

Pewarnaan Graf Pada Peta Provinsi Jawa Barat Menggunakan Algoritma Welch-Powell

Muhammad Qomaruddin^{a1}, Waeisul Bismi^{b2}, Dicky Hariyanto^{c3}

^aTeknik Informatika, Universitas Nusa Mandiri

Jl. Jatiwaringin No. 02, Cipinang Melayu, Jakarta Timur

¹muhammad.mqn@nusamandiri.ac.id

^bJurusan Ilmu Komputer, Universitas Bina Sarana Informatika

Jalan Kramat Raya No. 98, Senen, Jakarta Pusat

²waesul@bs.ac.id

^cJurusan Sistem Informasi Kampus Kota Bogor, Universitas Bina Sarana Informatika

Jalan Raya Cilebut No.3A Tanah Sereal, Kota Bogor

³dicky.dkh@bs.ac.id

Abstrak

Pewarnaan graf adalah teknik pemberian warna pada setiap titik pada graf, yang menyebabkan dua titik yang berdekatan tidak memiliki warna yang sama. Graf dapat diwarnai dengan memberikan warna yang berbeda untuk setiap simpul. Untuk itu peneliti mengimplementasikan pewarnaan graf pada peta provinsi Jawa Barat menggunakan Algoritma Welch-Powell. Algoritma Welch-Powell merupakan algoritma yang digunakan untuk mewarnai simpul-simpul graf berdasarkan derajat sudut tertinggi. Penelitian diawali dengan pemahaman tentang pewarnaan graf dan algoritmanya. Penelitian ini menjelaskan bahwa dalam melakukan pewarnaan graf pada peta Provinsi Jawa Barat terdapat bilangan kromatik yang diperoleh $X(G) = 3$ dan menghasilkan 20 titik yang membutuhkan tiga warna berbeda yaitu merah, kuning dan biru.

Kata kunci: pewarnaan graf; Welch-Powell; Vertex

Graph Coloring on West Java Province Map Using Welch-Powell Algorithm

Abstract

Graph coloring is a technique of giving color to each *vertex* of the graf, which causes two adjacent vertices not to have the same color. The graf can be colored by assigning different colors to each *vertex*. For this reason, the researcher implemented graf coloring on the map of West Java province using the *Welch-Powell* Algorithm. The *Welch-Powell* algorithm is an algorithm that is used to color the vertices of the graf based on the highest degree of angle. The research begins with an understanding of graf coloring and its algorithms. This study explains that in doing graf coloring on a map of West Java Province, there is a chromatic number obtained by $X(G) = 3$ and produces 20 vertices that require three different colors, namely red, yellow and blue.

Keywords: Graf coloring; Welch-Powell; Vertex

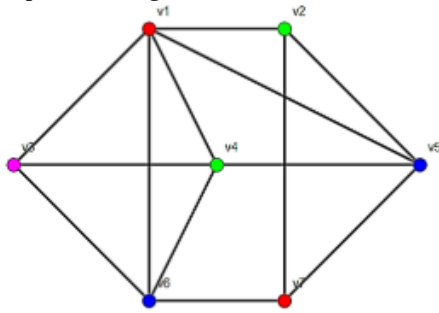
I. PENDAHULUAN

Pewarnaan graf serta penyebarataannya memakai *tools* dalam membentuk contoh model yang beraneka ragam buat menyelesaikan permasalahan penjadwalan atau pemberian tugas, pewarnaan graf berfungsi sebagai model untuk penyelesaian konflik pada permasalahan. Salah satu teknik dalam *graf theory* adalah memberikan warna pada sebuah peta, baik warna minimum maupun warna maksimum. Dengan menghindari warna yang sama pada *vertex* yang *edjacency* agar dapat memperoleh warna

minimum merupakan proses pewarnaan yang dilakukan graf [1].

