah anggota kandung dari sebuah keluarga. Golongan darah dapat digunakan untuk menentukan kebenaran keanggotaan kandung seseorang dalam keluarga karena golongan darah merupakan sebuah sifat yang diturunkan secara genetik. Sehingga, terdapat kombinasi genetik terbatas yang mungkin terdapat dalam sebuah keluarga.

Terkadang, bagi orang awam jika golongan darah anaknya tidak sama dengan orang tuanya maka orang-orang akan mempertanyakan apakah anak tersebut benar anak kandung dari orangtuanya. Menurut para ahli, jawaban dari pertanyaan ini bisa jadi “ya”. Ada kombinasi tertentu dari golongan darah orang tua yang memungkinkan anaknya memiliki golongan darah yang

berbeda dengan orang tuanya. Namun, hal ini hanya terjadi pada sebagian kasus yang ada.

Hukum Mendel adalah hukum yang mempelajari pewarisan sifat dari orangtua ke anaknya. Karena golongan darah adalah sifat yang diturunkan secara genetik, persoalan penentuan golongan darah dalam sebuah keluarga dapat diselesaikan menggunakan analisa menggunakan Hukum Mendel.

Kemudian, Hukum Mendel itu sendiri merupakan aplikasi dari berbagai studi. Salah satu studi yang memiliki aplikasi dalam Hukum Mendel adalah studi mengenai kombinatorial. Kombinatorial adalah cabang matematika diskrit yang mempelajari penyusunan objek-objek.

Melihat bahwa persoalan penentuan golongan darah dalam sebuah keluarga melibatkan lebih dari satu studi, penulis merasa bahwa pembahasan mengenai hal ini cukup menarik untuk dilakukan. Apalagi mengingat bahwa hal ini dapat dibahas sambil membahas mengenai kombinatorial, hal yang penulis pelajari sejak masih di bangku sekolah dasar, namun baru penulis sadari betul manfaat nyatanya dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, dalam makalah ini penulis akan membahas mengenai kombinatorial, yaitu definisi kombinatorial, kaidah-kaidah yang terdapat pada kombinatorial, dan prinsip-prinsip yang terdapat pada kombinatorial. Kemudian penulis akan membahas mengenai aplikasi kombinatorial pada Hukum Mendel. Dan terakhir, penulis juga akan membahas mengenai persoalan penentuan golongan darah dalam sebuah keluarga sebagai aplikasi dari teori kombinatorial dalam Hukum Mendel

II. KOMBINATORIAL

A. Definisi Kombinatorial

Kombinatorial merupakan bagian penting dari matematika diskrit yang mempelajari mengenai

pengaturan objek-objek. Dalam referensi lain, kombinatorial juga didefinisikan sebagai cabang matematika yang mempelajari enumerasi, kombinasi, dan permutasi atas himpunan elemen-elemen dan relasi matematik yang menjadi ciri-ciri atas elemen-elemen dalam himpunan tersebut.

B. Kaidah Dasar Menghitung (*Basic Counting Principles*)

Kaidah dasar menghitung (*basic counting principles*) adalah kaidah-kaidah dasar perhitungan dalam kombinatorial. Kaidah dasar menghitung terdiri atas dua kaidah, yaitu kaidah perkalian (*product rule*) dan kaidah penjumlahan (*sum rule*) sebagaimana dijelaskan sebagai berikut.

- Kaidah Perkalian (*Product Rule*)

Bunyi kaidah perkalian adalah sebagai berikut.

“Dianggap bahwa sebuah prosedur dapat dipecah menjadi dua tahapan pengerjaan. Jika ada n_1 cara untuk mengerjakan tahapan pertama dan untuk setiap cara pengerjaan tahapan pertama ada n_2 cara untuk mengerjakan tahapan kedua, maka ada $n_1 \times n_2$ cara pengerjaan prosedur tersebut.”

Dalam penjelasan yang lebih mudah, tahapan pengerjaan kaidah perkalian dapat dijelaskan sebagai berikut. Bagi sebuah prosedur menjadi dua tahapan pengerjaan, hitung berapa kemungkinan pengerjaan di tiap tahapannya, kemudian kalikan jumlah kemungkinan pengerjaan pada tahapan pertama dengan jumlah kemungkinan pengerjaan pada tahapan kedua. Hasil perkalian tersebut adalah jumlah kemungkinan cara pengerjaan prosedur tersebut.

