



## PENERAPAN PEWARNAAN GRAF MENGGUNAKAN ALGORITMA WELCH-POWELL PADA PENJADWALAN MATA PELAJARAN (Studi Kasus: Penjadwalan Mata Pelajaran SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut)

Monica Yeyen Yusak<sup>1</sup>, Desi Febriani Putri<sup>2</sup>, Syaripuddin<sup>3</sup>

Corresponding author : Desi Febriani Putri

<sup>1</sup>Universitas Mulawarman, monicayeyen08@gmail.com

<sup>2</sup>Universitas Mulawarman, desifebrianip@fmipa.unmul.ac.id

<sup>3</sup>Universitas Mulawarman, syarifrahman2014@gmail.com

Received : 29 September 2023, Revised : 4 Oktober 2024, Accepted : 8 Oktober 2024

### Abstract

Scheduling subjects is an essential aspect of efficient school management. Graph coloring is used as an approach to solving problems in the scheduling process using the welch-powell algorithm. In this research, subject scheduling was carried out at SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut using graph coloring. The Welch-Powell algorithm is used to arrange scheduling that minimizes clashes between subjects with overlapping schedules. This research aims to determine the model of subjects and supporting teachers in graphs and to find the results obtained from graph coloring using the welch-powell algorithm at SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut. In this study, the welch-Powell algorithm focuses on the vertex coloring of the graph so that each adjacent vertex must have a different color. The data used in this research includes information about teachers, the number of classes, and the number of subjects. The results showed that graph coloring using the welch-Powell algorithm can be applied to schedule subjects at SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut. In the implementation of graph coloring, the chromatic number is 5 or  $\chi(G) = 5$ , which consists of red, yellow, green, purple, and blue.

*Keywords: Scheduling, Graph coloring, Welch-Powell Algorithm.*

### Abstrak

Penjadwalan mata pelajaran adalah unsur penting dalam manajemen sekolah yang efisien. Pewarnaan graf digunakan sebagai pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan pada proses penyusunan penjadwalan menggunakan algoritma *welch-powell*. Pada penelitian ini, dilakukan penjadwalan penyusunan mata pelajaran di SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut menggunakan pewarnaan graf. Algoritma yang digunakan adalah algoritma *welch-powell*, untuk menyusun penjadwalan yang meminimalkan bentrok antara mata pelajaran yang memiliki jadwal tumpang tindih. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui model mata pelajaran dan guru pengampu kedalam bentuk graf, serta untuk mengetahui hasil dari pewarnaan graf menggunakan algoritma *welch-powell* di SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut. Penelitian ini berfokus pada pewarnaan titik menggunakan algoritma *welch-powell*, jadi untuk setiap titik yang bertetangga tidak boleh memiliki warna yang sama. Data pada penelitian ini mencakup informasi tentang guru pengampu mata pelajaran, jumlah kelas, dan jumlah mata pelajaran. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa pewarnaan graf dengan algoritma *welch-powell* dapat digunakan pada penyusunan penjadwalan mata pelajaran SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut. Pada implementasi pewarnaan graf diperoleh bilangan kromatik adalah 5 atau  $\chi(G) = 5$  yang terdiri dari warna merah, kuning, hijau, ungu, dan biru.

*Kata Kunci: Penjadwalan, Pewarnaan graf, Algoritma Welch-Powell.*

## 1. Pendahuluan

Matematika diskret adalah cabang matematika yang mempelajari objek-objek yang terdiri dari elemen-elemen terpisah seperti angka, titik, dan himpunan-himpunan terbatas. Matematika diskret merupakan ilmu dasar yang aplikasinya dapat dijumpai di berbagai bidang, seperti bidang ilmu komputer, kimia dan bisnis. Beberapa topik dari matematika diskret adalah teori himpunan, aljabar boolean, kombinatorika, dan teori graf [1].

