

PEWARNAAN GRAF PADA PETA WILAYAH KOTA SEMARANG DENGAN ALGORITMA GREEDY

Ade Ima Afifa Himayati^{a,*}, Erik Maurteen Firdaus^b, Findasari^c

^{abc}Universitas Muhammadiyah Kudus

Email : adeimaafifa@umkudus.ac.id

Abstrak

Pewarnaan wilayah kecamatan pada kota Semarang dapat dioptimalkan dengan menggunakan algoritma Greedy. Kecamatan diasumsikan sebagai titik dan garis sebagai penghubung dua wilayah yang berdekatan. Algoritma Greedy merupakan salah satu bentuk algoritma yang berkembang untuk menyelesaikan masalah pewarnaan graf sehingga dihasilkan warna minimal yang harus digunakan tanpa adanya wilayah yang saling berbatasan menggunakan warna yang sama. Algoritma Greedy menggunakan himpunan kandidat warna dan inialisasi solusi dibuat. Pewarnaan dilakukan pada titik pertama dengan derajat yang terbesar. Selanjutnya diperiksa kelayakan warna tersebut dengan prinsip, tidak ada titik yang bertetangga memiliki warna yang sama. Warna warna yang dihasilkan merupakan anggota dari himpunan solusi. Pada proses pewarnaan tersebut diulangi sehingga seluruh titik tersebut diwarnai. Pewarnaan wilayah di kota Semarang dengan algoritma Greedy dihasilkan 4 warna sebagai solusi warna minimal yang digunakan untuk mewarnai semua wilayah kecamatan di kota Semarang.

Kata Kunci: Graf, Pewarnaan Wilayah, Algoritma Greedy

Abstract

The coloring of the sub-districts in the city of Semarang can be optimized using the Greedy algorithm. Districts are assumed to be points and lines to connect two adjacent areas. Greedy Algorithm is a form of algorithm that has been developed to solve the problem of graph coloring so that it produces minimal colors that must be used without any bordering areas using the same color. Greedy's algorithm uses a set of color candidates and initialization of the solution is made. Staining is done at the first point with the greatest degree. Furthermore, the appropriateness of the color is checked with the principle that no neighboring points have the same color. The resulting colors are members of the solution set. The coloring process is repeated so that all points are colored. Regional coloring in the city of Semarang with the Greedy algorithm resulted in 4 colors as the minimum color solution used to color all sub-districts in the city of Semarang.

Keywords: Graph, Coloring Area, Greedy Algorithm

I. PENDAHULUAN

Teori graf merupakan salah satu cabang dari matematika yang dapat diaplikasikan untuk banyak membantu menyelesaikan permasalahan sehari-hari. (Mamahit et al., 2020) Teori Graf pertama kali diperkenalkan oleh Leonard Euler pada tahun 1736. Aplikasi pada teori Graf dapat diterapkan pada berbagai bidang seperti masalah pemetaan, transportasi, jaringan komunikasi dan lain sebagainya. (Nasution & Sitompul, 2018)

Permasalahan pewarnaan Graf merupakan salah satu permasalahan yang banyak ditemui dalam hal aplikasi teori graf. Pewarnaan graf

dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu, pewarnaan titik, pewarnaan garis dan pewarnaan wilayah. (Bustan & Salim, 2019) Pewarnaan wilayah menjadi persoalan yang pertama kali muncul dimana setiap daerah yang berbatasan harus mempunyai warna yang berbeda sehingga mudah dibedakan. (Maftukhah et al., 2020) Persoalan ini kemudian dikembangkan dengan teorema empat warna yang menyatakan bahwa "bilangan kromatik graf planar tidak lebih dari empat warna". (Golumbic, 2018)

Algoritma Greedy merupakan algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan

masalah optimasi yang menyelesaikan masalah dengan langkah demi langkah. (Mohamed, 2018) Pewarnaan wilayah juga berdasarkan teorema empat warna yang menyatakan bahwa jumlah warna minimal dalam pewarnaan wilayah tidak lebih dari empat. (Golumbic, 2018)

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muthiadkk pada tahun 2020 mengaplikasikan pewarnaan wilayah pada pewarnaan kota Padang menggunakan algoritma Greedy yang menghasilkan empat warna. (Zalfa Jofie et al., 2021) Pada penelitian ini, penulis akan mengaplikasikan algoritma Greedy pada pewarnaan wilayah di peta kota Semarang yang mempunyai 16 kecamatan.