Pewarnaan graf salah satu caranya dengan memberi warna pada setiap simpul dari *graf* sehingga tak terdapat dua simpul yang berdekatan yang mempunyai warna yang sama. Graf biasanya diwarnai dengan menetapkan warna yang berdeda-beda pada masing-masing simpulnya [2]. Namun, Di beberapa pewarnaan graf dapat ditemukan bahwa penggunaan warna lebih sedikit dari jumlah simpul pada graf, Pada gambar 1 dibawah ini berikut adalah

contoh dari pewarnaan graf.



Gambar 1. Contoh pewarnaan graf

Begitu banyak struktur yang dapat direpresentasikan dengan graf, dan banyak persoalan lainnya yang mampu diselesaikan dengan bantuan teknik graf. Metode *graf coloring* sudah banyak diterapkan dalam berbagai bidang [3], Jaringan persahabatan pada media social seperti, *Facebook, Whatsapp, Instagram, line, tweeter* dan sebagainya bisa direpresentasikan dengan graf, *vertex*-nya adalah para pengguna media sosial dan ada *edge* antara A dan B jika dan hanya jika A berteman dengan B. Perkembangan algoritma untuk menangani *graf* akan berdampak besar bagi ilmu komputer [1].

Masalah dalam pewarnaan graf memiliki banyak implementasi didalam bidang lain seperti halnya pembuatan jadwal, penentuan frekuensi buat radio, pencocokan pola, *game* soku, pemetaan dan lain-lain [4]. Pertama kali munculnya permasalahan pewarnaan graf sebagai masalah pewarnaan pada peta, yang mana warna pada setiap daerah didalam peta haruslah dibuat berbeda agar memudahkan dalam pembacaan peta. Maka dari itu peneliti mencoba mengimplementasikan *graf coloring* pada peta Provinsi Jawa Barat dengan menggunakan *Algoritma Welch-Powell*. *Algoritma Welch-Powell* adalah salah satu algoritma pewarnaan graf yang melakukan pewarnaan graf untuk mengatasi permasalahannya dan *Welch-Powell* termasuk *Algoritma Greedy* yang mana penyelesaian pada algoritma ini lebih dari satu penyelesaian [2].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan maka metode yang digunakan yakni menggunakan algoritma *Welch-Powell* dan adapun metode penelitian yang dipakai untuk proses pengumpulan data dalam implementasi pewarnaan graf (*graf coloring*) pada peta Provinsi Jawa Barat yakni *library reserch* dengan membaca, mencatat, mengutip argument beberapa ahli dan narasumber dalam artikel serta memahami konsep pewarnaan graf dan pada bagian berikut menjelaskan landasan teori dari metode dan algoritma yang digunakan.

A. Pengertian graf

Graf merupakan struktur diskrit yang terdiri dari adanya simpul (*vertex*) dan adanya sebuah sisi (*edge*), graf adalah pasangan himpunan (V, E) dimana V merupakan sebuah himpunan yang tidak kosong dari sebuah *vertex*

dan E adalah himpunan sisi yang menghubungkan sepasang simpul dalam graph tersebut [5].

Jika dilihat arah pada sisi, secara umum graf dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu:

1. Graf Tak Berarah

Graf tak berarah adalah graph yang sisinya tidak memiliki arah. Graf tak berarah, urutan pasangan simpul yang dihubungkan oleh sisi diabaikan. Maka, bisa disebut $(v_j, v_k) = (v_k, v_j)$ adalah sisi yang sama.

2. Graf Berarah

Graf berarah adalah graf yang sisinya mempunyai orientasi arah yang jelas. sisi yang berarah disebut dengan busur (*arc*). Pada graph berarah, (v_j, v_k) dan (v_k, v_j) dinyatakan 2 buah busur arah yang berbeda, atau dengan kata lain : $(v_j, v_k) \neq (v_k, v_j)$. Busur (v_j, v_k) , simpul v_j dinamakan simpul asal (*initial vertex*) dan simpul v_k disebut dengan simpul terminal (*terminal vertex*).