Untuk menjelaskan bagaimana kaidah perkalian digunakan untuk menyelesaikan sebuah permasalahan, penulis memberikan sebuah contoh sebagai berikut. Pada sebuah perlombaan makan kerupuk, terdapat 2 pemenang yaitu Eva dan Marcel. Setelah pemenang lomba diumumkan, ketua panitia diminta untuk memilih hadiah untuk Eva dan Marcel. Terdapat 5 jenis hadiah yang dapat dibagikan, tetapi masing-masing pemenang hanya akan mendapatkan 1 jenis hadiah. Dalam contoh ini, yang menjadi persoalan adalah ada berapa cara memberikan hadiah kepada Eva dan Marcel. Solusinya adalah dengan menggunakan kaidah perkalian. Pertama, prosedur dibagi menjadi dua tahapan yaitu memilih hadiah untuk Eva dan memilih hadiah untuk Marcel. Pada tahapan memilih hadiah untuk Eva, terdapat 5 jenis hadiah yang dapat dipilih. Maka, terdapat 5 cara untuk memilih hadiah untuk Eva. Kemudian, pada tahapan memilih hadiah untuk Marcel, tersisa

4 hadiah yang dapat dipilih. Maka, terdapat 4 cara untuk memilih hadiah untuk Marcel. Dengan kaidah perkalian, didapat bahwa ada $4 \times 5 = 20$ cara untuk memberikan hadiah pada Eva dan Marcel.

- Kaidah Penjumlahan (*Sum Rule*)

Bunyi kaidah penjumlahan adalah sebagai berikut.

“Jika sebuah pekerjaan dapat dikerjakan dengan sebuah cara yang ada pada n_1 maupun n_2 , dengan syarat himpunan cara-cara n_1 tidak memiliki irisan dengan himpunan cara-cara n_2 , maka ada $n_1 + n_2$ cara untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut.”

Pada kaidah penjumlahan, untuk menentukan banyak total cara untuk menyelesaikan sebuah pekerjaan yang memiliki 2 buah himpunan cara-cara, cukup jumlahkan jumlah cara pada kedua himpunan tersebut.

Untuk menjelaskan bagaimana kaidah penjumlahan digunakan dalam sebuah persoalan, penulis memberikan contoh sebagai berikut. Pada suatu hari, akan dilakukan pemilihan ketua acara malam keakraban kelas IF K-02. Ketua dapat dipilih baik dari peserta kelas laki-laki maupun perempuan. Pada kelas IF K-02, terdapat 38 peserta kelas laki-laki dan 10 peserta kelas perempuan. Persoalannya, ada berapa kemungkinan ketua yang dapat dipilih. Solusinya didapat menggunakan kaidah penjumlahan. Jika ketua dipilih dari peserta kelas laki-laki, akan ada 38 kemungkinan ketua kelas. Jika ketua dipilih dari peserta kelas perempuan, akan ada 10 kemungkinan ketua kelas. Jika ketua dipilih dari peserta kelas laki-laki dan perempuan, berdasarkan kaidah penjumlahan, akan terdapat $38 + 10 = 48$ kemungkinan ketua kelas.

Dalam aplikasinya, kaidah dasar menghitung dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan yang lebih rumit dengan perluasan terhadap kaidah-kaidahnya. Pada kaidah perkalian yang diperluas, persoalan dapat dipecah menjadi n tahapan masing-masing dengan p_i hasil. Kemudian, hasil kaidah perkaliannya diperluas menjadi $p_1 \times p_2 \times p_3 \times \dots \times p_n$. Pada kaidah penjumlahan yang diperluas, jika terdapat n buah himpunan cara-cara pengerjaan p_i , hasil kaidah penjumlahannya diperluas menjadi $p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$.

C. Prinsip Inklusi-Eksklusi (*Inclusion-Exclusion for Two Sets*)

Misalkan sebuah pekerjaan dapat dikerjakan dengan dua himpunan cara-cara yang memiliki irisan. Kita tidak dapat langsung menggunakan kaidah penjumlahan, karena akan ada cara yang dihitung dua kali. Untuk menghitung jumlah cara yang benar, kita dapat mengurangi cara-cara yang dihitung dua kali dari hasil penjumlahan kedua

himpunan cara-cara tadi. Hal ini disebut prinsip inklusi eksklusif.