Salah satu kajian menarik dalam matematika diskrit yang dapat diterapkan pada permasalahan dalam kehidupan sehari-hari adalah teori graf [2]. Teori graf pertama kali dikenalkan oleh Leonhard Euler, seorang matematikawan dari Swiss pada tahun 1736 pada permasalahan jembatan Königsberg, dimana terdapat 4 daratan dan 7 buah jembatan [3]. Permasalahan pada jembatan Königsberg adalah apakah bisa melewati ketujuh jembatan masing-masing tepat satu kali dan kembali ke tempat asal. Kemudian Euler memodelkan permasalahan tersebut ke dalam suatu graf dengan jembatan sebagai sisi dan daratan direpresentasikan sebagai titik.

Pewarnaan graf adalah salah satu kajian dalam teori graf yang cukup menarik dan banyak diteliti. Pewarnaan graf adalah pemberian warna pada elemen-elemen di graf seperti titik, sisi, dan wilayah, sehingga untuk setiap sisi, titik, dan wilayah yang bersebelahan memiliki warna yang berbeda. Berdasarkan objek yang diwarnai, pewarnaan graf memiliki 3 macam pewarnaan yaitu pewarnaan titik, pewarnaan sisi, dan pewarnaan wilayah [4].

Pewarnaan graf banyak digunakan dalam memecahkan permasalahan terkait penjadwalan pada graf, dapat menggunakan beberapa algoritma seperti algoritma *greedy*, algoritma genetika, algoritma *ant colony*, algoritma tabu search, algoritma *welch-powell*, dan algoritma *largest first* [5]. Algoritma yang digunakan pada penelitian ini adalah algoritma *welch-powell*. Algoritma ini dipilih untuk penjadwalan mata pelajaran di SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut karena kesederhaannya, serta kecepatan dan kemudahan implementasinya pada graf dengan jumlah titik terbatas. Selain itu, Algoritma ini efektif dalam meminimalkan konflik dan menjaga agar kompleksitas tetap dapat dikelola dengan baik [6].

Penjadwalan merupakan perencanaan suatu aktivitas untuk setiap kegiatan sebagai bagian dari pekerjaan secara keseluruhan yang harus dilakukan pada waktu tertentu [7]. Penelitian tentang penjadwalan dengan algoritma *welch-powell* sebelumnya pernah dilakukan oleh Putri [8] yang membahas terkait penyusunan jadwal mata pelajaran di SMP Kansius Pakem dengan menerapkan algoritma *welch-powell* dengan pemrograman python. Kemudian Nasir dan Setyawan [9] meneliti mengenai pengoptimalan penjadwalan mata kuliah di program studi Pendidikan Matematika FKIP Universitas Muslim Maros menggunakan algoritma *welch-powell* pada pewarnaan graf dan pada penelitian selanjutnya dilakukan oleh Bustan dan Salim [10] mengenai penerapan pewarnaan titik pada graf untuk menentukan jadwal bimbingan mahasiswa PGSD UNIPAS Morotai dengan menggunakan algoritma *welch-powell*.

Sekolah Menengah Pertama (SMP) merupakan salah satu lembaga pendidikan yang masih mengalami kelemahan dalam penyusunan pembelajaran karena sistem penjadwalannya masih manual [11]. Hal ini dapat menunda rencana dalam penyusunan jadwal mata pelajaran. Saat ini proses penyusunan jadwal mata pelajaran di SMP sebagian besar menggunakan Microsoft Excel, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya kesalahan manusia dalam penyusunan penjadwalan yang menyebabkan staf akademik bagian kurikulum harus menyusun kembali jadwal [12].

Pada SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut, didapat beberapa permasalahan yang ada salah satunya yaitu permasalahan pada penentuan penjadwalan, SMP ini berlokasi di Camp.Perdana, Estate KM 6 RT 05 Desa Perdana, Kec. Kembang Janggut, Kab. Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, SMP ini merupakan sekolah Swasta yang berlangsung siang hari pukul 13.00-17.30 WITA selama 6 hari berturut-turut yaitu Senin sampai Sabtu. Diketahui untuk kelas VII, VIII, dan IX masing-masing terbagi menjadi 2 kelas yaitu kelas VIIA, VIIB, VIIIA, VIIIB, IXA, dan IXB.

