

# Implementasi *Bee Colony Algorithm* dalam Metode Pewarnaan Graf

Akhmad Setiawan - 13521164<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

<sup>1</sup>13521164@std.stei.itb.ac.id

**Abstrak**—*Bee Colony Algorithm* atau juga dikenal dengan algoritma koloni lebah merupakan salah satu algoritma yang terinspirasi dari alam, dalam hal ini perilaku koloni lebah dalam mencari makanan. Algoritma koloni lebah ini dapat diimplementasikan dalam menyelesaikan permasalahan pewarnaan graf yang umumnya terdiri dari simpul-simpul yang terhubung dengan garis yang disebut sisi. Pewarnaan graf ini berguna untuk menyelesaikan beberapa masalah dalam kehidupan sehari-hari seperti penjadwalan, pewarnaan peta, dan penugasan.

**Kata Kunci**—*Bee Colony Algorithm*, Graf, Pewarnaan Graf, Perilaku Koloni Lebah.

**Abstrak**—*Bee Colony Algorithm* is one of many algorithm adapted from nature, in this case inspired by behavior of bee colonies in search of food. The bee colony algorithm can be implemented in solving graph coloring problems which generally consist of vertices connected by lines called edges. Graph coloring is useful for solving several problems in everyday life such as scheduling, map coloring, and assignment.

**Keywords**—*Bee Colony Algorithm*, Graph, Graph Coloring, Bee Colony Behaviour.

## I. PENDAHULUAN

Alam merupakan salah satu sumber inspirasi ilmu pengetahuan. Para saintis dan matematikawan seringkali menemukan kejadian-kejadian di alam dan mengadaptasi peristiwa yang sekiranya mampu dimanfaatkan dalam menyelesaikan permasalahan di bidang sains dan matematika. Beberapa contoh di antaranya yaitu penerapan sistem sonar yang diadaptasi dari lumba-lumba dan kelelawar, bentuk sayap pesawat yang meniru sayap burung sehingga mengoptimalkan penerbangan, serta tidak terkecuali metode algoritma koloni lebah yang dapat diimplementasikan dalam memecahkan masalah pewarnaan graf.

Lebah umumnya hidup berkoloni dan terdiri dari lebah pekerja, lebah pejantan, dan ratu lebah. Lebah pekerja bertugas mengerjakan seluruh tugas dalam sarang. Sejak dilahirkan, lebah pekerja langsung mulai bekerja, dan selama hidupnya, mereka melakukan berbagai tugas yang berganti-ganti sesuai dengan proses perkembangan yang terjadi dalam tubuh mereka. Salah satu tugas lebah pekerja yakni mencari makanan untuk

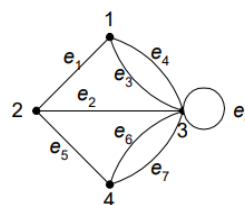
koloninya. Perilaku lebah pekerja dalam mencari makanan bagi koloninya ini lah yang diadaptasi dan dapat diimplementasikan dalam menyelesaikan masalah pewarnaan graf.

Permasalahan pewarnaan graf adalah salah satu permasalahan umum dalam optimisasi kombinatorik. Pewarnaan graf pertama kali dikembangkan pada tahun 1960. Algoritma yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan ini terbagi menjadi dua, yakni algoritma yang bersifat eksak dan algoritma yang bersifat aproksimasi. Algoritma yang bersifat eksak umumnya digunakan untuk memecahkan permasalahan yang sederhana, dan algoritma yang bersifat aproksimasi dapat memperoleh hasil yang mendekati optimal dengan komputasi yang relatif mudah. Beberapa metode yang umumnya digunakan antara lain algoritma pencarian Tabu, algoritma genetik, dan *simulated annealing algorithm*.

