



**PENERAPAN MODEL PERSAMAAN DIFERENSI DALAM
PENENTUAN PROBABILITAS GENOTIP KETURUNAN
DENGAN DUA SIFAT BEDA**

SKRIPSI

Oleh

**Dwi Agus Wijayanto
NIM 071810101099**

**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013**



**PENERAPAN MODEL PERSAMAAN DIFERENSI DALAM
PENENTUAN PROBABILITAS GENOTIP KETURUNAN
DENGAN DUA SIFAT BEDA**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Dwi Agus Wijayanto
NIM 071810101099

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2013

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Leacik dan Ayahanda Gandi Agus Salim, yang selalu memberikan do'a dan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
2. kakak tersayang, Ika Yulia Agustiningtiyas yang selalu memberikan semangat, dan keceriaan dalam hidupku;
3. guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan perguruan tinggi;
4. Almamater Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

MOTO

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum kaum itu sendiri mengubah apa yang ada pada diri mereka
(terjemahan Surat Ar-Ra'd ayat 11)^{*)}

^{*)} Departemen Agama Republik Indonesia. 2002. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Jakarta: CV. Pustaka Agung Harapan.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Dwi Agus Wijayanto

NIM : 071810101099

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Penerapan Model Persamaan Diferensi Dalam Penentuan Probabilitas Genotip Keturunan dengan Dua Sifat Beda” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 8 April 2013

Yang menyatakan,

Dwi Agus Wijayanto
NIM 071810101099

SKRIPSI

**PENERAPAN MODEL PERSAMAAN DIFERENSI DALAM
PENENTUAN PROBABILITAS GENOTIP KETURUNAN
DENGAN DUA SIFAT BEDA**

Oleh

Dwi Agus Wijayanto
071810101099

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Moh. Hasan, M.Sc., Ph.D.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Penerapan Model Persamaan Diferensi Dalam Penentuan Probabilitas Genotip Keturunan dengan Dua Sifat Beda” telah diuji dan disahkan pada :
hari, tanggal :
tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.
NIP. 196610121993031001

Drs. Moh. Hasan, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196404041988021001

Penguji I,

Penguji II,

Agustina Pradjaningsih, S.Si., M.Si.
NIP. 197108022000032009

Dr. Alfian Futuhul Hadi, S.Si., M.Si.
NIP. 19740719 2000121001

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph.D.
NIP. 196101081986021001

RINGKASAN

Penerapan Model Persamaan Diferensi Dalam Penentuan Probabilitas Genotip Keturunan dengan Dua Sifat Beda; Dwi Agus Wijayanto, 071810101099; 2013: 51 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Matematika merupakan ilmu yang mendasari ilmu pengetahuan yang lain. Misalnya dalam bidang genetika, matematika dapat digunakan menguraikan secara matematis besarnya frekuensi gen dalam suatu populasi. Sebagai contoh dalam suatu populasi manusia di suatu tempat, dapat diketahui seberapa besar frekuensi penduduk yang memiliki golongan darah A, B, AB ataupun O dalam kurun waktu tertentu. Dari nilai frekuensi tersebut dapat ditentukan kemungkinan penyebaran gen dalam suatu populasi. Besarnya kemungkinan penyebaran gen dipengaruhi dari banyaknya gen individu hasil persilangan atau perkawinan yang terjadi dalam populasi tersebut. Menurut Mendel, persilangan terdapat dua macam yaitu persilangan monohybrid (persilangan yang melibatkan satu sifat beda) dan persilangan dihibrid (persilangan yang melibatkan dua sifat beda). Persilangan dihibrid ini lebih rumit dibandingkan dengan persilangan monohybrid karena pada persilangan dihibrid melibatkan dua lokus. Konsep penting dalam genetika populasi yang melibatkan dua lokus adalah adanya keterkaitan antar keduanya. Selain itu, persilangan juga bisa terjadi secara acak ataupun terkontrol. Penyebaran gen pada persilangan acak dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan diferensi. Tujuan penelitian adalah membuat suatu persamaan diferensi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah tentang penentuan probabilitas individu dari hasil persilangan dihibrid yang terjadi secara acak dengan memperhatikan keterkaitan antar dua lokus serta mencari solusi dari persamaan diferensi yang diperoleh.

Penelitian dilakukan dalam beberapa langkah. Langkah pertama adalah menentukan jumlah masing-masing genotip pada generasi $n+1$ dengan menggunakan aturan probabilitas/peluang. Penentuan jumlah masing-masing genotip ini dilakukan pada kasus kondisi normal dan tak normal. Karena pada skripsi ini membahas perkawinan dihibrid maka langkah kedua yang harus dilakukan adalah membentuk persamaan diferensi dari pasangan alel. Langkah ketiga adalah menyelesaikan persamaan diferensi yang didapatkan dengan memberikan suatu nilai awal jumlah individu kemudian diamati pola grafik probabilitas genotip individu yang dihasilkan dari generasi ke-1 sampai generasi ke- n .

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa pada perkawinan dihibrid secara acak pada kondisi normal, jika tidak ada keterkaitan antar dua lokus maka besarnya probabilitas genotip tertentu untuk setiap generasi adalah sama dengan probabilitas genotip pada awal generasi, sehingga probabilitas genotip generasi ke- n sama dengan probabilitas genotip generasi ke-1. Jika dalam perkawinan antar dua lokus terdapat keterkaitan maka probabilitas genotipnya tidak sama untuk setiap generasi. Beberapa genotip memiliki probabilitas naik dan beberapa genotip yang lain memiliki probabilitas turun untuk setiap generasi. Namun kenaikan ataupun penurunan probabilitas genotip hanya sampai pada generasi tertentu saja dan selanjutnya nilai probabilitasnya sama dengan nilai probabilitas generasi sebelumnya. Untuk frekuensi fenotipnya sama setiap generasi jika tidak ada keterkaitan antar dua lokus sedangkan jika ada keterkaitan antar dua lokus maka probabilitas fenotipnya berubah dapat naik atau turun, namun kenaikan atau penurunan probabilitasnya hanya terbatas pada generasi tertentu saja dan selanjutnya nilai probabilitasnya sama dengan nilai probabilitas generasi sebelumnya.

Pada perkawinan dihibrid pada kondisi tidak normal , baik dalam kasus dua lokus saling berkaitan atau tidak adanya keterkaitan antar dua lokus, besarnya probabilitas genotip yang tidak memiliki gen letal naik setiap generasinya. Sedangkan besarnya probabilitas genotip yang memiliki gen letal semakin menurun untuk tiap generasinya. Jadi probabilitasnya pada generasi ke- n akan semakin kecil. Dengan demikian, gen letal tersebut akan semakin sedikit dalam populasi tersebut.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penerapan Model Persamaan Diferensi Dalam Penentuan Probabilitas Genotip Keturunan dengan Dua Sifat Beda”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Drs. Rusli Hidayat, M.Sc., dan Drs. Moh. Hasan, M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Agustina Pradjaningsih, S.Si., M.Si., dan Dr. Alfian Futuhul Hadi, S.Si., MSi., selaku dosen penguji yang telah memberi masukan dalam skripsi ini;
3. ibu dan bapak serta keluarga di rumah yang telah memberikan doa;
4. teman-teman angkatan 2007, atas kebersamaan selama waktu kuliah dan telah memberikan semangat dan motivasi;
5. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, April 2013

Penulis

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | ii |
| HALAMAN MOTO | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN PEMBIMBINGAN | v |
| HALAMAN PENGESAHAN | vi |
| RINGKASAN | vii |
| PRAKATA | x |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 3 |
| 1.4 Manfaat | 3 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Persamaan Diferensial | 4 |
| 2.1.1 Persamaan Diferensial Biasa | 4 |
| 2.1.2 Persamaan Diferensial Parsial | 4 |
| 2.2 Persamaan Diferensi | 5 |
| 2.3 Hubungan Persamaan Diferensial dan Persamaan Diferensi | 6 |

| | | |
|-----------------------|--|----|
| 2.4 | Frekuensi dan Probabilitas/Peluang | 7 |
| | 2.4.1 Peluang Bersyarat | 8 |
| | 2.4.2 Dua Peristiwa Saling Bebas..... | 8 |
| 2.5 | Genetika | 9 |
| 2.6 | Warisan Autosomal | 10 |
| 2.7 | Persilangan Satu Sifat Beda (Monohibrid) | 11 |
| 2.8 | Persilangan Dua Sifat Beda (Dihibrid) | 12 |
| BAB 3. | METODE PENELITIAN | 18 |
| BAB 4. | HASIL DAN PEMBAHASAN | 22 |
| 4.1 | Perkawinan Acak dalam Kondisi Normal | 22 |
| 4.2 | Perkawinan Acak Tidak Normal | 32 |
| | 4.2.1 Perkawinan Acak dengan Salah Satu Gen Resesif Bersifat Letal (Gen <i>a</i> bersifat letal) | 32 |
| | 4.2.2 Perkawinan Acak dengan Dua Gen Resesif Bersifat Letal (Gen <i>a</i> dan <i>b</i> bersifat letal)..... | 38 |
| | 4.2.3 Perkawinan Acak dengan Gen Dominan <i>A</i> dan Gen Resesif <i>b</i> Bersifat Letal (Gen <i>a</i> bersifat letal) | 43 |
| BAB 5. | PENUTUP | 48 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 50 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| 2.1 Kuadrat Punnet untuk persilangan monohibrid | 12 |
| 2.2 Genotip hasil persilangan dihibrid..... | 13 |
| 2.3 Kuadrat Punnet untuk persilangan dihibrid beserta probabilitas genotipnya. | 16 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Skema persilangan monohibrid..... | 12 |
| 3.1 Diagram metode penelitian | 18 |
| 4.1 Probabilitas genotip individu pada kondisi normal untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20..... | 27 |
| 4.2 Probabilitas fenotip individu pada kondisi normal untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20..... | 29 |
| 4.3 Probabilitas genotip individu pada kondisi normal dengan adanya keterkaitan antar dua lokus ($l = 0,4$) untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20 | 30 |
| 4.4 Probabilitas fenotip individu pada kondisi normal dengan adanya keterkaitan antar dua lokus ($l = 0,4$) untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20 | 31 |
| 4.5 Probabilitas genotip individu dengan gen a letal tanpa ada keterkaitan antar dua lokus | 37 |
| 4.6 Probabilitas genotip individu dengan gen a letal dengan ada keterkaitan antar dua lokus ($l = 0,4$) | 37 |
| 4.7 Probabilitas genotip individu dengan gen a dan b letal tanpa ada keterkaitan antar dua lokus | 42 |
| 4.8 Probabilitas genotip individu dengan gen a dan b letal dengan ada keterkaitan antar dua lokus | 42 |
| 4.9 Probabilitas genotip individu dengan gen A dan b letal tanpa ada keterkaitan antar dua lokus | 46 |
| 4.10 Probabilitas genotip individu dengan gen A dan b letal dengan ada keterkaitan antar dua lokus | 47 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| A. Grafik probabilitas genotip kondisi normal dengan nilai awal jumlah genotip $AABB$ 110, jumlah genotip $AABb$ 90 dan jumlah genotip $AaBb$ 150 dengan berbagai koefisien linkage..... | 52 |
| B. Grafik probabilitas genotip kondisi normal untuk contoh lain nilai awal dan koefisien linkage | 55 |
| C. Grafik probabilitas genotip dengan adanya gen a letal untuk contoh lain nilai awal dan koefisien linkage..... | 56 |
| D. Grafik probabilitas genotip dengan adanya gen a dan gen b letal untuk contoh lain nilai awal dan koefisien linkage..... | 57 |
| E. Grafik probabilitas genotip dengan adanya gen A dan gen b letal untuk contoh lain nilai awal dan koefisien linkage..... | 58 |
| F. Frekuensi fenotip individu pada kondisi normal dengan adanya keterkaitan antar dua lokus ($l = 0,4$) untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20 | 59 |
| G. Skrip Program | 60 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan ilmu yang mendasari ilmu pengetahuan lain. Banyak permasalahan yang melibatkan model matematika yang muncul dalam berbagai disiplin ilmu pengetahuan, salah satunya dalam biologi. Bentuk aplikasinya yaitu dalam genetika populasi. Menurut Suryo (1997:378), genetika populasi merupakan salah satu cabang ilmu genetika yang menguraikan secara matematis besarnya frekuensi gen dalam suatu populasi. Sebagai contoh dalam suatu populasi manusia di suatu tempat, dapat diketahui seberapa besar frekuensi penduduk yang memiliki golongan darah A, B, AB ataupun O dalam kurun waktu tertentu. Dari nilai frekuensi tersebut dapat ditentukan kemungkinan penyebaran gen dalam suatu populasi.

Penyebaran gen dapat terjadi jika ada persilangan atau perkawinan antar individu dalam suatu populasi. Berdasarkan jumlah sifat yang disilangkan, terdapat dua macam persilangan yaitu persilangan monohybrid dan persilangan dihibrid. Persilangan monohybrid merupakan persilangan dengan satu sifat beda sedangkan persilangan dihibrid merupakan persilangan dengan dua sifat beda. Persilangan dihibrid ini lebih rumit dibandingkan dengan persilangan monohybrid karena pada persilangan dihibrid melibatkan dua lokus. Menurut Okasha (2012), konsep penting dalam genetika populasi yang melibatkan dua lokus adalah adanya keterkaitan antar keduanya.

Persilangan dapat dilakukan secara acak maupun terkontrol. Menurut Fulford *et al.* (1997:185), penyebaran gen dengan persilangan acak dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan diferensi atau persamaan beda hingga. Penelitian tentang penentuan probabilitas genotip keturunan dalam suatu populasi dengan menggunakan persamaan diferensi sudah pernah dilakukan. Misalnya, dalam Bintari (2005), persamaan diferensi diaplikasikan untuk menentukan probabilitas genotip

keturunan hasil persilangan monohibrid (persilangan dengan satu sifat beda) pada kondisi normal. Sedangkan dalam Ismiyati (2009) persamaan diferensi diaplikasikan untuk menentukan probabilitas genotip keturunan hasil persilangan monohibrid pada kondisi terjadi mutasi. Penyebaran gen dengan persilangan terkontrol dapat diselesaikan dengan diagonalisasi matriks. Penelitian tentang penentuan probabilitas genotip keturunan dalam suatu populasi dengan menggunakan diagonalisasi matriks sudah pernah dilakukan oleh Islamiyah (2009) yang membahas tentang persilangan dihibrid (persilangan dengan dua sifat beda). Menurut Islamiyah (2009), untuk mencari probabilitas genotip dalam persilangan acak tidak dapat menggunakan diagonalisasi matriks karena dalam persilangan acak akan menghasilkan persamaan-persamaan yang tak linier.

Dari beberapa penelitian yang menggunakan persamaan diferensi di atas hanya terbatas pada persilangan dengan satu sifat beda saja. Padahal pada kondisi sebenarnya di alam, setiap individu memiliki banyak gen yang setiap gen akan memberikan sifat yang berbeda. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Islamiyah (2009) yang membahas persilangan dihibrid, terbatas pada persilangan secara terkontrol dan tidak menjelaskan tentang keterkaitan antar dua lokus. Pada kondisi sebenarnya di alam, dalam suatu populasi persilangan bisa terjadi secara acak. Oleh karena itu, penulis bermaksud ingin mengkaji penggunaan persamaan diferensi dalam penentuan probabilitas genotip keturunan dalam persilangan dengan dua sifat beda dengan memperhatikan keterkaitan antar dua lokus sehingga probabilitas genotip individu hasil persilangan dihibrid yang terjadi secara acak dapat ditentukan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam skripsi ini adalah bagaimana probabilitas genotip keturunan dalam persilangan acak dihibrid dengan menggunakan persamaan diferensi. Batasan masalah dalam skripsi ini adalah persilangan acak dihibrid terjadi dalam kondisi normal, yaitu tidak terdapat gen letal dan dalam kondisi tidak normal, yaitu individu memiliki gen letal, serta tidak memperhatikan etika

dalam perkawinan. Selain itu pewarisan gen hanya pada autosom. Dalam penyelesaian masalah ini, penulis menggunakan bantuan *software* Matlab 7.

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan skripsi ini adalah membuat suatu persamaan diferensi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah tentang penentuan probabilitas individu dari hasil persilangan dihibrid yang terjadi secara acak serta mencari solusi dari persamaan diferensi yang diperoleh.

1.4 Manfaat

Manfaat yang dapat diambil dari skripsi ini adalah dapat memberikan gambaran lebih jauh tentang aplikasi persamaan diferensi dalam menentukan probabilitas keturunan dalam persilangan dihibrid.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial adalah persamaan yang memuat satu atau beberapa turunan fungsi yang tak diketahui. Persamaan diferensial dibagi menjadi dua kelompok besar berdasarkan pada turunan fungsi terhadap variabel bebas yaitu persamaan diferensial biasa dan persamaan diferensial parsial.

2.1.1 Persamaan Diferensial Biasa

Persamaan diferensial biasa adalah persamaan yang memuat turunan terhadap fungsi yang memuat satu variabel bebas. Jika x adalah fungsi dari t , maka contoh persamaan diferensial biasa seperti pada persamaan berikut.

$$\frac{dx}{dt} = t^2 \cos x \quad (2.1)$$

Order dari persamaan diferensial adalah turunan tertinggi pada fungsi tak diketahui (peubah tak bebas) yang muncul dalam persamaan diferensial. Persamaan diferensial (2.1) memiliki order satu (Campbell & Haberman, 2008).

Berdasarkan sifat kelinieran (pangkat satu) dari peubah tak bebasnya, persamaan diferensial biasa dapat dibedakan menjadi persamaan diferensial biasa linier dan persamaan diferensial biasa nonlinier.

2.1.2 Persamaan Diferensial Parsial

Persamaan diferensial parsial adalah persamaan yang memuat turunan dari fungsi yang memuat lebih dari satu variabel bebas. Turunan parsial dinotasikan dengan subskrip sebagai berikut.

$$u_x = \frac{\partial u}{\partial x}, u_{xx} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, u_{xy} = \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}.$$

Sebagai contoh sederhana dari persamaan diferensial parsial dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = cu \quad (2.2)$$

Pada persamaan (2.2), $u = u(x, y)$ adalah suatu fungsi dengan dua peubah bebas x dan y , serta c adalah sebuah konstanta. Karena derajat tertinggi dari turunan parsial yang muncul di dalam persamaan (2.2) adalah satu, maka persamaan (2.2) disebut persamaan diferensial parsial order satu. Bagian utama dari persamaan (2.2) adalah $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$ dengan fungsi u selalu tergantung kepada lebih dari satu peubah. Peubah u yang diturunkan itu disebut dengan peubah tak bebas, yang diturunkan terhadap peubah bebas.

Peubah dari suatu persamaan diferensial parsial adalah banyaknya peubah bebas yang terdapat di dalam persamaan tersebut. Persamaan (2.2) adalah persamaan diferensial parsial dengan dua peubah x dan y (Hidayat, 2006).

2.2 Persamaan Diferensi

Fulford *et al.* (1997:109) menyatakan persamaan diferensi dapat didefinisikan sebagai aturan yang menyatakan tiap-tiap anggota dari barisan berkaitan dengan anggota sebelumnya. Jika aturan mendefinisikan anggota ke- n dari barisan dalam syarat dari anggota $n-1$ (dan juga kemungkinan anggota n itu sendiri) maka ini dinamakan persamaan diferensi order pertama. Persamaan diferensi orde satu dapat dinyatakan dengan persamaan (2.3).

$$y_{n+1} = ay_n + b \quad (2.3)$$

Dengan a dan b konstan, maka solusi dari persamaan diferensi tersebut adalah

$$y_n = \begin{cases} a^n \left(y_0 - \frac{b}{1-a} \right) + \frac{b}{1-a} & \text{jika } a \neq 1 \\ y_0 + nb & \text{jika } a = 1 \end{cases} \quad (2.4)$$

dengan $n = 0, 1, 2, \dots$ dan nilai awal y_0 yang diberikan.

Sedangkan aturan yang mendefinisikan anggota ke- n dari barisan dalam syarat dari anggota $n-2$ (dan juga kemungkinan anggota $n-1$ atau jumlah n itu sendiri) itu disebut persamaan diferensi order dua. Persamaan diferensi orde satu dapat dinyatakan dengan persamaan (2.5).

$$y_{n+2} = ay_{n+1} + by_n + c \quad (2.5)$$

Dengan $n = 0, 1, 2, \dots$. Persamaan diatas disebut persamaan diferensi homogen jika c bernilai nol.

Apabila persamaan diferensi tidak memenuhi persamaan (2.3) dan (2.5), persamaan diferensi tersebut disebut persamaan diferensi nonlinier dan penyelesaian dari persamaan diferensi nonlinier ke- n diperoleh dengan iterasi yaitu mencari suku kesatu, kedua, sampai suku ke- n secara berurutan.

