



An Application of Greedy Algorithm in Grobongan District Map Coloring

Ade Ima Afifa Himayati^{a}, M. Adib Jauhari Dwi Putra^b, Erik Maurten Firdaus^c, Muhammad Faudzi Bahari^d*

^aUniversitas Muhammadiyah Kudus, Jl. ganesaI Purwosari Kudus, 59316, Email : adeimaafifa@umkudus.ac.id

^bUniversitas Muhammadiyah Kudus, Jl. ganesaI Purwosari Kudus, 59316, Email : adibjauhari@umkudus.ac.id

^cUniversitas Muhammadiyah Kudus, Jl. ganesaI Purwosari Kudus, 59316, Email : erikmaurten@umkudus.ac.id

^dUniversitas Muhammadiyah Kudus, Jl. ganesaI Purwosari Kudus, 59316, Email : faudzibahari@umkudus.ac.id

ABSTRACT

The sub-district map in Grobongan Regency can be optimized using the Greedy algorithm. The vertex on the graph represents the district and the edges represents two areas that are directly adjacent. The Greedy Algorithm is one of the algorithms developed to solve the problem of graph coloring to be able to produce minimal colors that are used without having the same color in areas that are directly adjacent. Greedy's algorithm uses a set of color candidates and solutions in its solution. Staining is done at the vertex with the greatest degree followed by an examination of the appropriateness of the color with the principle that no neighboring points have the same color. The resulting color is included in the solution set. The process is continued until all the vertex have been colored. Regional coloring in Grobongan district produces four colors with a greedy algorithm as the minimum color solution obtained

Keywords: *Coloring Area, Coloring Grap, Greedy Algoritm*

Diserahkan: 03-11-2022; Diterima: 30-12-2022;

Doi: <https://doi.org/10.29303/emj.v5i2.149>

1. Pendahuluan

Teori graf adalah salah satu cabang matematika yang dapat diaplikasikan pada penyelesaian permasalahan kehidupan sehari hari. Teori graf pertama kali dikenalkan oleh Leonard Euler pada tahun 1736 (Diestel, 2000). Teori graf dapat diaplikasikan pada berbagai bidang seperti masalah transportasi, jaringan komunikasi, pemetaan wilayah dan lain sebagainya. (Golumbic, 2018)

Permasalahan pewarnaan graf menjadi salah satu masalah yang banyak ditemui dalam hal aplikasi teori graf. Pewarnaan graf dibagi menjadi tiga bagian yaitu, pewarnaan titik, pewarnaan sisi dan pewarnaan

wilayah. Persoalan yang muncul pada pewarnaan wilayah pertama kali muncul dimana setiap wilayah yang berbatasan harus memiliki warna yang berbeda agar dapat mudah dibedakan. (Bustan & Salim, 2019)

Pada teori graf, jumlah warna minimal yang digunakan untuk mewarnai semua titik pada graf G disebut bilangan kromatik yang di simbolkan dengan $\chi(G)$. (R.Munir, 2010) Permasalahan ini selanjutnya dikembangkan dengan menggunakan teorema empat warna yang menyatakan bahwa bilangan kromatik graf planar tidak lebih dari empat warna. Teori ini pertama kali dikemukakan oleh Francis Grutrie dan dibuktikan oleh Kenneth Appel dan Wolfgang Haken pada tahun 1976. (Zalfa Jofie et al., 2021)

* Corresponding author.

Alamat e-mail: adeimaafifa@umkudus.ac.id

Algoritma Greedy adalah algoritma yang digunakan dalam mencari warna minimum pada pewarnaan wilayah. Selain itu, Algoritma Greedy juga digunakan dalam menyelesaikan masalah-masalah optimasi dengan langkah demi langkah. (Oxley, 2010) Pewarnaan wilayah dalam penyelesaiannya juga menggunakan konsep teorema empat warna yang menyatakan bahwa jumlah warna minimal dalam pewarnaan wilayah tidak lebih dari empat. (Golumbic, 2018)