Prinsip inklusi eksklusif berbunyi sebagai berikut.

“Jika sebuah pekerjaan dapat dikerjakan dalam cara n_1 maupun cara n_2 , jumlah cara pengerjaan pekerjaan tersebut adalah $n_1 + n_2$ dikurangi jumlah irisan n_1 dan n_2 .”

D. Aturan Pembagian (Division Rule)

Bunyi aturan pembagian adalah sebagai berikut.

“Terdapat n/d cara untuk menyelesaikan sebuah pekerjaan jika pekerjaan tersebut dapat diselesaikan dengan sebuah prosedur yang dapat diselesaikan dengan n cara, dan untuk setiap cara w , terdapat tepat d dari n cara yang berkorespondensi dengan cara w .”

E. Permutasi dan Kombinasi

Banyak persoalan kombinatorial yang dapat diselesaikan dengan mencari jumlah cara untuk menyusun elemen-elemen unik dengan jumlah tertentu dalam sebuah tempat dengan jumlah tertentu, baik dengan urutan yang diperhatikan maupun tidak. Seperti contohnya persoalan untuk menentukan banyak cara untuk menempatkan 3 anak pada 5 buah kursi yang bersebelahan. Permutasi dan kombinasi adalah cara dalam kombinatorial yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan seperti ini.

• Permutasi

Permutasi adalah cara menyelesaikan persoalan kombinatorial dengan mencari jumlah cara untuk menyusun elemen-elemen unik dengan jumlah tertentu dalam sebuah tempat dengan jumlah tertentu, dengan memperhatikan urutan penempatannya. Permutasi dilambangkan dengan $P(n, r)$ dengan P adalah simbol permutasi, n adalah jumlah elemen-elemen unik, dan r adalah jumlah tempat yang akan diisi oleh elemen-elemen unik tersebut. Permutasi didapatkan dari kaidah perkalian dan prinsip inklusi-eksklusif. Berikut teorema 1 permutasi.

Jika n adalah bilangan bulat positif dan r adalah bilangan bulat positif yang lebih besar sama dengan 1 dan lebih kecil sama dengan n , maka terdapat

$$P(n, r) = n(n - 1)(n - 2) \dots (n - r + 1)$$

Permutasi r dari sebuah himpunan dengan elemen-elemen unik sebanyak n .

Kemudian, berikut adalah *corollary* 1 dari permutasi yang didapat dari teorema 1 permutasi.

Jika n dan r adalah bilangan bulat dengan r lebih besar sama dengan 0 dan lebih kecil sama dengan n , maka

$$P(n, r) = n! / (n - r)!$$

• Kombinasi

Kombinasi adalah bentuk khusus dari permutasi yang urutan susunan elemen-elemennya diabaikan. Kombinasi dilambangkan dengan $C(n, r)$ dengan C adalah simbol

kombinasi, n adalah jumlah elemen-elemen unik, dan r adalah jumlah tempat yang akan diisi oleh elemen-elemen unik tersebut. Berikut teorema 2 kombinasi.

Jumlah dari kombinasi- r dari sebuah himpunan dengan jumlah elemen n , di mana n adalah bilangan bulat tak negatif dan r adalah bilangan bulat yang lebih besar sama dengan 0 dan lebih kecil sama dengan n , adalah

$$C(n, r) = n! / r!(n - r)!$$

Teorema tersebut dapat dibuktikan dengan teorema 1 permutasi.

III. HUKUM PEWARISAN MENDEL

A. Definisi Hukum Pewarisan Mendel

Hukum Pewarisan Mendel (*Mendel's Law of Inheritance*) adalah hukum yang menjelaskan bagaimana sebuah sifat secara genetik diturunkan dari sebuah organisme kepada keturunannya yang dihasilkan dari perkawinan. Hukum ini terdiri atas tiga bagian, yaitu Hukum Segregasi (*Segregation Law*) atau disebut juga Hukum Mendel 1, Hukum Pemisahan Independen (*Independent Assortment Law*), dan Hukum Dominansi (*Dominance Law*).