## II. DASAR TEORI

### A. Graf

Graf merupakan suatu struktur data yang digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Sebuah graf tersusun atas simpul (vertex) yang umumnya direpresentasikan sebagai titik, persegi, lingkaran, dan bentuk lainnya serta sisi (edge) yang berupa garis atau garis berarah. Graf  $G = (V, E)$  didefinisikan dengan  $V$  yang merupakan himpunan tidak-kosong dari simpul-simpul (vertices) atau dapat ditulis sebagai  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  dan  $E$  yang merupakan himpunan dari sisi-sisi (edges) yang menghubungkan simpul atau dapat ditulis  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ .<sup>[4]</sup>



**Gambar 2.1** Contoh Graf dengan Simpul (Angka) dan Sisi (e)  
Sumber:

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>

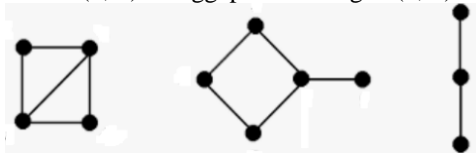
### B. Jenis-jenis Graf

Berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada suatu

graf, graf dapat digolong menjadi dua jenis :

1. Graf Sederhana (*simple graph*)

Yakni graf yang tidak memiliki gelang ataupun sisi ganda. Pada graf ini sisi adalah pasangan tak-terurut (*unordered pairs*) yang berarti sisi  $(u, v)$  dianggap sama dengan  $(v, u)$ .<sup>[4]</sup>



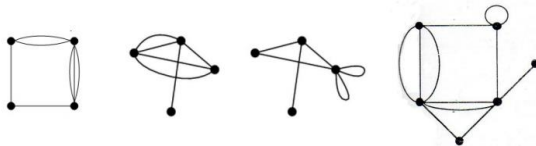
**Gambar 2.2** Contoh Graf Sederhana

Sumber:

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>

2. Graf Tidak Sederhana (*unsimple graph*)

Yakni graf yang mengandung sisi ganda atau gelang. Graf tidak sederhana dibagi lagi menjadi dua, yaitu graf ganda (*multigraph*) dan graf semu (*pseudograph*). Graf ganda adalah graf yang mengandung sisi ganda yaitu sisi yang menghubungkan sepasang simpul yang jumlahnya bisa dua buah. Sisi ganda dapat direpresentasikan sebagai pasangan yang boleh tidak terurut yang sama, sehingga bisa ditulis  $(u, v)$  atau  $(v, u)$ . Sementara itu Graf semu adalah graf yang mengandung gelang (*loop*).<sup>[4]</sup>



**Gambar 2.3** Beberapa Contoh Graf Tidak Sederhana

Sumber:

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>

Selain itu, berdasarkan orientasi arah pada sisi, graf terbagi menjadi 2:

1. Graf tidak berarah (*undirected graph*)

Yakni graf yang sisinya tidak memiliki orientasi arah tertentu.<sup>[4]</sup>



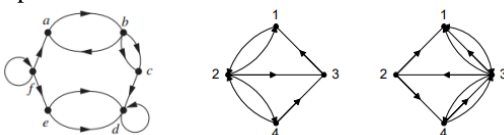
**Gambar 2.4** Beberapa Contoh Graf Tidak Berarah

Sumber:

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>

2. Graf berarah (*directed graph* atau *digraph*)

Yakni graf yang sisinya diberikan orientasi arah ke simpul tertentu.<sup>[4]</sup>



**Gambar 2.5** Beberapa Contoh Graf Berarah

Sumber:

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>

C. Terminologi Graf

Terdapat beberapa terminologi yang umum dalam graf, yakni di antaranya:

1. Ketetanggaan (*Adjacent*)

Dua buah simpul dikatakan bertetangga jika keduanya terhubung langsung oleh suatu atau lebih sisi.<sup>[4]</sup>

2. Bersisian (*Incidency*)

Sebuah sisi dikatakan bersisian dengan dua simpul acak jika sisi itu menghubungkan dua simpul tersebut.<sup>[4]</sup>