Vertex digambarkan sebagai sebuah titik atau *node*, pada graf dapat dinomori dengan huruf, bilangan asli, atau dengan menggunakan huruf dan angka (bilangan asli). Sisi digambarkan garis yang menghubungkan dua *vertex* yang disebut (*endvertices*). Teori graf banyak mengalami perkembangan yang sangat luas, salah satunya topik yang menarik untuk dikaji adalah masalah pewarnaan [6]. Definisi graf menyatakan bahwa V tidak boleh kosong, sedangkan E boleh kosong. Jadi sebuah graf dimungkinkan tidak mempunyai sisi, tetapi harus memiliki titik [6] Jika tidak, masalah pewarnaan grafik adalah masalah di mana simpul atau tepi yang berdekatan dalam grafik harus diwarnai dengan menggunakan warna yang berbeda [7].

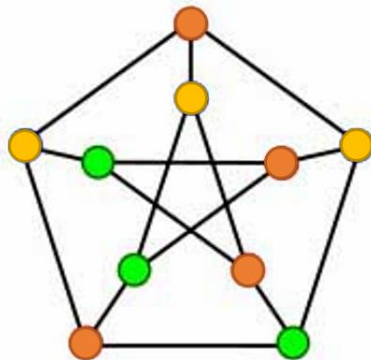
B. Pewarnaan graf

Pewarnaan Graf adalah sebuah tindakan melabeli unsur unsur graf (Sisi atau Simpul ataupun keduanya secara sekaligus) sedemikian rupa sehingga tidak ada unsur bersebelahan yang berlabel sama dengan menggunakan jenis label sedikit mungkin, kata "pewarnaan" muncul karena metode ini pada awalnya digunakan untuk membantu pewarnaan peta, dimana wilayah yang berbatasan harus memiliki warna yang berbeda [8]. Untuk graf dengan jumlah simpul yang sedikit, maka akan dengan mudah dalam menentukan bilangan kromatiknya, namun untuk graf yang besar dengan jumlah simpul yang banyak, maka diperlukan suatu program computer [9].

Pewarnaan graf adalah suatu bentuk pelabelan graf, yaitu dengan memberikan warna pada elemen graf. Terdapat tiga macam persoalan pewarnaan graf, Dan berikut ini uraian penjelasannya :

1) Pewarnaan titik (*Vertex Coloring*)

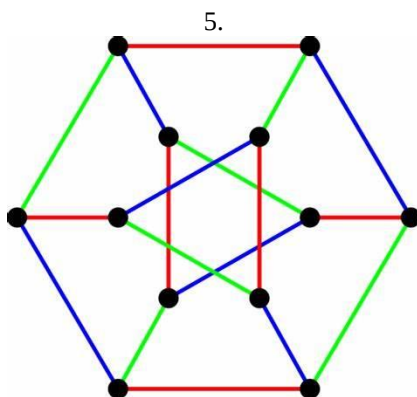
Pewarnaan simpul (*vertex coloring*) adalah pemberian warna pada setiap simpul (*vertex*) dimana warna yang tidak sama akan diberikan pada simpul (*vertex*) yang saling bertetangga.



Gambar 2. Vertex Coloring

2) Pewarnaan sisi (Edge Coloring)

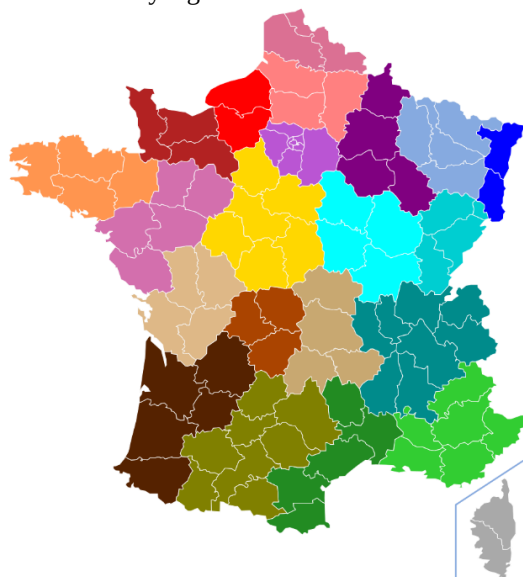
Pewarnaan sisi (edge coloring) merupakan pemberian warna pada setiap sisi pada graf sampai sisi-sisi yang saling berhubungan tidak memiliki warna yang sama.