2.3 Hubungan Persamaan Diferensial dan Persamaan Diferensi

Menurut Penna (2005), Persamaan diferensi merupakan analog dari persamaan diferensial dengan waktu diskrit. Bentuk persamaan diferensial adalah $\frac{dy}{dx} = F(x, y)$ sedangkan analog waktu diskritnya atau persamaan diferensinya berbentuk $\frac{\Delta y}{\Delta x} = F(x, y)$. Persamaan diferensi dapat digunakan untuk mencari solusi dari persamaan diferensial. Misalkan, dicari solusi $y = f(x)$ yang memenuhi persamaan $\frac{dy}{dx} = F(x, y)$ pada interval $[a, b]$, diberikan nilai $f(a)$ di $x = a$. Untuk semua nilai kecil h , maka berlaku sebagai berikut.

$$f'(x) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \approx \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad (2.6)$$

Kemudian interval $[a, b]$ dibagi menjadi N subinterval dengan panjang yang sama yaitu,

$$h = \frac{b - a}{N}$$

dengan N bilangan bulat yang besar, dan misalkan

$$x_n = a + n * h \quad (2.7)$$

dengan $n = 0, \dots, N$. Kemudian untuk setiap n , maka persamaan (2.6) menjadi,

$$f'(x_n) \approx \frac{f(x_n + h) - f(x_n)}{h} = F(x_n, y_n) \quad (2.8)$$

dimana $y_n = f(x_n)$, sehingga dari persamaan (2.7) dan (2.8) diperoleh persamaan berikut,

$$f(x_{n+1}) = f(x_n) + hF(x_n, y_n)$$

atau

$$y_{n+1} = y_n + hF(x_n, y_n) \quad (2.9)$$

Dari persamaan (2.9) dapat dicari nilai dari y_n untuk $n = 0 \dots N$ dengan memberikan nilai awal x_0 dan $f(a) = f(x_0)$, yaitu:

$$\begin{aligned} y_0 &= f(x_0) = f(a) \\ y_1 &= f(x_1) = f(x_0) + hF(x_0, y_0) \\ y_2 &= f(x_2) = f(x_1) + hF(x_1, y_1) \\ y_3 &= f(x_3) = f(x_2) + hF(x_2, y_2) \\ y_4 &= f(x_4) = f(x_3) + hF(x_3, y_3) \\ y_N &= f(x_N) = f(b) = f(x_{N-1}) + hF(x_{N-1}, y_{N-1}) \end{aligned}$$

2.4 Frekuensi dan Probabilitas/Peluang

Frekuensi merupakan banyaknya kejadian atau peristiwa yang mungkin terjadi dalam suatu percobaan. Misalkan dalam pelemparan satu uang logam sebanyak tiga kali maka akan diperoleh frekuensi kemunculan angka dua kali adalah tiga. Sedangkan peluang menggambarkan tingkat keyakinan seseorang terhadap sesuatu yang akan terjadi. Secara matematis peluang didefinisikan sebagai berikut.

Definisi 2.1 (Peluang peristiwa berhingga): Pada eksperimen dengan ruang sampel diskrit berhingga, jika peristiwa A terdiri atas $\#(A)$ titik sampel dan ruang sampel S terdiri atas $\#(S)$ titik sampel, yang masing-masing mempunyai peluang yang sama maka penghitungan peluangnya sebagai berikut (Tirta, 2004: 38).

$$P(A) = \frac{\#(A)}{\#(S)} \quad (2.10)$$

Definisi 2.1 (Definisi aksiomatik peluang): Misalkan S ruang sampel dari suatu percobaan. Untuk setiap kejadian A pada ruang sampel ini, diasumsikan ada suatu bilangan $P(A)$ yang memenuhi tiga aksioma berikut (Arliani, 2006).

- a. $0 \leq P(A) \leq 1$
 - b. $P(S) = 1$
 - c. Untuk sembarang kejadian A_1, A_2, \dots yang saling asing, yaitu $A_i \cap A_j = \emptyset$ untuk $i \neq j$, $P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n)$.
- $P(A)$ disebut peluang kejadian A .

2.4.1 Peluang Bersyarat

Menurut Arliani (2006) jika kejadian A dan B dalam ruang sampel S , maka peluang terjadinya A dengan syarat B telah terjadi atau peluang dengan syarat B dinotasikan dengan $P(A|B)$ adalah sebagai berikut.

$$P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (2.11)$$

Dari persamaan (2.11) diperoleh peluang $A \cap B$ sebagai berikut.

$$P(A \cap B) = P(A|B)P(B) \quad (2.12)$$

2.4.2 Dua Peristiwa Saling Bebas

Dua peristiwa dikatakan saling bebas apabila terjadinya peristiwa yang satu tidak dipengaruhi oleh peristiwa yang lain. Dengan kata lain, peluang terjadinya peristiwa yang satu tidak dipengaruhi peluang terjadinya peristiwa yang lain.

Definisi 2.2: Jika A dan B saling bebas maka peristiwa A tidak bergantung pada B , dengan kata lain $P(A|B) = P(A)$.

Menurut Tirta (2004: 46), dari definisi 2.3 dapat diturunkan besarnya peluang $A \cap B$, jika A dan B saling bebas sesuai dengan teorema 2.1 berikut.

Teorema 2.1: Peristiwa A dan B dikatakan saling bebas, jika dan hanya jika

$$P(A \cap B) = P(A \cap B) = P(A)P(B)$$

2.5 Genetika

Genetika adalah cabang biologi tentang sifat-sifat yang menurun (hereditas) dan variasinya. Unit-unit hereditas yang dipindahkan dari satu generasi ke generasi berikutnya disebut gen (Stansfield, 1991:1). Gen merupakan faktor turunan tersimpan didalam kromosom, yaitu di dalam manik-manik yang disebut kromomer atau nukleosom dari kromosom yang mengandung satuan informasi genetik dan mengatur sifat-sifat menurun tertentu, memenuhi lokus suatu kromosom. Satu kromosom adalah satu paket lengkap tentang informasi karakteristik jenis individu tersebut. Kromosom terbagi menjadi dua macam yaitu kromosom kelamin (gonosom) dan kromosom tubuh (autosom). Setiap kromosom mengandung banyak gen. Gen terdiri dari DNA merupakan satuan informasi dalam makhluk hidup, tersusun atas 4 kode asam amino (*Guanine, Tymin, Adenin, dan Cytocine*) dan dihubungkan dengan rantai karbon. Asam amino yang tersusun tersebut mengkodekan sifat dan karakteristik individu tersebut. Alel merupakan anggota dari sepasang gen. Gen memiliki sifat-sifat antara lain:

- a. dapat menduplikasi diri menjadi dua bentuk yang sama persis,
- b. mengandung informasi genetik, dan
- c. merupakan zarah tersendiri yang menempati lokus tertentu dalam kromosom.

Fenotip adalah sifat pada suatu individu yang dapat diamati secara fisik dengan pancaindra sedangkan sifat yang tidak dapat diamati dinamakan genotip. Genotip suatu individu diberi simbol dengan dua huruf. Misalkan ada gen *A* berperan menumbuhkan karakter pigmentasi kulit secara normal maka ada gen *a* yang tidak mampu menumbuhkan pigmentasi kulit secara normal (albino). Gen *a* ditulis dengan huruf kecil karena karakter yang ditumbuhkannya bersifat resesif sedangkan gen *A* bersifat dominan terhadap gen *a*. Jadi gen *A* memiliki alel yaitu gen *a*. Sifat suatu individu yang genotipnya terdiri dari gen-gen yang sama dari tiap jenis gen dinamakan homozigotik dan sifat suatu individu yang genotipnya terdiri dari gen-gen yang berlainan dari tiap jenis gen dinamakan heterozigotik. Pada persilangan individu dengan satu sifat beda, genotip individu dituliskan *AA*. Sedangkan pada persilangan

individu dengan dua sifat beda, genotip individu dituliskan $AABB$, dengan A dan B adalah sifat berbeda yang dimiliki oleh individu tersebut.

2.6 Warisan Autosomal

Sifat autosomal adalah sifat keturunan yang ditentukan oleh gen pada autosom. Gen pada autosom mempunyai dua macam yaitu dominan dan resesif. Karena jantan dan betina mempunyai autosom yang sama, maka sifat keturunan yang ditentukan oleh gen autosomal dapat ditemukan pada jantan maupun betina (Suryo, 1997:102). Pada pewarisan autosomal suatu keturunan akan mewarisi satu gen dari pasangan gen induknya. Besarnya peluang suatu keturunan mendapatkan warisan satu gen dari pasangan gen salah satu induknya adalah sama. Jika suatu induk memiliki genotip Aa maka peluang keturunannya mewarisi gen A sama dengan peluang keturunannya mewarisi gen a . Jadi, jika induk pertama bergenotip Aa dan induk kedua bergenotip Aa maka genotip keturunan yang mungkin terjadi adalah AA , Aa , dan aa .

Pada pewarisan gen autosomal dominan, jika individu heterozigotik (pembawa penyakit) kawin dengan individu normal maka dalam keturunan kemungkinan timbulnya penyakit adalah 50 %. Sedangkan sifat keturunan yang ditentukan oleh sebuah gen resesif pada autosom baru akan tampak apabila suatu individu menerima gen itu dari kedua orang tuanya. Biasanya kedua orang tua itu nampak normal meskipun mereka itu sebenarnya pembawa (*carier*) gen resesif yang dimaksud, berarti bahwa mereka itu masing-masing heterozigotik (Suryo, 1997:117).

Beberapa sifat keturunan atau penyakit keturunan yang ditentukan gen resesif autosomal ialah mata biru, *cystic fibrosis* (kelainan dalam metabolisme protein sehingga mengakibatkan kerusakan pada pankreas), *tay sachs* (urat syaraf mengalami kemunduran), *phenilketonuria* (tidak mampu membentuk enzim phenylalanin hidroksilase), *albinisme* (tidak dapat merubah tirosin menjadi melamin) dan lain lain (Suryo, 1997:119).

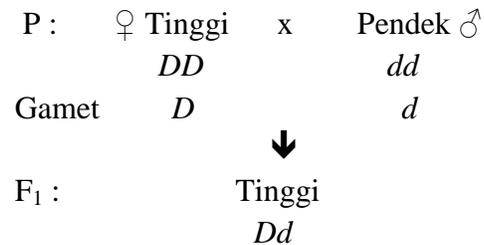
Gen letal adalah gen yang dalam keadaan homozigotik menyebabkan kematian individu. Gen letal dibedakan atas gen letal dominan dan gen letal resesif. Gen letal dominan adalah gen dominan yang bila homozigotik akan menyebabkan individu mati. Penyakit yang disebabkan oleh gen letal dominan antara lain: ayam *creeper*, tikus kuning, penyakit *huntington's chorea* pada manusia dan brakhidaktili. Sedangkan gen resesif letal adalah gen resesif yang bila homozigotik akan menyebabkan kematian individu. Penyakit yang disebabkan oleh gen resesif letal yaitu tanaman jagung berdaun putih dan *ichthyosis congenita* (Suryo, 1997:134).

Untuk mengetahui kemungkinan genotip individu yang diwariskan oleh induknya dalam suatu persilangan dapat digunakan kuadrat Punnet yang dikenalkan oleh ahli genetik berkebangsaan Inggris R. C. Punnet. Kuadrat punnet ini menyajikan alel dari induk jantan ditulis di sisi atas dan alel induk betina di sisi samping. Penentuan genotip keturunannya didasarkan pada penggabungan alel dari induk jantan dan betina.

2.7 Persilangan Satu Sifat Beda (Monohibrid)

Persilangan satu sifat beda didasarkan pada percobaan Mendel yang menyilangkan tanaman ercis (*Pisum sativum*) tinggi dan tanaman ercis pendek yang masing - masing merupakan galur murni. Susanto (2008) mengemukakan bahwa sebelum melakukan suatu persilangan, setiap individu menghasilkan gamet-gamet yang kandungan gennya separuh dari kandungan gen pada individu. Sebagai contoh, individu DD akan membentuk gamet D , dan individu dd akan membentuk gamet d . Pada individu Dd , yang menghasilkan gamet D dan gamet d , akan terlihat bahwa gen D dan gen d akan dipisahkan (disegregasi) ke dalam gamet-gamet yang terbentuk tersebut. Prinsip inilah yang kemudian dikenal sebagai hukum segregasi atau hukum I Mendel yaitu pada waktu berlangsung pembentukan gamet, tiap pasang gen akan disegregasi ke dalam masing-masing gamet yang terbentuk.

Dengan demikian, menurut hukum I Mendel skema penyilangan kacang ercis tinggi dan kacang ercis pendek dapat dilihat pada skema berikut.



Gambar 2.1 Skema persilangan monohibrid

Dari keturunan pertama (F_1) dapat disilangkan dengan sesamanya menghasilkan keturunan kedua yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kuadrat Punnet untuk persilangan monohibrid

| Gamet jantan | D | d |
|--------------|------------------|------------------|
| Gamet betina | DD (tinggi) | Dd (tinggi) |
| d | Dd (tinggi) | dd (pendek) |

Dari penjelasan di atas, dapat ditentukan frekuensi dari masing-masing gamet yang dihasilkan dari setiap individu baik yang dominan (gamet D) maupun yang resesif (gamet d) adalah sama. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$P(D) = P(d) = \frac{1}{2} \quad (2.13)$$

Persamaan (2.13) sudah memenuhi sifat identitas dari peluang yaitu

$$P(D) + P(d) = 1.$$

2.8 Persilangan Dua Sifat Beda (Dihybrid)

Persilangan dua sifat beda didasarkan pada hukum II Mendel yang menyatakan segregasi suatu pasangan gen tidak bergantung kepada segregasi pasangan gen lainnya, sehingga di dalam gamet-gamet yang terbentuk akan terjadi pemilihan kombinasi gen-gen secara bebas (Susanto, 2008). Dimisalkan ada dua

pasang gen $A-a$ dan $B-b$ maka ada empat macam pengelompokan kedua macam gen tersebut. Berikut ini pengelompokan pasangan gen:

- a. pasangan alel A dan alel B ,
- b. pasangan alel a dan alel b ,
- c. pasangan alel A dan alel b ,
- d. pasangan alel a dan alel B .

Kemungkinan genotip hasil persilangan dihibrid dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Genotip hasil persilangan dihibrid

| Jantan \ Betina | AB | Ab | aB | ab |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|
| AB | $AABB$ | $AABb$ | $AaBB$ | $AaBb$ |
| Ab | $AABb$ | $AAbb$ | $AaBb$ | $Aabb$ |
| aB | $AaBB$ | $AaBb$ | $aaBB$ | $aaBb$ |
| ab | $AaBb$ | $Aabb$ | $aaBb$ | $aabb$ |

Dari Tabel 2.2, didapatkan sembilan kemungkinan genotip individu yaitu $aabb$, $AABb$, dan $AABB$. Untuk mencari frekuensi genotip tersebut diperlukan frekuensi pasangan alel ab , Ab , AB , dan aB . Menurut Okasha (2006), terdapat konsep penting untuk menentukan frekuensi pasangan alel pada persilangan dihibrid yaitu keterkaitan antar dua lokus. Keterkaitan tersebut didasarkan pada jarak antara kedua lokus. Dua lokus dikatakan terkait sempurna jika letak kedua lokus tersebut berdekatan pada kromosom yang sama. Sedangkan dua lokus dikatakan tidak terkait jika terletak pada kromosom yang sama tetapi jarak antara keduanya jauh atau kedua lokus tersebut terletak pada kromosom yang berbeda. Jika dua lokus saling terkait maka alel A dari lokus A akan condong untuk berpasangan dengan alel B dari lokus B dan alel a dari lokus A akan condong untuk berpasangan dengan alel b dari lokus B. Fitch (1997) merumuskan frekuensi alel tanpa ada keterkaitan antar kedua lokus sebagai berikut.

$$\left. \begin{aligned}
 P(a) &= p(ab) + p(aB) \\
 P(A) &= p(Ab) + p(AB) = 1 - p(a) \\
 P(b) &= p(ab) + p(Ab) \\
 P(B) &= p(aB) + p(AB) = 1 - p(b) \\
 P(ab) &= p(a)p(b) \\
 p(Ab) &= p(A)p(b) \\
 p(AB) &= p(A)p(B) \\
 p(aB) &= p(a)p(B)
 \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Rumusan frekuensi pasangan alel dengan adanya keterkaitan antar kedua lokus adalah sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned}
 P(ab) &= P(ab) - lD \\
 P(aB) &= P(aB) + lD \\
 P(Ab) &= P(Ab) + lD \\
 P(AB) &= P(AB) - lD
 \end{aligned} \right\} \quad (2.15)$$

dengan

$$D = P(AB)P(ab) - P(Ab)P(aB);$$

$P(ab)$ = frekuensi pasangan alel a dan alel b ,

$P(aB)$ = frekuensi pasangan alel a dan alel B ,

$P(Ab)$ = frekuensi pasangan alel A dan alel b ,

$P(AB)$ = frekuensi pasangan alel A dan alel B ,

$P(a)$ = frekuensi alel a ,

$P(A)$ = frekuensi alel A ,

$P(b)$ = frekuensi alel b ,

$P(B)$ = frekuensi alel B ,

l = koefisien keterkaitan antar dua lokus yang nilainya $0 \leq l \leq 0,5$.

Jika jumlah individu yang memiliki genotip tertentu diketahui maka menurut Fulford *et al.* (1997:182), frekuensi pasangan alel dapat dicari dengan membagi jumlah pasangan alel tersebut dalam populasi dengan jumlah total pasangan alel dalam populasi. Misalkan untuk menyatakan frekuensi pasangan alel ab , langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan jumlah individu yang memiliki

pasangan alel ab yaitu $2x_{aabb} + x_{Aabb} + x_{aaBb} + x_{AaBb}$, dengan x_{aabb} merupakan jumlah individu yang bergenotip $aabb$, x_{Aabb} merupakan jumlah individu yang bergenotip $Aabb$, dan seterusnya. Kemudian hasilnya dibagi dengan jumlah total pasangan alel yaitu $2X$, dengan X adalah jumlah individu. Sehingga frekuensi pasangan alel ab dapat dilihat pada persamaan (2.16a).

$$w = \frac{2x_{aabb} + x_{Aabb} + x_{aaBb} + x_{AaBb}}{2X} \quad (2.16a)$$

Dengan cara yang sama juga diperoleh :

$$v = \frac{2x_{aaBB} + x_{aaBb} + x_{AaBB} + x_{AaBb}}{2X} \quad (2.16b)$$

$$u = \frac{2x_{AAbb} + x_{AABb} + x_{Aabb} + x_{AaBb}}{2X} \quad (2.16c)$$

$$t = \frac{2x_{AABB} + x_{AABb} + x_{AaBB} + x_{AaBb}}{2X} \quad (2.16d)$$

dengan

w = frekuensi pasangan alel a dan alel b

v = frekuensi pasangan alel a dan alel B

u = frekuensi pasangan alel A dan alel b

t = frekuensi pasangan alel A dan alel B

Pada persamaan diferensi diberikan notasi t_n, u_n, v_n, w_n untuk empat frekuensi pasangan alel pada generasi ke- n dan $c_n, d_n, e_n, f_n, g_n, h_n, i_n, j_n, k_n$ untuk sembilan frekuensi genotip pada akhir generasi ke- n . Kemudian didefinisikan frekuensi genotip pada generasi ke- $(n+1)$. Diagram kuadrat punnet untuk persilangan acak dengan dua sifat beda yang dilengkapi dengan frekuensi genotip setiap individu dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Kuadrat Punnet untuk persilangan dihibrid beserta frekuensi genotipnya

| Jantan \ Betina | <i>AB</i> | <i>Ab</i> | <i>aB</i> | <i>ab</i> |
|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | $t_n = p_n r_n$ | $u_n = p_n s_n$ | $v_n = q_n r_n$ | $w_n = q_n s_n$ |
| <i>AB</i> | <i>AABB</i> | <i>AABb</i> | <i>AaBB</i> | <i>AaBb</i> |
| $t_n = p_n r_n$ | $c_{n+1}^* = (p_n)^2 (r_n)^2$ | $d_{n+1}^* = (p_n)^2 r_n s_n$ | $f_{n+1}^* = p_n q_n (r_n)^2$ | $g_{n+1}^* = p_n q_n r_n s_n$ |
| <i>Ab</i> | <i>AABb</i> | <i>AAbb</i> | <i>AaBb</i> | <i>Aabb</i> |
| $u_n = p_n s_n$ | $d_{n+1}^* = (p_n)^2 r_n s_n$ | $e_{n+1}^* = (p_n)^2 (s_n)^2$ | $g_{n+1}^* = p_n q_n r_n s_n$ | $h_{n+1}^* = p_n q_n (s_n)^2$ |
| <i>aB</i> | <i>AaBB</i> | <i>AaBb</i> | <i>aaBB</i> | <i>aaBb</i> |
| $v_n = q_n r_n$ | $f_{n+1}^* = p_n q_n (r_n)^2$ | $g_{n+1}^* = p_n q_n r_n s_n$ | $i_{n+1}^* = (q_n)^2 (r_n)^2$ | $j_{n+1}^* = (q_n)^2 r_n s_n$ |
| <i>ab</i> | <i>AaBb</i> | <i>Aabb</i> | <i>aaBb</i> | <i>aabb</i> |
| $w_n = q_n s_n$ | $g_{n+1}^* = p_n q_n r_n s_n$ | $h_{n+1}^* = p_n q_n (s_n)^2$ | $j_{n+1}^* = (q_n)^2 r_n s_n$ | $k_{n+1}^* = (q_n)^2 (s_n)^2$ |