3. Simpul Terpencil (*Isolated Vertex*)

Simpul terpencil merupakan simpul yang tidak terhubung dengan simpul lain.<sup>[4]</sup>

4. Graf Kosong (*Null Graph*)

Sebuah graf dikatakan kosong jika graf tersebut memiliki himpunan simpul namun himpunan sisi yang kosong.<sup>[4]</sup>

5. Derajat (*Degree*)

Derajat suatu simpul merupakan jumlah sisi yang bersisian dengan suatu simpul tersebut.<sup>[4]</sup>

6. Lintasan (*Path*)

Lintasan pada graf merupakan suatu lintasan yang memiliki simpul awal dan simpul akhir, juga terdapat sisi-sisi dan simpul-simpul yang berhubungan dengan kedua simpul tersebut sehingga terbentuk lintasan dari simpul awal ke simpul akhir.<sup>[4]</sup>

7. Siklus (*Cycle*)

Siklus adalah lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama.<sup>[4]</sup>

8. Keterhubungan (*Connected*)

Dua simpul dikatakan terhubung jika terdapat lintasan dari simpul pertama ke simpul kedua. Sebuah graf dikatakan graf terhubung jika untuk setiap pasang simpul terdapat lintasan antara pasangan tersebut.<sup>[4]</sup>

9. Upagraf (*Subgraph*)

Sebuah graf  $G$  memiliki upagraf  $G_1$  jika himpunan simpul dan himpunan sisinya merupakan himpunan bagian dari himpunan simpul dan himpunan sisi  $G$ .<sup>[4]</sup>

10. Upagraf Merentang (*Spanning Subgraph*)

Sebuah upagraf dikatakan merentang jika upagraf tersebut mengandung semua simpul dari graf utamanya.<sup>[4]</sup>

11. Cut-Set

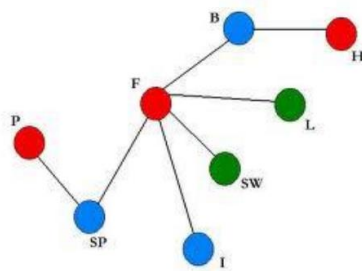
Cut-set dari graf terhubung  $G$  adalah himpunan sisi yang bila dibuang dari  $G$  menyebabkan graf  $G$  tersebut tidak terhubung.<sup>[4]</sup>

## 12. Graf Berbobot

Graf berbobot adalah graf yang setiap sisinya diberi sebuah harga.<sup>[4]</sup>

### D. Pewarnaan Graf

Perwarnaan graf terbagi menjadi tiga, yaitu perwarnaan simpul, perwarnaan sisi, dan perwarnaan wilayah (*region*). Pada makalah ini, perwarnaan lebih menekankan pada perwarnaan simpul. Perwarnaan simpul adalah memberi warna pada simpul-simpul suatu graf sedemikian sehingga tidak ada dua simpul bertetangga mempunyai warna yang sama. Begitu pula dengan perwarnaan sisi dan perwarnaan wilayah. Pemberian warna diharapkan menggunakan jumlah macam warna yang sesedikit mungkin. Jumlah warna minimum yang dapat digunakan untuk mewarnai simpul disebut bilangan kromatik graf  $G$  yang disimbolkan dengan  $\chi(G)$ . Suatu graf  $G$  mempunyai bilangan kromatis  $k$  dilambangkan dengan  $\chi(G) = k$ .<sup>[6]</sup>



**Gambar 2.6** Contoh Pewarnaan Graf pada Simpul

Sumber:

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian3.pdf>

### E. Fungsi Pewarnaan

Misalkan  $G = (V, E)$  adalah graf tak berarah di mana  $V$  adalah himpunan titik dan  $E$  adalah himpunan sisi dan  $N$  adalah jumlah simpul. Himpunan independen adalah himpunan bagian dari simpul di mana tidak ada pasangan simpul yang berdekatan. Pewarnaan- $k$  dari  $G$  adalah pemetaan  $c : V \rightarrow \{1, 2, 3, \dots, k\}$  yang memberikan warna pada simpul. Pewarnaan dilakukan jika tidak ada dua titik bertetangga memiliki warna yang sama, untuk menghindari tabrakan warna. Pewarnaan optimal dari  $G$  adalah perwarnaan yang layak dengan jumlah warna terkecil. Jumlah minimum warna  $k$  yang memungkinkan adanya perwarnaan  $k$ . Pewarnaan ini berfungsi untuk memudahkan dalam pembedaan simpul-simpul yang berdekatan.

### F. Perilaku Lebah

Di alam, terdapat hubungan interaktif dalam spesies hewan khususnya serangga. Satu dari contoh perilaku interaktif tersebut adalah *waggle dance* lebah selama pengadaan makanan. Dengan menampilkan tarian ini, para penjelajah mampu berbagi informasi tentang arah dan jarak ke bunga dan jumlahnya nektar dalam bunga. Ini merupakan mekanisme di mana pengumpul makanan dapat merekrut lebah lain di koloni mereka untuk menjadi produktif. Koloni lebah dapat dengan cepat dan tepat menyesuaikan diri terkait pola pencarian sesuai dengan perubahan sumber nektar. Pertukaran informasi antara serangga

ini adalah bagian yang paling penting dari pengetahuan kolektif lebah. Komunikasi di antara lebah tentang kualitas sumber makanan dicapai dengan menampilkan *waggle dance*.

### G. Algoritma Koloni Lebah

Algoritma lebah ini membutuhkan sejumlah parameter, yaitu jumlah dari lebah pencari ( $n$ ), jumlah tempat yang dikunjungi dari  $n$  tempat ( $m$ ), jumlah tempat terbaik dari  $m$  ( $e$ ), jumlah lebah yang direkrut untuk lokasi  $e$  ( $nep$ ), jumlah dari lebah yang direkrut untuk lokasi lain ( $nsp$ ), ukuran dari lokasi ( $ng$ ) termasuk situs dan sekelilingnya dan kriteria penghentinya. Algoritma sederhananya dapat ditunjukkan dengan *pseudocode* sederhana berikut.

*Send scout bees for making primary solutions.*

*Evaluate fitness of the solutions.*

*If solution is better than the other*

*Scout bees become Employed Bees ( $e$ )*

*While (stopping criterion not met)*

*Select sites for neighborhood search.*

*Recruit bees for selected sites (more bees for best sites) and evaluate fitnesses.*

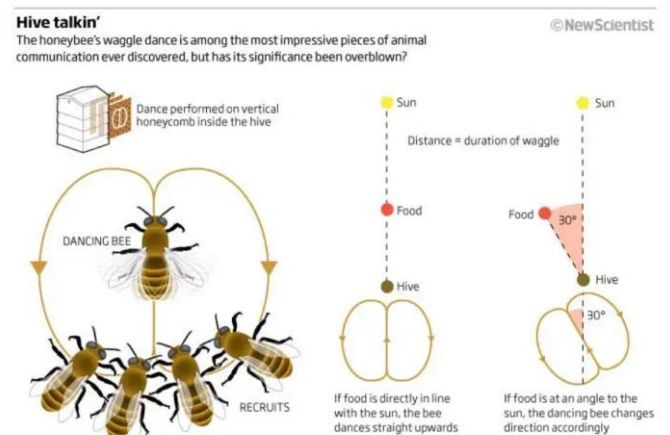
*Select the fittest bee from each patch.*

*Assign remaining bees to search randomly and evaluate their fitnesses.*

*End While.*<sup>[1]</sup>

Ada dua jenis lebah yang digunakan yaitu lebah pekerja (*employed bees*) dan lebah pencari (*scout bees*). Lebah pekerja (*employed bees*) adalah lebah yang memberikan informasi terhadap lokasi bunga yang baik untuk dipanen dengan cara menari. Lebah pencari (*scout bees*) adalah lebah yang mencari lokasi baru secara random.