Gambar 3. Edge Coloring

3) Pewarnaan wilayah (Region Coloring)

Pewarnaan wilayah (region coloring) adalah pemberian warna pada setiap wilayah di graf sehingga tidak ada wilayah yang bersebelahan memiliki warna yang sama.



Gambar 4. Region Coloring

Dan untuk penelitian ini peneliti menerapkan pewarnaan simpul graf atau pewarnaan titik. Pewarnaan titik adalah bagaimana mewarnai titik pada suatu graf sedemikian sehingga dua titik yang bertetangga memiliki warna yang berbeda. Tujuan utama pewarnaan titik pada graf adalah mendapatkan banyaknya warna minimum dari suatu graf yang biasa disebut bilangan khromatik [10].

Graf mempunyai banyak sekali aplikasi di dunia nyata, terutama dalam memodelkan permasalahan dunia nyata dalam bentuk yang dapat dipahami komputer sehingga memungkinkan adanya program penyelesaian permasalahan tersebut. Pewarnaan graf merupakan salah satu cabang dari ilmu matematika yang merupakan sebuah teori graf. Pada teori graf diberikan sebuah model matematika pada setiap himpunan dari sebuah objek diskrit [11].

C. Google Maps

Google Maps merupakan peta yang berbasis online dan dapat diakses melalui perangkat mobile, dekstop, ataupun web yang dapat dilihat melalui situs <https://maps.google.com>. karena aplikasi ini disediakan oleh Google secara gratis. Google maps memudahkan kita dalam mencari informasi seputar geografis karena pada layanan ini kita dapat melihat seluruh wilayah di bumi hanya dengan menggeser, zoom in dan zoom out sesuai kebutuhan pengguna [12]. Selama tersedianya akses internet berjalan lancar dengan menggunakan aplikasi Google maps ini memudahkan kita dalam penelitian ini untuk menentukan dan memrepresentasikan jalur protocol sebagai edge.

D. Definisi Algoritma

Kata algoritma (algorithm) diambil dari kata algorism yang berasal dari nama seorang ilmuwan dari Arab yang terkenal yaitu abu ja'far Muhammad Ibnu Musa Al Khuwarizmi dan oleh orang barat dilafalkan menjadi Algorism. Dan menurut [13] menjelaskan bahwa pengertian algorism itu sendiri adalah sekumpulan instruksi atau perintah yang dibuat secara jelas dan sistematis berdasarkan urutan yang logis untuk penyelesaian suatu masalah. Secara umum, penyelesaian suatu masalah dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- Strategi solusi langsung (*direct solution strategies*)
- Strategi berbasis pencarian pada ruang status (*state-space base strategies*)
- Strategi solusi atas-bawah (*top-down solution strategies*)
- Strategi solusi bawah-atas (*bottom-up solution strategies*)

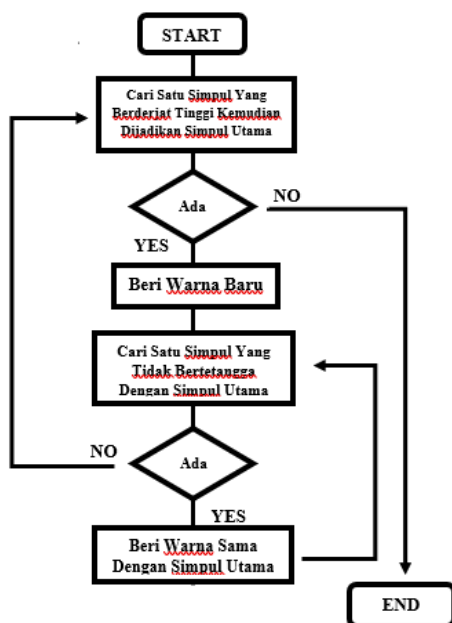
E. Algoritma Welch-Powell

Algoritma Welch-Powell merupakan salah satu algoritma pewarnaan graf yang melakukan pewarnaan berdasarkan derajat tertinggi dari simpul-simpulnya atau disebut *Largest Degree Ordering* (LDO). Algoritma Welch-Powell dapat digunakan untuk mewarnai sebuah graf G secara mangkus atau efektif [9]. Algoritma ini tidak selalu memberikan jumlah warna minimum yang diperlukan untuk mewarnai G, namun cukup praktis untuk