Dari Tabel 2.3 dapat ditentukan frekuensi genotip generasi ke-($n+1$) yaitu,

$$\left. \begin{aligned}
 c_{n+1}^* &= (p_n)^2 (r_n)^2 = (t_n)^2 \\
 d_{n+1}^* &= 2(p_n)^2 r_n s_n = 2t_n u_n \\
 e_{n+1}^* &= (p_n)^2 (s_n)^2 = (u_n)^2 \\
 f_{n+1}^* &= 2p_n q_n (r_n)^2 = 2t_n v_n \\
 g_{n+1}^* &= 4p_n q_n r_n s_n = 2t_n w_n + 2u_n v_n \\
 h_{n+1}^* &= 2p_n q_n (s_n)^2 = 2u_n w_n \\
 i_{n+1}^* &= (q_n)^2 (r_n)^2 = (v_n)^2 \\
 j_{n+1}^* &= 2(q_n)^2 r_n s_n = 2v_n w_n \\
 k_{n+1}^* &= (q_n)^2 (s_n)^2 = (w_n)^2
 \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

dengan

c_{n+1}^* = frekuensi individu yang memiliki genotip *AABB* dari persilangan alel *AB* dengan alel *AB* pada permulaan generasi ke-($n+1$)

d_{n+1}^* = frekuensi individu yang memiliki genotip $AABb$ dari persilangan alel AB dengan alel Ab pada permulaan generasi ke- $(n+1)$

e_{n+1}^* = frekuensi individu yang memiliki genotip $AAbb$ dari persilangan alel Ab dengan alel Ab pada permulaan generasi ke- $(n+1)$

f_{n+1}^* = frekuensi individu yang memiliki genotip $AaBB$ dari persilangan alel AB dengan alel aB pada permulaan generasi ke- $(n+1)$

g_{n+1}^* = frekuensi individu yang memiliki genotip $AaBb$ dari persilangan alel AB dengan alel ab dan alel Ab dengan alel aB pada permulaan generasi ke- $(n+1)$

h_{n+1}^* = frekuensi individu yang memiliki genotip $Aabb$ dari persilangan alel Ab dengan alel ab pada permulaan generasi ke- $(n+1)$

i_{n+1}^* = frekuensi individu yang memiliki genotip $aaBB$ dari persilangan alel aB dengan alel aB pada permulaan generasi ke- $(n+1)$

j_{n+1}^* = frekuensi individu yang memiliki genotip $aaBb$ dari persilangan alel ab dengan alel aB pada permulaan generasi ke- $(n+1)$

k_{n+1}^* = frekuensi individu yang memiliki genotip $aabb$ dari persilangan alel ab dengan alel ab pada permulaan generasi ke- $(n+1)$

w_n = frekuensi pasangan alel a dan alel b pada generasi ke- $(n+1)$

v_n = frekuensi pasangan alel a dan alel B pada generasi ke- $(n+1)$

u_n = frekuensi pasangan alel A dan alel b pada generasi ke- $(n+1)$

t_n = frekuensi pasangan alel A dan alel B pada generasi ke- $(n+1)$

p_n = frekuensi alel A pada generasi ke- $(n+1)$

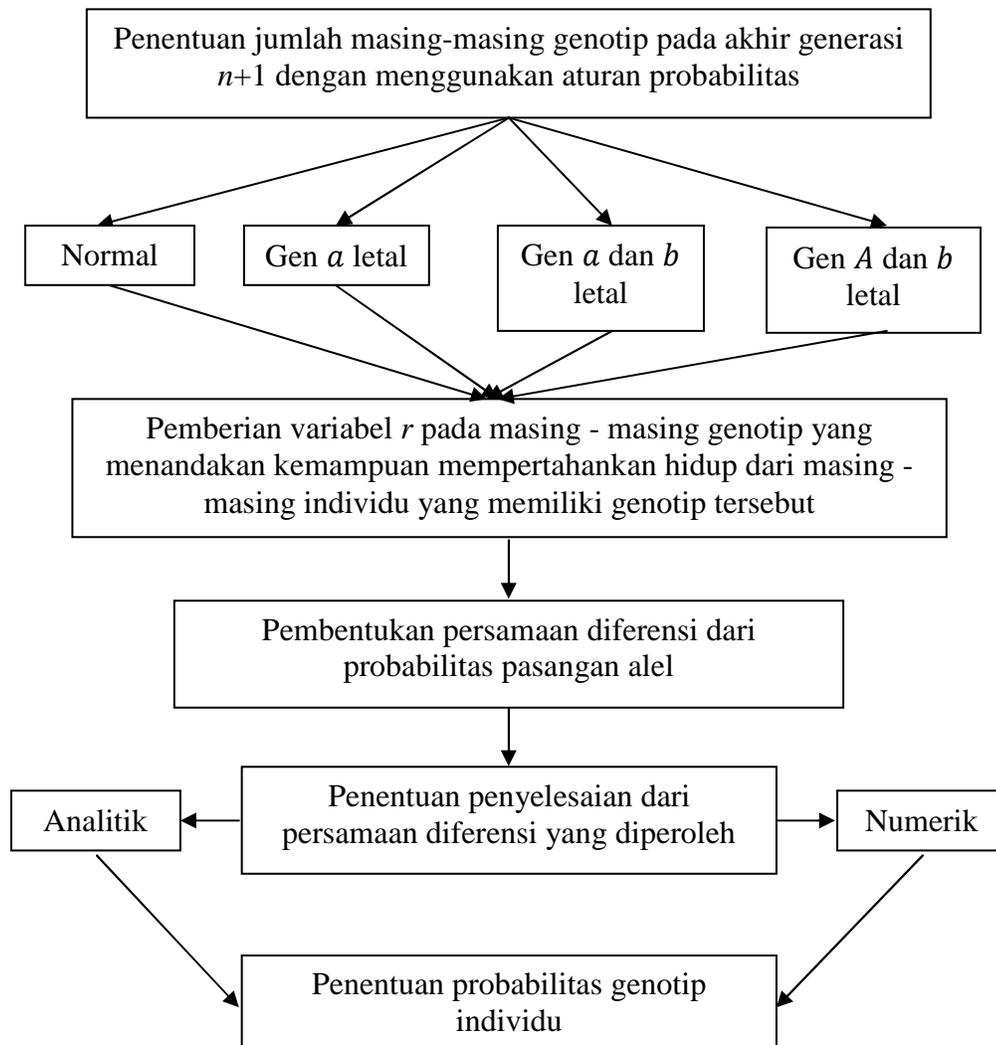
q_n = frekuensi alel a pada generasi ke- $(n+1)$

r_n = frekuensi alel B pada generasi ke- $(n+1)$

s_n = frekuensi alel b pada generasi ke- $(n+1)$

BAB 3. METODE PENELITIAN

Secara skematik, langkah-langkah yang dilakukan untuk menentukan persamaan diferensi dalam penentuan probabilitas genotip keturunan dalam perkawinan dengan dua sifat beda tampak pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram metode penelitian

Penjelasan lebih rinci masing-masing tahapan diuraikan sebagai berikut.

1. Penentuan jumlah masing-masing genotip pada generasi $n + 1$ dengan menggunakan aturan probabilitas/peleuang. Dalam hal ini, variabel yang harus diketahui adalah probabilitas genotip dan jumlah total individu. Misalkan diketahui probabilitas genotip $AABB$ adalah p dan jumlah total individu pada generasi ke- n adalah N maka jumlah individu bergenotip $AABB$ adalah $N(AABB) = pN$. Penentuan jumlah ini dilakukan untuk beberapa model yaitu
 - a. pada kondisi normal, maksudnya adalah perkawinan acak dengan kemampuan mempertahankan hidup
 - b. perkawinan acak dengan gen a bersifat letal
 - c. perkawinan acak dengan gen a dan b bersifat letal
 - d. perkawinan acak dengan gen A dan b bersifat letal
2. Pemberian variabel r pada setiap individu, tergantung pada asumsi – asumsi yang telah ditentukan pada langkah pertama. Variabel r ini menunjukkan seberapa besar kemungkinan individu untuk bertahan hidup sampai akhir generasi. Nilai r berkisar antara 0 sampai 1. Jika $r = 0$ maka individu tersebut akan mati ataupun sebaliknya jika $r = 1$ maka individu tersebut dapat bertahan hidup. Untuk $0 < r < 1$ berarti sebagian individu mati karena adanya seleksi alam atau karena faktor yang lain. Langkah ini berlaku untuk setiap model.
3. Pembentukan persamaan diferensi dari pasangan alel dari setiap model. Pasangan alel ini terdiri dari AB , Ab , aB , dan ab . Persamaan diferensi dari pasangan alel tersebut dapat dicari dengan menggunakan persamaan (2.16).
4. Penyelesaian dari langkah keempat dapat dilakukan secara analitis dan numerik. Penyelesaian analitis ini digunakan jika persamaan diferensi yang didapat dari langkah keempat mudah untuk ditemukan solusi umumnya. Jika tidak maka digunakan penyelesaian secara numerik.

5. Probabilitas genotip dapat dicari dengan mengalikan probabilitas dua pasang alel. Misalkan ingin mencari probabilitas genotip $AABB$ yaitu.

$$P(AABB) = P(AB)P(AB)$$

Setelah itu probabilitas genotip dari generasi pertama sampai generasi ke- n divisualisasikan dengan grafik. Penyajian dengan grafik ini menggunakan bantuan *software* Matlab 7.

Pada persilangan kondisi normal, selain ditentukan probabilitas genotip juga akan ditentukan probabilitas fenotipnya. Dalam penentuan probabilitas fenotip ini digunakan aturan dominan resesif gen yaitu gen A dominan terhadap gen a , dan gen B dominan terhadap gen b . Jika individu memiliki genotip $AaBb$ maka sifat yang akan tampak adalah sifat dari gen A dan gen B . Jadi untuk penulisan fenotip dari genotip $AaBb$ adalah fenotip AB .

Variabel-variabel yang digunakan untuk merumuskan persamaan diferensi masing-masing model sudah dijelaskan BAB 2. Oleh sebab itu, sesuai dengan sifat jumlah probabilitas variabel-variabel tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} t_n + u_n + v_n + w_n &= 1 \\ p_n + q_n &= 1 \\ r_n + s_n &= 1 \\ p_n &= t_n + u_n \\ q_n &= w_n + v_n \\ r_n &= t_n + v_n \\ s_n &= w_n + u_n \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

untuk $n = 0, 1, 2, 3, \dots, N$ dengan

N = bilangan bulat

t_n = frekuensi pasangan alel A dan alel B generasi ke- n

u_n = frekuensi pasangan alel A dan alel b generasi ke- n

v_n = frekuensi pasangan alel a dan alel B generasi ke- n

w_n = frekuensi pasangan alel a dan alel b generasi ke- n

p_n = frekuensi alel A generasi ke- n

q_n = frekuensi alel a generasi ke- n

r_n = frekuensi alel B generasi ke- n

s_n = frekuensi alel b generasi ke- n

Persamaan (3) ini digunakan untuk penyusunan persamaan diferensi pasangan alel.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas tentang masalah penentuan probabilitas genotip warisan autosomal individu. Pembahasan pertama adalah pembahasan mengenai perkawinan acak normal yaitu perkawinan yang setiap individunya memiliki kesamaan kemampuan mempertahankan hidup setiap individu. Kedua adalah perkawinan acak tidak normal yaitu perkawinan yang melibatkan gen letal. Pada masing-masing subbab tersebut akan dibahas tentang penurunan persamaan diferensi probabilitas genotip kemudian akan ditampilkan hasilnya dalam bentuk grafik probabilitas.

4.1 Perkawinan Acak dalam Kondisi Normal

Langkah pertama dalam penentuan persamaan diferensi dari probabilitas genotip adalah dengan cara menentukan jumlah individu yang memiliki genotip tertentu pada generasi ke- $(n+1)$ terlebih dahulu. Misalkan ditentukan $x_{n+1}^*(AABB)$ adalah jumlah individu yang bergenotip $AABB$ pada generasi ke- $(n+1)$. Hal sama juga berlaku untuk pemberian variabel jumlah individu bergenotip lain. Jumlah individu bergenotip $AABB$ pada generasi ke- $(n+1)$ dapat diperoleh dengan mengalikan probabilitas individu bergenotip $AABB$ dengan jumlah total individu yang ada pada generasi $(n+1)$. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned}
x_{n+1(AABB)}^* &= c_{n+1}^* X_{n+1} = (t_n)^2 X_{n+1} \\
x_{n+1(AABb)}^* &= d_{n+1}^* X_{n+1} = 2t_n u_n X_{n+1} \\
x_{n+1(AAbb)}^* &= e_{n+1}^* X_{n+1} = (u_n)^2 X_{n+1} \\
x_{n+1(AaBB)}^* &= f_{n+1}^* X_{n+1} = 2t_n v_n X_{n+1} \\
x_{n+1(AaBb)}^* &= g_{n+1}^* X_{n+1} = (2t_n w_n + 2u_n v_n) X_{n+1} \\
x_{n+1(Aabb)}^* &= h_{n+1}^* X_{n+1} = 2u_n w_n X_{n+1} \\
x_{n+1(aaBB)}^* &= i_{n+1}^* X_{n+1} = (v_n)^2 X_{n+1} \\
x_{n+1(aaBb)}^* &= j_{n+1}^* X_{n+1} = 2v_n w_n X_{n+1} \\
x_{n+1(aabb)}^* &= k_{n+1}^* X_{n+1} = (w_n)^2 X_{n+1}
\end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

dengan X_{n+1} adalah jumlah individu total pada generasi ke-($n+1$).

Dari asumsi kesamaan untuk bertahan hidup, maka terdapat sebuah faktor r dari setiap genotip yang dapat mempengaruhi ketahanan hidup hingga akhir generasi ke-($n+1$). Oleh karena itu, persamaan (4.1) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned}
x_{n+1(AABB)}^* &= r c_{n+1}^* X_{n+1} = r(t_n)^2 X_{n+1} \\
x_{n+1(AABb)}^* &= r d_{n+1}^* X_{n+1} = r 2t_n u_n X_{n+1} \\
x_{n+1(AAbb)}^* &= r e_{n+1}^* X_{n+1} = r(u_n)^2 X_{n+1} \\
x_{n+1(AaBB)}^* &= r f_{n+1}^* X_{n+1} = r 2t_n v_n X_{n+1} \\
x_{n+1(AaBb)}^* &= r g_{n+1}^* X_{n+1} = r(2t_n w_n + 2u_n v_n) X_{n+1} \\
x_{n+1(Aabb)}^* &= r h_{n+1}^* X_{n+1} = r 2u_n w_n X_{n+1} \\
x_{n+1(aaBB)}^* &= r i_{n+1}^* X_{n+1} = r(v_n)^2 X_{n+1} \\
x_{n+1(aaBb)}^* &= r j_{n+1}^* X_{n+1} = r 2v_n w_n X_{n+1} \\
x_{n+1(aabb)}^* &= r k_{n+1}^* X_{n+1} = r(w_n)^2 X_{n+1}
\end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Dari persamaan (2.16), (3), dan (4.3) akan dapat ditentukan persamaan diferensi probabilitas pasangan alel sebagai berikut.

a. Persamaan diferensi dari pasangan alel ab pada generasi ke-($n+1$).

$$\begin{aligned}
w_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } ab}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
&= \frac{2x_{n+1(aabb)}^* + x_{n+1(Aabb)}^* + x_{n+1(aaBb)}^* + x_{n+1(AaBb)}^*}{2[x_{n+1(AABB)}^* + x_{n+1(AABb)}^* + \dots + x_{n+1(aabb)}^*]}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{[2r(w_n)^2 + r2u_nw_n + r2v_nw_n + r2t_nw_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_nu_n + r(u_n)^2 + r2t_nv_n + r(2t_nw_n + 2u_nv_n) + r2u_nw_n + r(v_n)^2 + r2v_nw_n + r(w_n)^2]X_{n+1}} \\
&= \frac{2rw_n[w_n + u_n + v_n + t_n]}{2r[(t_n)^2 + 2t_nu_n + (u_n)^2 + 2t_nv_n + (2t_nw_n + 2u_nv_n) + 2u_nw_n + (v_n)^2 + 2v_nw_n + (w_n)^2]} \\
&= \frac{w_n}{(t_n + u_n)^2 + 2t_nv_n + 2t_nw_n + 2u_nv_n + 2u_nw_n + (v_n + w_n)^2} \\
&= \frac{w_n}{(p_n)^2 + 2t_n(v_n + w_n) + 2u_n(v_n + w_n) + (q_n)^2} \\
&= \frac{w_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n + (q_n)^2} \\
&= \frac{w_n}{(p_n)^2 + 2p_nq_n + (q_n)^2} \\
&= \frac{w_n}{(p_n + q_n)^2} \\
&= \frac{w_n}{(1)^2}
\end{aligned}$$

$$w_{n+1} = w_n \quad (4.3)$$

Persamaan (4.3) merupakan persamaan diferensi linier homogen order satu.

Solusi khusus persamaan (4.3) apabila diberikan nilai awal w_0 adalah

$$w_n = w_0 \quad \text{untuk } n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.4)$$

b. Persamaan diferensi dari pasangan alel aB pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
v_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } aB}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
&= \frac{2x_{n+1}^*(aaBB) + x_{n+1}^*(aaBb) + x_{n+1}^*(AaBB) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
&= \frac{[2r(v_n)^2 + r2v_nw_n + r2t_nv_n + r2u_nv_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_nu_n + r(u_n)^2 + r2t_nv_n + r(2t_nw_n + 2u_nv_n) + r2u_nw_n + r(v_n)^2 + r2v_nw_n + r(w_n)^2]X_{n+1}} \\
&= \frac{2rv_n[w_n + u_n + v_n + t_n]}{2r[(t_n)^2 + 2t_nu_n + (u_n)^2 + 2t_nv_n + (2t_nw_n + 2u_nv_n) + 2u_nw_n + (v_n)^2 + 2v_nw_n + (w_n)^2]} \\
&= \frac{v_n}{(t_n + u_n)^2 + 2t_nv_n + 2t_nw_n + 2u_nv_n + 2u_nw_n + (v_n + w_n)^2} \\
&= \frac{v_n}{(p_n)^2 + 2t_n(v_n + w_n) + 2u_n(v_n + w_n) + (q_n)^2} \\
&= \frac{v_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n + (q_n)^2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{v_n}{(p_n)^2 + 2p_nq_n + (q_n)^2} \\
&= \frac{v_n}{(p_n + q_n)^2} \\
&= \frac{v_n}{(1)^2}
\end{aligned}$$

$$v_{n+1} = v_n \quad (4.5)$$

Persamaan (4.5) merupakan persamaan diferensi linier homogen order satu. Solusi khusus persamaan (4.5) apabila diberikan nilai awal v_0 adalah

$$v_n = v_0 \quad \text{untuk } n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.6)$$

c. Persamaan diferensi dari pasangan alel Ab pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
u_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } Ab}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
&= \frac{2x_{n+1}^*(AAbb) + x_{n+1}^*(AABb) + x_{n+1}^*(Aabb) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
&= \frac{[r2(u_n)^2 + r2t_nu_n + r2u_nw_n + r2u_nv_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_nu_n + r(u_n)^2 + r2t_nv_n + r(2t_nw_n + 2u_nv_n) + r2u_nw_n + r(v_n)^2 + r2v_nw_n + r(w_n)^2]X_{n+1}} \\
&= \frac{2ru_n[w_n + u_n + v_n + t_n]}{2r[(t_n)^2 + 2t_nu_n + (u_n)^2 + 2t_nv_n + (2t_nw_n + 2u_nv_n) + 2u_nw_n + (v_n)^2 + 2v_nw_n + (w_n)^2]} \\
&= \frac{u_n}{(t_n + u_n)^2 + 2t_nv_n + 2t_nw_n + 2u_nv_n + 2u_nw_n + (v_n + w_n)^2} \\
&= \frac{u_n}{(p_n)^2 + 2t_n(v_n + w_n) + 2u_n(v_n + w_n) + (q_n)^2} \\
&= \frac{u_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n + (q_n)^2} \\
&= \frac{u_n}{(p_n)^2 + 2p_nq_n + (q_n)^2} \\
&= \frac{u_n}{(p_n + q_n)^2} \\
&= \frac{u_n}{(1)^2}
\end{aligned}$$

$$u_{n+1} = u_n \quad (4.7)$$

Persamaan (4.7) merupakan persamaan diferensi linier homogen order satu. Solusi khusus persamaan (4.7) apabila diberikan nilai awal u_0 adalah

$$u_n = u_0 \quad \text{untuk } n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.8)$$

d. Persamaan diferensi dari pasangan alel AB pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned} t_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } AB}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\ &= \frac{2x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + x_{n+1}^*(AaBB) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\ &= \frac{[r2(t_n)^2 + r2t_nu_n + r2t_nv_n + r2t_nw_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_nu_n + r(u_n)^2 + r2t_nv_n + r(2t_nw_n + 2u_nv_n) + r2u_nw_n + r(v_n)^2 + r2v_nw_n + r(w_n)^2]X_{n+1}} \\ &= \frac{2rt_n[t_n + u_n + v_n + w_n]}{2r[(t_n)^2 + 2t_nu_n + (u_n)^2 + 2t_nv_n + (2t_nw_n + 2u_nv_n) + 2u_nw_n + (v_n)^2 + 2v_nw_n + (w_n)^2]} \\ &= \frac{t_n}{(t_n + u_n)^2 + 2t_nv_n + 2t_nw_n + 2u_nv_n + 2u_nw_n + (v_n + w_n)^2} \\ &= \frac{t_n}{(p_n)^2 + 2t_n(v_n + w_n) + 2u_n(v_n + w_n) + (q_n)^2} \\ &= \frac{t_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n + (q_n)^2} \\ &= \frac{t_n}{(p_n)^2 + 2p_nq_n + (q_n)^2} \\ &= \frac{t_n}{(p_n + q_n)^2} \\ &= \frac{t_n}{(1)^2} \end{aligned}$$