Dalam Hukum Pewarisan Mendel dijelaskan beberapa konsep dan istilah mengenai sifat-sifat genetik. Untuk tiap sifat biologis dalam sebuah gen, sebuah organisme mewarisi dua buah alel, satu dari tiap orang tuanya. Alel-alel ini dapat merupakan dua alel yang sama, maupun dua alel yang berbeda. Sebuah organisme yang memiliki dua alel yang sama untuk sebuah gen disebut homozigot. Sementara sebuah organisme yang memiliki dua alel yang berbeda untuk sebuah gen disebut heterozigot.

B. Hukum Segregasi (Segregation Law)

Pada pembentukan sel telur dan sel sperma (gamet), pasangan alel pada setiap gennya akan terbagi menjadi dua, sehingga masing-masing sel telur dan sperma hanya akan membawa satu buah alel untuk setiap sifat yang diwariskan. Pemisahan pasangan alel ini terjadi secara bebas (*segregate*). Kemudian, pada saat pembuahan, alel-alel yang bersesuaian akan kembali berpasangan. Hal ini disebut Hukum Segregasi. Hukum Segregasi berlaku untuk persilangan monohibrid (persilangan dengan satu sifat beda).

Terdapat 4 poin penting dalam hukum segregasi, yaitu:

- Sebuah gen dapat muncul dalam lebih dari satu bentuk.
- Tiap organisme mewarisi dua alel untuk tiap sifat.
- Saat gamet diproduksi saat meiosis, pasangan alel akan dipisah menjadi masing-masing satu alel untuk tiap sifatnya.
- Jika terdapat dua alel berbeda dalam sebuah pasangan gen, salah satunya bersifat dominan (menutupi) dan yang lainnya bersifat resesif.

C. Hukum Pemisahan Independen (*Independent Assortment Law*)

Dalam Hukum Pemisahan Independen, dijelaskan bahwa tiap pasangan alel yang berpisah secara bebas seperti pada Hukum Mendel 1, akan bersatu pada saat pembuahan secara independen terhadap pasangan alel yang lain.

D. Hukum Dominansi (*Dominance Law*)

Genotip adalah kombinasi alel-alel yang dimiliki sebuah individu. Fenotip adalah tampilan nyata dari genotip, atau dalam kata lain adalah sifat yang muncul pada individu. Fenotip ditentukan dari alel-alel yang terdapat pada genotip, walau dapat juga ditentukan dari keadaan lingkungan. Jika sebuah alel terdapat pada sebuah individu, bukan berarti sifat dari alel tersebut pasti muncul pada individu tersebut. Pada kasus heterozigot, alel yang menentukan sifat dari sebuah organisme disebut alel dominan, kemudian alel yang sifatnya tidak muncul disebut alel resesif. Alel dominan akan menutupi sifat alel resesif. Sehingga, jika kombinasi pasangan terdiri atas dua alel yang berbeda, maka hanya sifat dari alel dominan yang akan muncul pada individu. Hal ini disebut Hukum Dominansi.

IV. APLIKASI KOMBINATORIAL DALAM ANALISA MENGGUNAKAN HUKUM MENDEL

Hukum Mendel adalah sebuah hukum yang menjelaskan bagaimana sebuah sifat secara genetik diturunkan dari sebuah organisme kepada keturunannya yang dihasilkan dari perkawinan. Hukum ini biasa digunakan untuk menghitung kemungkinan-kemungkinan keturunan yang dihasilkan dari sebuah perkawinan dua individu. Kalimat “menghitung kemungkinan-kemungkinan” tentu memberikan sebuah ide bahwa terdapat aplikasi ilmu kombinatorial dalam Hukum Mendel. Berikut akan dibahas mengenai beberapa kaidah dan aturan dalam ilmu kombinatorial yang diterapkan dalam analisa Mendel.

Dalam proses penemuan Hukum Mendel, Mendel melakukan beberapa percobaan. Salah satu percobaannya adalah penyilangan tanaman kacang yang memiliki biji berbentuk bulat dan berwarna kuning homozigot dengan tanaman kacang yang memiliki biji berbentuk keriput dan berwarna hijau homozigot. Dari percobaan tersebut didapat bahwa terdapat gen yang mengatur warna, dengan ketentuan bahwa alel yang memunculkan warna kuning adalah alel dominan dan alel yang memunculkan warna hijau adalah alel resesif. Kemudian, juga didapat bahwa terdapat juga gen yang mengatur bentuk kacang, dengan ketentuan alel yang memunculkan bentuk bulat adalah alel dominan dan alel yang memunculkan bentuk keriput adalah alel resesif.