digunakan dalam pewarnaan simpul sebuah graf. Algoritma *Welch-Powell* hanya cocok digunakan untuk graf dengan orde yang kecil [14], Masalah utama dalam pewarnaan simpul adalah pencarian solusi penggunaan jumlah warna yang seminimal mungkin. Jumlah warna yang paling minimal yang digunakan untuk mewarnai graf disebut dengan bilangan kromatik (*chromatic number*) Berikut Algoritma *Welch-Powell* :

- Urutkan simpul-simpul dari G dalam derajat yang menurun (urutan seperti ini mungkin tidak unik karena beberapa simpul mungkin berderajat sama).
- Gunakan satu warna untuk mewarnai simpul pertama (yang mempunyai derajat tertinggi) dan simpul-simpul lain (dalam urutan yang berurut) yang tidak bertetangga dengan simpul pertama ini.
- Mulai lagi dengan simpul berderajat tertinggi berikutnya di dalam daftar terurut yang belum diwarnai dan ulangi proses pewarnaan simpul dengan menggunakan warna kedua.
- Ulangi penggunaan warna-warna sampai semua simpul telah diwarnai.

Algoritma *Welch-Powell* tidak selalu memberikan jumlah warna minimum pada suatu pewarnaan graf, tetapi algoritma ini memberikan batas atas jumlah warna yang dapat dipakai untuk mewarnai suatu graf [15]. Dari penerapan *Algoritma Welch-Powell* peneliti membuat Flowchart yang dapat terlihat pada gambar 5 berikut :



Gambar 5. Flowchart Algoritma *Welch-Powell*

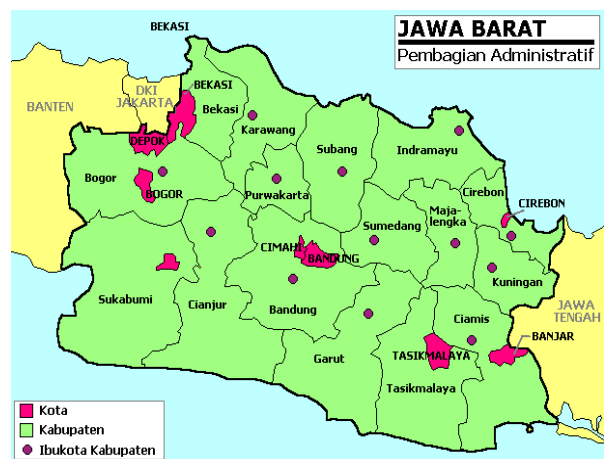
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini objek yang diangkat merupakan dari daerah Provinsi Jawa Barat yakni menimplentasikan suatu *graph coloring* dari sebuah peta dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell*, dengan kota yang dijadikan *vertex*nya dan jalan protokol sebagai *edge* nya. Adapun dalam melakukan pewarnaan graf menggunakan

Algoritma *Welch-Powell* dengan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data atau informasi berupa peta Provinsi Jawa Barat.
2. Merepresentasikan peta Provinsi Jawa Barat kedalam bentuk graf dengan kota – Kota di Jawa Barat berupa Simpul (simpul) dan wilayah yang berdekatan dihubungkan oleh sebuah sisi.
3. Kemudian menggunakan *Algoritma Welch-Powell* untuk melakukan pewarnaan

Dan pada gambar 6 berikut ini adalah gambaran peta dari daerah Provinsi Jawa Barat.