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muhammad Ammar pada tahun 2019 menyimpulkan bahwa algoritma Sequential dan algoritma Welch Powell menghasilkan bilangan kromatik $\chi(G) = 4$ pada pewarnaan wilayah Kota Makasar. (Ammar, 2019). Muthia dkk pada tahun 2020 menyimpulkan bahwa dengan menggunakan algoritma Greedy warna yang diperlukan untuk mewarnai setiap kecamatan pada peta kota Padang adalah empat warna. (Zalfa Jofie et al., 2021). Kabupaten Grobogan memiliki peta yang belum memiliki warna, sehingga tidak terlihat jelas batas antar masing masing kecamatan. Pada penelitian ini, penulis akan mengaplikasikan algoritma Greedy pada pewarnaan peta wilayah di Kabupaten Grobogan yang memiliki 19 kecamatan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Graf

Graf G adalah himpunan yang terdiri titik dan sisi. Titik dalam graf dengan dinotasikan dengan $V(G)$. Sisi dalam graf G dinotasikan dengan $E(G)$. Notasi dalam graf adalah $G(V, E)$ yaitu graf G memiliki V titik dan E sisi. Graf G adalah himpunan pasangan terurut $(V(G), E(G))$ dengan $V(G)$ adalah himpunan tak kosong titik titik dan $E(G)$ adalah himpunan pasangan terurut dari $V(G)$ yang berbeda dan disebut sisi. (R. Munir, 2010)

Sebuah graf dikatakan planar jika graf tersebut dapat digambarkan dalam bidang tanpa ada sisi yang berpotongan, kecuali titik – titik ujung yang berpotongan. Graf dual merupakan graf yang terbentuk dari graf planar yang direpresentasikan sebagai bidang dengan cara berikut (Maftukhah et al., 2020):

1. Setiap wilayah pada graf planar dibuat sebagai titik untuk graf dual.
2. Hubungkan dua buah titik untuk graf dual dengan sebuah sisi graf dual dengan sisi tersebut harus memotong setiap sisi graf planar.

2.2 Pewarnaan Wilayah

Pewarnaan graf ada tiga macam, yaitu pewarnaan titik, pewarnaan sisi dan pewarnaan wilayah. Pewarnaan titik yaitu memberikan warna atau label pada setiap titik sehingga tidak ada titik yang bersebelahan memiliki warna yang sama. Pewarnaan sisi adalah memberi warna pada setiap sisi sehingga sisi yang berhubungan tidak memiliki warna yang sama. Pewarnaan wilayah adalah memberikan warna pada setiap wilayah sehingga tidak ada wilayah yang bersebelahan memiliki warna yang sama. (Himayati et al., 2020)

Apple dan Haken membuktikan bahwa teorema empat warna telah menyatakan bahwa jika graf G adalah graf planar, maka bilangan kromatik G kurang dari sama dengan empat. Alfred Kempe menambahkan bahwa teorema empat warna hanya berlaku pada graf planar. (Zalfa Jofie et al., 2021)

Pewarnaan wilayah mempunyai beberapa prinsip, yaitu

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 diberikan warna yang sama
3. Jumlah warna yang diberikan adalah seminimal mungkin (Maftukhah et al., 2020)

2.3 Algoritma Greedy

Algoritma Greedy merupakan sebuah metode untuk menyediakan solusi yang sesuai pada graf yang besar secara optimal. Langkah Langkah pada algoritma Greedy agar mendapat solusi optimal yaitu

1. Membentuk himpunan kandidat C , yaitu himpunan yang berisi elemen pembentuk solusi.
2. Inisialisasi himpunan solusi yaitu warna yang digunakan dalam mewarnai titik sebagai himpunan kosong
3. Pilih titik yang akan diisi warna dengan fungsi seleksi titik. Fungsi seleksi titik adalah fungsi yang menyeleksi titik mana yang akan diwarnai terlebih dahulu. Titik yang diambil adalah titik dengan derajat terbesar.
4. Memilih kandidat warna dengan menggunakan fungsi seleksi warna yaitu fungsi yang akan memilih warna yang digunakan dalam mewarnai titik.
5. Memeriksa kelayakan warna dengan fungsi kelayakan. Fungsi kelayakan adalah fungsi

yang memeriksa apakah warna tersebut layak digunakan untuk sebuah titik. Pemeriksaan kelayakan dapat dilakukan dari titik yang bertetangga dengan titik 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 titik tersebut. Warna yang layak digunakan tersebut yang telah digunakan untuk titik 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 titik menggunakan fungsi objektif, yaitu fungsi yang menetapkan sebuah nilai untuk himpunan solusi .