II. LANDASAN TEORI

A. Graf

Graf G terdiri dari himpunan titik dan garis. Titik dalam graf disebut vertek dengan jumlah terbatas dan tidak boleh kosong. (Diestel, 2000) Titik dalam graf G dinotasikan dengan $V(G)$. Garis dalam graf disebut edge yang menghubungkan antara dua titik yang berhubungan. Garis dalam graf dinotasikan dengan $E(G)$. Notasi dalam graf adalah $G(V,E)$ yaitu graf G memiliki V titik dan E garis. Graf G merupakan himpunan pasangan terurut $(V(G),E(G))$ dengan $V(G)$ adalah himpunan berhingga titik titik dan $E(G)$ adalah himpunan pasangan tak berurut dari $V(G)$ yang berbeda dan disebut garis. (Lloyd et al., 1987)

Suatu graf disebut planar jika graf tersebut dapat digambarkan dalam bidang tanpa adanya sisi yang berpotongan, hanya simpul simpul ujungnya yang berpotongan. Graf dual yang merupakan bagian dari graf planar adalah graf yang terbentuk dari planar yang direpresentasikan sebagai bidang dengan cara berikut : (Lloyd et al., 1987)

1. Setiap wilayah pada graf planar dibuat simpul yang menjadi simpul untuk graf dual
2. Hubungkan dua buah simpul untuk graf dual tersebut dengan sebuah sisi yang menjadi sisi untuk graf dual, dimana sisi tersebut harus memotong setiap sisi graf planar.

B. Pewarnaan Wilayah

Pewarnaan graf dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu pewarnaan sisi, pewarnaan titik/ simpul dan pewarnaan wilayah. Pewarnaan titik/simpul merupakan pemberian warna atau label pada setiap titik sehingga tidak ada dua titik / simpul yang bertetangga memiliki warna yang sama. Pewarnaan sisi/ garis merupakan pemberian warna pada setiap sisi pada graf sehingga sisi yang berhubungan tidak memiliki warna yang sama. Pewarnaan wilayah merupakan pemberian warna pada setiap wilayah pada graf sehingga tidak ada wilayah yang bersebelahan tidak memiliki warna yang sama. (Himayati et al., 2020)

Pada pewarnaan wilayah, pewarnaan dapat dilakukan dengan cara mengubah wilayah tersebut membentuk sebuah graf dual. Suatu wilayah dapat diasumsikan sebagai sebuah titik / simpul terlebih dahulu dan menghubungkan dua buah titik yang bertetangga sebagai sebuah garis / sisi. (Widiyatni et al., 2020)

K Apple dan W Haken telah membuktikan pada teorema empat warna yang menyatakan bahwa “ Jika graf G adalah graf planar, maka bilangan kromatik G kurang dari sama dengan empat”. Kemudian Alferd kempe menambahkan bahwa teorema empat warna hanya berlaku pada graf planar. (Golumbic, 2018)

Pewarnaan wilayah terdapat beberapa prinsip, yaitu : (Supiyandi, 2018)

1. Mewarnai wilayah pada peta berarti mewarnai titik pada graf dual dari peta wilayah
2. Dua buah titik yang terhubung oleh satu atau lebih sisi tidak boleh diberi warna yang sama
3. Banyak warna yang digunakan harus seminimal mungkin