Dalam pengembangan Hukum Mendel, digunakan simbol dengan huruf kapital untuk menyatakan alel dominan dan simbol dengan huruf tidak kapital untuk

menyatakan alel resesif. Untuk menganalisa percobaan tadi, alel yang mempengaruhi warna akan dinyatakan dengan huruf ‘w’ dan alel yang mempengaruhi bentuk akan dinyatakan dengan huruf ‘b’. Pada percobaan di atas, tanaman kacang yang memiliki biji berbentuk bulat dan berwarna kuning homozigot akan dinyatakan sebagai BBWW dan tanaman kacang yang memiliki biji berbentuk keriput dan berwarna hijau akan dinyatakan sebagai bbww.

Pada perkawinan BBWW dan bbww, susunan alel yang akan dikalikan adalah BW dan bw (tidak ada susunan lain). Kemudian hasil perkalian adalah BbWw (tidak ada susunan lain). Karena jumlah variasi alel masih sedikit, maka perhitungan jumlah susunan cukup dengan dienumerasi.

Selanjutnya, hasil perkawinan tadi akan kembali dikawinkan, yaitu BbWw akan dikawinkan dengan BbWw. Akan digunakan kaidah perkalian untuk menentukan berapa banyak kemungkinan gamet yang akan dikalikan, yaitu B/b dan W/w. Ini seperti membagi prosedur menjadi dua tahapan pengerjaan n_1 dan n_2 pada kaidah perkalian. Kemudian, untuk tiap gennya akan dicari jumlah kemungkinan alel. Untuk n_1 (alel bentuk), terdapat 2 buah kemungkinan alel, yaitu B dan b. Kemudian, untuk n_2 (alel warna), terdapat 2 buah kemungkinan alel yaitu W dan w. Dengan kaidah perkalian, jumlah kemungkinan gamet adalah $2 \times 2 = 4$ kemungkinan. Jika dienumerasi, didapat jumlah kemungkinan gamet yang sama yaitu BW, Bw, bW, dan bw.

Berdasarkan penjabaran di atas, dapat terlihat bahwa kaidah perkalian digunakan dalam analisa Mendel. Contoh yang digunakan di atas merupakan contoh yang mudah, karena jumlah gen hanya 2, sehingga terlihat jika dienumerasi pun sama mudahnya. Kaidah ini baru akan terlihat manfaatnya ketika jumlah gen yang dianalisa cukup banyak, misalnya pada analisis dengan jumlah gen 20 heterozigot. Akan terdapat 2 pangkat 20 = 1048576 kemungkinan susunan alel. Tentu akan menjadi sulit jika semua kemungkinan itu harus dienumerasi satu persatu.

Kemudian, pada umumnya persoalan analisa Mendel adalah menghitung jumlah kemungkinan kemunculan suatu fenotip pada suatu perkawinan. Misalnya, pada contoh permasalahan kacang tadi, dicari kemungkinan kemunculan kacang berwarna kuning pada hasil perkawinannya. Sifat kuning didapat dari alel dominan, sehingga kemungkinan fenotipnya ada tiga macam yaitu xxWW, xxWw, xxwW. xxWw dan xxwW sebenarnya adalah gamet yang sama, namun pada penjabaran ini akan dibedakan untuk mempermudah. Dapat terlihat bahwa terdapat 4 tempat untuk diisi dengan gen. Karena pada perkawinan B/b dan W/w pada sebuah gamet akan terpaut satu sama lain, dan hasil perkawinan sebenarnya adalah penggabungan dua gamet, maka dianggap ada 2 tempat yang akan diisi gamet. Pada kasus ini, gamet yang akan dicari kemungkinannya hanya ditinjau berdasarkan alel

warnanya saja.

Untuk mendapatkan fenotipe pertama, $xxWW$, kedua tempat gamet akan diisi oleh xW . Tempat pertama, kemungkinan diisi oleh 2 kemungkinan BW dan bW . Tempat kedua, kemungkinan diisi oleh 2 kemungkinan juga BW dan bW . Menurut kaidah perkalian, terdapat $2 \times 2 = 4$ kemunculan fenotipe pertama.