$$t_{n+1} = t_n \quad (4.9)$$

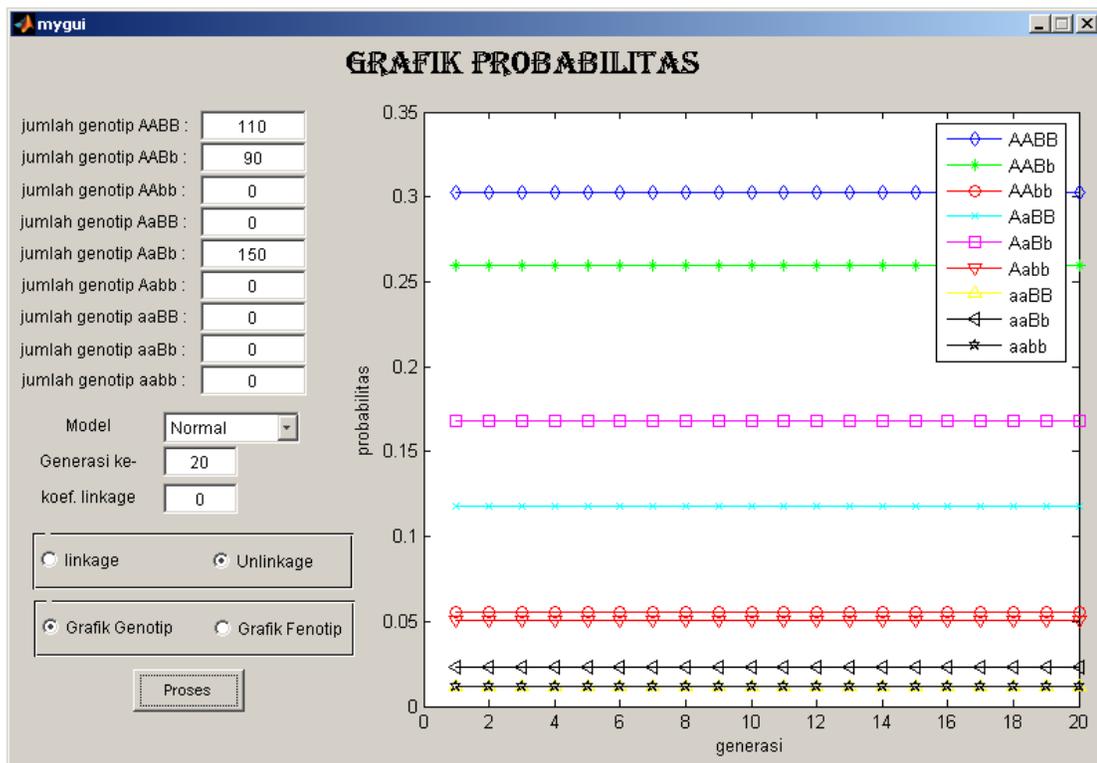
Persamaan (4.9) merupakan persamaan diferensi linier homogen order satu. Solusi khusus persamaan (4.9) apabila diberikan nilai awal t_0 adalah

$$t_n = t_0 \quad \text{untuk } n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (4.10)$$

Jika terdapat keterkaitan antar dua lokus sebesar l maka sesuai dengan persamaan (2.15), persamaan diferensi untuk pasangan alel menjadi:

$$\left. \begin{aligned} w_{n+1} &= w_n - l(t_n w_n - u_n v_n) \\ v_{n+1} &= v_n + l(t_n w_n - u_n v_n) \\ u_{n+1} &= u_n + l(t_n w_n - u_n v_n) \\ t_{n+1} &= t_n - l(t_n w_n - u_n v_n) \end{aligned} \right\} \quad (4.11)$$

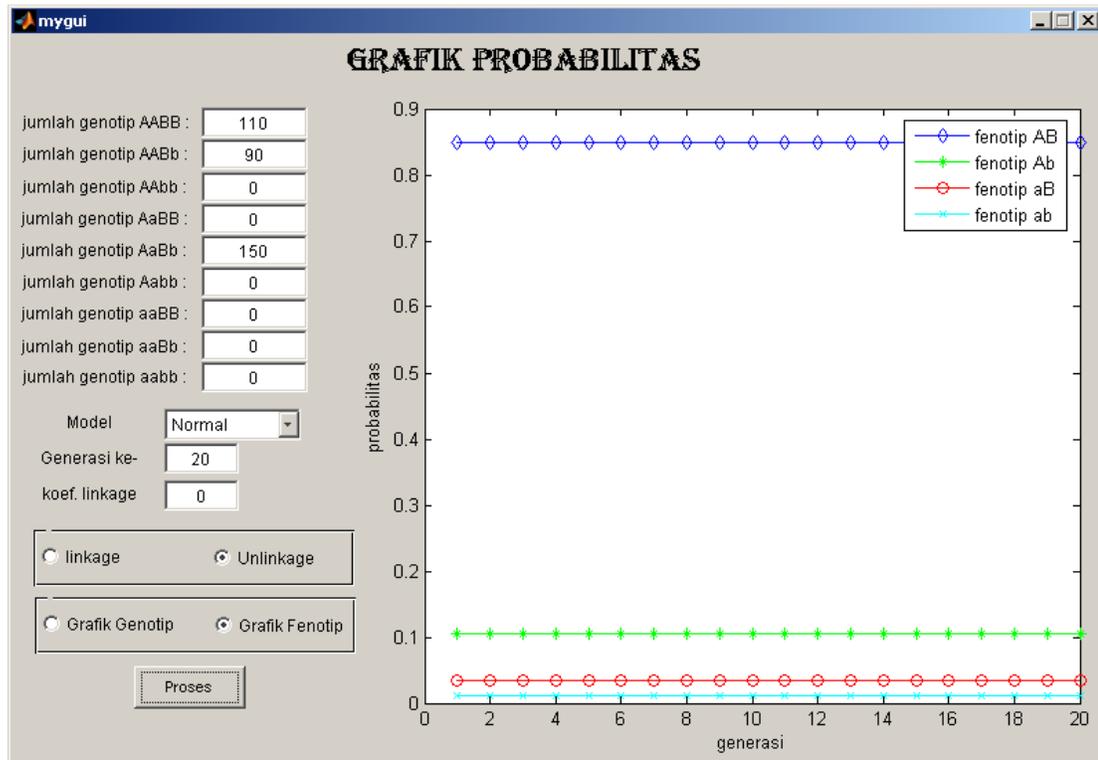
Untuk menentukan besarnya probabilitas genotip individu dalam suatu populasi dapat digunakan persamaan (4.4), (4.6), (4.8), dan (4.10) dengan memberikan suatu nilai awal. Jika diberikan nilai awal untuk jumlah individu bergenotip $AaBb$ adalah 150, jumlah individu bergenotip $AABb$ adalah 90, dan jumlah individu bergenotip $AABB$ adalah 110 maka probabilitas genotip individu yang ada pada populasi dari generasi ke-1 sampai generasi ke-20 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Probabilitas genotip individu pada kondisi normal untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20

Gambar 4.1 merupakan grafik probabilitas genotip individu tanpa adanya keterkaitan antar dua lokus. dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa mulai generasi ke-1 sudah terdapat sembilan jenis genotip, dua diantaranya berimpit yaitu genotip *aaBB* dan *aabb*. Probabilitas semua jenis genotip tersebut adalah 0,3025 untuk genotip *AABB*, 0,2593 untuk genotip *AABb*, 0,0556 untuk genotip *AAbb*, 0,1179 untuk genotip *AaBB*, 0,1684 untuk genotip *AaBb*, 0,0505 untuk genotip *Aabb*, 0,0115 untuk genotip *aaBB*, 0,0230 untuk genotip *aaBb*, 0,0115 untuk genotip *aabb*. Jika semua probabilitas masing-masing genotip dijumlahkan maka hasilnya adalah 1. Pada Gambar 4.1 dihasilkan grafik berupa garis lurus. Hal ini menandakan bahwa besarnya probabilitas suatu genotip tertentu adalah sama untuk setiap generasi yaitu probabilitas genotip generasi pertama sama dengan probabilitas genotip generasi kedua sama dengan probabilitas genotip generasi ketiga dan seterusnya. Dengan demikian probabilitas genotip generasi ke-*n* sama dengan probabilitas genotip pada generasi pertamanya. Kejadian ini menunjukkan bahwa dalam populasi tersebut setiap individu memiliki kemampuan bertahan hidup yang sama dan memiliki tingkat kesuburan yang sama sehingga akan dihasilkan jumlah keturunan yang sama untuk tiap generasinya sehingga mengakibatkan frekuensi genotipnya akan sama untuk tiap generasinya.

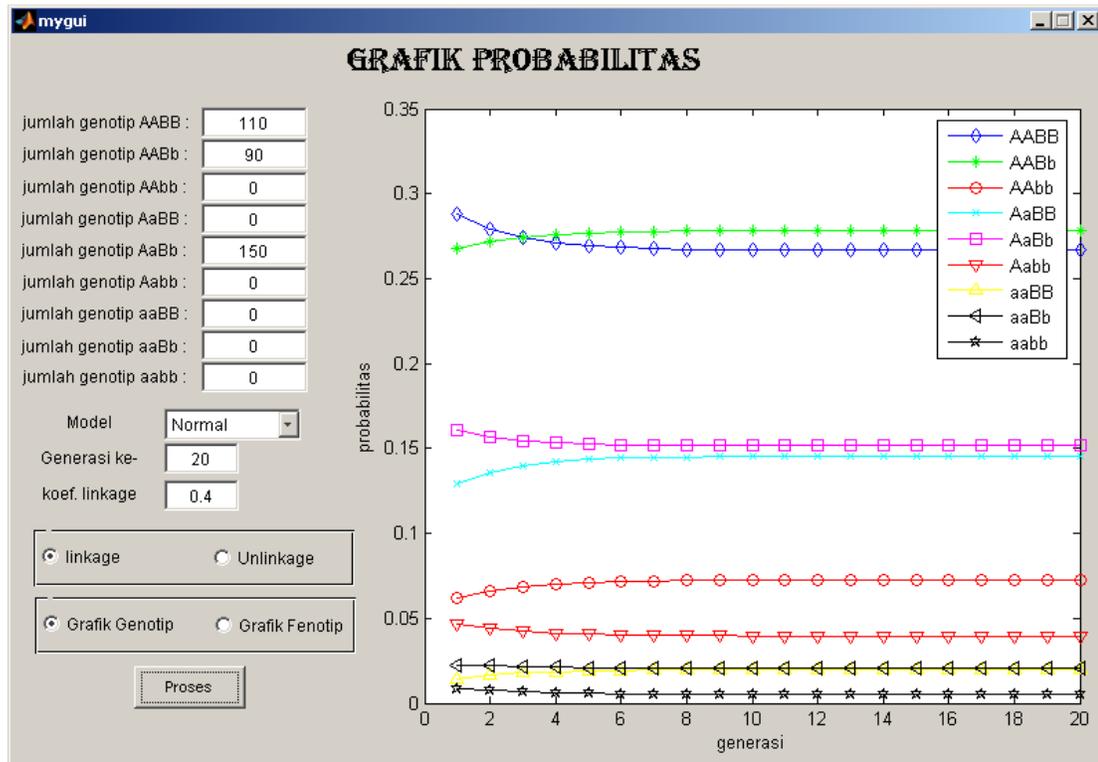
Dari probabilitas genotip tersebut dapat dicari probabilitas fenotipnya. Untuk melihat grafik probabilitas fenotipnya, dapat dilihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.2 Probabilitas fenotip individu pada kondisi normal untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20

Gambar 4.2 merupakan grafik frekuensi fenotip yang dihasilkan dari frekuensi genotip pada Gambar 4.1. Dari Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa frekuensi fenotip AB adalah 0,8480102, frekuensi fenotip Ab adalah 0,1060714, frekuensi fenotip aB adalah 0,0344388, dan frekuensi fenotip ab adalah 0,0114796. Grafik frekuensi fenotip berupa garis lurus sehingga frekuensi fenotip dari setiap generasi besarnya sama. Kejadian ini menunjukkan bahwa dalam populasi tersebut setiap individu memiliki kemampuan bertahan hidup yang sama dan memiliki tingkat kesuburan yang sama sehingga akan dihasilkan jumlah keturunan yang sama untuk tiap generasinya sehingga mengakibatkan probabilitas fenotipnya akan sama untuk tiap generasinya.

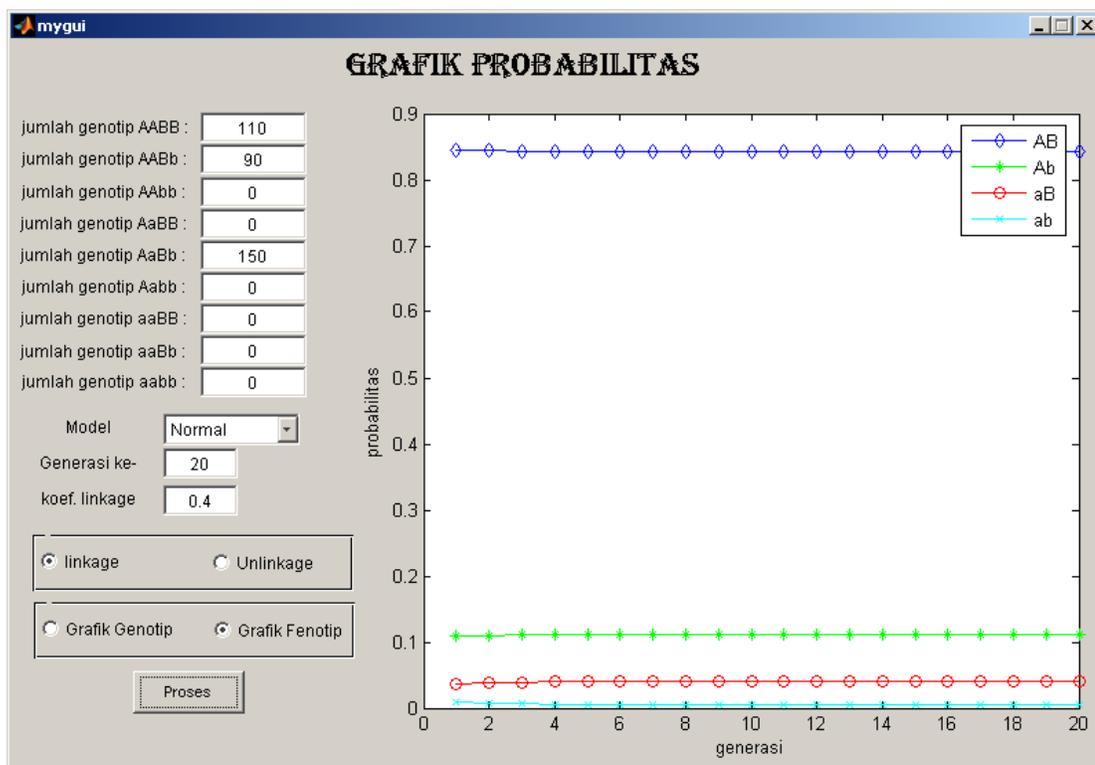
Jika dalam persilangan dihibrid antar kedua lokus terdapat keterkaitan maka grafik probabilitas genotipnya dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Probabilitas genotip individu pada kondisi normal dengan adanya keterkaitan antar dua lokus ($l = 0,4$) untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20

Gambar 4.3 merupakan grafik frekuensi genotip individu dalam kondisi normal dengan adanya keterkaitan antar dua lokus sebesar 0,4. Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa frekuensi genotip *AABB* pada awal generasi adalah 0,28786 kemudian pada generasi berikutnya besar frekuensinya selalu turun dan pada akhirnya nilai frekuensinya sama tiap generasi. Hal yang sama terjadi pada frekuensi genotip *AaBb*, *Aabb*, *aaBb*, dan *aabb* yaitu besarnya frekuensi pada awal generasi sampai beberapa generasi berikutnya berkurang dan pada akhirnya besar frekuensinya sama tiap generasi. Sedangkan untuk genotip *AABb*, *AaBB*, *AAbb*, dan *aaBB*, besar frekuensinya bertambah sampai beberapa generasi berikutnya kemudian besar frekuensinya sama. Grafik yang sama akan dihasilkan untuk nilai koefisien *linkage* yang berbeda, yaitu grafik frekuensi genotip *AABB*, *AaBb*, *Aabb*, *aaBb*, dan *aabb* akan berkurang kemudian lurus sedangkan grafik frekuensi genotip *AABb*, *AaBB*,

$AAbb$, dan $aaBB$ akan bertambah kemudian lurus. Namun hasil di atas akan berbeda jika nilai awal genotip yang dimasukkan berbeda seperti gambar yang ada dilampiran B. Grafik frekuensi genotip $AaBb$, $AAbb$, $AaBB$, $aaBb$, dan $aaBB$ akan berkurang dan kemudian lurus sedangkan grafik frekuensi yang lain akan naik kemudian lurus. Walaupun terjadi penambahan atau pengurangan besarnya frekuensi pada awal generasi, kejadian ini tetap dianggap bahwa setiap individu memiliki kemampuan bertahan hidup yang sama dan memiliki tingkat kesuburan yang sama sehingga akan dihasilkan jumlah keturunan yang sama untuk tiap generasinya. Hal ini dapat ditunjukkan pada generasi berikutnya nilai frekuensi genotipnya akan sama. Penambahan atau pengurangan nilai frekuensi tersebut dikarenakan adanya keterkaitan antar lokus A dan lokus B . Sedangkan frekuensi fenotip untuk Gambar 4.3 dapat dilihat pada Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 Probabilitas fenotip individu pada kondisi normal dengan adanya keterkaitan antar dua lokus ($l = 0,4$) untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20

Gambar 4.4 merupakan grafik frekuensi fenotip yang dihasilkan dari frekuensi genotip pada Gambar 4.3. Dari Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pada generasi ke-1 frekuensi fenotip AB adalah 0,84530, frekuensi fenotip Ab adalah 0,10877, frekuensi fenotip aB adalah 0,03714, dan frekuensi fenotip ab adalah 0,00877. Pada gambar terlihat bahwa grafik yang terbentuk adalah berupa garis lurus. Namun dari hasil perhitungan, nilai probabilitas fenotip yang didapat berbeda untuk tiap generasi. Hal ini dapat dilihat dari hasil perhitungan frekuensi fenotip pada lampiran F. Grafik frekuensi fenotip AB dan ab turun kemudian lurus sedangkan grafik frekuensi fenotip Ab dan aB naik kemudian lurus. Namun frekuensi fenotip AB dan ab tidak selalu berkurang kemudian lurus dan grafik frekuensi fenotip Ab dan aB tidak selalu bertambah kemudian lurus, tergantung dari frekuensi genotip yang dihasilkan.

4.2 Perkawinan Acak Tidak Normal

Perkawinan acak tidak normal merupakan perkawinan acak yang melibatkan gen letal baik gen letal dominan maupun gen letal resesif. Dalam kasus ini akan dibahas tentang perkawinan acak dengan gen a bersifat letal, gen ab bersifat letal dan gen Ab bersifat letal sebagai berikut.