Awalnya, sejumlah lebah pencari mencari lokasi yang lalu hasil temuan dari masing-masing lebah dievaluasi sehingga didapat beberapa tempat yang layak dan lebih baik dari yang lain. Lebah yang menentukan tempat itu menjadi lebah pekerja. Lebah pekerja memulai menyebarkan informasi lokasi bunga kepada lebah lain.



**Gambar 2.7** Ilustrasi Waggle Dance dari Lebah

Sumber:

<https://www.newscientist.com/article/mg20327262-400-rethinking-the-bees-waggle-dance/>

### III. IMPLEMENTASI DAN PEMBAHASAN

Dari *pseudocode* sederhana pada bagian B, kita dapat membuat dan mewarnai graf sesuai dengan langkah-langkah berikut:

#### 1. Pembuatan solusi awal

Pada kehidupan lebah, lebah pencari merupakan lebah yang berkeliling secara random mencari lokasi bunga yang layak untuk dipanen. Lebah pencari dapat diibaratkan menjadi simpul pada graf. Langkahnya adalah lebah pencari pertama dijadikan simpul pada graf secara random. Kemudian, pemilihan simpul selanjutnya menggunakan fungsi probabilitas:

$$P_{V_i S} = \frac{d(V_i)}{\sum_{i=1, V_i \notin W_s}^N d(V_i)} \text{ untuk } V_i \notin W_s$$

$$= 0 \text{ untuk } V_i \in W_s$$

**Gambar 3.1** Fungsi Probabilitas Pemilihan Simpul

Sumber:

Dokumentasi Pribadi yang Disadur dari

[http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)

dengan  $N$  adalah jumlah simpul pada graf,  $W_s$  adalah himpunan dari simpul berwarna oleh lebah pencari  $S$ . Setiap simpul diwarnai dengan fungsi pewarnaan dan prosedur ini diulang hingga semua simpul telah berwarna.

#### 2. Evaluasi dari solusi yang dibawa lebah $S$

Lebah pencari kembali ke sarangnya membawa sampel dari nektar daerah yang dikunjunginya. Daerah yang sampel nektarnya diambil disebut solusi. Kualitas dari suatu solusi bisa dihitung dengan rumus:

$$fit(S) = \frac{1}{k(S)}$$

**Gambar 3.2** Fungsi Kualitas Nektar

Sumber:

Dokumentasi Pribadi yang Disadur dari

[http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)

dengan  $k(S)$  adalah jumlah warna yang digunakan untuk mewarnai lebah  $S$ . Sejumlah lebah pencari yang memberikan solusi lebih baik diantara yang lain dipilih dan diubah menjadi lebah pekerja.

#### 3. Persebaran informasi menggunakan *waggle dance*

*Waggle dance* adalah tarian yang dilakukan lebah untuk menyebarkan informasi. Tahap ini mengadaptasi dari proses penyebaran informasi. Informasi yang disebar diasumsikan sama rata pada setiap lebah sehingga dapat disimpulkan bahwa informasi itu dianggap membutuhkan satu memori untuk seluruh koloni lebah. Memori itu terdiri dari  $N$  ruangan dan setiap ruangan menyimpan simpul sebagai informasi yang isinya dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\tau_{V_i} = \sum_{S=1}^e \frac{0,5 j_{V_i S}}{c_s(V_i)}$$

**Gambar 3.3** Persamaan Memori Penyimpanan Informasi Koloni Lebah

Sumber:

Dokumentasi Pribadi yang Disadur dari

[http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)

dengan  $j_{V_i S}$  merupakan simpul  $V_i$  adalah simpul ke- $j$  yang diwarnai yang merepresentasikan solusi dari lebah  $S$  dan  $c_s(V_i)$  adalah warna dari simpul  $V_i$ .