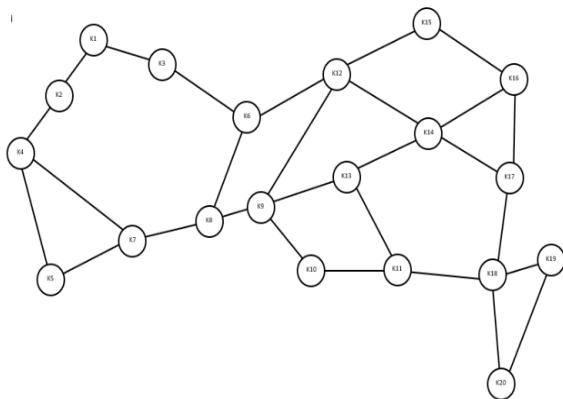


Gambar 6. Peta Provinsi Jawa Barat

TABEL I
Nama – nama Kota di Provinsi Jawa Barat

No.	Nama Kota
1.	Bandung
2.	Subang
3.	Majalengka
4.	Ciamis
5.	Bogor
6.	Purwakarta
7.	Cianjur
8.	Cimahi
9.	Tasikmalaya
10.	Sumedang
11.	Cirebon
12.	Kuningan
13.	Bekasi
14.	Depok
15.	Karawang
16.	Sukabumi
17.	Garut
18.	Indramayu
19.	Banjar
20.	Pangandaran

Pada tabel 1 diatas diketahui peta Provinsi Jawa Barat ini terdiri dari 20 kota yang direpsentasikan menjadi suatu graf dengan merepresentasikan jalur protocol sebagai *edge* dan kota sebagai *vertex*. Masing- masing kota diberi nama $k_1, k_2, \dots, k_{20}$. Untuk DKI Jakarta dan Banten kedua wilayah tersebut tidak termasuk bagian dari Provinsi Jawa Barat.



Gambar 7. Graf Peta Provinsi Jawa Barat

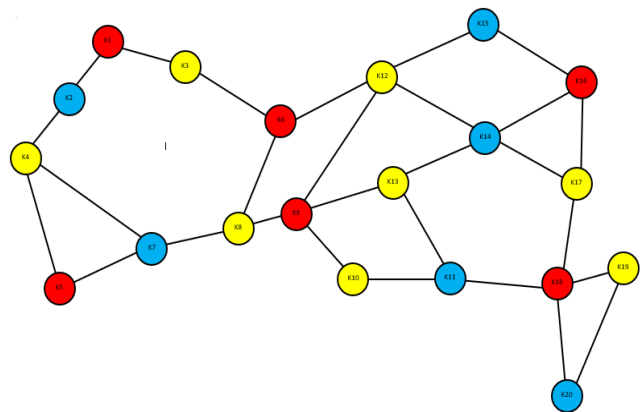
Berdasarkan gambar 7 diatas, kota – kota yang berada di Provinsi Jawa Barat direpsentasikan sebagai *vertex* mempunyai *edge* yang berbeda beda, dari *edge* besar hingga *edge* yang kecil. Dan berikut table 2 dibawah ini keterangan jumlah *edge* pada tiap kota secara berurut.

TABEL II
KETERANGAN JUMLAH *EDGE* BERDASARKAN NAMA KOTA

No.	Nama Kota	Nama Vertex	Jumlah Edge
1.	Bandung	K9	4
2.	Subang	K12	4
3.	Majalengka	K14	4
4.	Ciamis	K18	4
5.	Bogor	K4	3
6.	Purwakarta	K6	3
7.	Cianjur	K7	3
8.	Cimahi	K8	3
9.	Tasikmalaya	K11	3
10.	Sumedang	K13	3
11.	Cirebon	K16	3
12.	Kuningan	K17	3
13.	Bekasi	K1	2
14.	Depok	K2	2
15.	Karawang	K3	2
16.	Sukabumi	K5	2
17.	Garut	K10	2
18.	Indramayu	K15	2
19.	Banjar	K19	2
20.	Pangandaran	K20	2

