

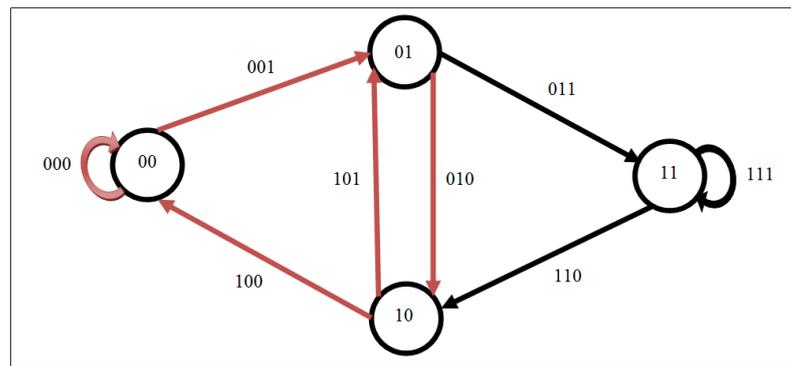
Berdasarkan Tabel 4.1.1 sampai dengan Tabel 4.6.6, dapat dilihat bahwa *cross-over* yang melibatkan permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 (Tabel 4.1.1 – Tabel 4.1.6 atau Tabel 4.2.1 – Tabel 4.2.6), permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6 (Tabel 4.3.1 – Tabel 4.3.6 atau Tabel 4.4.1 – Tabel 4.4.6), permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 (Tabel 4.5.1 – Tabel 4.5.6 atau Tabel 4.6.1 – Tabel 4.6.6) pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$ memiliki beberapa penyelesaian. Berikut adalah beberapa penyelesaian tersebut.

4.3.1. Penyelesaian Tak Layak (Keturunan Gagal).

Cross-over yang melibatkan permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$ memiliki 60 penyelesaian tak layak (keturunan gagal) dari 72 *cross-over* yang dilakukan, sedangkan pada *cross-over* yang melibatkan permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6 pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$ memiliki 49 penyelesaian tak layak (keturunan gagal) dari 72 *cross-over* yang dilakukan, dan untuk *cross-over* yang melibatkan permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$ memiliki 60 penyelesaian tak layak (keturunan gagal) dari 72 *cross-over* yang dilakukan. Beberapa penyelesaian tersebut antara lain :

1. *Cross-Over* ke 27 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 2, 3, 4 dan 5

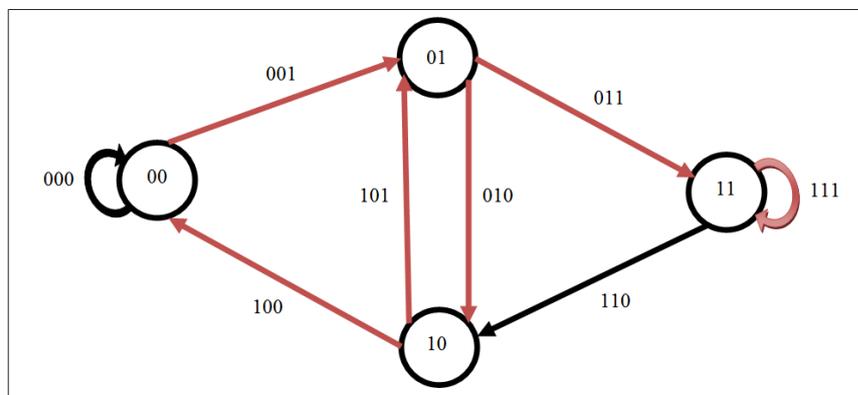
Cross-over ke 27 pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 yang memiliki induk 1 (01110001) dan induk 2 (11010011) menghasilkan keturunan gagal (01010001). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Hasil keturunan gagal dari *cross-over* ke 27 pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5

2. *Cross-Over* ke 60 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 2, 3, 4 dan 5