Kemudian, untuk mendapat fenotipe kedua, $xxWw$, salah satu tempat gamet akan diisi oleh xW dan yang lainnya oleh xw . Tempat pertama, kemungkinan diisi oleh 2 kemungkinan yaitu BW dan bW . Tempat kedua, kemungkinan diisi oleh 2 kemungkinan juga yaitu Bw dan bw . Menurut kaidah perkalian, terdapat $2 \times 2 = 4$ kemunculan fenotipe kedua.

Untuk mendapat fenotipe ketiga, $xxww$, salah satu tempat gamet akan diisi oleh xw dan yang lainnya oleh xW . Tempat pertama, kemungkinan diisi oleh 2 kemungkinan yaitu Bw dan bw . Tempat kedua, kemungkinan diisi oleh 2 kemungkinan juga yaitu BW dan bW . Menurut kaidah perkalian, terdapat $2 \times 2 = 4$ kemunculan fenotipe ketiga.

Dengan kaidah penjumlahan, didapat bahwa jumlah kemungkinan kemunculan kacang berwarna kuning ada 12. Angka 12 ini belum berarti apa-apa jika belum ada suatu pembandingan total kemungkinan kemunculan. Menurut kaidah perkalian, karena ini adalah perkawinan antara 4 gamet dengan 4 gamet, maka terdapat 4×4 total kemungkinan kemunculan. Jadi, dapat disimpulkan bahwa pada setiap 16 kacang hasil persilangan, akan terdapat 12 kacang berwarna kuning.

V. KLASIFIKASI GOLONGAN DARAH SISTEM A, B, O

Terdapat beberapa cara untuk mengklasifikasi golongan darah seorang individu manusia. Salah satunya adalah dengan mengecek ada atau tidaknya antigen A dan/atau B atau ada tidaknya antibodi a dan/atau b dalam darah orang tersebut. Klasifikasi ini disebut sistem golongan darah A, B, O. Darah yang tidak memiliki antigen sama A maupun B namun memiliki kedua antibodi a dan b, diklasifikasikan ke dalam golongan darah O. Darah yang memiliki antigen A dan antibodi b diklasifikasikan ke dalam golongan darah A. Darah yang memiliki antigen B dan antibodi a diklasifikasikan ke dalam golongan darah B. Terakhir, darah yang memiliki kedua antigen A dan B namun tidak memiliki antibodi a maupun b diklasifikasikan ke dalam golongan darah AB.

Ada atau tidaknya antibodi dan antigen dalam darah dipengaruhi oleh sebuah gen dalam individu manusia tersebut. Terdapat dua alel dominan yaitu Ia dan Ib dan satu alel resesif Io. Alel Ia akan menyebabkan diproduksinya antigen A, Ib menyebabkan diproduksinya antigen B, sementara Io tidak menghasilkan antigen apapun oleh karena itu ia disebut kosong (o).

Berikut tabel hubungan antara fenotipe, genotype, dan macam gamet dari golongan darah sistem A, B, O.

Fenotipe	Genotipe	Macam Gamet
A	Ia Ia, Ia Io	Ia, Io
B	Ib Ib, Ib Io	Ib, Io
AB	Ia Ib	Ia, Ib
O	Io Io	Io

VI. APLIKASI TEORI KOMBINATORIAL PADA HUKUM MENDEL UNTUK MENYELESAIKAN PERSOALAN PENENTUAN KEMUNGKINAN GOLONGAN DARAH DALAM SISTEM ABO DALAM SEBUAH KELUARGA

Misalkan pada sebuah kasus yang sederhana, genotip ayah adalah Ia Ia dan genotip ibu Ib Ib. Gamet yang terbentuk pasti Ia dan Ib. Genotip anak pasti Ia Ib dan semua anaknya akan memiliki golongan darah AB.

Kemudian akan ditinjau kasus yang lebih sulit, genotip ayah adalah Ia Io dan genotip ibu Ib Io. Gamet yang terbentuk dari ayah adalah Ia dan Io, sementara gamet yang terbentuk ibu adalah Ib dan Io. Akan digunakan kaidah perkalian untuk menentukan jumlah susunan genotip yang mungkin. Prosedur akan dibagi menjadi dua yaitu tahap menempatkan gamet dari ayah dan tahap menempatkan gamet dari ibu. Ayah memiliki 2 kemungkinan gamet yaitu Ia dan Io. Kemudian, ibu juga memiliki 2 kemungkinan gamet yaitu Ib dan Io. Menurut kaidah perkalian, jumlah kemungkinan susunan genotip adalah $2 \times 2 = 4$.