Dari transformasi graf di atas terlihat *vertex* K^9, K^{12}, K^{14} memiliki jumlah *edge* terbanyak yakni 4 buah. Selanjutnya pewarana graph simpul pada peta Provinsi Jawa Barat dilakukan dengan menerapkan algoritma *Welch-Powell* yakni dengan ambil warna pertama, warnai simpul pertama (dalam urutan), kemudian simpul berikutnya yang tidak berdampingan, terus menerus,

berdasarkan urutan. Kemudian kita lanjutkan dengan warna kedua dan seterusnya, sampai semua simpul telah diberi warna. Dan berikut hasil pewarnaan *vertex*, didapatkan bahwa antara *vertex* (kota) yang berdekatan/bersebelahan tidak memiliki warna yang sama. Pewarnaan simpul yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Perwarnaan graf pada vertex peta Provinsi Jawa Barat

Optimalitas warna yang berhasil digunakan dalam pewarnaan peta Provinsi Jawa Barat adalah 3 warna yaitu Merah, Kuning, dan Biru. Maka $X(G) = 3$ Jumlah warna optimum inilah yang disebut sebagai bilangan *Cromatic*. Dan pada table 3 ini dibawah ini hasil pewarnaan graf pada tiap kota-kota di provinsi jawa barat menggunakan algoritma welch powell :

TABEL III
PEWARNAAN GRAF PADA KOTA BERDASARKAN
ALGORITMA WELCH -POWELL

No.	Nama Kota	Nama Vertex	Warna graf
1.	Bandung	K9	Merah
2.	Subang	K12	Kuning
3.	Majalengka	K14	Biru
4.	Ciamis	K18	Merah
5.	Bogor	K4	Kuning
6.	Purwakarta	K6	Merah
7.	Cianjur	K7	Biru
8.	Cimahi	K8	Kuning
9.	Tasikmalaya	K11	Biru
10.	Sumedang	K13	Kuning
11.	Cirebon	K16	Merah
12.	Kuningan	K17	Kuning
13.	Bekasi	K1	Merah
14.	Depok	K2	Biru
15.	Karawang	K3	Kuning
16.	Sukabumi	K5	Merah
17.	Garut	K10	Kuning
18.	Indramayu	K15	Biru
19.	Banjar	K19	Kuning
20.	Pangandaran	K20	Biru

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan penelitian berupa pewarnaan graf (*graph coloring*) pada peta Propinsi Jawa Barat, maka dapat kesimpulan yang diperoleh yakni, Teori graf dapat digunakan dalam memodelkan pewarnaan pada peta suatu wilayah, negara atau pulau serta model graf pada penelitian ini untuk pewarnaan pada peta suatu wilayah yakni dibuat menggunakan data Provinsi Jawa Barat. Setiap titik pada graf mewakili satu nama kota di wilayah tersebut dan sisi pada graf menyatakan ada jalur terhubung atau tidaknya antara kota – kota di Provinsi Jawa Barat yang dijadikan sebagai nilai bobot derajat.