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam penyusunan penjadwalan yaitu waktu mata Pelajaran, guru, serta jumlah hari dan jam [13]. Ada dua permasalahan yang harus dihindari dalam penyusunan penjadwalan mata pelajaran,

yaitu guru yang mendapatkan tugas mengajar dua mata pelajaran yang berbeda dalam waktu yang sama pada tiap kelas yang berbeda dan guru yang mendapatkan tugas mengajar hanya satu mata pelajaran di waktu yang sama pada kelas yang berbeda [14].

Untuk menghindari permasalahan penyusunan jadwal, diperlukan suatu mekanisme dalam penyusunan jadwal sehingga menghasilkan jadwal mata pelajaran yang optimal, seerta dalam proses pembuatannya dapat diselesaikan dengan cepat dan akurat. Oleh karena itu dibutuhkan penjadwalan agar proses belajar mengajar dapat berjalan dengan baik dan lancar [15].

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini penulis akan membahas mengenai masalah penjadwalan mata pelajaran menggunakan algoritma *welch-powell*.

## 2. Metode

Pada penelitian ini menggunakan studi literatur dengan mempelajari buku, jurnal atau makalah yang berkaitan dengan topik penelitian. Setelah mempelajari terkait topik penelitian langkah selanjutnya yaitu merumuskan masalah berdasarkan topik penelitian. Tahapan pertama, yang harus dilakukan adalah mengumpulkan data sekunder berupa mata pelajaran serta guru pengampu mata pelajaran di instansi terkait. Tahapan kedua, memodelkan mata pelajaran di seluruh kelas dan guru pengampu ke dalam bentuk graf. Tahapan berikutnya pemberian warna pada graf berdasarkan langkah-langkah pada algoritma *welch-powell* dan langkah terakhir yaitu penyusunan jadwal mata pelajaran.

Langkah-langkah algoritma *welch-powell* adalah sebagai berikut:

- i. urutkan titik-titik dari  $G$  dalam derajat yang menurun (urutan seperti ini mungkin tidak unik karena beberapa titik mungkin berderajat sama);
- ii. gunakan satu warna untuk mewarnai titik pertama (yang mempunyai derajat tertinggi) dan titik-titik lain (dalam urutan yang berurut) yang tidak bertetangga dengan titik pertama;
- iii. mulai lagi dengan titik derajat tertinggi berikutnya di dalam daftar terurut yang belum diwarnai dan ulangi proses pewarnaan titik dengan menggunakan warna kedua;

- iv. ulangi penambahan warna sampai semua titik telah diwarnai.

## 3. Pembahasan

**Tabel 1. Guru Pengampu Mata Pelajaran**

<b>Nama Guru</b>	<b>Mata Pelajaran yang diampu</b>
Markus Dua Tobi, S.Pd	Bahasa Inggris (B. Ing) di (Kelas VII, VIII, dan IX)
H. Eki Safitri, S.Hut	Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) (Kelas VII, VIII, dan IX)
Darmawaty P,S.Pd	Ilmu Pengetahuan Sosial (IPS) (Kelas VIII dan IX)
Nirpa Pandung, S.Pd	Matematika (Kelas VIII dan IX)
Firman, S.Pd	Pendidikan Jasmani, Olahraga dan Kesehatan (PJOK) (Kelas VII, VIII, dan IX)
Lena Heri Tito, S.Pdk	Agama (Kelas VII, VIII, dan IX) Seni Budaya dan Keterampilan (SBK) (Kelas VII)
Rosalina T.P, S.Pd	Prakarya (Kelas VIII) Agama (Kelas VII, VIII, dan IX)
Hamka, S.Pdi	Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) (Kelas VII) Agama (Kelas VII, VIII, dan IX)
Maria Christiani, S.Pd	Seni Budaya dan Keterampilan (SBK) (Kelas VIII) Bahasa Indonesia (Kelas VIII dan IX)
Felisita E, Gidha, S.Pd	Matematika (Kelas VII) Bahasa Indonesia (Kelas VII) Seni Budaya dan Keterampilan (SBK) (Kelas IX)
Nur Ajija, S.Pd	Pendidikan Kewarganegaraan (Kelas VII, VIII, dan IX) Prakarya (Kelas VII dan IX)

Pada bagian pembahasan ini akan dibahas mengenai proses penyusunan jadwal mata

pelajaran dengan menerapkan algoritma *welch-powell*. Sebelum membahas proses penyusunan tersebut peneliti telah mengambil data secara langsung di instansi terkait, data tersebut merupakan data sekunder yaitu, daftar guru pengampu mata pelajaran dan mata pelajaran Tahun Ajaran 2022/2023. Guru pengampu dengan beberapa mata pelajaran serta kelas yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1.