4.2.1 Perkawinan Acak dengan Salah Satu Gen Resesif Bersifat Letal (Gen a bersifat letal)

Pada kasus ini diasumsikan bahwa gen resesif tidak dapat bertahan hidup maka individu yang memiliki sepasang gen resesif aa memiliki faktor $r = 0$. Oleh karena itu, persamaan (4.1) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned}
x_{n+1(AABB)}^* &= rc_{n+1}^* X_{n+1} = r(t_n)^2 X_{n+1} \\
x_{n+1(AABb)}^* &= rd_{n+1}^* X_{n+1} = r2t_n u_n X_{n+1} \\
x_{n+1(AAbb)}^* &= re_{n+1}^* X_{n+1} = r(u_n)^2 X_{n+1} \\
x_{n+1(AaBB)}^* &= rf_{n+1}^* X_{n+1} = r2t_n v_n X_{n+1} \\
x_{n+1(AaBb)}^* &= rg_{n+1}^* X_{n+1} = r(2t_n w_n + 2u_n v_n) X_{n+1} \\
x_{n+1(Aabb)}^* &= rh_{n+1}^* X_{n+1} = r2u_n w_n X_{n+1} \\
x_{n+1(aaBB)}^* &= ri_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\
x_{n+1(aaBb)}^* &= rj_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\
x_{n+1(aabb)}^* &= rk_{n+1}^* X_{n+1} = 0
\end{aligned} \right\} \quad (4.12)$$

Dari persamaan (4.12) akan diperoleh persamaan diferensi dari probabilitas pasangan alel yaitu:

a. Persamaan diferensi dari pasangan alel ab pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
w_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } ab}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
&= \frac{2x_{n+1(aabb)}^* + x_{n+1(Aabb)}^* + x_{n+1(aaBb)}^* + x_{n+1(AaBb)}^*}{2[x_{n+1(AABB)}^* + x_{n+1(AABb)}^* + \dots + x_{n+1(aabb)}^*]} \\
&= \frac{[r2u_n w_n + r2t_n w_n] X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_n u_n + r(u_n)^2 + r2t_n v_n + r(2t_n w_n + 2u_n v_n) + r2u_n w_n] X_{n+1}} \\
&= \frac{2rw_n[u_n + t_n]}{2r[(t_n)^2 + 2t_n u_n + (u_n)^2 + 2t_n v_n + (2t_n w_n + 2u_n v_n) + 2u_n w_n]} \\
&= \frac{w_n p_n}{(t_n + u_n)^2 + 2t_n(v_n + w_n) + 2u_n(v_n + w_n)} \\
&= \frac{w_n p_n}{(p_n)^2 + 2t_n q_n + 2u_n q_n} \\
&= \frac{w_n p_n}{(p_n)^2 + 2q_n p_n} \\
&= \frac{w_n}{p_n + 2q_n} \\
&= \frac{w_n}{1 + q_n} \\
&= \frac{w_n}{1 + w_n + v_n}
\end{aligned}$$

$$w_{n+1} = \frac{w_n}{1+w_n+v_n} \quad (4.13)$$

b. Persamaan diferensi dari pasangan alel aB pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
v_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } aB}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
&= \frac{2x_{n+1}^*(aaBB) + x_{n+1}^*(aaBb) + x_{n+1}^*(AaBB) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
&= \frac{[r2t_nv_n + r2u_nv_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_nu_n + r(u_n)^2 + r2t_nv_n + r(2t_nw_n + 2u_nv_n) + r2u_nw_n]X_{n+1}} \\
&= \frac{2rv_n[u_n + t_n]}{2r[(t_n)^2 + 2t_nu_n + (u_n)^2 + 2t_nv_n + (2t_nw_n + 2u_nv_n) + 2u_nw_n]} \\
&= \frac{v_np_n}{(t_n + u_n)^2 + 2t_n(v_n + w_n) + 2u_n(v_n + w_n)} \\
&= \frac{v_np_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n} \\
&= \frac{v_np_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n} \\
&= \frac{v_np_n}{(p_n)^2 + 2p_nq_n} \\
&= \frac{v_n}{p_n + 2q_n} \\
&= \frac{v_n}{1 + q_n} \\
&= \frac{v_n}{1 + w_n + v_n} \\
v_{n+1} &= \frac{v_n}{1+w_n+v_n} \quad (4.14)
\end{aligned}$$

c. Persamaan diferensi dari pasangan alel Ab pada generasi ke- $(n+1)$.

$$u_{n+1} = \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } Ab}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2x_{n+1}^*(AAbb) + x_{n+1}^*(AABb) + x_{n+1}^*(Aabb) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
&= \frac{[r2(u_n)^2 + r2t_nu_n + r2u_nw_n + r2u_nv_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_nu_n + r(u_n)^2 + r2t_nv_n + r(2t_nw_n + 2u_nv_n) + r2u_nw_n]X_{n+1}} \\
&= \frac{2ru_n[u_n + t_n + w_n + v_n]}{2r[(t_n)^2 + 2t_nu_n + (u_n)^2 + 2t_nv_n + (2t_nw_n + 2u_nv_n) + 2u_nw_n]} \\
&= \frac{u_n}{(t_n + u_n)^2 + 2t_n(v_n + w_n) + 2u_n(v_n + w_n)} \\
&= \frac{u_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n} \\
&= \frac{u_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n} \\
&= \frac{u_n}{(p_n)^2 + 2p_nq_n} \\
&= \frac{u_n}{p_n(p_n + 2q_n)} \\
&= \frac{u_n}{p_n(1 + q_n)} \\
u_{n+1} &= \frac{u_n}{p_n(1+q_n)} \tag{4.15}
\end{aligned}$$

d. Persamaan diferensi dari pasangan alel AB pada generasi ke- $(n+1)$.

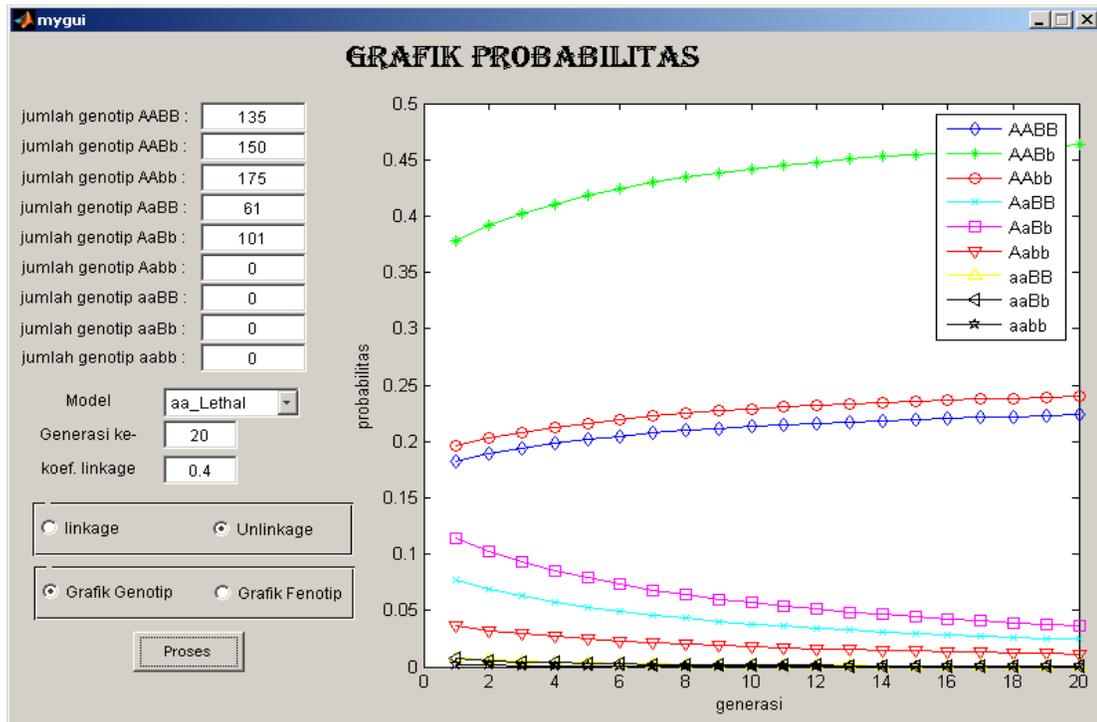
$$\begin{aligned}
t_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } AB}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
&= \frac{2x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + x_{n+1}^*(AaBB) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
&= \frac{[r2(t_n)^2 + r2t_nu_n + r2t_nv_n + r2t_nw_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_nu_n + r(u_n)^2 + r2t_nv_n + r(2t_nw_n + 2u_nv_n) + r2u_nw_n]X_{n+1}} \\
&= \frac{2rt_n[u_n + t_n + w_n + v_n]}{2r[(t_n)^2 + 2t_nu_n + (u_n)^2 + 2t_nv_n + (2t_nw_n + 2u_nv_n) + 2u_nw_n]} \\
&= \frac{t_n}{(t_n + u_n)^2 + 2t_n(v_n + w_n) + 2u_n(v_n + w_n)} \\
&= \frac{t_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{t_n}{(p_n)^2 + 2t_nq_n + 2u_nq_n} \\
&= \frac{t_n}{(p_n)^2 + 2p_nq_n} \\
&= \frac{t_n}{p_n(p_n + 2q_n)} \\
&= \frac{t_n}{p_n(1 + q_n)} \\
t_{n+1} &= \frac{t_n}{p_n(1+q_n)} \tag{4.16}
\end{aligned}$$

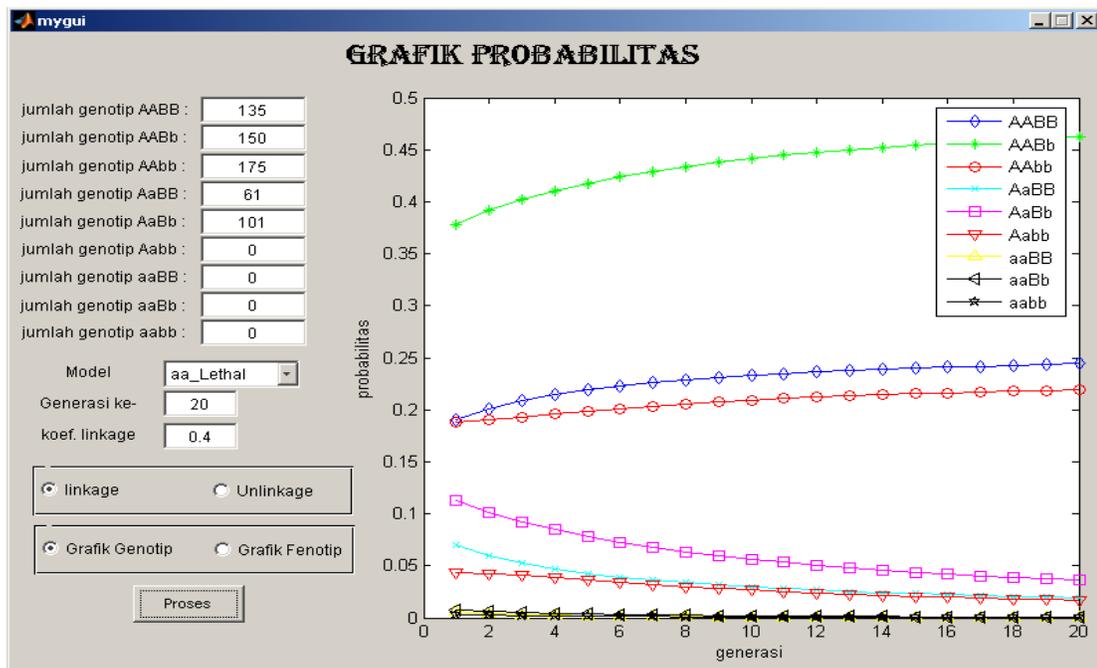
Jika terdapat keterkaitan antar dua lokus sebesar l maka sesuai dengan persamaan (2.15), persamaan diferensi untuk pasangan alel menjadi:

$$\left. \begin{aligned}
w_{n+1} &= \frac{w_n}{1+w_n+v_n} - l \left(\frac{t_n}{p_n(1+q_n)} \frac{w_n}{1+w_n+v_n} - \frac{u_n}{p_n(1+q_n)} \frac{v_n}{1+w_n+v_n} \right) \\
v_{n+1} &= \frac{v_n}{1+w_n+v_n} + l \left(\frac{t_n}{p_n(1+q_n)} \frac{w_n}{1+w_n+v_n} - \frac{u_n}{p_n(1+q_n)} \frac{v_n}{1+w_n+v_n} \right) \\
u_{n+1} &= \frac{u_n}{p_n(1+q_n)} + l \left(\frac{t_n}{p_n(1+q_n)} \frac{w_n}{1+w_n+v_n} - \frac{u_n}{p_n(1+q_n)} \frac{v_n}{1+w_n+v_n} \right) \\
t_{n+1} &= \frac{t_n}{p_n(1+q_n)} - l \left(\frac{t_n}{p_n(1+q_n)} \frac{w_n}{1+w_n+v_n} - \frac{u_n}{p_n(1+q_n)} \frac{v_n}{1+w_n+v_n} \right)
\end{aligned} \right\} \tag{4.17}$$

Probabilitas genotip individu dengan gen a letal dapat dicari dengan menggunakan persamaan (4.13) – (4.16). Dengan memberikan suatu nilai awal untuk jumlah individu bergenotip $AABB$ adalah 135, jumlah individu bergenotip $AABb$ adalah 150, jumlah individu bergenotip $AAbb$ adalah 175, jumlah individu bergenotip $AaBB$ adalah 61, dan jumlah individu bergenotip $AaBb$ adalah 101 maka akan didapatkan grafik pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Gambar 4.5 merupakan grafik frekuensi genotip tanpa adanya keterkaitan antar dua lokus sedangkan Gambar 4.6 merupakan grafik frekuensi genotip dengan adanya keterkaitan antar dua lokus.



Gambar 4.5 Probabilitas genotip individu dengan gen a letal tanpa ada keterkaitan antar dua lokus



Gambar 4.6 Probabilitas genotip individu dengan gen a letal dengan ada keterkaitan antar dua lokus ($l = 0,4$)

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 merupakan grafik probabilitas genotip individu dengan gen a letal mulai dari generai ke-1 sampai generasi ke-20. Dari kedua grafik tersebut dapat dilihat bahwa genotip yang mengandung sepasang gen letal, seperti genotip $aaBB$, $aaBb$, dan $aabb$, memiliki probabilitas yang sangat kecil. Dengan demikian, individu yang memiliki sepasang gen letal memiliki kemungkinan untuk hidup dan menghasilkan keturunan sangat kecil. Untuk genotip yang memiliki satu gen letal, seperti genotip $AaBB$, $AaBb$, dan $Aabb$, jumlahnya akan turun untuk setiap generasi, hal ini bisa dilihat grafik probabilitasnya yang nilainya selalu turun untuk setiap generasi. Jadi gen letal yang ada dalam populasi tersebut dimungkinkan akan bertambah sedikit. Sebaliknya untuk genotip yang tidak memiliki gen letal, dari generasi awal ke generasi berikutnya jumlahnya akan semakin bertambah dengan diiringi berkurangnya jumlah genotip yang memiliki gen letal. Hal ini menunjukkan bahwa individu yang memiliki sepasang gen letal tidak mampu bertahan hidup dan tidak mampu menghasilkan keturunan.

4.2.2 Perkawinan Acak dengan Dua Gen Resesif Bersifat Letal (Gen a dan b bersifat letal)

Individu yang memiliki genotip sepasang aa atau bb tidak akan bertahan hidup, sehingga persamaan jumlah individu setiap genotip dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} x_{n+1(AABB)}^* &= rc_{n+1}^* X_{n+1} = r(t_n)^2 X_{n+1} \\ x_{n+1(AABb)}^* &= rd_{n+1}^* X_{n+1} = r2t_n u_n X_{n+1} \\ x_{n+1(AAbb)}^* &= re_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\ x_{n+1(AaBB)}^* &= rf_{n+1}^* X_{n+1} = r2t_n v_n X_{n+1} \\ x_{n+1(AaBb)}^* &= rg_{n+1}^* X_{n+1} = r(2t_n w_n + 2u_n v_n) X_{n+1} \\ x_{n+1(Aabb)}^* &= rh_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\ x_{n+1(aaBB)}^* &= ri_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\ x_{n+1(aaBb)}^* &= rj_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\ x_{n+1(aabb)}^* &= rk_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.18)$$

Dari persamaan (4.18) akan diperoleh persamaan diferensi dari probabilitas pasangan alel yaitu:

a. Persamaan diferensi dari pasangan alel ab pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
 w_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } ab}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
 &= \frac{2x_{n+1}^*(aabb) + x_{n+1}^*(Aabb) + x_{n+1}^*(aaBb) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
 &= \frac{[r2t_n w_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_n u_n + r2t_n v_n + r(2t_n w_n + 2u_n v_n)]X_{n+1}} \\
 &= \frac{t_n w_n}{t_n[t_n + 2u_n + 2v_n + 2w_n] + 2u_n v_n} \\
 &= \frac{t_n w_n}{t_n[t_n + 2u_n + 2v_n + 2w_n] + 2u_n v_n} \\
 &= \frac{t_n w_n}{t_n[1 + u_n + v_n + w_n] + 2u_n v_n} \\
 &= \frac{t_n w_n}{t_n[2 - t_n] + 2u_n v_n} \\
 w_{n+1} &= \frac{t_n w_n}{t_n[2 - t_n] + 2u_n v_n} \tag{4.19}
 \end{aligned}$$

b. Persamaan diferensi dari pasangan alel aB pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
 v_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } aB}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
 &= \frac{2x_{n+1}^*(aaBB) + x_{n+1}^*(aaBb) + x_{n+1}^*(AaBB) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
 &= \frac{[r2t_n v_n + r2u_n v_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_n u_n + r2t_n v_n + r(2t_n w_n + 2u_n v_n)]X_{n+1}} \\
 &= \frac{v_n[u_n + t_n]}{t_n[t_n + 2u_n + 2v_n + 2w_n] + 2u_n v_n} \\
 &= \frac{v_n p_n}{t_n[t_n + 2u_n + 2v_n + 2w_n] + 2u_n v_n}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{v_n p_n}{t_n[2 - t_n] + 2u_n v_n} \\
v_{n+1} &= \frac{v_n p_n}{t_n[2 - t_n] + 2u_n v_n} \tag{4.20}
\end{aligned}$$

c. Persamaan diferensi dari pasangan alel Ab pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
u_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } Ab}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
&= \frac{2x_{n+1}^*(AAbb) + x_{n+1}^*(AABb) + x_{n+1}^*(Aabb) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
&= \frac{[r2t_n u_n + r2u_n v_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_n u_n + r2t_n v_n + r(2t_n w_n + 2u_n v_n)]X_{n+1}} \\
&= \frac{u_n[v_n + t_n]}{t_n[t_n + 2u_n + 2v_n + 2w_n] + 2u_n v_n} \\
&= \frac{u_n r_n}{t_n[t_n + 2u_n + 2v_n + 2w_n] + 2u_n v_n} \\
&= \frac{u_n r_n}{t_n[2 - t_n] + 2u_n v_n} \\
u_{n+1} &= \frac{u_n r_n}{t_n[2 - t_n] + 2u_n v_n} \tag{4.21}
\end{aligned}$$

d. Persamaan diferensi dari pasangan alel AB pada generasi ke- $(n+1)$.

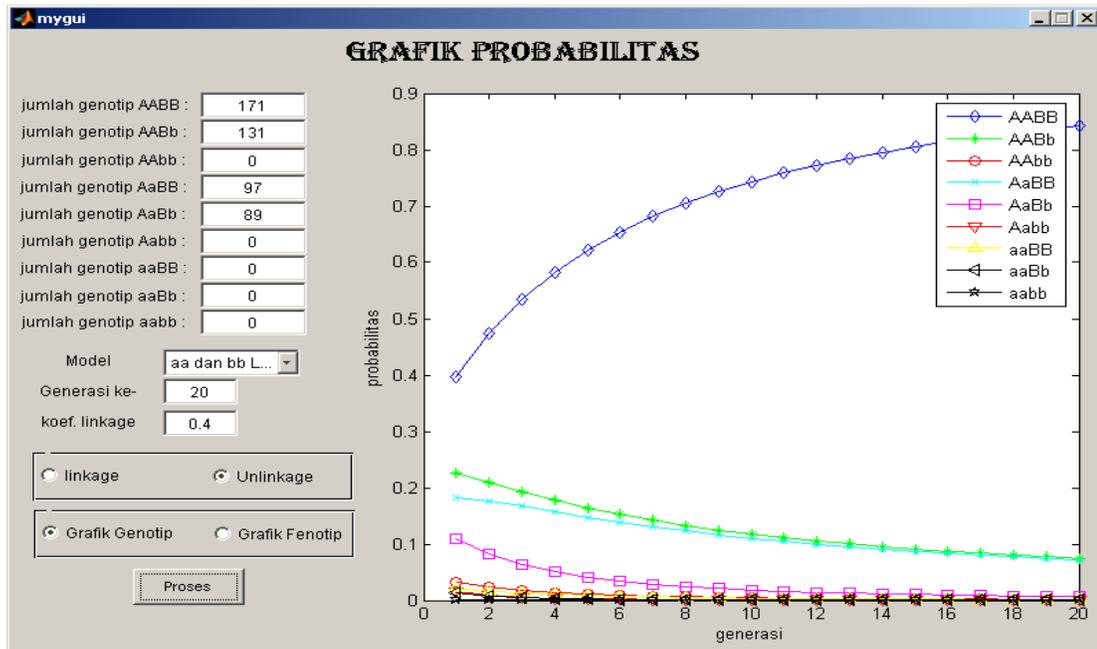
$$\begin{aligned}
t_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } AB}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
&= \frac{2x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + x_{n+1}^*(AaBB) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
&= \frac{[r2(t_n)^2 + r2t_n u_n + r2t_n v_n + r2t_n w_n]X_{n+1}}{2[r(t_n)^2 + r2t_n u_n + r2t_n v_n + r(2t_n w_n + 2u_n v_n)]X_{n+1}} \\
&= \frac{t_n[u_n + t_n + w_n + v_n]}{t_n[t_n + 2u_n + 2v_n + 2w_n] + 2u_n v_n} \\
&= \frac{t_n}{t_n[2 - t_n] + 2u_n v_n}
\end{aligned}$$

$$t_{n+1} = \frac{t_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \quad (4.22)$$