Proses pewarnaan selesai jika seluruh titik sudah selesai diwarnai. Jika pewarnaan belum meliputi keseluruhan titik, maka proses 94embali ke Langkah 2.(Rahadi, 2019)

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan digunakan pada penelitian ini adalah studi literatur. Peneliti mengumpulkan beberapa referensi melalui artikel ilmiah dan data kecamatan di Kabupaten Grobogan, kemudian dilakukan penentuan titik yang menggambarkan kecamatan pada Kabupaten Grobogan dan sisi yang merepresentasikan dua kecamatan yang bersebelahan. Kemudian dilakukan pewarnaan wilayah pada kecamatan di Kabupaten Grobogan menggunakan Algoritma Greedy sehingga diperoleh pewarnaan peta wilayah di Kabupaten Grobogan menggunakan warna yang minimal.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Wilayah Kabupaten Grobogan

Kabupaten Grobogan merupakan kabupaten yang berada di timur Kota Semarang. Pembahasan pada artikel ini hanyalah pada permasalahan wilayah yaitu

pewarnaan pada pemetaan wilayah kecamatan di Kabupaten Grobogan.

Wilayah Kabupaten Grobogan terdiri dari 19 kecamatan dan 280 desa/kelurahan dengan ibukota di Purwodadi. Pada pembahasan ini akan dilakukan pemetaan wilayah Kabupaten Grobogan dengan masing masing kecamatan direpresentasikan dengan sebuah titik dan merepresentasikan wilayah yang berdekatan dengan sisi.

Sebuah peta merupakan objek yang diperlukan dalam pewarnaan graf. Berikut adalah gambar peta pada wilayah Kabupaten grobogan



Gambar 1. Peta Wilayah Kabupaten Grobogan

Berikut ini adalah data wilayah kecamatan di Kabupaten Grobogan dan symbol pada setiap kecamatan yaitu :

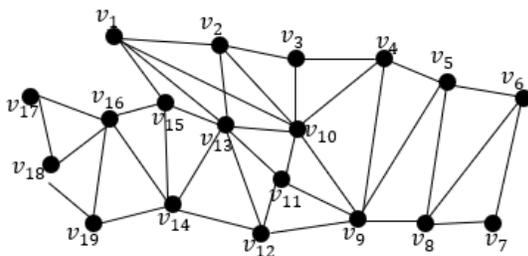
Tabel 1. Kecamatan di Kabupaten Grobogan dan simbol titik

No	Nama Kecamatan	Simbol
1	Klambu	v_1
2	Brati	v_2
3	Grobogan	v_3
4	Tawangharjo	v_4
5	Wirosari	v_5
6	Ngaringan	v_6
7	Gabus	v_7
8	Kradenan	v_8
9	Pulokulon	v_9
10	Purwodadi	v_{10}
11	Turoh	v_{11}
12	Geyer	v_{12}
13	Penawangan	v_{13}

14	Karangrayung	v_{14}
15	Godong	v_{15}
16	Gubug	v_{16}
17	Tegowatu	v_{17}
18	Tanggungharjo	v_{18}
19	Kedungjati	v_{19}

4.2 Graf Dual pada Wilayah Kabupaten Grobogan

Graf dual dari peta Kabupaten Grobogan dibuat dengan cara setiap wilayah kecamatan pada Kabupaten Grobogan direpresentasikan dengan titik dan wilayah yang berdekatan direpresentasikan dengan sisi. Representasi graf dual dari peta Kabupaten Grobogan adalah sebagai berikut



Gambar 2. Graf dual peta kabupaten Grobogan

Berdasarkan pada graf dual pada peta Kabupaten grobogan di atas, maka dapat direpresentasikan sebagai sebuah graf yang dinotasikan titik dan sisi sebagai berikut :

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

$$V = \{ v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}, v_{16}, v_{17}, v_{18}, v_{19} \}$$

$$E = \{ v_1v_2, v_1v_{10}, v_1v_{13}, v_1v_{15}, v_2v_3, v_2v_{10}, v_2v_{13}, v_3v_4, v_3v_{10}, v_4v_5, v_4v_9, v_4v_{10}, v_5v_6, v_5v_8, v_5v_9, v_6v_7, v_6v_8, v_7v_8, v_8v_9, v_9v_{10}, v_9v_{11}, v_9v_{12}, v_{10}v_{11}, v_{10}v_{13}, v_{11}v_{12}, v_{11}v_{13}, v_{12}v_{13}, v_{12}v_{14}, v_{13}v_{14}, v_{13}v_{15}, v_{14}v_{15}, v_{14}v_{16}, v_{14}v_{19}, v_{15}v_{16}, v_{16}v_{17}, v_{16}v_{18}, v_{16}v_{19}, v_{17}v_{18} \}$$

$$v_{18}v_{19} \}$$

Pewarnaan peta Kabupaten Grobogan dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma Greedy.