Kemudian, ditinjau kemungkinan golongan darah A, yaitu genotip Ia Ia atau Ia Io. Ia Ia tidak mungkin terjadi karena dibutuhkan gamet dari kedua orang tua, sementara ibu tidak memiliki gamet Ia. Oleh karena itu, tentu gamet ayah diisi oleh Ia, hanya ada 1 kemungkinan. Gamet ibu akan diisi oleh Io hanya 1 kemungkinan. Menurut kaidah perkalian, jumlah susunan gamet yang menghasilkan anak bergolongan darah A adalah $1 \times 1 = 1$.

Ditinjau kemungkinan golongan darah B, yaitu genotip Ib Ib atau Ib Io. Ib Ib tidak mungkin terjadi karena dibutuhkan gamet dari kedua orang tua, sementara ayah tidak memiliki gamet Ib. Oleh karena itu, tentu gamet ayah diisi oleh Io, hanya ada 1 kemungkinan. Gamet ibu akan diisi oleh Ib hanya 1 kemungkinan. Menurut kaidah perkalian, jumlah susunan gamet yang menghasilkan anak bergolongan darah B adalah $1 \times 1 = 1$.

Ditinjau kemungkinan golongan darah AB, yaitu genotip Ia Ib. Hanya ada masing-masing 1 kemungkinan gamet untuk ayah dan ibu, yaitu Ia untuk ayah dan Ib untuk ibu. Menurut kaidah perkalian, jumlah susunan gamet yang menghasilkan anak bergolongan darah AB adalah $1 \times 1 = 1$.

Terakhir, ditinjau kemungkinan golongan darah O, yaitu genotip Io Io. Hanya ada masing-masing 1 kemungkinan gamet untuk ayah dan ibu, yaitu Io baik untuk ayah maupun ibu. Menurut kaidah perkalian, jumlah susunan gamet yang menghasilkan anak bergolongan darah O adalah $1 \times 1 = 1$.

Berdasarkan penjabaran di atas, perkawinan antara

ayah bergolongan darah A heterozigot dan ibu bergolongan darah B heterozigot akan memiliki kemungkinan untuk menghasilkan 1 anak bergolongan darah A, 1 anak bergolongan darah B, 1 anak bergolongan darah AB, dan 1 anak bergolongan darah O untuk setiap 4 kelahiran anak.

Berdasarkan penjabaran di atas, dapat dilihat bahwa terdapat aplikasi teori kombinatorial pada Hukum Mendel untuk menyelesaikan persoalan penentuan kemungkinan golongan darah dalam sebuah keluarga.

VII. KESIMPULAN

Kombinatorial adalah sebuah studi dalam matematika diskrit yang membahas mengenai penyusunan objek-objek. Studi dalam kombinatorial meliputi dua kaidah dasar perhitungan yaitu kaidah perkalian dan kaidah penjumlahan, prinsip inklusi-eksklusi, aturan pembagian, permutasi, dan kombinasi. Kombinatorial dapat diaplikasikan dalam Hukum Mendel tentang pewarisan sifat. Hukum Mendel meliputi Hukum Segregasi, Hukum Pemisahan Independen, dan Hukum Dominansi. Aplikasi Hukum Mendel dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan sehari-hari. Salah satu persoalan yang dapat diselesaikan menggunakan Hukum Mendel adalah persoalan penentuan golongan darah dalam keluarga.

REFERENSI

- [1] <http://mathworld.wolfram.com/Combinatorics.html>
waktu akses 10 Desember 2014 pukul 16.15
- [2] <http://www.artikelbiologi.com/2013/01/penurunan-sifat-pada-manusia.html#>
waktu akses 11 Desember 2014 pukul 07.00
- [3] http://biology.about.com/od/geneticsglossary/g/law_of_segregation.htm
waktu akses 10 Desember 2014 pukul 18.23
- [4] Munir, Rinaldi. (2004). Diktat Kuliah IF2151 Matematika Diskrit Edisi Keempat. Departemen Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung.
- [5] Rosen, Kenneth H. "Discrete Mathematics and Its Applications", Fifth Edition. The McGraw-Hill Companies, 2003.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 27 November 2013



Chairuni Aulia Nusapati 13513054