Langkah pertama yang dilakukan merepresentasikan mata pelajaran sebagai titik dan guru pengampu mata pelajaran sebagai sisi yang akan menghubungkan setiap titik-titik pada graf. Setiap titik diberi notasi dari  $v_1$  sampai  $v_{30}$ . Notasi titik yang merepresentasikan mata pelajaran di SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 2. Notasi Titik Pada Setiap Mata Pelajaran**

Mapel	Kelas		
	VII	VIII	IX
B. Ing	$v_1$	$v_{11}$	$v_{21}$
IPA	$v_2$	$v_{12}$	$v_{22}$
Mtk	$v_3$	$v_{13}$	$v_{23}$
PJOK	$v_4$	$v_{14}$	$v_{24}$
Agm	$v_5$	$v_{15}$	$v_{25}$
B. Indo	$v_6$	$v_{16}$	$v_{26}$
PKn	$v_7$	$v_{17}$	$v_{27}$
SBK	$v_8$	$v_{18}$	$v_{28}$
Pky	$v_9$	$v_{19}$	$v_{29}$
IPS	$v_{10}$	$v_{20}$	$v_{30}$

Langkah selanjutnya adalah memberi kode nama guru pengampu mata pelajaran misalkan dengan notasi  $e_i$ . Adapun kode nama guru pengampu mata pelajaran dapat dilihat pada Tabel 2.

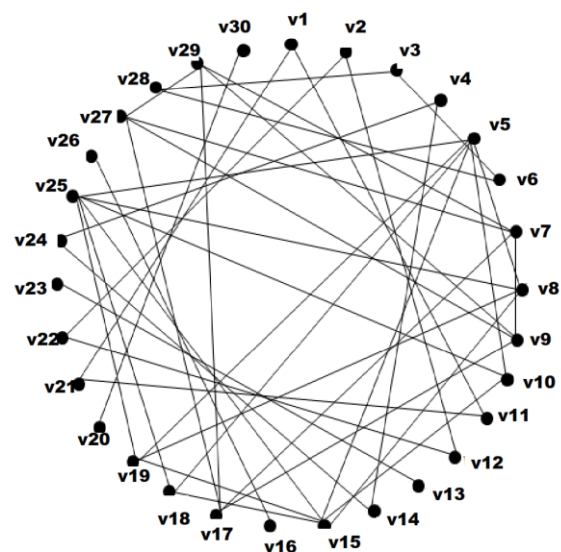
Langkah selanjutnya yaitu membuat graf yang menghubungkan relasi tiap titik dengan titik lainnya. Mata pelajaran di seluruh kelas direpresentasikan sebagai titik, dan titik-titik tersebut dihubungkan oleh sisi yang direpresentasikan sebagai guru pengampu mata pelajaran.

Pada Gambar 1 merupakan representasi graf seluruh kelas dari kelas VII, VIII, dan IX. Setiap titik pada graf merupakan mata pelajaran untuk seluruh kelas dan sisi-sisi yang menghubungkan titik-titik tersebut merupakan

guru pengampu mata pelajaran. Seperti contoh dapat dilihat pada titik  $v_1$  dan  $v_{11}$  saling terhubung yang artinya mata pelajaran tersebut diampu oleh satu guru yang sama. Hal yang sama pula, terjadi pada titik  $v_1$  dan  $v_{21}$  dimana titik-titik tersebut saling berhubungan.