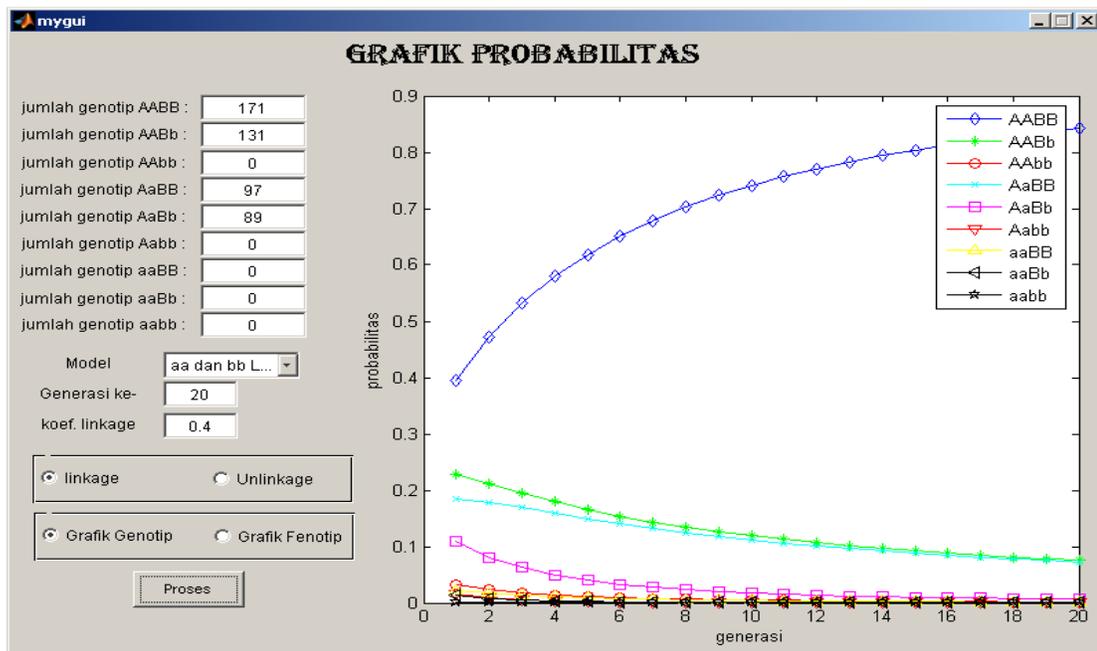
Jika terdapat keterkaitan antar dua lokus sebesar l maka sesuai dengan persamaan (2.15), persamaan diferensi untuk pasangan alel menjadi:

$$\left. \begin{aligned} w_{n+1} &= \frac{t_n w_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} - l \left(\frac{t_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \frac{t_n w_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} - \frac{u_n r_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \frac{v_n p_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \right) \\ v_{n+1} &= \frac{v_n p_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} + l \left(\frac{t_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \frac{t_n w_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} - \frac{u_n r_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \frac{v_n p_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \right) \\ u_{n+1} &= \frac{u_n r_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} + l \left(\frac{t_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \frac{t_n w_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} - \frac{u_n r_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \frac{v_n p_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \right) \\ t_{n+1} &= \frac{t_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} - l \left(\frac{t_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \frac{t_n w_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} - \frac{u_n r_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \frac{v_n p_n}{t_n[2-t_n]+2u_nv_n} \right) \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

Probabilitas genotip individu dengan gen a dan b letal dapat dicari dengan menggunakan persamaan (4.19)-(4.22). Dengan memberikan suatu nilai awal untuk jumlah individu bergenotip $AABB$ adalah 171, jumlah individu bergenotip $AABb$ adalah 131, jumlah individu bergenotip $AaBB$ adalah 97, dan jumlah individu bergenotip $AaBb$ adalah 89 maka akan didapatkan grafik probabilitas genotip pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8. Gambar 4.7 merupakan grafik frekuensi genotip tanpa adanya keterkaitan antar dua lokus sedangkan Gambar 4.8 merupakan grafik frekuensi genotip dengan adanya keterkaitan antar dua lokus.



Gambar 4.7 Probabilitas genotip individu dengan gen *a* dan *b* letal tanpa ada keterkaitan antar dua lokus



Gambar 4.8 Probabilitas genotip individu dengan gen *a* dan *b* letal dengan ada keterkaitan antar dua lokus

Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 merupakan grafik probabilitas genotip individu dengan gen a dan b letal mulai dari generai ke-1 sampai generasi ke-20. Dari kedua grafik tersebut dapat dilihat bahwa genotip yang mengandung sepasang gen letal, seperti genotip $aaBB$, $aaBb$, $AAbb$, $Aabb$, dan $aabb$, memiliki probabilitas yang sangat kecil mendekati nol. Dengan demikian, individu yang memiliki sepasang gen letal memiliki kemungkinan untuk hidup dan menghasilkan keturunan sangat kecil. Untuk genotip yang memiliki satu gen letal, seperti genotip $AaBB$, $AaBb$, dan $AABb$, jumlahnya akan turun untuk setiap generasi, hal ini bisa dilihat grafik probabilitasnya yang nilainya selalu turun untuk setiap generasi. Jadi gen letal yang ada dalam populasi tersebut akan semakin sedikit. Sebaliknya untuk genotip yang tidak memiliki gen letal, dari generasi awal ke generasi berikutnya jumlahnya akan semakin bertambah dengan diiringi berkurangnya jumlah genotip yang memiliki gen letal. Hal ini menunjukkan bahwa individu yang memiliki sepasang gen letal tidak mampu bertahan hidup dan tidak mampu menghasilkan keturunan.

4.2.3 Perkawinan Acak dengan Gen Dominan A dan Gen Resesif b Bersifat Letal

Individu yang memiliki genotip sepasang AA atau bb tidak akan bertahan hidup, sehingga persamaan jumlah individu setiap genotip dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned}
 x_{n+1(AABB)}^* &= rc_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\
 x_{n+1(AABb)}^* &= rd_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\
 x_{n+1(AAbb)}^* &= re_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\
 x_{n+1(AaBB)}^* &= rf_{n+1}^* X_{n+1} = r2t_n v_n X_{n+1} \\
 x_{n+1(AaBb)}^* &= rg_{n+1}^* X_{n+1} = r(2t_n w_n + 2u_n v_n) X_{n+1} \\
 x_{n+1(Aabb)}^* &= rh_{n+1}^* X_{n+1} = 0 \\
 x_{n+1(aABB)}^* &= ri_{n+1}^* X_{n+1} = r(v_n)^2 X_{n+1} \\
 x_{n+1(aaBb)}^* &= rj_{n+1}^* X_{n+1} = r2v_n w_n X_{n+1} \\
 x_{n+1(aabb)}^* &= rk_{n+1}^* X_{n+1} = 0
 \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

Dari persamaan (4.24) akan diperoleh persamaan diferensi dari probabilitas pasangan alel yaitu:

a. Persamaan diferensi dari pasangan alel ab pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
 w_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } ab}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
 &= \frac{2x_{n+1}^*(aabb) + x_{n+1}^*(Aabb) + x_{n+1}^*(aaBb) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
 &= \frac{[r2t_n w_n + r2v_n w_n]X_{n+1}}{2[r2t_n v_n + r(2t_n w_n + 2u_n v_n) + r(v_n)^2 + r2v_n w_n]X_{n+1}} \\
 &= \frac{w_n r_n}{2t_n w_n + v_n(1 + t_n + u_n + w_n)} \\
 &= \frac{w_n r_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \\
 w_{n+1} &= \frac{w_n r_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \tag{4.25}
 \end{aligned}$$

b. Persamaan diferensi dari pasangan alel aB pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
 v_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } aB}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
 &= \frac{2x_{n+1}^*(aabb) + x_{n+1}^*(aaBb) + x_{n+1}^*(AaBB) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
 &= \frac{[2r(v_n)^2 + r2v_n w_n + r2t_n v_n + r2u_n v_n]X_{n+1}}{2[r2t_n v_n + r(2t_n w_n + 2u_n v_n) + r(v_n)^2 + r2v_n w_n]X_{n+1}} \\
 &= \frac{v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \\
 v_{n+1} &= \frac{v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \tag{4.26}
 \end{aligned}$$

c. Persamaan diferensi dari pasangan alel Ab pada generasi ke- $(n+1)$.

$$u_{n+1} = \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } Ab}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2x_{n+1}^*(AAbb) + x_{n+1}^*(AABb) + x_{n+1}^*(Aabb) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
&= \frac{[r2u_n v_n]X_{n+1}}{2[r2t_n v_n + r(2t_n w_n + 2u_n v_n) + r(v_n)^2 + r2v_n w_n]X_{n+1}} \\
&= \frac{u_n v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \\
u_{n+1} &= \frac{u_n v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \tag{4.27}
\end{aligned}$$

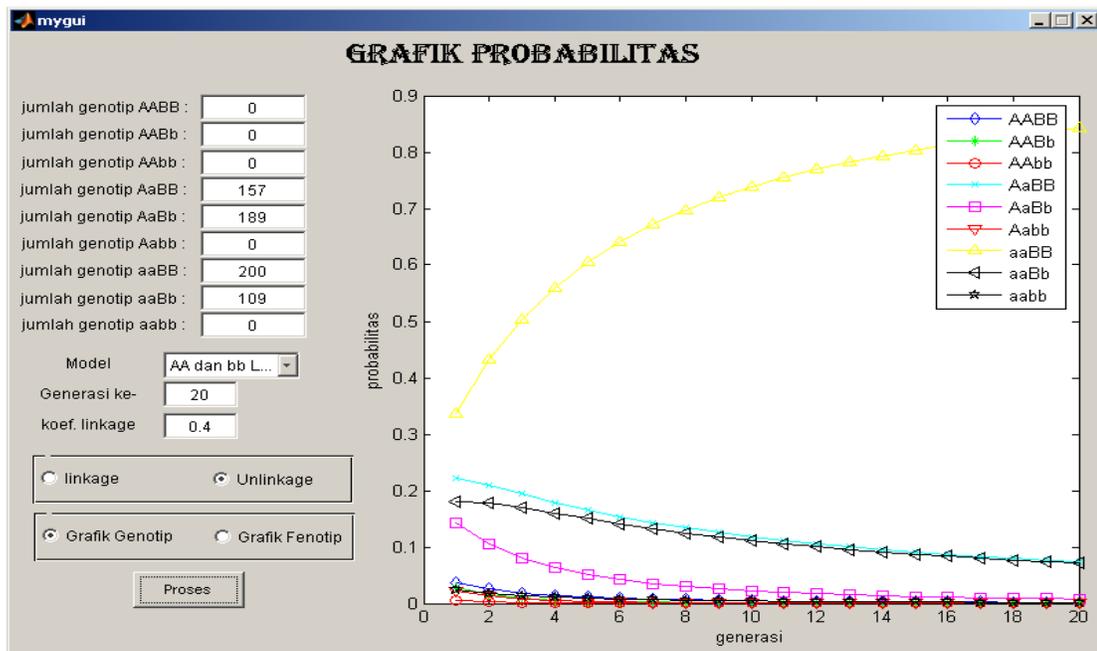
d. Persamaan diferensi dari pasangan alel AB pada generasi ke- $(n+1)$.

$$\begin{aligned}
t_{n+1} &= \frac{\text{Jumlah dari pasangan alel } AB}{\text{Jumlah total pasangan alel dalam kelompok}} \\
&= \frac{2x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + x_{n+1}^*(AaBB) + x_{n+1}^*(AaBb)}{2[x_{n+1}^*(AABB) + x_{n+1}^*(AABb) + \dots + x_{n+1}^*(aabb)]} \\
&= \frac{[r2t_n v_n + r2t_n w_n]X_{n+1}}{2[r2t_n v_n + r(2t_n w_n + 2u_n v_n) + r(v_n)^2 + r2v_n w_n]X_{n+1}} \\
&= \frac{r2t_n[v_n + w_n]}{2r[2t_n v_n + (2t_n w_n + 2u_n v_n) + (v_n)^2 + 2v_n w_n]} \\
&= \frac{t_n q_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \\
t_{n+1} &= \frac{t_n q_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \tag{4.28}
\end{aligned}$$

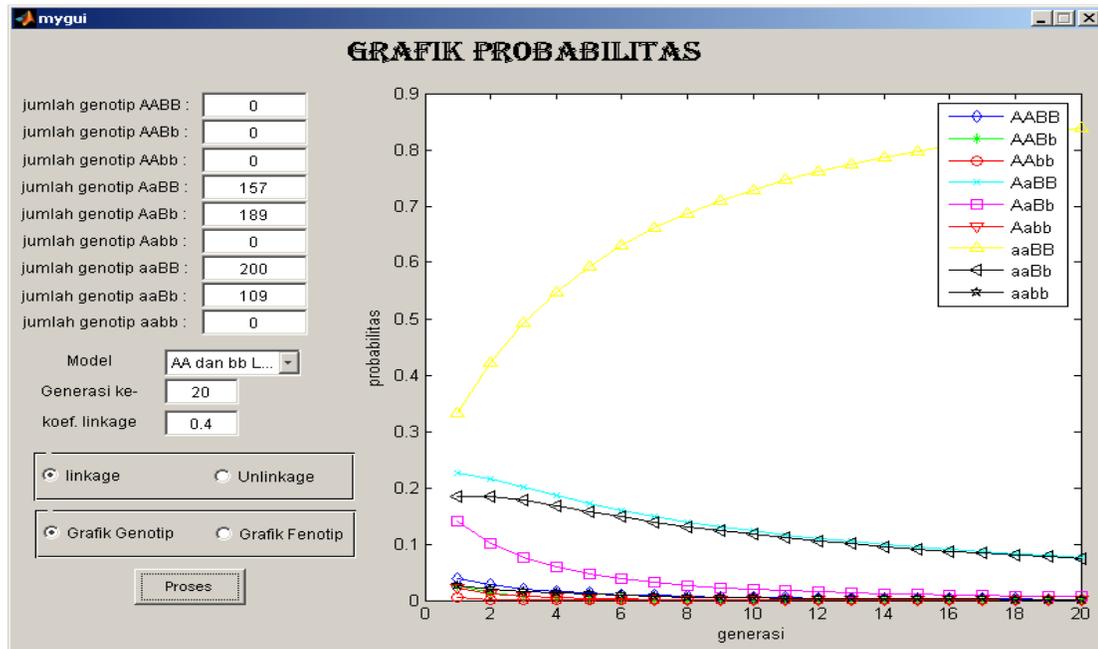
Jika terdapat keterkaitan antar dua lokus sebesar l maka sesuai dengan persamaan (2.15), persamaan diferensi untuk pasangan alel menjadi:

$$\left. \begin{aligned}
w_{n+1} &= \frac{w_n r_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} - l \left(\frac{t_n q_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \frac{w_n r_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} - \frac{u_n v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \frac{v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \right) \\
v_{n+1} &= \frac{v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} + l \left(\frac{t_n q_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \frac{w_n r_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} - \frac{u_n v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \frac{v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \right) \\
u_{n+1} &= \frac{u_n v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} + l \left(\frac{t_n q_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \frac{w_n r_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} - \frac{u_n v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \frac{v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \right) \\
t_{n+1} &= \frac{t_n q_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} - l \left(\frac{t_n q_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \frac{w_n r_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} - \frac{u_n v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \frac{v_n}{2t_n w_n + v_n(2 - v_n)} \right)
\end{aligned} \right\} \tag{4.29}$$

Probabilitas genotip individu dengan gen a dan b letal dapat dicari dengan menggunakan persamaan (4.25)-(4.28). Dengan memberikan suatu nilai awal untuk jumlah individu bergenotip $AaBB$ adalah 157, jumlah individu bergenotip $aaBB$ adalah 200, jumlah individu bergenotip $aaBb$ adalah 109, dan jumlah individu bergenotip $AaBb$ adalah 189 maka akan didapatkan grafik probabilitas genotip pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4.9 Probabilitas genotip individu dengan gen A dan b letal tanpa ada keterkaitan antar dua lokus



Gambar 4.10 Probabilitas genotip individu dengan gen *A* dan *b* letal dengan adanya keterkaitan antar dua lokus

Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 merupakan grafik probabilitas genotip individu dengan gen *A* dan *b* letal mulai dari generai ke-1 sampai generasi ke-20. Dari kedua grafik tersebut dapat dilihat bahwa genotip yang mengandung sepasang gen letal, seperti genotip *AABB*, *AABb*, *AAbb*, *Aabb*, dan *aabb*, memiliki probabilitas yang sangat kecil. Dengan demikian, individu yang memiliki sepasang gen letal memiliki kemungkinan untuk hidup dan menghasilkan keturunan sangat kecil. Untuk genotip yang memiliki satu gen letal, seperti genotip *AaBB*, *AaBb*, dan *aaBb*, jumlahnya akan turun untuk setiap generasi, hal ini bisa dilihat grafik probabilitasnya yang nilainya selalu turun untuk setiap generasi. Jadi gen letal yang ada dalam populasi tersebut akan semakin sedikit. Sebaliknya untuk genotip yang tidak memiliki gen letal, dari generasi awal ke generasi berikutnya jumlahnya akan semakin bertambah dengan diiringi berkurangnya jumlah genotip yang memiliki gen letal. Hal ini menunjukkan bahwa individu yang memiliki sepasang gen letal tidak mampu bertahan hidup dan tidak mampu menghasilkan keturunan.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil dan pembahasan pada BAB 4 maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada perkawinan dihibrid secara acak pada kondisi normal, jika tidak ada keterkaitan antar dua lokus maka besarnya probabilitas genotip tertentu untuk setiap generasi adalah sama dengan probabilitas genotip pada awal generasi, sehingga probabilitas genotip generasi ke- n sama dengan probabilitas genotip generasi ke-1. Jika dalam perkawinan antar dua lokus terdapat keterkaitan maka probabilitas genotipnya tidak sama untuk setiap generasi. Beberapa genotip memiliki probabilitas naik dan beberapa genotip yang lain memiliki probabilitas turun untuk setiap generasi. Namun kenaikan ataupun penurunan probabilitas genotip hanya sampai pada generasi tertentu saja dan selanjutnya nilai probabilitasnya sama dengan nilai probabilitas generasi sebelumnya. Untuk probabilitas fenotipnya sama setiap generasi jika tidak ada keterkaitan antar dua lokus sedangkan jika ada keterkaitan antar dua lokus maka probabilitas fenotipnya berubah dapat naik atau turun, namun kenaikan atau penurunan probabilitasnya hanya terbatas pada generasi tertentu saja dan selanjutnya nilai probabilitasnya sama dengan nilai probabilitas generasi sebelumnya.
2. Pada perkawinan dihibrid secara dalam kondisi tidak normal, baik dalam kasus dua lokus saling berkaitan atau tidak adanya keterkaitan antar dua lokus, besarnya probabilitas genotip yang tidak memiliki gen letal naik setiap generasinya. Sedangkan besarnya probabilitas genotip yang memiliki gen letal semakin menurun untuk tiap generasinya. Jadi probabilitasnya pada generasi

ke- n semakin kecil. Dengan demikian, gen letal tersebut semakin sedikit dalam populasi tersebut.

5.2 Saran

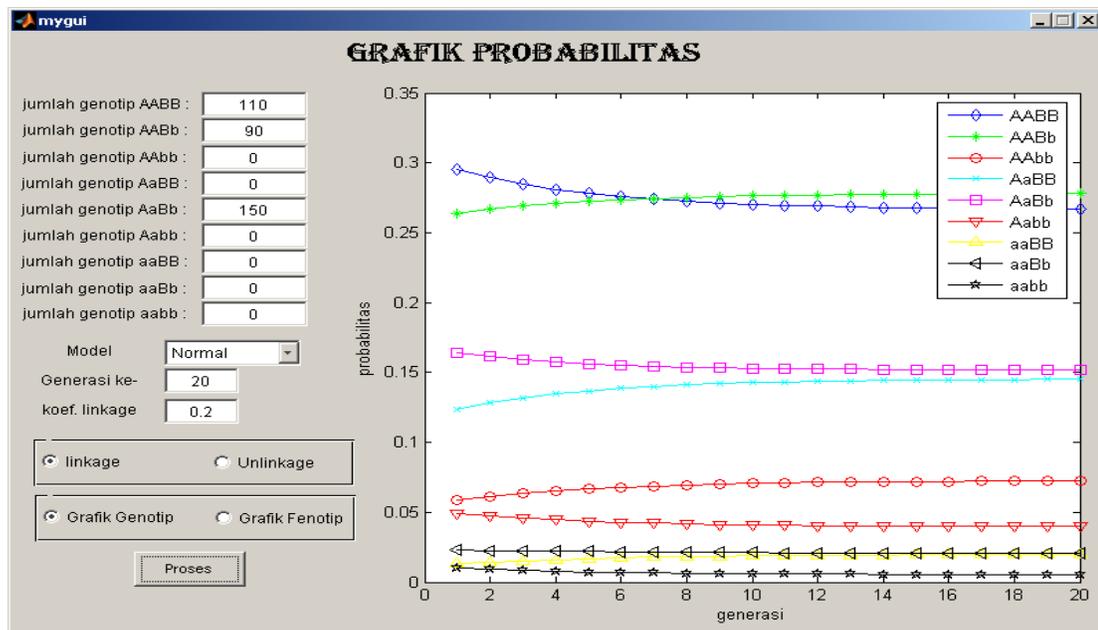
Pada skripsi ini hanya dibahas tentang probabilitas genotip individu tanpa adanya pengaruh dari luar. Pada faktanya di alam banyak faktor lain yang dapat mempengaruhi besarnya probabilitas tersebut, misalnya migrasi individu, mutasi gen, dan seleksi alam. Oleh sebab itu masih terbuka kemungkinan peneliti selanjutnya untuk melanjutkan penelitian ini dengan menambahkan faktor dari luar.