C. Algoritma Greedy

Algoritma Greedy adalah sebuah metode yang menyediakan solusi yang sesuai untuk graf yang besar secara optimal. Langkah Langkah dalam menghasilkan solusi optimum pada algoritma Greedy yaitu (Sánchez-Oro & Duarte, 2018)

1. Membentuk himpunan kandidat C, yaitu himpunan yang berisi elemen pembentuk solusi.
2. Inisialisasi himpunan solusi sebagai himpunan kosong
3. Pilih titik/ simpul yang akan diisi warna dengan fungsi seleksi simpul. Fungsi seleksi simpul adalah fungsi yang menyeleksi titik/ simpul mana yang akan diwarnai terlebih dahulu. Titik/ simpul yang diambil adalah titik dengan derajat terbesar.
4. Memilih kandidat warna dengan menggunakan fungsi seleksi warna
5. Memeriksa kelayakan warna dengan fungsi kelayakan. Fungsi kelayakan adalah fungsi yang memeriksa apakah warna tersebut layak digunakan untuk sebuah titik / simpul. Pemeriksaan kelayakan dapat dilakukan dari titik / simpul yang bertetangga dengan titik / simpul yang akan diwarnai. Kelayakan warna ada dua tahap yaitu:
 - a. Dilakukan penyeleksian terhadap himpunan solusi. Jika warna pada himpunan solusi layak, maka warna tersebut digunakan untuk pewarnaan titik/ simpul.
 - b. Jika tidak ada satupun warna yang layak dari himpunan solusi, maka ambil warna baru dari himpunan kandidat yang belum pernah digunakan untuk simpul tersebut. Warna yang layak digunakan tersebut yang telah digunakan untuk titik / simpul yang terpilih akan dimasukkan ke dalam himpunan solusi, jika warna tidak layak maka proses kembali ke Langkah 2
6. Memasukkan warna menjadi elemen himpunan solusi yaitu himpunan berisi elemen solusi pemecahan masalah.
7. Periksa apakah solusi sudah meliputi pewarnaan seluruh simpul menggunakan fungsi objektif, yaitu fungsi yang menetapkan sebuah nilai untuk himpunan solusi .

Proses pewarnaan selesai jika seluruh titik/ simpul sudah selesai diwarnai. Jika pewarnaan belum meliputi keseluruhan titik/ simpul, maka proses kembali ke Langkah 2.

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian studi literatur. Peneliti menggumpulkan referensi melalui artikel ilmiah dan data kecamatan pada kota Semarang. Selanjutnya dilakukan penentuan titik titik yang merepresentasi kecamatan pada kota Semarang, setelah itu dilakukan pewarnaan pada wilayah wilayah kecamatan di kota Semarang menggunakan algoritma Greedy sehingga diperoleh suatu hasil pewarnaan dengan menggunakan warna minimal untuk peta kota Semarang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Wilayah Kota Semarang

Kota Semarang sebagai ibu kota provinsi Jawa tengah adalah sebuah kota dengan penuh kompleksitas baik dari segi penduduk maupun atas wilayah. Pembahasan pada artikel ini hanya pada permasalahan wilayah yaitu pewarnaan pada pemetaan wilayah kota Semarang.

Wilayah kota Semarang terdiri dari 16 kecamatan dan 177 kelurahan. Pada pembahasan ini akan dilakukan pewarnaan pada pemetaan wilayah kota semarang dengan masing masing kecamatan direpersentasikan dengan sebuah titik dan wilayah yang berdekatan direpresantikan dengan garis.

Sebuah peta merupakan objek yang dibutuhkan untuk melakukan pewarnaan graf pada peta tersebut. Berikut adalah gambar peta wilayah kota Semarang



Gambar 1.