**Tabel 3. Notasi Titik Pada Setiap Mata Pelajaran**

Nama Guru	Kode Guru
Lena Heri Tito, S.Pdk	$e_1$
Rosalina T.P., S.Pd	$e_2$
Hamka, S.Pdi	$e_3$
Firman, S.Pd.	$e_4$
Maria Christinani, S.Pd	$e_5$
Eki Safitri, S.Hut.	$e_6$
Darmawaty P., S.Pd	$e_7$
Nirpa Pandung, S.Pd.	$e_8$
Felisita E. Gidha, S.Pd.	$e_9$
Nur Ajija, S.Pd.	$e_{10}$
Markus Duo Tobi, S.Pd.	$e_{11}$



**Gambar 1. Representasi graf mata pelajaran dan guru pengampu untuk seluruh kelas**

Metode Algoritma *welch-powell* pada pewarnaan titik dapat digunakan untuk proses pewarnaan graf pada Gambar 1. Adapun tahapan-tahapan algoritma *welch-powell* sesuai langkah-langka yang ada di metode. Langkah pertama, mengurutkan titik dengan derajat terbesar ke derajat terkecil. Urutan titik berdasarkan derajat terbesar ke derajat terkecil dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Urutan Titik Berdasarkan Derajat Titik**

No	Titik	Derajat Titik
1.	$v_5$	6
2.	$v_{15}$	6
3.	$v_{25}$	6
4.	$v_7$	4
5.	$v_8$	4
6.	$v_9$	4
7.	$v_{17}$	4
8.	$v_{19}$	4
9.	$v_{27}$	4
10.	$v_{29}$	4
11.	$v_{10}$	3
12.	$v_{18}$	3
13.	$v_1$	2
14.	$v_2$	2
15.	$v_3$	2
16.	$v_4$	2
17.	$v_6$	2
18.	$v_{11}$	2
19.	$v_{12}$	2
20.	$v_{14}$	2
21.	$v_{21}$	2
22.	$v_{22}$	2
23.	$v_{24}$	2
24.	$v_{28}$	2
25.	$v_{13}$	1
26.	$v_{16}$	1
27.	$v_{20}$	1
28.	$v_{23}$	1
29.	$v_{26}$	1
30.	$v_{30}$	1

Pada Tabel 4 terlihat bahwa titik yang memiliki derajat tertinggi adalah titik  $v_5$ ,  $v_{15}$  dan  $v_{25}$ . Pada penelitian ini, derajat tertinggi pertama dipilih dari titik yang memiliki indeks terkecil untuk memudahkan proses pewarnaan pada titik. Sehingga untuk derajat tertinggi pertama yang dipilih adalah titik  $v_5$  yang akan diberi warna merah. Langkah berikutnya memberikan warna merah pada semua titik yang tidak bertetangga dengan titik  $v_5$  yaitu titik  $v_6, v_7, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{16}$  dan  $v_{20}$ . Kemudian mengecek kembali apakah masih terdapat titik-titik yang tidak

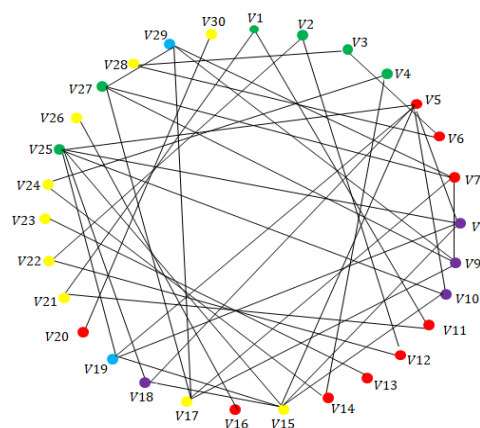
bertetangga dengan titik  $v_5$ . Jika tidak ada dilanjutnya dengan tahanan berikutnya.

Langkah selanjutnya yaitu memberikan warna yang baru pada titik yang mempunyai derajat tertinggi kedua yaitu titik  $v_{15}$ . Pada titik  $v_{15}$  diberikan warna kuning, kemudian mewarnai titik-titik yang tidak bertetangga dengan titik  $v_{15}$  yaitu titik  $v_{17}, v_{21}, v_{22}, v_{23}, v_{24}, v_{28}$ , dan  $v_{30}$  dengan warna kuning juga. Kemudian memeriksa kembali titik-titik yang tidak bertetangga dengan titik  $v_{15}$  yang belum diberi warna.