DAFTAR PUSTAKA

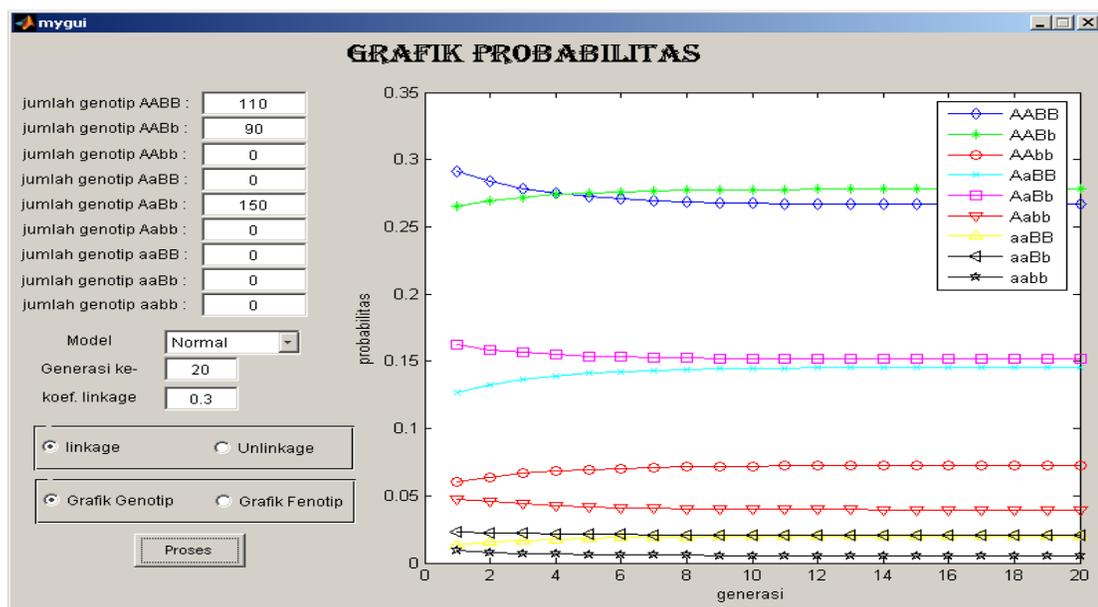
- Arliani, E. 2006. *Peluang*. staff.uny.ac.id/sites/default/files/.../elly.../modul-peluang-elly.pdf [7 Mei 2012]
- Bintari, A. 2005. *Penggunaan Diagonalisasi Matriks dan Model Persamaan Diferensi dalam Penentuan Keturunan Generasi ke-n*. Tidak dipublikasikan. Skripsi. Jember: Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Campbell, S. L., & Haberman, R. 2008. *Introduction to Differential Equations with Dynamical Systems*. New Jersey: Princeton University Press.
- Fitch, D. H. A. 1997. *Null hypothesis: Genetic basis for variation at multiple loci*. http://www.nyu.edu/projects/fitch/courses/evolution/html/variation_at_many_loci.html [20 Nopember 2011].
- Fulford, Forrester, dan Jones. 1997. *Modelling with Differential and Difference Equations*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hidayat, R. 2006. *Persamaan Diferensial Parsial*. Jember: UPT Penerbitan Universitas Jember.
- Islamiyah, N. 2009. *Aplikasi Diagonalisasi Matriks untuk Menyelidiki Pewarisan pada Genotip Generasi ke-n*. Skripsi. Malang: Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang. <http://lib.uin-malang.ac.id/thesis/fullchapter/04510007-nurul-islamiyah.ps> [29 April 2012].
- Ismiyati. 2009. *Aplikasi Model Persamaan Diferensi dalam menentukan Probabilitas Genotip Keturunan Generasi ke-n Jika Terjadi Mutasi*. Tidak dipublikasikan. Skripsi. Jember: Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Okasha, S. 2012. *Population Genetics*. <http://plato.stanford.edu/entries/population-genetics/>. [21 Januari 2013]

- Penna, M. 2005. *Differential vs. Difference Equations*.
http://www.brookscole.com/math_d/special_features/stewart_shared/mathematica_labs/08-differentialequations/p06.pdf. [29 April 2012]
- Stansfield, W. 1991. *Genetika: Seri Buku Schaum Teori dan Soal-Soal*. Jakarta: Erlangga.
- Suryo. 1997. *Genetika Manusia*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Susanto, A. H. 2008. *Dasar-Dasar Pewarisan Mendel*.
<http://18bios1unsoed.files.wordpress.com/2008/03/buku-ajar-gen-02.doc>. [29 April 2012]
- Tirta, I M. 2004. *Pengantar Statistika Matematika*. Jember: Unit Penerbit FMIPA Universitas Jember.

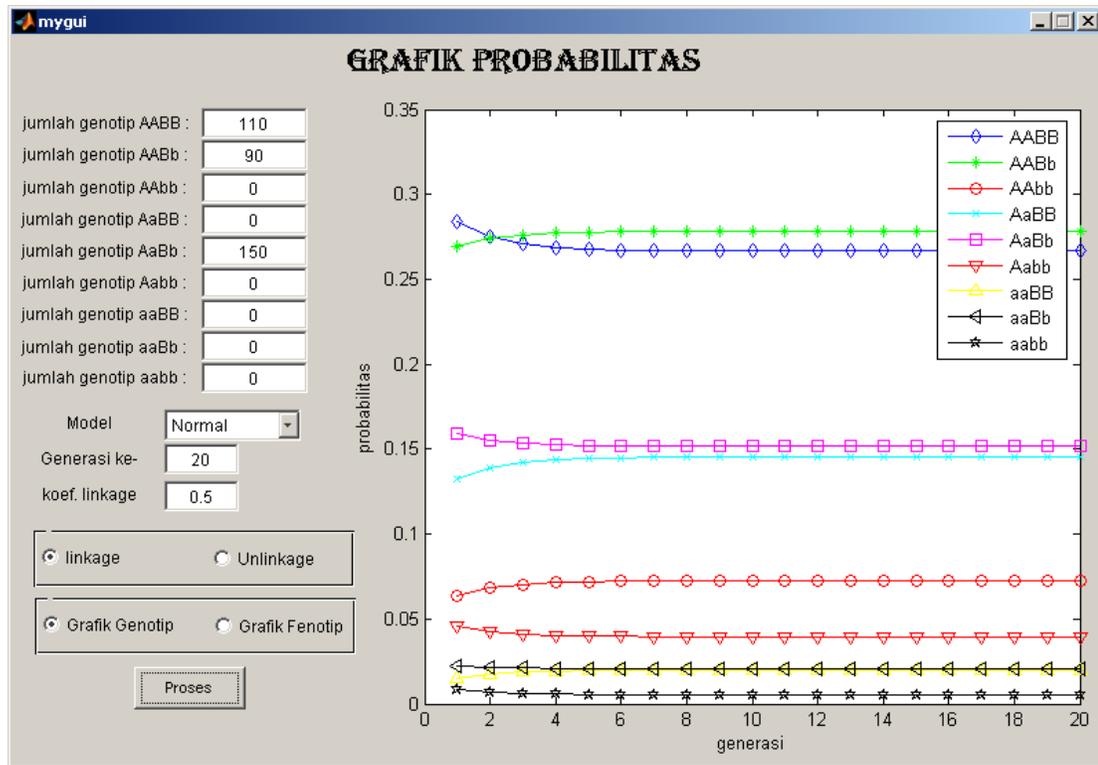
Untuk $l=0,2$



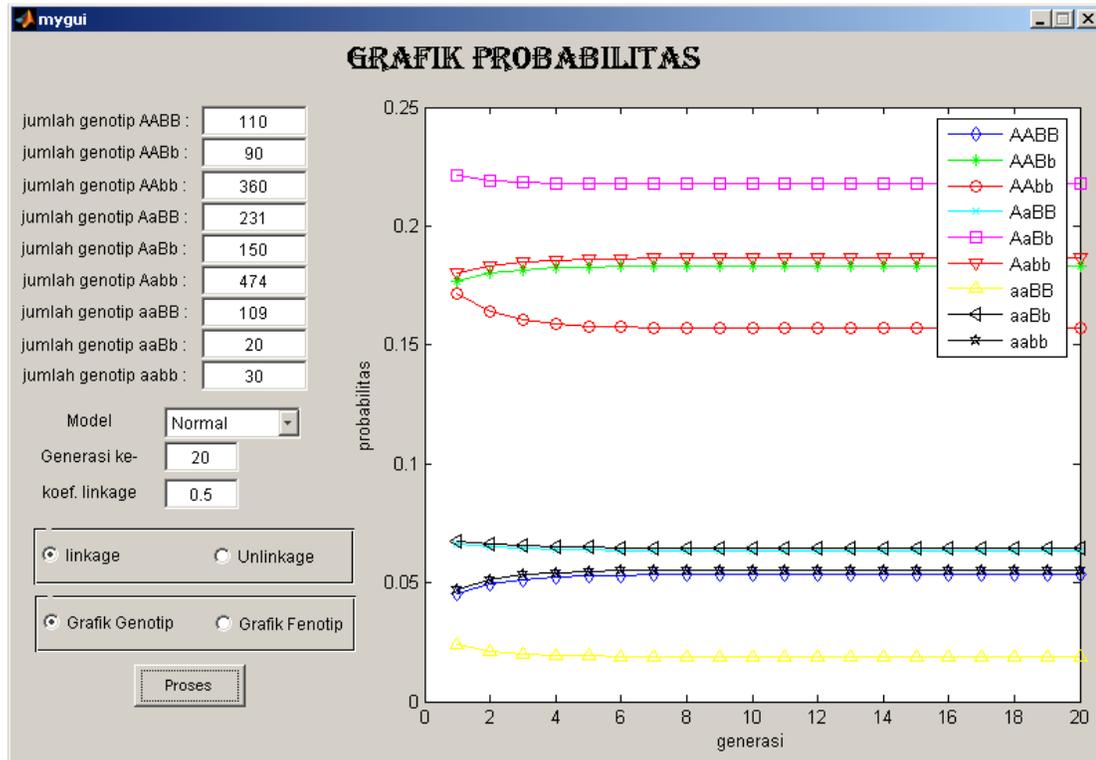
Untuk $l=0,3$



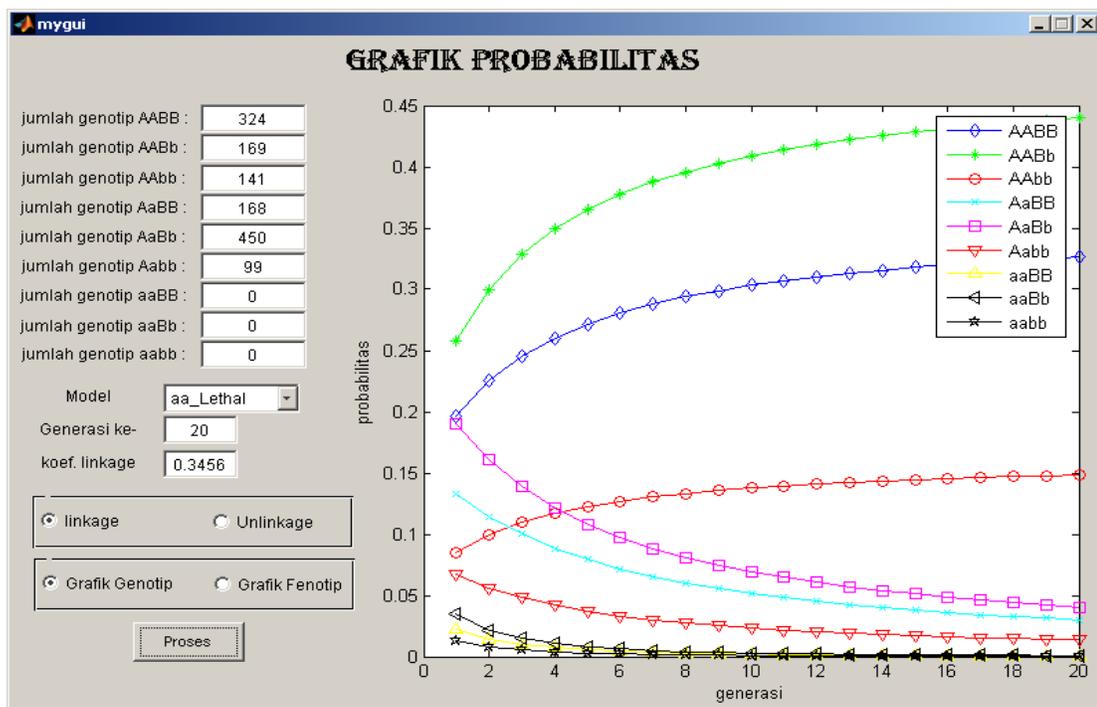
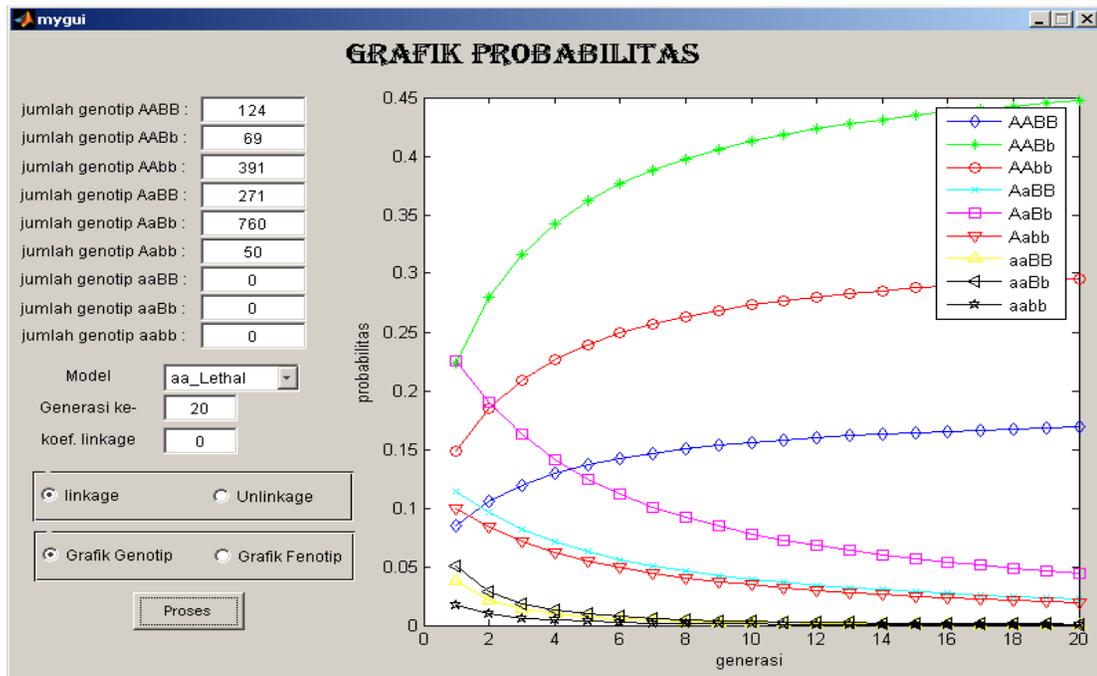
Untuk $l=0,5$



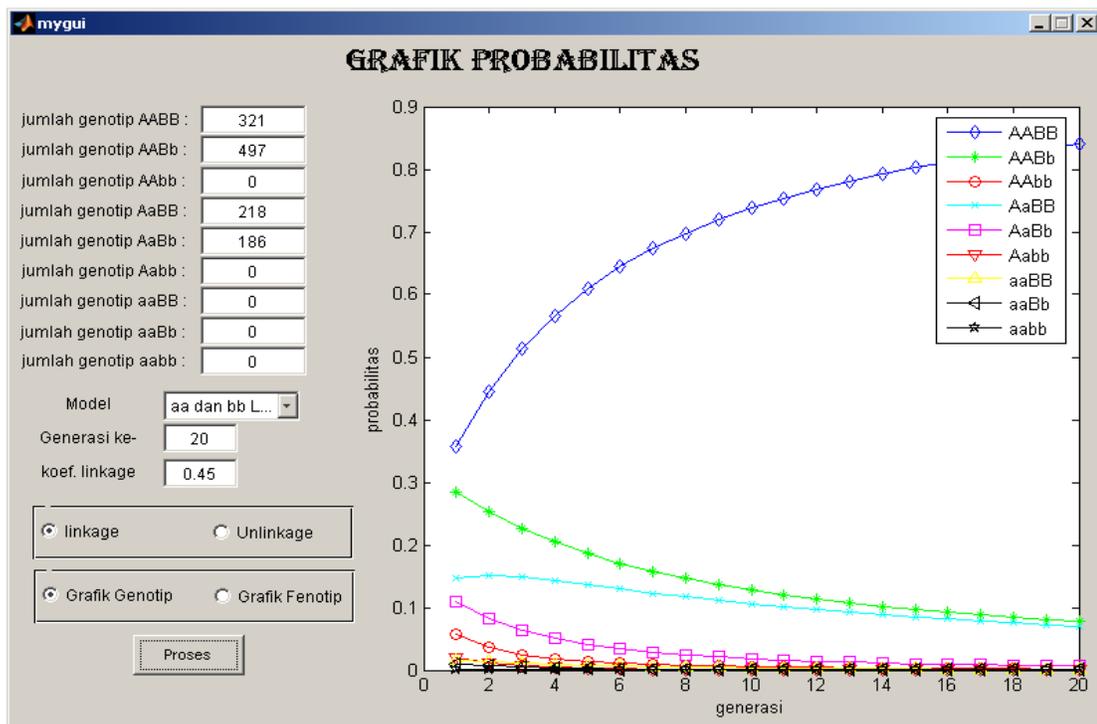
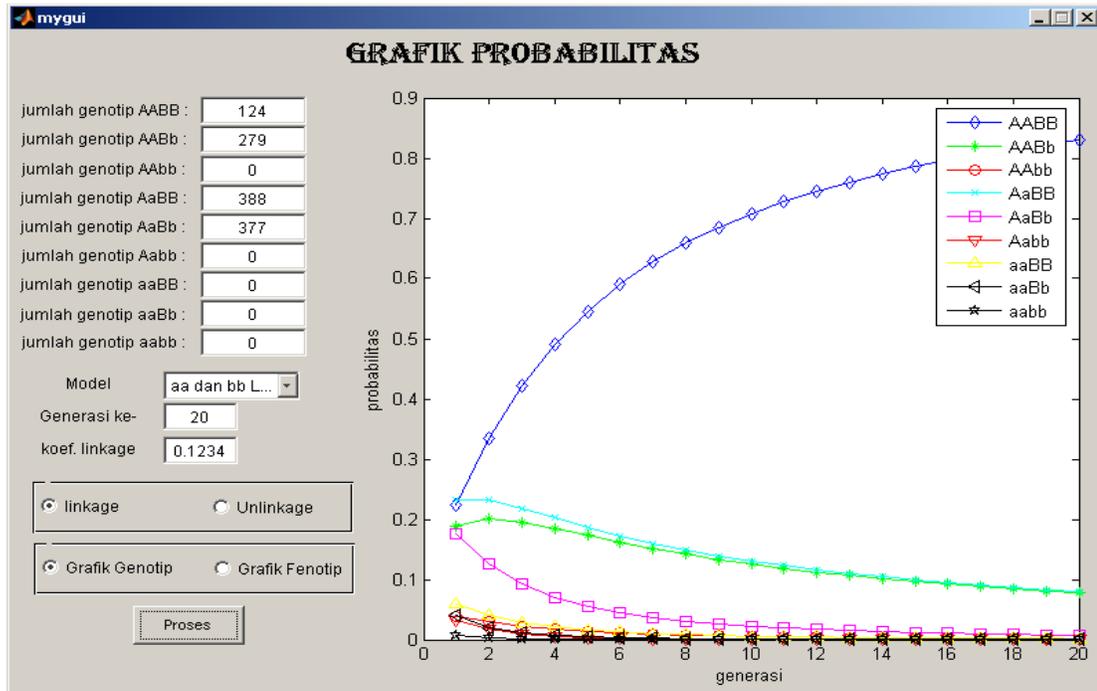
B. Grafik probabilitas genotip kondisi normal untuk contoh lain nilai awal dan koefisien *linkage*