Peta Wilayah Kota Semarang

Berikut ini adalah data wilayah kecamatan pada kota Semarang dan simbol pada setiap kecamatan yaitu :

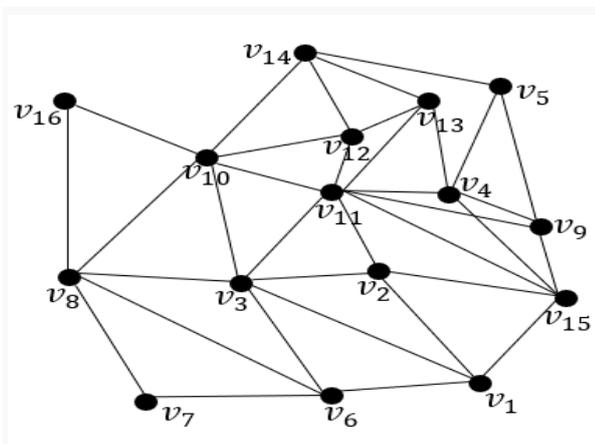
Tabel 1. Tabel kecamatan kota Semarang dan simbol titik

| No | Nama Kecamatan | Simbol |
|----|------------------|----------|
| 1 | Banyumanik | v_1 |
| 2 | Candisari | v_2 |
| 3 | Gajahmungkur | v_3 |
| 4 | Gayamsari | v_4 |
| 5 | Genuk | v_5 |
| 6 | Gunung Pati | v_6 |
| 7 | Mijen | v_7 |
| 8 | Ngaliyan | v_8 |
| 9 | Pedurungan | v_9 |
| 10 | Semarang Barat | v_{10} |
| 11 | Semarang Selatan | v_{11} |
| 12 | Semarang Tengah | v_{12} |
| 13 | Semarang Timur | v_{13} |
| 14 | Semarang Utara | v_{14} |
| 15 | Tembalang | v_{15} |
| 16 | Tugu | v_{16} |

B. Graf Dual pada Wilayah Kota Semarang

Graf dual dari peta kota Semarang dibuat dengan cara merepresentasikan setiap wilayah kecamatan pada kota Semarang dengan titik/simpul. Garis direpresentasikan dengan dua wilayah yang berdekatan, maka titik pada graf dual mempunyai garis yang menghubungkan kedua titik tersebut.

Representasi graf dual pada wilayah Kota Semarang dari peta adalah sebagai berikut :



Gambar 2.

Graf dual peta kota Semarang

Berdasarkan pada graf dual pada peta kota Semarang pada gambar 2 di atas dapat direpresentasikan sebagai sebuah graf yang dinitasikan titik dan garis sebagai berikut:

$$G = E(G), V(G)$$

$$V = \{ v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}, v_{16} \}$$

$$E = \{ v_1v_2, v_1v_3, v_1v_6, v_1v_{15}, v_2v_3, v_2v_{11}, v_2v_{15}, v_3v_{11}, v_3v_{15}, v_4v_5, v_4v_9, v_4v_{11}, v_4v_{13}, v_4v_{15}, v_5v_9, v_5v_{14}, v_6v_7, v_6v_8, v_7v_8, v_8v_{10}, v_8v_{16}, v_9v_{11}, v_9v_{15}, v_{10}v_{11}, v_{10}v_{12}, v_{10}v_{16}, v_{10}v_{14}, v_{10}v_{16}, v_{11}v_{12}, v_{11}v_{13}, v_{11}v_{15}, v_{12}v_{13}, v_{12}v_{14}, v_{13}v_{14} \}$$

Pada pewarnaan peta kota Semarang dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma Greedy. Pada Algoritma Greedy ditentukan derajat pada setiap titik pada graf dual kota Semarang yang diurutkan dari derajat terbesar ke derajat terkecil.