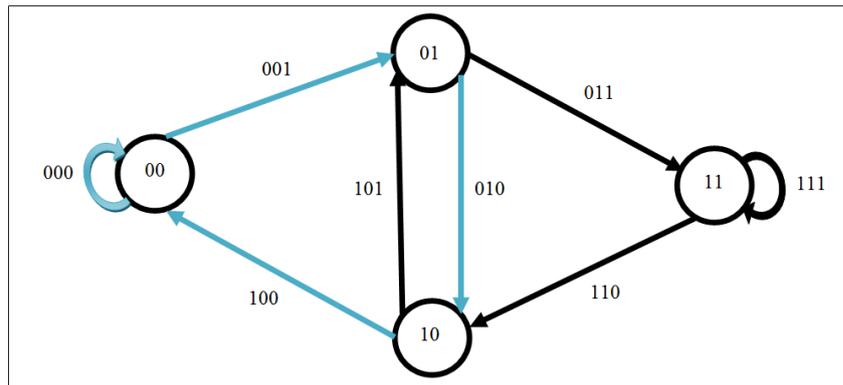
Cross-over ke 60 pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 yang memiliki induk 1 (11000111) dan induk 2 (10010110) menghasilkan keturunan gagal (10010111). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Hasil keturunan gagal dari *cross-over* ke 60 pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5

3. *Cross-Over* ke 49 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 3, 4, 5 dan 6

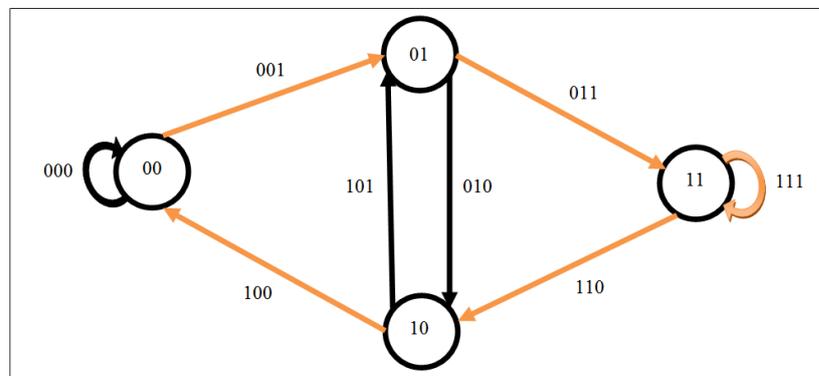
Cross-over ke 49 pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6 yang memiliki induk 1 (11000111) dan induk 2 (00110100) menghasilkan keturunan gagal (00000100). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Hasil keturunan gagal dari *cross-over* ke 49 pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6

4. *Cross-Over* ke 20 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 4, 5, 6 dan 7

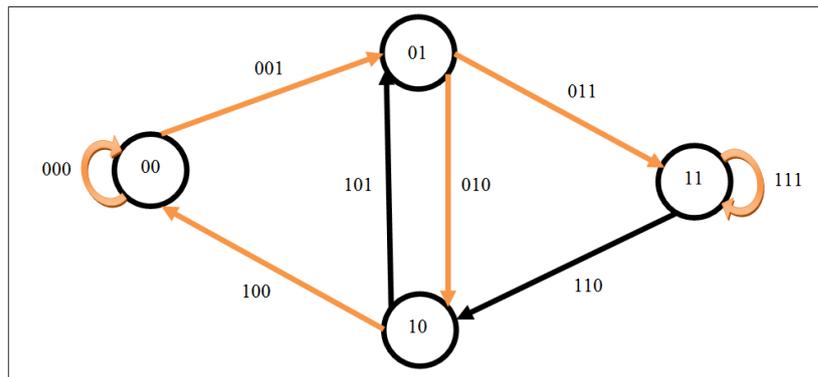
Cross-over ke 20 pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 yang memiliki induk 1 (00111000) dan induk 2 (01100101) menghasilkan keturunan gagal (01111001). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Hasil keturunan gagal dari *cross-over* ke 20 pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7

5. *Cross-Over* ke 53 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 4, 5, 6 dan 7

Cross-over ke 53 pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 yang memiliki induk 1 (11000111) dan induk 2 (01001101) menghasilkan keturunan gagal (01000111). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Hasil keturunan gagal dari *cross-over* ke 53 pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7

Pada *cross-over* graf *deBruijn* $D_{2,3}$ akan menghasilkan penyelesaian tak layak (keturunan gagal) jika memenuhi paling sedikit 1 sifat dari 5 sifat keturunan tak layak berikut .

1. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang memiliki 8 gen biner individu (barisan *deBruijn*) yang tidak sama dengan salah satu dari seluruh induk pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$. Contohnya pada keturunan 60 pada permutasi posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 (10010111) menghasilkan keturunan yang tidak sama dengan salah satu induk 1 {00011100, 00111000, 01110001, 11100011, 11000111, 10001110} maupun salah satu induk 2 {00110100, 01101001, 11010011, 10100110, 01001101, 10011010, 00101100, 01100101, 11001011, 01011001, 10110010, 10010110}.
2. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang tidak berbentuk *Eulerian Tour*. Contohnya pada keturunan 53 pada permutasi posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 (01000111) yang dapat dilihat pada Gambar 4.8.

3. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang memiliki lebih dari 3 gen biner yang sama secara berturut – turut. Contohnya pada keturunan 38 pada permutasi posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 (01100001) terdapat 4 gen biner 0 secara berturut – turut (0000).
4. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang memiliki *bitstring* kembar dengan panjang 3. Contohnya pada keturunan 67 pada permutasi posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6 (10101110) dengan *bitstring* – *bitstring* {101, 010, 101, 011, 111, 110} terdapat *bitstring* kembar (101).
5. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang tidak semua *bitstring* memiliki pasangan atau lawan *bitstringnya* (1 berpasangan atau berlawanan dengan 0, sehingga 101 berpasangan atau berlawanan dengan 010). Contohnya pada keturunan 58 pada permutasi posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 (01000111) dengan *bitstring* – *bitstring* {010, 100, 000, 001, 011, 111} sehingga *bitsring* 100 berpasangan dengan 011, *bitsring* 000 berpasangan dengan 111, sedangkan *bitsring* 010 dan *bitsring* 001 tidak memiliki pasangan *bitstring*.

Pada sifat keturunan tak layak, sifat 1 *ekuivalen* dengan sifat 2, 3, 4 dan sifat 1 juga *ekuivalen* dengan sifat 2, 3, 5. Artinya, jika sifat 1 terpenuhi maka sifat 2, 3 dan 4 atau sifat 2, 3 dan 5 juga terpenuhi.

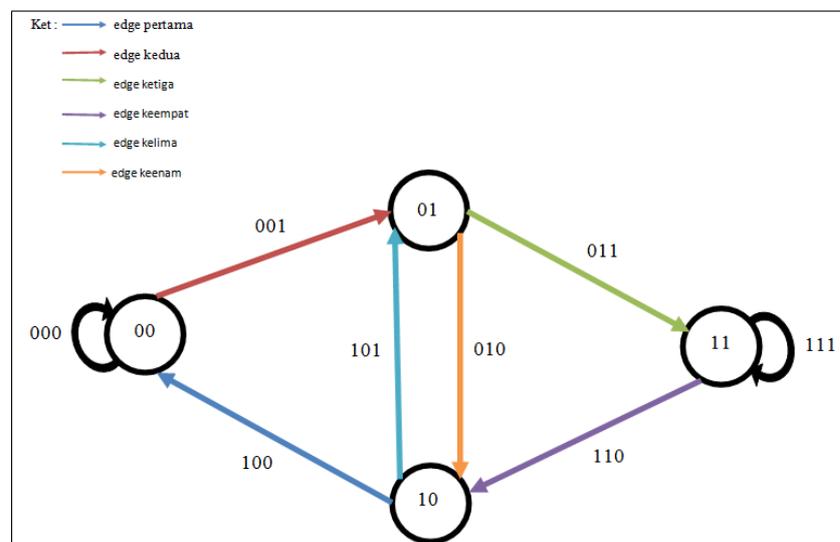
4.3.2. Penyelesaian Layak (Keturunan Berhasil)

Cross-over yang melibatkan permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$ memiliki 12 penyelesaian layak (keturunan berhasil) dari

72 *cross-over* yang dilakukan, sedangkan pada *cross-over* yang melibatkan permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6 pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$ memiliki 23 penyelesaian layak (keturunan berhasil) dari 72 *cross-over* yang dilakukan, dan untuk *cross-over* yang melibatkan permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$ memiliki 12 penyelesaian layak (keturunan berhasil) dari 72 *cross-over* yang dilakukan. Beberapa penyelesaian tersebut antara lain :

1. *Cross-Over* ke 6 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 2, 3, 4 dan 5