Selanjutnya memberikan warna baru pada titik yang memiliki derajat tertinggi berikutnya yaitu titik  $v_{25}$  yang diberi warna hijau. Kemudian memberikan warna yang sama dengan warna hijau untuk titik-titik yang tidak bertetangga dengan  $v_{25}$  yaitu titik  $v_{27}, v_1, v_2, v_3$ , dan  $v_4$ .

Langkah selanjutnya, memberikan warna baru pada titik yang mempunyai derajat tertinggi berikutnya yaitu titik  $v_8$  dengan warna ungu. Kemudian memberikan warna yang sama dengan warna ungu pada titik-titik yang tidak bertetangga dengan  $v_8$ , yaitu titik  $v_9, v_{10}$ , dan  $v_{18}$ . Mengecek kembali semua titik-titik yang tidak bertetangga dengan titik  $v_8$  sudah diwarnai semua.

Langkah terakhir memberi warna biru untuk mewarnai titik  $v_{19}$  dan  $v_{29}$ . Semua langkah tersebut dilakukan dengan memperhatikan bahwa semua titik harus terwarnai dan tidak ada titik yang bertetangga memiliki warna yang sama. Dari pewarnaan titik dengan algoritma *welch-powell* didapatkan 5 warna yaitu warna merah, kuning, hijau, ungu, dan biru. Jumlah warna minimum yang digunakan untuk mewarnai titik-titik pada suatu graf sehingga tidak ada dua titik yang bertetangga mempunyai warna yang sama disebut bilangan kromatik.



**Gambar 2. Hasil pewarnaan graf di seluruh kelas dengan algoritma *welch-powell***

Pada penelitian ini, jumlah warna minimum yang didapatkan adalah 5 sehingga bilangan kromatik dari pewarnaan titik tersebut adalah 5 atau dinotasikan dengan  $\chi(G) = 5$ . Hasil pewarnaan titik dengan algoritma *welch-powell* bisa dilihat pada Gambar 2.

Warna-warna yang dihasilkan dari pewarnaan titik dengan algoritma *welch-powell* menunjukkan pengelompokan mata pelajaran yang bisa dijadwalkan dalam waktu yang bersamaan dan pada kelas yang berbeda. Pengelompokan mata pelajaran berdasarkan warna tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5. Pengelompokan Mata Pelajaran Berdasarkan Warna**

Warna	Kelompok Mata Pelajaran
Merah	Agama kelas VII, B.Indo kelas VII, PKN kelas VII, B.Ing kelas VIII, IPA kelas VIII, Mtk kelas VIII, PJOK kelas VIII, B.Indo kelas VIII, IPS kelas VIII
Kuning	Agama kelas VIII, PKN kelas VIII, B.Ing kelas IX, IPA kelas IX, Mtk IX, PJOK kelas IX, B.Indo kelas IX, SBK kelas IX, IPS kelas IX
Hijau	B.Ing kelas VII, IPA kelas VII, Mtk kelas VII, PJOK kelas VII, Agama kelas IX, PKN kelas IX
Ungu	SBK kelas VII, Prakarya kelas VII, IPS kelas VII, SBK kelas VIII
Biru	Prakarya kelas VIII, Prakarya kelas IX

Berdasarkan hasil pewarnaan titik dengan algoritma *welch-powell* diperoleh hasil akhir yang didapatkan hanya berupa kelompok warna yang dapat digunakan sebagai informasi untuk membantu penyusunan jadwal mata pelajaran. Sehingga dari pengelompokan warna tersebut dapat dipakai untuk menyusun penjadwalan mata pelajaran di SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut.

Namun dalam proses penyusunan jadwal mata pelajaran, terdapat permasalahan yang dihindari dalam pembuatan jadwal mata pelajaran, yaitu guru yang mendapatkan tugas mengajar dua mata pelajaran yang berbeda dalam waktu yang sama pada kelas yang berbeda dan guru yang mendapatkan tugas mengajar satu mata pelajaran di waktu yang sama pada kelas

yang berbeda. Lalu ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan juga yaitu waktu mata pelajaran, guru yang mengajar, serta jumlah jam dan hari dalam mengajar.