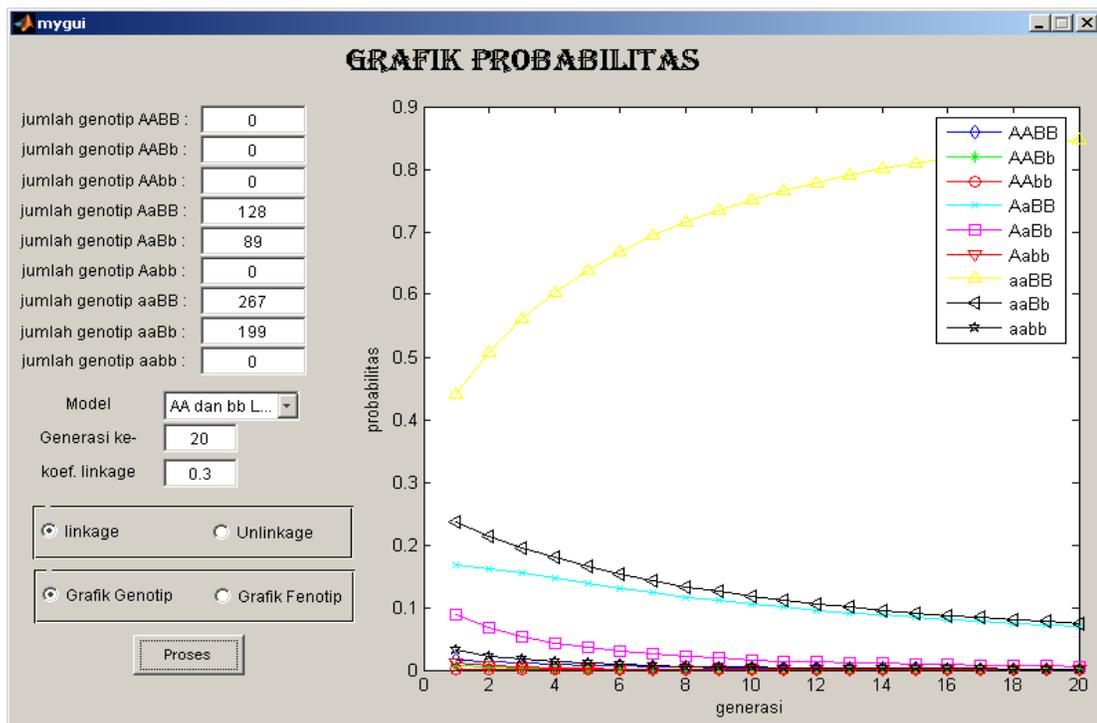
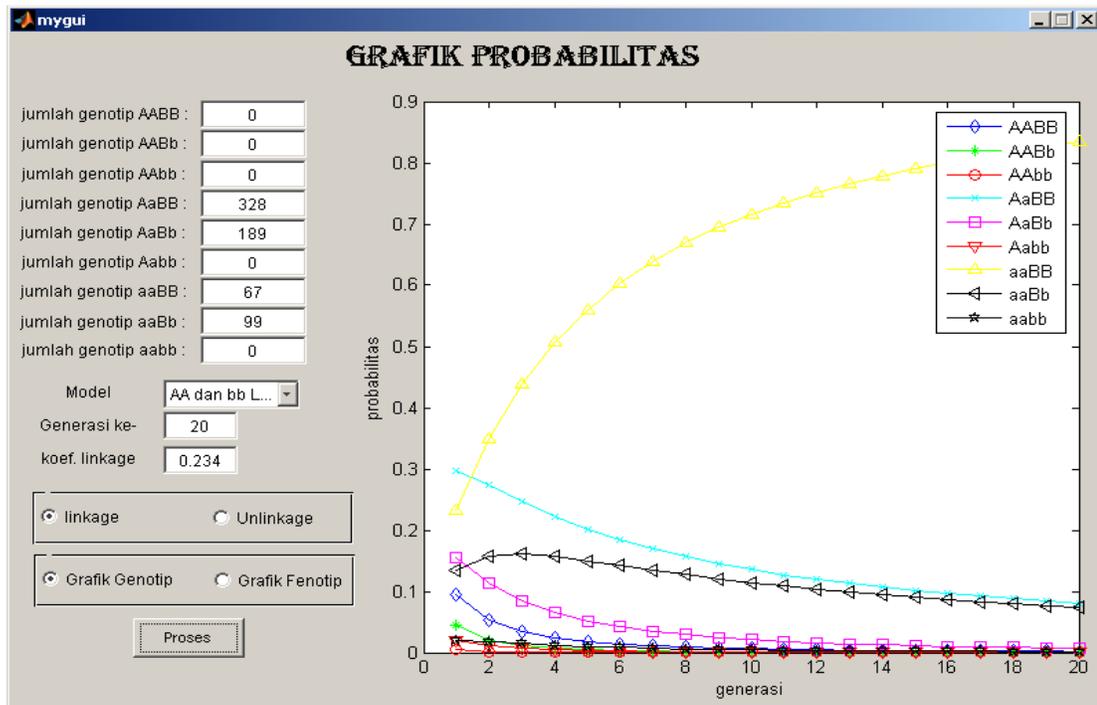
C. Grafik probabilitas genotip dengan adanya gen *a* letal untuk beberapa contoh lain nilai awal dan koefisien *linkage*



D. Grafik probabilitas genotip dengan adanya gen *a* dan gen *b* letal untuk beberapa contoh lain nilai awal dan koefisien *linkage*



E. Grafik probabilitas genotip dengan adanya gen *A* dan gen *b* letal untuk beberapa contoh lain nilai awal dan koefisien *linkage*



F. Frekuensi fenotip individu pada kondisi normal dengan adanya keterkaitan antar dua lokus ($l=0,4$) untuk generasi ke-1 sampai generasi ke-20

Editor - C:\MATLAB7\work\coba.txt

File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help

| | n | A B | A b | a B | a b |
|----|----|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | 1 | 0.8453053 | 0.1087763 | 0.0371436 | 0.0087747 |
| 5 | 2 | 0.8438566 | 0.1102251 | 0.0385924 | 0.0073260 |
| 6 | 3 | 0.8430500 | 0.1110316 | 0.0393990 | 0.0065194 |
| 7 | 4 | 0.8425887 | 0.1114930 | 0.0398603 | 0.0060580 |
| 8 | 5 | 0.8423200 | 0.1117617 | 0.0401290 | 0.0057894 |
| 9 | 6 | 0.8421617 | 0.1119200 | 0.0402873 | 0.0056311 |
| 10 | 7 | 0.8420678 | 0.1120139 | 0.0403812 | 0.0055372 |
| 11 | 8 | 0.8420118 | 0.1120698 | 0.0404372 | 0.0054812 |
| 12 | 9 | 0.8419783 | 0.1121033 | 0.0404706 | 0.0054477 |
| 13 | 10 | 0.8419583 | 0.1121233 | 0.0404907 | 0.0054277 |
| 14 | 11 | 0.8419463 | 0.1121353 | 0.0405027 | 0.0054157 |
| 15 | 12 | 0.8419391 | 0.1121425 | 0.0405098 | 0.0054085 |
| 16 | 13 | 0.8419348 | 0.1121468 | 0.0405142 | 0.0054042 |
| 17 | 14 | 0.8419322 | 0.1121494 | 0.0405167 | 0.0054016 |
| 18 | 15 | 0.8419307 | 0.1121509 | 0.0405183 | 0.0054001 |
| 19 | 16 | 0.8419298 | 0.1121519 | 0.0405192 | 0.0053991 |
| 20 | 17 | 0.8419292 | 0.1121524 | 0.0405198 | 0.0053986 |
| 21 | 18 | 0.8419289 | 0.1121528 | 0.0405201 | 0.0053983 |
| 22 | 19 | 0.8419287 | 0.1121530 | 0.0405203 | 0.0053981 |
| 23 | 20 | 0.8419285 | 0.1121531 | 0.0405204 | 0.0053979 |
| 24 | | | | | |

mygui.m × normallinkfen.txt* × coba.txt ×

plain text file Ln 25 Col 1 OVR

G. Skrip Program

```

function varargout = mygui(varargin)

gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @mygui_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @mygui_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function mygui_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = mygui_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc

```

```
        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    else
        set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
    end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit9_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit9_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
```

```

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

set(handles.radiobutton2,'Value',0);
pilih = 1;
handles.pilih=pilih;
guidata(hObject,handles)

function radiobutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.radiobutton1,'Value',0);
pilih = 2;
handles.pilih=pilih;
guidata(hObject,handles)

function radiobutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.radiobutton4,'Value',0);
linkage = 1;
handles.linkage=linkage;
guidata(hObject,handles)

function radiobutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)

set(handles.radiobutton3,'Value',0);
linkage = 2;
handles.linkage=linkage;
guidata(hObject,handles)

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)

myform = guidata(gcbo);
n=str2double(get(myform.edit10,'String'));
while n<=0
    msgbox('maaf anda belum memasukkan jumlah generasi yang lebih dari nol','Peringatan','warn');
    return
end
x1=str2double(get(myform.edit1,'String'));
x2=str2double(get(myform.edit2,'String'));
x3=str2double(get(myform.edit3,'String'));
x4=str2double(get(myform.edit4,'String'));
x5=str2double(get(myform.edit5,'String'));
x6=str2double(get(myform.edit6,'String'));

```

```

x7=str2double(get(myform.edit7,'String'));
x8=str2double(get(myform.edit8,'String'));
x9=str2double(get(myform.edit9,'String'));
while x1<=0 & x2<=0 & x3<=0 & x4<=0 & x5<=0 & x6<=0 & x7<=0 & x8<=0 & x9<=0
    msgbox('maaf anda belum memasukkan jumlah genotip yang lebih dari
nol','Peringatan','warn');
    return
end
X=x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9;
linkage=handles.linkage;

if linkage == 2
w(1)=(2*x9 + x6 + x8 + x5/2)/(2*X);
v(1)=(2*x7 + x8 + x4 + x5/2)/(2*X);
u(1)=(2*x3 + x2 + x6 + x5/2)/(2*X);
t(1)=(2*x1 + x2 + x4 + x5/2)/(2*X);

p(1)=t(1)+u(1);
q(1)=w(1)+v(1);
r(1)=t(1)+v(1);
s(1)=w(1)+u(1);

pilihan=get(myform.popupmenu1,'Value');
switch pilihan
    case 1
        for i=1:n-1
            w(i+1)=w(i);
            v(i+1)=v(i);
            u(i+1)=u(i);
            t(i+1)=t(i);
        end

    case 2
        if x7==0 & x8==0 & x9==0
            for i=1:n-1
                w(i+1)=w(i)/(1+w(i)+v(i));
                v(i+1)=v(i)/(1+w(i)+v(i));
                u(i+1)=u(i)/(p(i)+p(i)*q(i));
                t(i+1)=t(i)/(p(i)+p(i)*q(i));

                p(i+1)=t(i+1)+u(i+1);
                q(i+1)=w(i+1)+v(i+1);
                r(i+1)=t(i+1)+v(i+1);
                s(i+1)=w(i+1)+u(i+1);
            end
        else
            msgbox('Jumlah aaBB, aaBb, dan aabb harus
0','Peringatan','warn');
            return
        end

    case 3
        if x7==0 & x8==0 & x9==0 & x3==0 & x6==0
            for i=1:n-1
                w(i+1)=w(i)*t(i)/(t(i)*(2-t(i))+2*u(i)*v(i));
                v(i+1)=v(i)*p(i)/(t(i)*(2-t(i))+2*u(i)*v(i));
                u(i+1)=u(i)*r(i)/(t(i)*(2-t(i))+2*u(i)*v(i));
                t(i+1)=t(i)/(t(i)*(2-t(i))+2*u(i)*v(i));
            end
        end
    end
end

```

```

        p(i+1)=t(i+1)+u(i+1);
        q(i+1)=w(i+1)+v(i+1);
        r(i+1)=t(i+1)+v(i+1);
        s(i+1)=w(i+1)+u(i+1);
    end
    else
        msgbox('Jumlah aaBB, aaBb, AAbb,Aabb, dan aabb harus
0','Peringatan','warn');
        return
    end

    case 4
        if x1==0 & x2==0 & x3==0 & x6==0 & x9==0
            for i=1:n-1
                w(i+1)=w(i)*r(i)/(2*t(i)*w(i)+v(i)*(2-v(i)));
                v(i+1)=v(i)/(2*t(i)*w(i)+v(i)*(2-v(i)));
                u(i+1)=u(i)*v(i)/(2*t(i)*w(i)+v(i)*(2-v(i)));
                t(i+1)=t(i)*q(i)/(2*t(i)*w(i)+v(i)*(2-v(i)));

                p(i+1)=t(i+1)+u(i+1);
                q(i+1)=w(i+1)+v(i+1);
                r(i+1)=t(i+1)+v(i+1);
                s(i+1)=w(i+1)+u(i+1);
            end
            else
                msgbox('Jumlah AABB, AABb, AAbb, Aabb, dan aabb harus
0','Peringatan','warn');
                return
            end

        end
    else
        l=str2double(get(myform.edit11,'String'));
        w(1)=(2*x9 + x6 + x8 + x5/2)/(2*X);
        v(1)=(2*x7 + x8 + x4 + x5/2)/(2*X);
        u(1)=(2*x3 + x2 + x6 + x5/2)/(2*X);
        t(1)=(2*x1 + x2 + x4 + x5/2)/(2*X);
        D(1)=t(1)*w(1)-u(1)*v(1);
        w(1)=w(1)-1*D(1);
        v(1)=v(1)+1*D(1);
        u(1)=u(1)+1*D(1);
        t(1)=t(1)-1*D(1);

        p(1)=t(1)+u(1);
        q(1)=w(1)+v(1);
        r(1)=t(1)+v(1);
        s(1)=w(1)+u(1);

        pilihan=get(myform.popupmenu1,'Value');
        switch pilihan
            case 1
                for i=1:n-1
                    w(i+1)=w(i);
                    v(i+1)=v(i);
                    u(i+1)=u(i);
                    t(i+1)=t(i);
                    D(i+1)=t(i+1)*w(i+1)-u(i+1)*v(i+1);
                    w(i+1)=w(i+1)-1*D(i+1);

```

```

        v(i+1)=v(i+1)+1*D(i+1);
        u(i+1)=u(i+1)+1*D(i+1);
        t(i+1)=t(i+1)-1*D(i+1);
    end

case 2
    if x7==0 & x8==0 & x9==0
        for i=1:n-1
            w(i+1)=w(i)/(1+w(i)+v(i));
            v(i+1)=v(i)/(1+w(i)+v(i));
            u(i+1)=u(i)/(p(i)+p(i)*q(i));
            t(i+1)=t(i)/(p(i)+p(i)*q(i));
            D(i+1)=t(i+1)*w(i+1)-u(i+1)*v(i+1);
            w(i+1)=w(i+1)-1*D(i+1);
            v(i+1)=v(i+1)+1*D(i+1);
            u(i+1)=u(i+1)+1*D(i+1);
            t(i+1)=t(i+1)-1*D(i+1);

            p(i+1)=t(i+1)+u(i+1);
            q(i+1)=w(i+1)+v(i+1);
            r(i+1)=t(i+1)+v(i+1);
            s(i+1)=w(i+1)+u(i+1);
        end
    else
        msgbox('Jumlah aaBB, aaBb, dan aabb harus
0','Peringatan','warn');
        return
    end

case 3
    if x7==0 & x8==0 & x9==0 & x3==0 & x6==0
        for i=1:n-1
            w(i+1)=w(i)*t(i)/(t(i)*(2-t(i))+2*u(i)*v(i));
            v(i+1)=v(i)*p(i)/(t(i)*(2-t(i))+2*u(i)*v(i));
            u(i+1)=u(i)*r(i)/(t(i)*(2-t(i))+2*u(i)*v(i));
            t(i+1)=t(i)/(t(i)*(2-t(i))+2*u(i)*v(i));
            D(i+1)=t(i+1)*w(i+1)-u(i+1)*v(i+1);
            w(i+1)=w(i+1)-1*D(i+1);
            v(i+1)=v(i+1)+1*D(i+1);
            u(i+1)=u(i+1)+1*D(i+1);
            t(i+1)=t(i+1)-1*D(i+1);

            p(i+1)=t(i+1)+u(i+1);
            q(i+1)=w(i+1)+v(i+1);
            r(i+1)=t(i+1)+v(i+1);
            s(i+1)=w(i+1)+u(i+1);
        end
    else
        msgbox('Jumlah aaBB, aaBb, AAbb,Aabb, dan aabb harus
0','Peringatan','warn');
        return
    end

case 4
    if x1==0 & x2==0 & x3==0 & x6==0 & x9==0
        for i=1:n-1
            w(i+1)=w(i)*r(i)/(2*t(i)*w(i)+v(i)*(2-v(i)));
            v(i+1)=v(i)/(2*t(i)*w(i)+v(i)*(2-v(i)));

```

```

        u(i+1)=u(i)*v(i)/(2*t(i)*w(i)+v(i)*(2-v(i)));
        t(i+1)=t(i)*q(i)/(2*t(i)*w(i)+v(i)*(2-v(i)));
        D(i+1)=t(i+1)*w(i+1)-u(i+1)*v(i+1);
        w(i+1)=w(i+1)-1*D(i+1);
        v(i+1)=v(i+1)+1*D(i+1);
        u(i+1)=u(i+1)+1*D(i+1);
        t(i+1)=t(i+1)-1*D(i+1);

        p(i+1)=t(i+1)+u(i+1);
        q(i+1)=w(i+1)+v(i+1);
        r(i+1)=t(i+1)+v(i+1);
        s(i+1)=w(i+1)+u(i+1);
    end
    else
        msgbox('Jumlah AABB, AABb, AAbb, Aabb, dan aabb harus
0', 'Peringatan', 'warn');
        return
    end
end
end

for j=1:n
    p1(j)=(t(j))^2;
    p2(j)=2*t(j)*u(j);
    p3(j)=(u(j))^2;
    p4(j)=2*t(j)*v(j);
    p5(j)=2*t(j)*w(j)+2*u(j)*v(j);
    p6(j)=2*u(j)*w(j);
    p7(j)=(v(j))^2;
    p8(j)=2*v(j)*w(j);
    p9(j)=(w(j))^2;
    q1(j)=p1(j)+p2(j)+p4(j)+p5(j);
    q2(j)=p3(j)+p6(j);
    q3(j)=p7(j)+p8(j);
    q4(j)=p9(j);
end

p=p1(n)+p2(n)+p3(n)+p4(n)+p5(n)+p6(n)+p7(n)+p8(n)+p9(n)
m=[1:1:n];

pilih=handles.pilih;
switch pilih
    case 1
        set(myform.figure1, 'CurrentAxes', myform.axes1);
        plot(m, p1, 'd-b', m, p2, '*-g', m, p3, 'o-r', m, p4, 'x-c', m, p5, 's-m', m, p6, 'v-
r', m, p7, '^~y', m, p8, '<-k', m, p9, 'p-k');
        xlabel('generasi'), ylabel('probabilitas');

    legend('AABB', 'AABb', 'AAbb', 'AaBB', 'AaBb', 'Aabb', 'aaBB', 'aaBb', 'aabb');
        hold off;
    case 2
        set(myform.figure1, 'CurrentAxes', myform.axes1);
        plot(m, q1, 'd-b', m, q2, '*-g', m, q3, 'o-r', m, q4, 'x-c');
        xlabel('generasi'), ylabel('probabilitas');
        legend('fenotip AB', 'fenotip Ab', 'fenotip aB', 'fenotip ab');
        hold off;
end
[namafile, direktori]=uiputfile('*.txt', 'simpan hasil sebagai');

```

```

eval(['cd ''' direktori '''']);
fout=fopen(namafile,'w');
if pilih == 1
    if linkage == 2
        fprintf(fout, '_____
        _____\n');
        fprintf(fout, '%2s \t %7s \t
        %7s\n', ...
            'n', 'AABB', 'AABb', 'AAbb', 'AaBB', 'AaBb', 'Aabb', 'aaBB', 'aaBb', 'aabb');
        fprintf(fout, '_____
        _____\n');
        for i=1:n
            fprintf(fout, '%2.0f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t
            %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \n', ...
                i, p1(i), p2(i), p3(i), p4(i), p5(i), p6(i), p7(i), p8(i), p9(i));
        end;
        fprintf(fout, '_____
        _____\n');
        fprintf(fout, '\n_____
        _____\n');
        fprintf(fout, '%2s \t %7s \t %7s \t %7s \t %7s \t %7s \n', ...
            'n', 'p(AB)', 'p(Ab)', 'p(aB)', 'p(ab)');
        fprintf(fout, '_____
        _____\n');
        for i=1:n
            fprintf(fout, '%2.0f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \n', ...
                i, t(i), u(i), v(i), w(i));
        end;
        fprintf(fout, '_____
        _____\n');
        else
            fprintf(fout, '_____
            _____\n');
            fprintf(fout, '%2s \t %7s \t
            %7s \n', ...
                'n', 'D', 'AABB', 'AABb', 'AAbb', 'AaBB', 'AaBb', 'Aabb', 'aaBB', 'aaBb', 'aabb');
            fprintf(fout, '_____
            _____\n');
            for i=1:n
                fprintf(fout, '%2.0f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t
                %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \n', ...
                    i, D(i), p1(i), p2(i), p3(i), p4(i), p5(i), p6(i), p7(i), p8(i), p9(i));
            end;
            fprintf(fout, '_____
            _____\n');
            fprintf(fout, '\n_____
            _____\n');
            fprintf(fout, '%2s \t %7s \t %7s \t %7s \t %7s \n', ...
                'n', 'p(AB)', 'p(Ab)', 'p(aB)', 'p(ab)');
            fprintf(fout, '_____
            _____\n');
            for i=1:n
                fprintf(fout, '%2.0f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \t %1.5f \n', ...
                    i, t(i), u(i), v(i), w(i));
            end;
            fprintf(fout, '_____
            _____\n');
            end;
        else
            fprintf(fout, '_____
            _____\n');
            fprintf(fout, '%2s \t %7s \t %7s \t %7s \t %7s \n', ...
                'n', 'A B', 'A b', 'a B', 'a b');
            fprintf(fout, '_____
            _____\n');

```

```
for i=1:n
    fprintf(fout,'%2.0f \t %3.7f \t %3.7f \t %3.7f \t %3.7f \n',...
           i,q1(i),q2(i),q3(i),q4(i));
end;
fprintf(fout,'_____ \n');
end;
fclose(fout);

function edit10_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit10_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end

function edit11_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit11_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
    set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'));
end
```