4.3 Pewarnaan Wilayah pada Peta Kabupaten Grobogan Menggunakan Algoritma Greedy

Pada Algoritma Greedy harus ditentukan derajat masing masing titik pada graf dual Kabupaten Grobogan yang diurutkan dari derajat terbesar ke derajat terkecil.

Langkah – Langkah yang dilakukan pada pewarnaan graf dual peta Kabupaten Grobogan dengan algoritma Greedy berbasis pada teorema empat warna yaitu

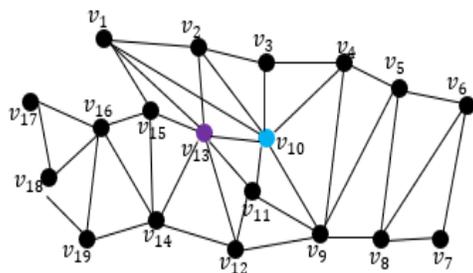
1. Membentuk himpunan kandidat warna C yaitu $C = \{ Biru, Ungu, Kuning, Coklat \}$. Himpunan kandidat C adalah warna yang digunakan untuk mewarnai graf dual peta Kabupaten Grobogan
2. Menentukan derajat pada masing masing titik pada graf dual peta Kabupaten Grobogan sebagai berikut

Tabel 2. Derajat pada setiap titik

No	Nama Kecamatan	Simbol	Derajat
1	Klambu	v_1	4
2	Brati	v_2	4
3	Grobogan	v_3	3
4	Tawangharjo	v_4	4
5	Wirosari	v_5	4
6	Ngaringan	v_6	3
7	Gabus	v_7	2
8	Kradenan	v_8	4
9	Pulokulon	v_9	6
10	Purwodadi	v_{10}	7
11	Turoh	v_{11}	4
12	Geyer	v_{12}	4
13	Penawangan	v_{13}	7
14	Karangrayung	v_{14}	5
15	Godong	v_{15}	4
16	Gubug	v_{16}	5

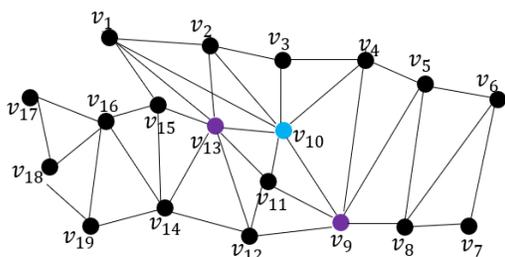
17	Tegowatu	v_{17}	2
18	Tanggungharjo	v_{18}	3
19	Kedungjati	v_{19}	3

- Memilih titik yang akan diwarnai, yaitu titik v_{10} dan titik v_{13} karena memiliki derajat tertinggi yaitu, 7. Pertama dipilih warna biru untuk v_{10} . Selanjutnya diperiksa kelayakan warna biru untuk titik v_{10} . Karena titik v_{10} bertetangga dengan 7 warna yang belum diberi warna, maka warna biru layak untuk titik v_{10} . Selanjutnya untuk titik v_{13} , karena titik v_{10} dan v_{13} saling bertetangga, maka dipilih warna lain untuk v_{13} yaitu warna ungu. Selanjutnya diberikan kelayakan warna untuk titik v_{13} , karena warna ungu baru dipakai oleh titik v_{13} , maka titik v_{13} layak diberi warna ungu.