C. Pewarnaan Wilayah pada peta kota Semarang Menggunakan Algoritma Greedy Berbasis Teorema Empat Warna

Langkah Langkah yang dilakukan pada pewarnaan graf dual peta kota Semarang dengan algoritma Greedy berbasis teorema empat warna yaitu

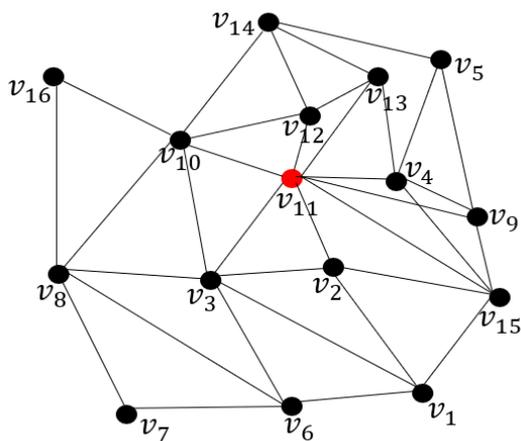
1. Membentuk himpunan kandidat warna C , yaitu $C = \{merah, kuning, hijau, biru\}$. Himpunan kandidat C adalah warna yang digunakan untuk mewarnai graf dual peta kota Semarang.
2. Memberi derajat pada masing masing titik pada graf dual peta Kota Semarang sebagai berikut

Tabel 2. Derajat pada setiap titik

| No | Nama Kecamatan | Simbol | Derajat |
|----|----------------|--------|---------|
| 1 | Banyumanik | v_1 | 4 |
| 2 | Candisari | v_2 | 4 |
| 3 | Gajahmungkur | v_3 | 6 |
| 4 | Gayamsari | v_4 | 5 |
| 5 | Genuk | v_5 | 3 |
| 6 | Gunung Pati | v_6 | 4 |
| 7 | Mijen | v_7 | 2 |
| 8 | Ngaliyan | v_8 | 5 |

| | | | |
|----|------------------|----------|---|
| 9 | Pedurungan | v_9 | 4 |
| 10 | Semarang Barat | v_{10} | 6 |
| 11 | Semarang Selatan | v_{11} | 8 |
| 12 | Semarang Tengah | v_{12} | 4 |
| 13 | Semarang Timur | v_{13} | 4 |
| 14 | Semarang Utara | v_{14} | 4 |
| 15 | Tembalang | v_{15} | 5 |
| 16 | Tugu | v_{16} | 2 |

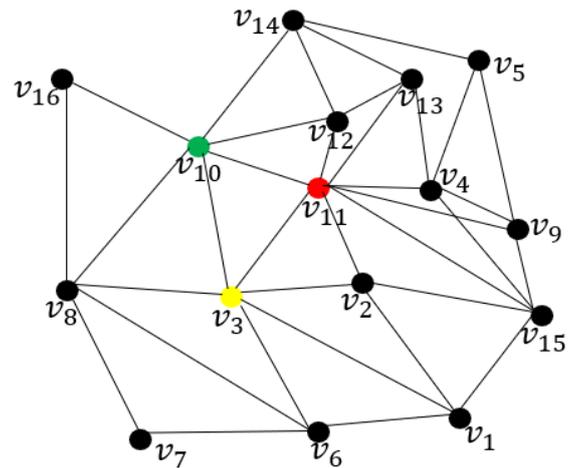
- Memilih titik yang akan diwarnai, yaitu v_{11} karena memiliki derajat tertinggi yaitu 8. Selanjutnya dipilih warna untuk titik v_{11} yaitu warna merah.
- Memeriksa kelayakan warna merah pada himpunan titik v_{11} . Karena v bertetangga dengan 8 sisi yang belum diwarnai, maka v_{11} layak diberi warna merah