Pewarnaan graf dengan menggunakan *Algoritma Welch-Powell* yang dimodifikasi dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah pewarnaan graf pada peta wilayah Provinsi Jawa Barat agar memudahkan dalam pemetaan pada tiap wilayah di Provinsi Jawa Barat. Hasil pewarnaan graf yang dibuat pada penelitian ini menghasilkan 3 warna jumlah *vertex* (kota) yang terdapat di peta Jawa Barat berjumlah 20 lalu bilangan kromatik dalam graph map Provinsi Jawa Barat adalah $X(G) = 3$, *vertex* (kota-kota yang ada di peta Provinsi Jawa Barat dapat diwarnai hanya menggunakan tiga warna yaitu dengan warna merah, kuning, dan biru serta antar kota yang terhubung dengan satu *edge* memiliki warna yang berbeda. Penelitian lanjutan yang disarankan berdasarkan dari penelitian ini adalah bagaimana menerapkan *graph coloring* untuk pewarnaan wilayah (*region coloring*), pewarnaan sisi (*edge coloring*) dan pewarnaan jejaring sosial (*social networking*) yang diimplementasikan untuk mewarnai wilayah pada sebuah pulau atau negeri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. S. Hutabarat, "Implementasi Graph Coloring Dalam Pemetaan Daerah Kabupaten Serdang Bedagai," vol. 2. pp. 1–7, 2009.
- [2] Suwarno, "MATHEMATICA APPLICATION FOR GRAPH COLORING AT THE INTERSECTION OF JALAN PANGERAN ANTASARI JAKARTA," vol. 6, no. 2, pp. 275–281, 2017.
- [3] C. Angelina, N. Koban, and S. R. Nudin, "Penerapan Graph Coloring Menggunakan Algoritma Greedy Pada Aplikasi Pemesanan Tiket Kapal Penyeberangan," vol. 02, pp. 60–67, 2020.
- [4] Andriansyah, F. Sofian Efendi, Syaofullah, M. Pinto, Pujiyanto, and H. Stepven Tempake, "Implementasi Algoritma Greedy Untuk Melakukan Graph Coloring: Studi Kasus Peta Propinsi Jawa Timur," *J. Inform. Ahmad Dahlan*, vol. 4, no. 2, p. 103610, 2010, doi: 10.26555/jifo.v4i2.a5275.
- [5] M. K. Harahap, "Pencarian Jalur Terpendek dengan Algoritma Dijkstra," vol. 2, pp. 18–23, 2019.
- [6] N. I. Wulandari, "Digital Repository Universitas Jember," p. 27, 2015.
- [7] F. Marpaung and A. Ritonga, "Application of graf coloring for optimization of traffic light settings in Medan," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1188, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1188/1/012012.
- [8] F. A. Pratama, "Aplikasi Pewarnaan Graf dalam Penyelesaian Open-Shop Scheduling Sederhana," 2016.
- [9] K. Harianto and T. S. Eiva Fatdha, "Penerapan Pewarnaan Simpul Graf untuk Menentukan Jadwal Ujian Skripsi pada STMIK Amik Riau Menggunakan Algoritma Welch-powell," *SATIN - Sains dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 2, p. 48, 2016, doi: 10.33372/stn.v1i2.27.
- [10] M. Mahmudah and T. N. Irwati, "APLIKASI PEWARNAAN

- GRAF TERHADAP PEMBUATAN JADWAL UJIAN SEMESTER DI JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA UNIVERSITAS ISLAM JEMBER," *Kadikma*, vol. 7, no. 2, pp. 1–16, 2018.
- [11] S. Bahri and T. Hidyatullah, "PENERAPAN COLORING GRAPH PADA SISTEM PENGINGAT DAN PENJADWALAN IMUNISASI DASAR LENGKAP," vol. 3, no. 2, p. 21, 2013.
 - [12] G. Ismayanto, "Sistem Informasi Geografis Pariwisata Kabupaten Sragen Berbasis Android Dengan Memanfaatkan Google Maps Api," vol. 3, no. 1, pp. 224–234, 2018.
 - [13] L. Fanani, E. M. Adam, S. Wicaksono, and A. Satrio, "Rancang Bangun Aplikasi Web Pencarian Rute Terpendek Antar Kota Medan Algoritma Dijkstra," *J. Basic Sci. Techonology*, vol. 1, no. 3, pp. 7–11, 2012.
 - [14] S. Astuti, "Penyusunan Jadwal Ujian Mata Kuliah dengan Algoritma Pewarnaan Graf Welch Powell," *J. Dian*, vol. 11, no. 1, pp. 68–74, 2011.
 - [15] A. M. Soimah and N. S. M. Mussafi, "Pewarnaan Simpul Dengan Algoritma Welch-Powell Pada Traffic Light Di Yogyakarta," *J. Fourier*, vol. 2, no. 2, p. 73, 2013, doi: 10.14421/fourier.2013.22.73-79.