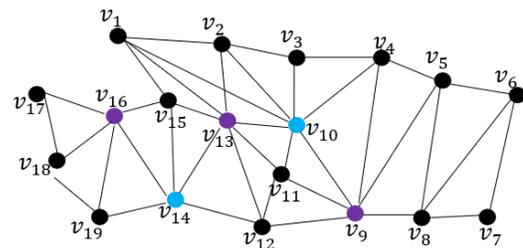
Gambar 2. Pewarnaan titik berderajat 7

- Masukkan warna biru dan ungu sebagai himpunan solusi $S = \{biru, ungu\}$
- 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_9 . Pewarnaan pada titik v_9 menggunakan warna ungu, karena titik v_9 bertetangga dengan titik v_{10} . Himpunan solusi $S = \{biru, ungu\}$



Gambar 3. Pewarnaan titik berderajat 6

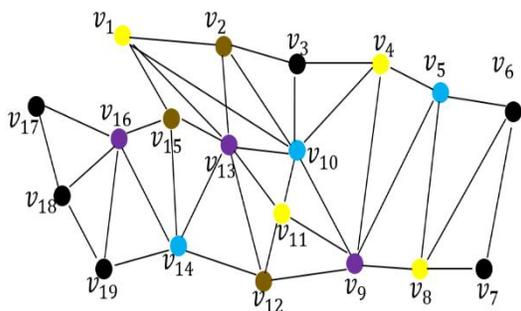
- Seleksi titik berderajat 5 yaitu titik v_{14} dan titik v_{16} . Pewarnaan titik v_{14} menggunakan warna biru karena titik v_{14} bertetangga dengan titik v_9 dengan warna ungu. Himpunan solusi $S = \{biru, ungu\}$. Pewarnaan titik v_{16} menggunakan warna ungu karena titik v_{16} bertetangga dengan titik v_{14} yang menggunakan warna biru, sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu\}$.



Gambar 3. Pewarnaan titik berderajat 5

- Seleksi titik berderajat 4, yaitu titik $v_1, v_2, v_4, v_5, v_8, v_{11}, v_{12}$ dan v_{15} . Pewarnaan titik v_1 menggunakan warna kuning karena titik v_1 bertetangga dengan titik v_{10} dengan warna biru dan titik v_{13} dengan warna ungu, sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning\}$. Pewarnaan titik v_2 menggunakan warna coklat, karena titik v_2 bertetangga dengan titik v_{10} dengan warna biru bertetangga dengan titik v_{13} dengan warna ungu dan bertetangga dengan titik v_1 dengan warna kuning sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$. Pewarnaan titik v_4 menggunakan warna kuning karena titik v_4 bertetangga dengan titik v_{10} dengan warna biru dan titik v_{13} dengan warna ungu sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$. Pewarnaan titik v_5 menggunakan warna biru karena titik v_5 bertetangga dengan titik v_4 dengan warna kuning dan titik v_9 dengan warna ungu sehingga himpunan solusi $S =$

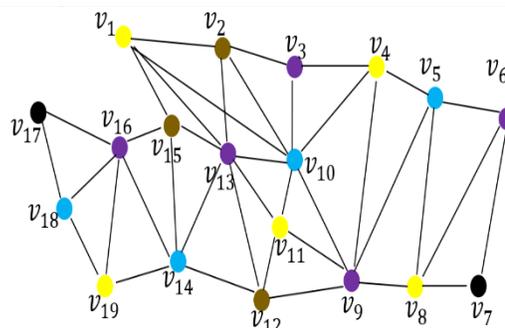
{*biru, ungu, kuning, coklat*}. Pewarnaan titik v_8 menggunakan warna kuning karena titik v_8 bertetangga dengan titik v_5 dengan warna biru dan titik v_9 dengan warna ungu sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$. Pewarnaan titik v_{11} menggunakan warna kuning karena titik v_{11} bertetangga dengan titik v_{10} dengan warna biru dan titik v_9 dengan warna ungu sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$. Pewarnaan titik v_{12} menggunakan warna coklat karena titik v_{12} bertetangga dengan titik v_{14} dengan warna biru bertenganna dengan titik v_{13} dengan warna ungu dan bertetangga dengan titik v_{11} dengan warna kuning sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$. Pewarnaan titik v_{15} menggunakan warna coklat karena titik v_{15} bertetangga dengan titik v_{14} dengan warna biru, bertengana dengan titik v_{13} dengan warna ungu dan bertetangga dengan titik v_1 dengan warna kuning sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$.