Gambar 3

Pewarnaan pada titik v_{11}

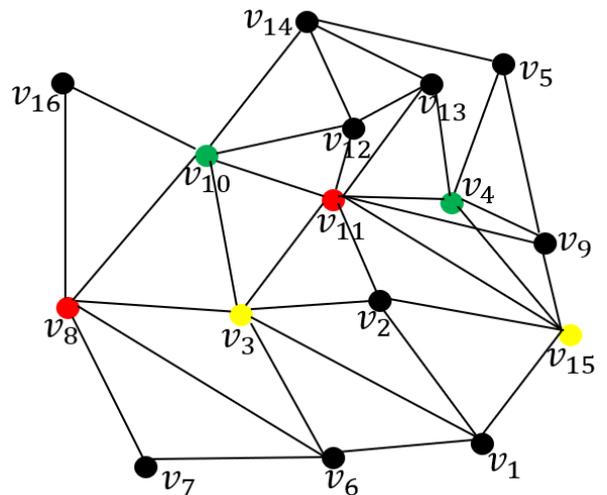
- Masukkan warna merah untuk warna titik v_{11} kedalam himpunan solusi $S = \{merah\}$.
- Menggunakan fungsi objektif yaitu memeriksa apakah solusi sudah meliputi pewarnaan seluruh titik dengan optimum global. Karena pada tahap ini belum semua titik diwarnai secara optimum global, maka Langkah Kembali ke memilih titik.
- Seleksi titik berderajat 6, yaitu titik v_3 . Pewarnaan titik v_3 menggunakan warna kuning karena warna merah tidak bisa digunakan. Titik v_3 bertetangga dengan titik v_{11} . Himpunan solusi $S = \{merah, kuning\}$. Selanjutnya dipilih titik v_{10} menggunakan warna biru, karena titik v_{10} bertetangga dengan v_{11} dan v_3 . Himpunan solusi $S = \{merah, kuning, hijau\}$.



Gambar 4

Pewarnaan titik v_3 dan v_{11}

- Seleksi titik berderajat 5, yaitu titik v_4 . Pewarnaan titik v_4 menggunakan warna hijau karena titik v_4 tidak bertetangga dengan titik v_{10} . Himpunan solusi $S = \{merah, kuning, hijau\}$. Selanjutnya dipilih titik v_8 menggunakan warna merah, karena titik v_8 tidak bertetangga dengan v_{11} . Himpunan solusi $S = \{merah, kuning, hijau\}$. Selanjutnya dipilih titik v_{15} menggunakan warna kuning, karena titik v_{15} tidak bertetangga dengan v_3 . Himpunan solusi $S = \{merah, kuning, hijau\}$.

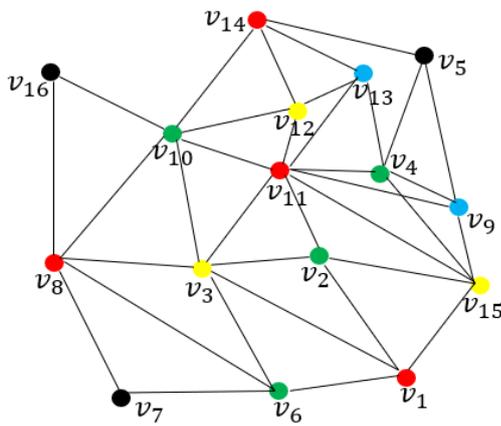


Gambar 5

Pewarnaan v_4, v_8 dan v_{11}

- Seleksi titik berderajat 4, yaitu titik v_1 . Pewarnaan titik v_1 menggunakan warna merah karena titik v_4 tidak bertetangga dengan titik v_{11} . Himpunan solusi $S = \{merah, kuning, hijau\}$. Selanjutnya dipilih titik v_2 menggunakan warna hijau, karena titik v_2 tidak bertetangga dengan v_{10} .