#### 4. Pencarian Daerah lain Sekitar Solusi

Sembari mengundang berbagai lebah dan menuju lokasi awal untuk mengumpulkan nektar kembali, lebah juga mencari daerah lain yang memungkinkan untuk dipanen. Ada beberapa definisi yang digunakan untuk pengerjaan tahap ini yakni diantaranya:

##### Definisi 1

Jika  $d(V_a) = m$  dan simpul  $\{V_1, V_2, \dots, V_m\}$  bertetangga dengan  $V_a$  maka:

$$Hd(V_a) = d(V_1) + d(V_2) + \dots + d(V_m)$$

##### Definisi 2

Jika himpunan simpul yang berupa solusi yang diberikan dari lebah  $S$  yang sama memiliki warna misal  $M$  adalah  $\{V_1, V_2, \dots, V_{NM}\}$  maka:

$$Q_{S_M} = \sum_{i=1}^{N_M} Hd(V_i)$$

**Gambar 3.4** Persamaan mencari  $Q_s$  dari Solusi Sekitar

Sumber:

Dokumentasi Pribadi yang Disadur dari

[http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)

dengan  $NM$  adalah jumlah simpul yang diwarnai oleh warna  $M$ .

##### Definisi 3

Jika himpunan simpul yang berupa solusi yang diberikan dari lebah  $S$  yang sama memiliki warna  $M$  adalah  $\{V_1, V_2, \dots, V_{NM}\}$  maka:

$$\lambda_{S_M} = \sum_{i=1}^{N_M} \tau_{V_i}$$

**Gambar 3.5** Persamaan lambda dalam Mencari Solusi Sekitar

Sumber:

Dokumentasi Pribadi yang Disadur dari

[http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)

dengan  $NM$  adalah jumlah simpul yang diwarnai oleh warna  $M$ .



Definisi 4

Jika  $N$  adalah jumlah simpul pada graf dan  $k(S)$  adalah bilangan kromatik maka :

$$F_S = \frac{\binom{N}{k(S)}}{3}$$

**Gambar 3.6** Persamaan Mencari  $F_S$

Sumber:

Dokumentasi Pribadi yang Disadur dari

[http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)

Definisi 5

$$\begin{aligned} X_{S_i} &= Q_{S_i} - Q_{S_{i+1}} && \text{untuk } 0 < i < k(S) \\ X_{S_i} &= Q_{S_i} - Q_{S_1} && \text{untuk } i = k(S) \end{aligned}$$

**Gambar 3.7** Persamaan Untuk  $X_S$

Sumber:

Dokumentasi Pribadi yang Disadur dari

[http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)

Pada langkah ini, lebah pekerja mencari daerah sekitar lokasi awal tadi. Untuk setiap warna simpul  $X_{S_i}$  ( $i \in \{1, 2, \dots, k\}$ ) jika  $d = \max(X_{S_i})$  maka warna  $i$  akan dipilih.

Fase 1 : jika  $i > 1$ ,  $D_{i-1} > F_S$ ,  $i - 1 \notin b_S$  maka semua simpul yang memiliki warna  $i - 1$  pada  $S$  diwarnai oleh fungsi pewarnaan simpul dan  $i - 1$  ditambahkan ke himpunan  $b_S$ . Himpunan  $b_S$  menentukan warna mana yang telah digunakan oleh lebah  $S$ .

Fase 2 : jika  $i < k(S)$ ,  $D_{i+1} > F_S$ ,  $i + 1 \notin b_S$  maka semua simpul yang memiliki warna  $i + 1$  pada  $S$  diwarnai oleh fungsi pewarnaan simpul dan  $i + 1$  ditambah ke himpunan  $b_S$ .

Fase 3 : jika  $i \notin b_S$  maka semua simpul yang memiliki warna  $i$  pada  $S$  diwarnai oleh fungsi pewarnaan simpul dan  $i$  ditambah ke himpunan  $b_S$ .