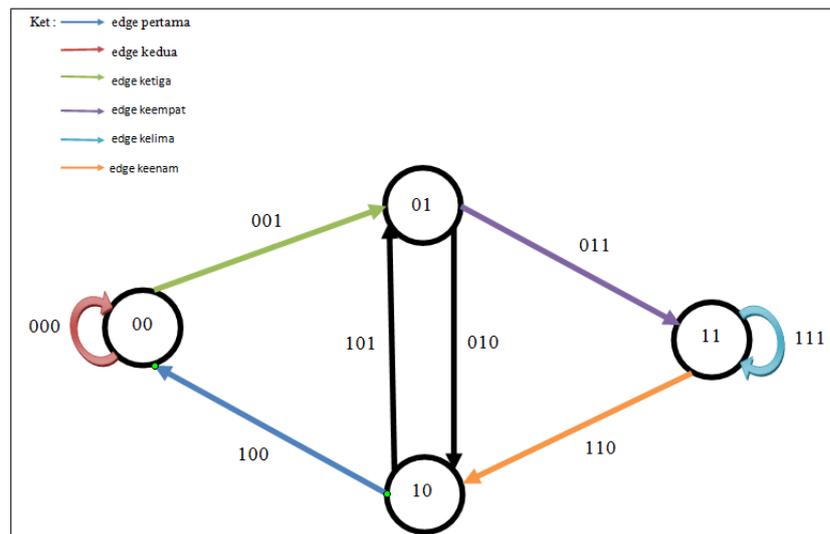
Cross-over ke 6 pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 yang memiliki induk 1 (00011100) dan induk 2 (10011010) menghasilkan keturunan layak (10011010). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9. Hasil keturunan berhasil dari *cross-over* ke 6 pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5

2. *Cross-Over* ke 72 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 2, 3, 4 dan 5

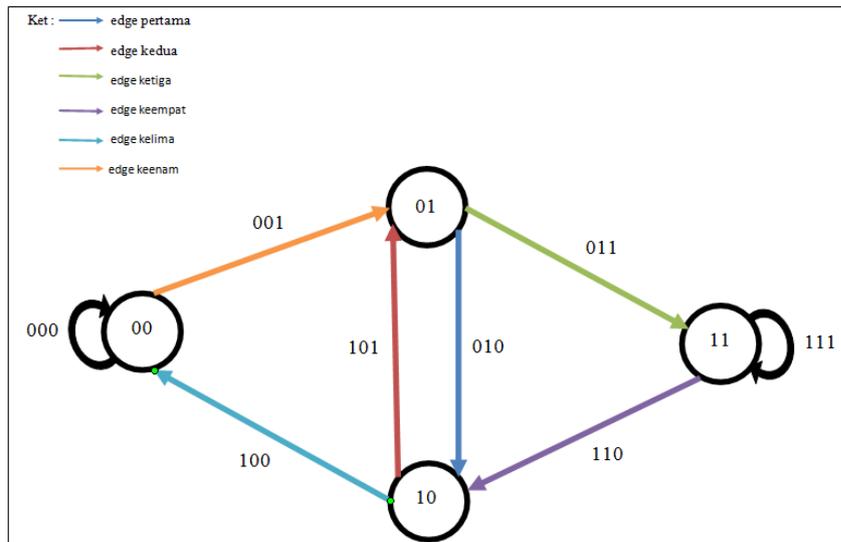
Cross-over ke 72 pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 yang memiliki induk 1 (10001110) dan induk 2 (10010110) menghasilkan keturunan layak (10001110). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10. Hasil keturunan berhasil dari *cross-over* ke 72 pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5

3. *Cross-Over* ke 30 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 3, 4, 5 dan 6