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah penyusunan penjadwalan mata pelajaran di SMP Terpadu Rea Kaltim Kembang Janggut dengan menggunakan algoritma *welch-powell* dapat digunakan sebagai salah satu metode dalam menyusun jadwal mata pelajaran dengan memodelkan seluruh mata pelajaran di kelas VII, VIII, dan IX menjadi suatu graf. Dalam memodelkan graf tersebut seluruh mata pelajaran direpresentasikan menjadi titik dan guru pengampu mata pelajaran direpresentasikan menjadi sisi. Hasil didapatkan dari pewarnaan titik di kelas VII, VIII, dan IX diperoleh bilangan kromatiknya yaitu  $\chi(G) = 5$ , yang berarti didapatkan 5 kelompok warna mata pelajaran. Warna-warna tersebut diantaranya adalah warna merah, kuning, hijau, ungu, dan biru.

#### Referensi

- [1] Y. G. Nengsih dan M. Kom, *Matematika Diskrit*. Surabaya: Jakad Media Publishing, 2020.
- [2] S. Wibisono, *Matematika Diskrit*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2008.
- [3] M. Mahmudah dan T. N. Irawati, "Aplikasi Pewarnaan Graf Terhadap Pembuatan Jadwal Ujian Semester di Jurusan Pendidikan Matematika Universitas Islam Jember," *Kadikma*, vol. 9, no. 2, hal. 12–21, 2018.
- [4] H. Afriantini dan F. Fran, "Pewarnaan Simpul, Sisi, Wilayah Pada Graf Dan Penerapannya," *Bimaster Bul. Ilm. Mat. Stat. dan Ter.*, vol. 8, no. 4, 2019.
- [5] P. Gupta dan O. Sikhwal, "A Study Of Vertex-Edge Coloring Techniques With Application," *Int. J. Core Eng. Manag.*, vol. 1, no. 2, hal. 27–32, 2014.
- [6] S. Astuti, "Penyusunan Jadwal Ujian Mata Kuliah Dengan Algoritma Pewarnaan Graf Welch Powell," *J. Dian*, vol. 11, no. 1, 2011.
- [7] A. A. Pratama, M. Bettiza, dan A. Uperiati, "Aplikasi Penjadwalan Mata Pelajaran Menggunakan Algoritma Genetika,"

- Student Online J. Umr.*, vol. 2, no. 1, hal. 97–105, 2021.
- [8] L. D. Putri, “Penerapan Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma Welch Powell Dengan Pemrograman Python Untuk Menyusun Jadwal Mata Pelajaran di SMP Kansius Pakem. (Skripsi),” Universitas Sanata Dharma.
- [9] A. M. Nasir dan D. Setyawan, “Optimalisasi Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Teori Pewarnaan Graf,” *Prox. J. Penelit. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 5, no. 1, hal. 57–69, 2022.
- [10] A. W. Bustan dan M. R. Salim, “Penerapan Pewarnaan Graf Menggunakan Algoritma Welch Powell untuk Menentukan Jadwal Bimbingan Mahasiswa,” *J. THEOREMS (The Orig. Res. Math.)*, vol. 4, no. 1, hal. 79–86, 2019.
- [11] E. Rosely dan P. Mayadewi, “Penerapan Algoritma Welch Powell Dengan Pewarnaan Graph Pada Penjadwalan Mata Pelajaran SMA,” *Semin. Nas. Sist. Inf. Indones.*, hal. 334–338, 2016.
- [12] D. T. Puspasari dan S. Dafik, D. Slamim, “Pewarnaan Titik pada Graf Khusus Operasi dan Aplikasinya,” Universitas Jember.
- [13] C. Pricilla, *Perenapan Pewarnaan Graf Dalam Penentuan Jadwal Perkuliahan*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2015.
- [14] T. Kristanto, T. Indriyani, dan N. M. Khoiroh, “Penjadwalan Ruang Kuliah Menggunakan Vertex Graph Coloring Dan Simulated Annealing,” *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, hal. 61–68, 2016.
- [15] U. Maftukhah, S. Amiroch, dan M. S. Pradana, “Implementasi Algoritma Greedy Pada Pewarnaan Wilayah Kecamatan Sukodadi Lamongan,” *UJMC (Unisda J. Math. Comput. Sci.)*, vol. 6, no. 2, hal. 29–38, 2020.