Fase 4 : warna selanjutnya ditentukan oleh fungsi probabilitas:

$$\begin{aligned} P_{S_i} &= \frac{(Q_{S_i})^\alpha (\lambda_{S_i})^\beta}{\sum_{j=1, j \notin b_S}^{k(S)} (Q_{S_j})^\alpha (\lambda_{S_j})^\beta} \text{ untuk } i \notin b_S \\ &= 0 \text{ untuk } i \in b_S \end{aligned}$$

**Gambar 3.8** Persamaan Probabilitas Pemilihan Warna Selanjutnya

Sumber:

Dokumentasi Pribadi yang Disadur dari

[http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)

$P_i$  adalah probabilitas pemilihan warna  $i$  pada  $S$ ,  $k(S)$  adalah angka kromatik,  $b_S$  adalah warna yang sudah digunakan dalam pencarian oleh  $S$ ,  $\alpha$  dan  $\beta$  adalah integer positif,  $Q$  diambil dari definisi 2 di atas, dan  $\lambda$  diambil dari definisi 3 di atas.

Fase 1 hingga fase 4 diulang terus hingga seluruh simpul pada graf warna telah dibuat.

## 5. Pengecekan ulang Kualitas dan Pembaharuan Informasi

Seperti yang sudah dijelaskan, setelah lebah menemukan daerah baru yang berpotensi untuk dipanen, lebah juga membandingkan apakah daerah itu lebih baik dari sebelumnya atau tidak. Langkah ini memperbarui informasi dengan cara membandingkan kualitas dari solusi yang diberikan di awal dengan solusi pada tahap keempat. Jika solusi tahap keempat lebih baik atau sama dengan solusi awal, maka solusi awal dihapus dan solusi pada keempatlah yang menjadi solusi terpilih.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pewarnaan graf dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan. Salah satu cara yang terinspirasi langsung dari fenomena alam ialah dengan metode algoritma koloni lebah. Secara konsep algoritma, metode konvensional dalam pewarnaan graf lebih mudah dipahami. Namun, algoritma koloni lebah ini cocok digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pewarnaan graf secara lebih tepat.

Namun, algoritma ini juga memiliki beberapa kekurangan, di antaranya kurangnya kegunaan dari informasi tingkat kedua, membutuhkan tes kecocokan (*fitness*) yang berbeda pada parameter algoritma yang berbeda pula, serta tingginya angka evaluasi fungsi yang berakibat lebih lambat dalam proses sekuensial.

## REFERENSI

- [1] Faraji, Majid dan Haj Seyyed Javadi. "Proposing a New Algorithm Based on Bees Behavior for Solving Graph Coloring". 2011. Vol.6. "submitted for publication". Diakses 11 Desember 2022 pukul 22.13 dari <http://www.m-hikari.com/ijcms-2011/1-4-2011/farajiIJCMS1-4-2011.pdf>
- [2] Girsang, A. S. 2019. Artificial Bee Colony. Diakses pada 11 Desember 2022 pukul 22.43 dari <https://mti.binus.ac.id/2019/12/02/artificial-bee-colony/>
- [3] Karaboga, Dervis. 2011. Artificial Bee Colony Algorithm. Diakses pada tanggal 12 Desember 2022 pukul 19.52 dari [http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)
- [4] Munir, Rinaldi. 2022. Graf (Bagian 1). Diakses pada 10 Desember pukul 18.34 dari <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>
- [5] Munir, Rinaldi. 2022. Graf (Bagian 2). Diakses 10 Desember 2022 pukul 18.55 dari <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian2.pdf>
- [6] Munir, Rinaldi. 2022. Graf (Bagian 3). Diakses 10 Desember 2022 pukul 19.07 dari <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian3.pdf>

## PERNYATAAN

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

Bandung, 12 Desember 2022



Akhmad Setiawan  
13521164