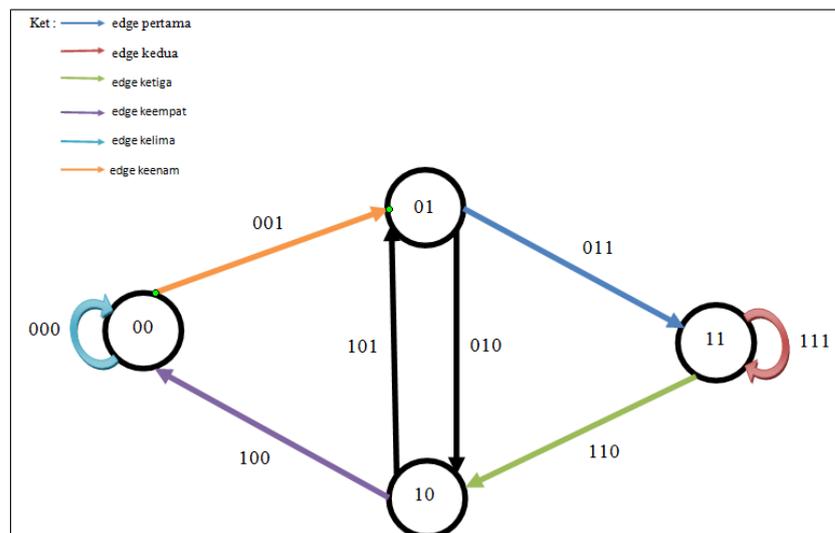
Cross-over ke 30 pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6 yang memiliki induk 1 (01110001) dan induk 2 (10011010) menghasilkan keturunan layak (01011001). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. Hasil keturunan berhasil dari *cross-over* ke 30 pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6

4. *Cross-Over* ke 35 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 3, 4, 5 dan 6

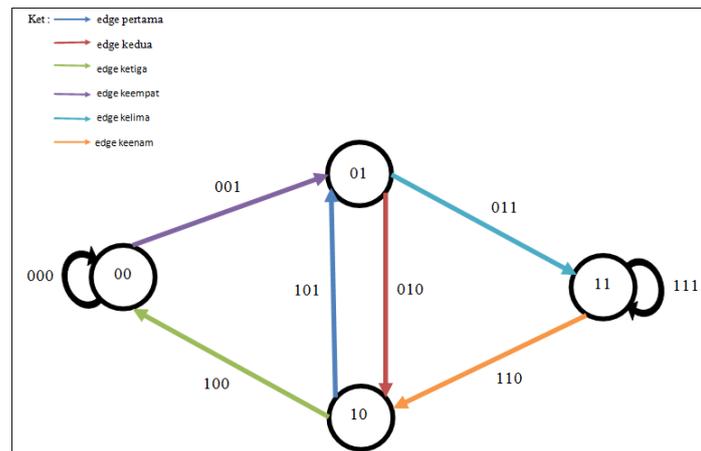
Cross-over ke 35 pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6 yang memiliki induk 1 (01110001) dan induk 2 (10110010) menghasilkan keturunan layak (01110001). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Hasil keturunan berhasil dari *cross-over* ke 35 pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6

5. *Cross-Over* ke 59 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 4, 5, 6 dan 7

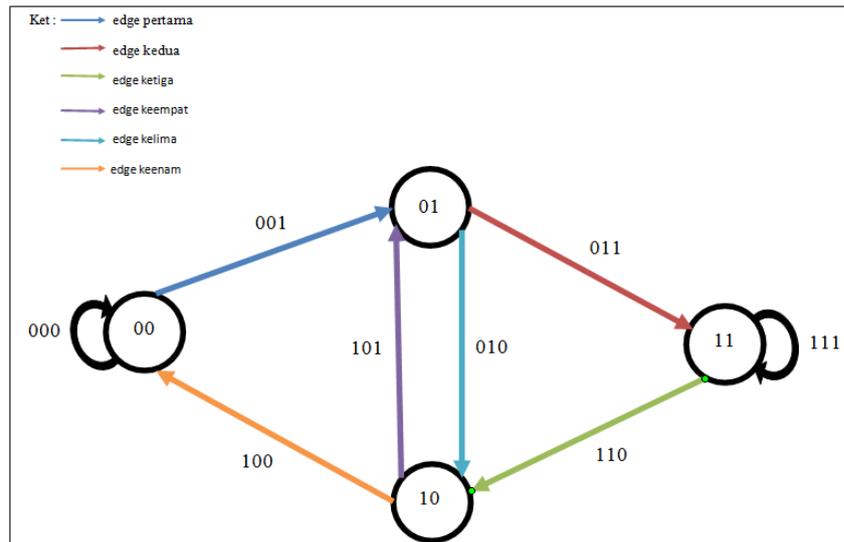
Cross-over ke 59 pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 yang memiliki induk 1 (11000111) dan induk 2 (10110010) menghasilkan keturunan layak (10100110). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13. Hasil keturunan berhasil dari *cross-over* ke 59 pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7

6. *Cross-Over* ke 13 Pada Posisi *Genotype* (Gen) ke 4, 5, 6 dan 7

Cross-over ke 13 pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 yang memiliki induk 1 (00111000) dan induk 2 (00110100) menghasilkan keturunan layak (00111000). Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14. Hasil keturunan berhasil dari *cross-over* ke 13 pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7

Pada *cross-over* graf *deBruijn* $D_{2,3}$ akan menghasilkan penyelesaian layak (keturunan berhasil) jika memenuhi paling sedikit 1 sifat dari 5 sifat keturunan layak berikut.

1. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang memiliki 8 gen biner individu (barisan *deBruijn*) yang sama dengan salah satu dari seluruh induk pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$. Contohnya pada keturunan 13 pada permutasi posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 (00111000) menghasilkan keturunan yang sama dengan salah satu induk 1 {00011100, 00111000, 01110001, 11100011, 11000111, 10001110}.
2. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang berbentuk *Eulerian Tour*. Contohnya pada keturunan 30 pada permutasi posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6 (01011001) yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.
3. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang memiliki kurang dari 4 gen biner yang sama secara berturut – turut. Contohnya pada keturunan 59

pada permutasi posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 (10100110) yang terdapat 2 gen biner 0 secara berturut – turut (00) dan 2 gen biner 1 secara berturut – turut (11) dimana $2 < 4$.

4. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang tidak memiliki *bitstring* kembar dengan panjang 3. Contohnya pada keturunan 6 pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5 (10011010) dengan *bitstring* – *bitstring* {100, 001, 011, 110, 101, 010} sehingga tidak terdapat *bitstring* yang kembar (semua *bitstring* berbeda – beda).
5. *Cross-over* menghasilkan keturunan yang seluruh *bitstring* memiliki pasangan atau lawan *bitstringnya* (1 berpasangan atau berlawanan dengan 0, sehingga 101 berpasangan atau berlawanan dengan 010). Contohnya pada keturunan 1 pada permutasi posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6 (00110100) dengan *bitstring* – *bitstring* {001, 011, 110, 101, 010, 100} maka *bitsring* 100 berpasangan dengan 011, *bitsring* 001 berpasangan dengan 110 serta *bitstring* 101 berpasangan dengan 010, sehingga seluruh *bitstring* memiliki pasangan *bitstring*.

Pada sifat keturunan layak, sifat 1 *ekuivalen* dengan sifat 2, 3, 4 dan 5. Artinya, jika sifat 1 terpenuhi maka sifat 2, 3, 4 dan 5 juga terpenuhi.

Berdasarkan hasil nilai *fitness* seluruh keturunan dari *cross-over* yang berhasil melibatkan permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5, permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6, permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7 pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$ dengan fungsi *fitness* $f(x) = e^{-2x} \sin(3x)$, secara berturut-turut adalah keturunan 34 (01011001) dengan nilai *fitness* sebesar 0,431017 (Tabel 4.1.3), keturunan 34 dan 30

(01011001) dengan nilai *fitness* sebesar 0,431017 (Tabel 4.3.3), keturunan 17 dan 22 (01011001) dengan nilai *fitness* sebesar 0,431017 (Tabel 4.5.2). Hasil tersebut merupakan penyelesaian (solusi) layak yang terbaik dari masing-masing *cross-over* tersebut. Sedangkan berdasarkan hasil nilai *fitness* seluruh keturunan dari *cross-over* yang berhasil melibatkan permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 2, 3, 4 dan 5, permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 3, 4, 5 dan 6, permutasi pada posisi *genotype* (gen) ke 4, 5, 6 dan 7, pada graf *deBruijn* $D_{2,3}$ dengan fungsi *fitness* $f(x) = e^{-x} \sin(3x)$, secara berturut-turut adalah keturunan 26 (01101001) dengan nilai *fitness* sebesar 0,625489 (Tabel 4.2.3), keturunan 26 (01101001) dengan nilai *fitness* sebesar 0,625489 (Tabel 4.4.3), keturunan 26 (01101001) dengan nilai *fitness* sebesar 0,625489 (Tabel 4.6.3). Hasil tersebut merupakan penyelesaian (solusi) layak yang terbaik dari masing-masing *cross-over* tersebut. Sehingga, solusi terbaik dari seluruh *cross-over* yang telah dilakukan adalah keturunan 01101001 dengan nilai *fitness* sebesar 0,625489.