Gambar 4. Pewarnaan titik berderajat 4

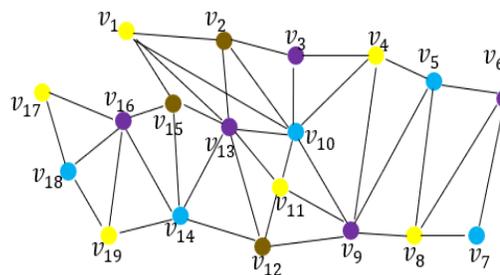
9. Seleksi titik berderajat 3, yaitu titik v_3, v_6, v_{18}, v_{19} . Pewarnaan titik v_3 menggunakan warna ungu karena titik v_3 bertetangga dengan titik v_{10} dengan warna biru bertengana dengan titik v_4 dengan warna kuning dan bertetangga dengan titik v_2 dengan warna coklat sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$. Pewarnaan titik v_6 menggunakan warna ungu karena titik v_6 bertetangga dengan titik v_5 dengan warna biru dan bertengana

dengan titik v_8 dengan warna kuning sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$. Pewarnaan titik v_{18} menggunakan warna biru karena titik v_{18} bertetangga dengan titik v_{16} dengan warna ungu, sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$. . Pewarnaan titik v_{19} menggunakan warna kuning karena titik v_{19} bertetangga dengan titik v_{18} dengan warna biru bertetangga dengan titik v_{16} dengan warna ungu sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$.



Gambar 5. Pewarnaan titik berderajat 3

10. Seleksi titik berderajat 2, yaitu v_7 dan v_{17} . Pewarnaan titik v_7 menggunakan warna biru karena titik v_7 bertetangga dengan titik v_6 dengan warna ungu dan bertetangga dengan titik v_8 dengan warna kuning sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$. Pewarnaan titik v_{17} menggunakan warna kuning karena titik v_{17} bertetangga dengan titik v_{16} dengan warna ungu dan bertetangga dengan titik v_{18} dengan warna biru sehingga himpunan solusi $S = \{biru, ungu, kuning, coklat\}$.



Gambar 5. Pewarnaan titik berderajat 2

Optimasi pada penelitian ini adalah proses pada pewarnaan setiap kecamatan pada Kabupaten Grobogan dengan fungsi tujuan warna yang dihasilkan dalam mewarnai peta Kabupaten Grobogan 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

- Warna biru merepresentasikan 5 kecamatan yaitu : Wirosari, Gabus, Purwodadi, Karangrayung, dan Tanggunharjo.
- Warna ungu merepresentasikan 5 kecamatan yaitu : Grobogan, Ngaringan, Pulokulon, Penawangan, dan Gubug.
- Warna kuning merepresentasikan 6 kecamatan yaitu: Klambu, Tawangharjo, Kradenan, Turoh, Tegowatu dan Kedungjati.
- Warna coklat merepresentasikan 3 kecamatan yaitu : Brati, geyer dan Godong.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan dari hasil pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa menggunakan Algoritma Greedy warna yang diperlukan untuk mewarnai setiap kecamatan di Kabupaten Grobogan cukup dengan empat warna dan didapatkan himpunan solusi $S = \{\text{Biru, Ungu, Kuning, Coklat}\}$, sehingga diperoleh hasil pewarnaan peta Kabupaten Grobogan sebagai berikut



Gambar 6. Hasil Pewarnaan Kabupaten Grobogan

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 lokal 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 lain seperti penjadwalan, antrian dengan menggunakan algoritma Greedy maupun algoritma yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammar, M. (2019). Implementasi Algoritma Sequential dan Welch Powell pada pewarnaan graf (studi kasus pewarnaan peta kota Makassar). *Jurnal Varian*, 3(1), 28–35. <https://doi.org/10.30812/varian.v3i1.488>
- 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). *Graduate Texts in Mathematics, Volume 173*. Springer-Verlag New York, Incorporated.
- 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.
- 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>
- Munir, R. (2010). Matematika Diskrit Revisi Keempat. *Informatika Bandung, Bandung*.

Rahadi, A. P. (2019). Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Pewarnaan Graf Dengan Algoritma Largest First. *Jurnal Padagogik Matematika*,2(1),1–13.
<https://doi.org/10.35974/jpd.v2i1.1067>

Rosen, K.H. 2019. Discrete Mathematics and Its Applications Eighth Edition.McGraw-Hill Education, New York

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>