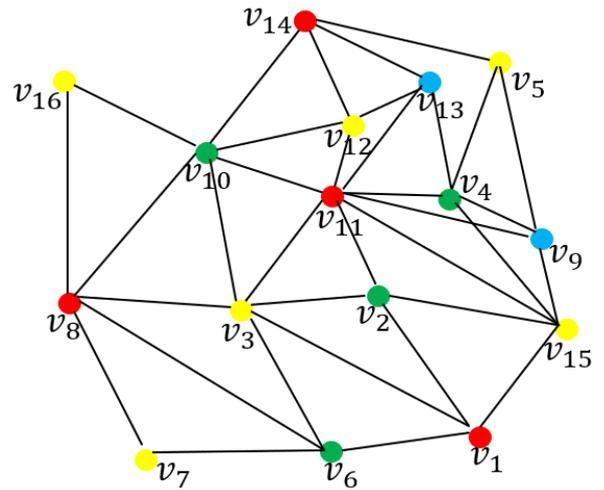
Himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau}\}$. Selanjutnya dipilih titik v_6 menggunakan warna hijau. Himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau}\}$. Pewarnaan titik v_9 menggunakan warna biru karena titik v_9 bertetangga dengan titik yang mempunyai warna merah, hijau dan kuning. Himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau, biru}\}$. Selanjutnya dipilih titik v_{12} menggunakan warna kuning, Himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau, biru}\}$. Selanjutnya dipilih titik v_{13} menggunakan warna biru. Himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau, biru}\}$. Selanjutnya dipilih titik v_{14} menggunakan warna merah. Himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau, biru}\}$.



Gambar 6

Pewarnaan titik berderajat 4

10. Seleksi titik berderajat 3 yaitu titik v_5 . Pewarnaan titik v_5 menggunakan warna kuning. Himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau, biru}\}$. Selanjutnya untuk titik berderajat 2, yaitu dipilih titik v_7 menggunakan warna kuning. Himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau, biru}\}$. Selanjutnya dipilih titik v_{16} menggunakan warna kuning. Himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau, biru}\}$. Karena semua titik telah diwarnai dan tidak ada titik yang bertetangga dengan warna yang sama, maka Langkah pewarnaan titik telah selesai. Berikut adalah graf dual pewarnaan titik untuk 16 wilayah kecamatan di kota Semarang.



Gambar 7

Pewarnaan seluruh titik

Optimasi pada penelitian ini adalah proses pada pewarnaan setiap kecamatan pada kota Semarang dengan fungsi tujuan warna yang dihasilkan dalam mewarnai peta kota Semarang adalah empat warna, dan fungsi kendalanya adalah tidak ada warna yang sama untuk dua titik yang saling bertetangga. Berdasarkan hasil pewarnaan wilayah kecamatan kota Semarang diperoleh bilangan kromatik yaitu $\chi(G) = 4$. Dari hasil pewarnaan diperoleh representasi pada masing masing warna adalah sebagai berikut

- a. Warna merah merepresentasikan 4 kecamatan yaitu : Banyumanik, Ngaliyan, Semarang selatan dan Semarang Utara.
- b. Warna kuning merepresentasikan 6 kecamatan yaitu : Genuk, Tembalang, Mijen, Tugu, Gajahmungkur dan Semarang Tengah.
- c. Warna hijau merepresentasikan 4 kecamatan yaitu: Gunung Pati, Candisari, Semarang Barat, dan Candisari.
- d. Warna biru merepresentasikan 2 kecamatan yaitu : pedurungan dan Semarang Timur.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa menggunakan Algoritma Greedy warna yang diperlukan untuk mewarnai setiap kecamatan di kota Semarang cukup dengan empat warna dan didapatkan himpunan solusi $S = \{\text{merah, kuning, hijau, biru}\}$, sehingga diperoleh hasil pewarnaan peta kota Semarang sebagai berikut



Gambar 8

Hasil pewarnaan peta kota Semarang

Algoritma Greedy sesuai diterapkan pada pewarnaan graf dengan jumlah titik yang besar. Hal ini dikarenakan algoritma Greedy memiliki langkah yang rinci dalam pemilihan titik. Pada solusi optimum local yaitu pewarnaan pada satu titik yang dicapai akan langsung mengarah pada solusi optimum global yaitu pewarnaan seluruh titik dengan hasil yang optimal.

Pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan untuk permasalahan permasalahan lain seperti penjadwalan, antrian dengan menggunakan algoritma Greedy maupun algoritma yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Bustan, A. W., & Salim, M. R. (2019). Penerapan Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma Welch Powell untuk Menentukan Jadwal Bimbingan Mahasiswa. *Jurnal THEOREMS (The Original Research of Mathematics)*, 4(1), 79–86.
- Diestel, R. (2000). Graph Theory (Graduate Texts in Mathematics). In *Graduate Texts in Mathematics*. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5626521>
- Golumbic, M. C. (2018). Total coloring of rooted path graphs. *Information Processing Letters*, 135, 73–76. <https://doi.org/10.1016/j.ipl.2018.03.002>
- Himayati, A. I. A., Alfiana, K., Putra, M. A. J. D., & Utami, R. (2020). Aplikasi Pewarnaan Graf Dengan Metode Welch Powell Pada Pembuatan Jadwal Ujian Proposal Skripsi Program Studi Farmasi Universitas Muhammadiyah Kudus Ade Ima Afifa Himayati. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Matematika*, 1(1), 32–39.
- Lloyd, E. K., Chartrand, G., & Lesniak, L. (1987). Graphs and Digraphs. *The Mathematical Gazette*. <https://doi.org/10.2307/3616326>
- Maftukhah, U., Amiroch, S., & Pradana, M. S. (2020). Implementasi Algoritma Greedy Pada Pewarnaan Wilayah Kecamatan Sukodadi Lamongan. *Unisda Journal of Mathematics and Computer Science (UJMC)*, 6(2), 29–38. <https://doi.org/10.52166/ujmc.v6i2.2391>
- Mamahit, J. A., Aloysius, D. C., & Suwono, H. (2020). Efektivitas Model Project-Based Learning Terintegrasi STEM (PjBL-STEM) terhadap Keterampilan Berpikir Kreatif Siswa Kelas X. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan*, 5(9), 1284. <https://doi.org/10.17977/jptpp.v5i9.14034>
- Mohamed, T. M. (2018). Enhancing The Performance of the Greedy Algorithm Using Chicken Swarm Optimization: An Application to Exam Scheduling Problem Watermarking View project Feature Selection View project Enhancing The Performance of the Greedy Algorithm Using Chicken Swarm Op. *Egyptian Computer Science Journal*, 42(1), 1–17. <https://www.researchgate.net/publication/322682948>
- Nasution, R. R., & Sitompul, P. (2018). Aplikasi Pewarnaan Graf Pada Penyusunan Jadwal Mata Kuliah Jurusan Matematika Di Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Medan. *Karismatika*, 6(2), 11–29.
- Sánchez-Oro, J., & Duarte, A. (2018). Iterated Greedy algorithm for performing community detection in social networks. *Future Generation Computer Systems*, 88, 785–791.

<https://doi.org/10.1016/j.future.2018.06.010>

Supiyandi, M. E. (2018). Penerapan Teknik Pewarnaan Graph Pada Penjadwalan Ujian Dengan. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Informatika*, 03(01), 58–63.

Widiyatni, W., Rafida, V., Sibali, H. E., & Kusuma, H. A. (2020). Penerapan Pewarnaan Graf Untuk Menentukan Wisata Kuliner Di Samarinda. *Jurnal Ilmiah Matrik*, 22(2), 177–186. <https://doi.org/10.33557/jurnalmatrik.v2i2.988>

Zalfa Jofie, M., Bahri, S., & Iqbal Baqi, A. (2021). Aplikasi Algoritma Greedy Untuk Pewarnaan Wilayah Pada Peta Kota Padang Berbasis Teorema Empat Warna. *Jurnal Matematika UNAND*, 9(4), 294. <https://doi.org/10.25077/jmu.9.4.294-301.2020>