

Perbandingan Pewarnaan Graf Dengan *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* Dalam Penjadwalan Seminar Proposal

Rizky Anggraini¹, Nalsa Cintya Resti², Nur Fadilatul Ilmiyah³

^{1,2,3}Institut Agama Islam Negeri (IAIN) Kediri, Indonesia

E-mail: ¹riz.raini60@gmail.com, ²nalsacintya@iainkediri.ac.id,

³nur.fadilatul.ilmiyah@iainkediri.ac.id

Corresponden Author: nalsacintya@iainkediri.ac.id

Diterima Redaksi: 27 Februari 2024 Revisi Akhir: 03 Agustus 2024 Diterbitkan Online: 06 Agustus 2024

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk menemukan penyelesaian dan penerapan *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* dalam menentukan jadwal seminar proposal. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Teknik pengumpulan data menggunakan wawancara dan telaah dokumen. Kedua algoritma menghasilkan simulasi penjadwalan yang berbeda. Perbedaan hasil ini ditunjukkan oleh jumlah bilangan kromatik yang didapatkan pada bulan November. Melalui *Algoritma Welch Powell*, bilangan kromatik yang dihasilkan adalah 26, sedangkan melalui *Algoritma Tabu Search* menghasilkan bilangan kromatik lebih minimum yakni 22. Berdasarkan hasil uji keakuratan menggunakan *Software Microsoft Excel*, simulasi penjadwalan menunjukkan bahwa tidak ditemukan dosen yang menguji di waktu yang sama. Artinya hasil implementasi *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* terbukti valid dan tidak ada jadwal yang bentrok. Berdasarkan tiga aspek perbandingan, yaitu tahapan perulangan, hasil, dan Tingkat kesukaran dalam pengaplikasian algoritma secara manual, *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* diketahui memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. *Algoritma Welch Powell* menunjukkan kelebihan karena jumlah iterasi yang dibutuhkan pada bulan November dan Desember lebih kecil sehingga konflik yang dihasilkan juga lebih sedikit dan dinilai lebih sederhana dalam pengimplementasian secara manual. Walau demikian pewarnaan graf menggunakan kedua metode tersebut dikatakan cukup efektif untuk menyelesaikan kasus penjadwalan seminar proposal mahasiswa.

Kata Kunci — Pewarnaan Graf, *Algoritma Welch Powell*, *Algoritma Tabu Search*, Jadwal Seminar Proposal

Abstract – This study aims to find solutions and applications of the Welch Powell Algorithm and the Tabu Search Algorithm in determining the proposal seminar schedule. This research is a descriptive research with a quantitative approach. Data collection techniques using interviews and document review. The two algorithms produce different scheduling simulations. The difference in these results is indicated by the number of chromatic numbers obtained in November. Through the Welch Powell Algorithm, the resulting chromatic number is 26, while the Tabu Search Algorithm produces a minimum chromatic number of 22. Meanwhile, from the experimental results, the Welch Powell Algorithm is superior because it is easy to implement and produces less conflict. Based on the results of the accuracy uses software microsoft excel, the simulation shows that is not scheduling lecturer test found the same time. This means that the implementation of an algorithm welch powell and algorithms taboo search shown to be valid and no schedule clashed. Based on three aspects comparison: repetitive stage, the results, the level of difficulty in manually applying algorithms, algorithms welch powell and algorithms taboo search are known to have advantages and disadvantages. Algorithms welch powell shows the advantage because the number of iteration required in november and december smaller so that the conflict produced is also less and is judged simpler in manual implementation. however, uses both methods, is said to be effective enough to solve the scheduling of student proposals seminars

Keywords — Graph Coloring, Welch Powell Algorithm, Tabu Search Algorithm, Proposal Seminar Schedule



1. PENDAHULUAN

Penjadwalan merupakan aktivitas mendistribusikan sejumlah sumber daya yang tersedia untuk memastikan bahwa perencanaan dapat berjalan lancar berdasarkan penggunaan waktu dan tenaga secara efisien [1]. Dalam proses penyusunan jadwal perlu memperhatikan faktor yang membatasi seperti waktu, ruang, dan tempat [2]. Penjadwalan dengan permasalahan data yang kecil dapat diselesaikan dengan cepat dan mudah. Namun, terdapat kendala ketika suatu permasalahan memiliki data yang besar, proses penyusunan jadwal pun akan lebih rumit dan membutuhkan rentang waktu yang panjang untuk menyelesaikannya. Belum lagi apabila ditemukan kesalahan pada penyusunan jadwal atau adanya jadwal bentrok akibat *human error* yang memungkinkan proses penjadwalan harus direkonstruksi ulang sehingga membuat proses penjadwalan semakin lama. Penjadwalan dilakukan baik di bidang jasa maupun di bidang pendidikan. Dalam bidang pendidikan, salah satu penjadwalan yang dilakukan adalah penjadwalan ujian seminar proposal mahasiswa. Berdasarkan wawancara bersama Badrul Munir Marzuki, S. Kom. selaku Kepala Sub Bagian Akademik, Kemahasiswaan, dan Alumni Fakultas Tarbiyah IAIN Kediri, diketahui bahwa jumlah mahasiswa terbesar yang berada di Fakultas Tarbiyah adalah Program Studi Pendidikan Agama Islam. Banyaknya jumlah mahasiswa tersebut menjadi tantangan tersendiri bagi Sekretaris Program Studi Pendidikan Agama Islam dalam menyusun jadwal ujian seminar proposal, khususnya di bulan November dan Desember.

Salah satu metode dalam ilmu matematika untuk mengatasi permasalahan terkait penjadwalan adalah dengan memanfaatkan prinsip pewarnaan pada graf. Penentuan jadwal seminar proposal dalam penelitian ini menggunakan metode pewarnaan graf yang mengambil Teknik pewarnaan titik sebagai implementasi. Menurut [3], dalam penelitiannya yang mengatakan bahwa penggunaan teknik pewarnaan titik dalam proses penjadwalan dinilai cukup efektif dan sangat cocok digunakan, karena melalui pewarnaan titik pada graf dapat menyatakan hubungan antar parameter yang digunakan dalam proses pembuatan suatu jadwal. Terdapat beberapa contoh algoritma untuk menentukan jadwal dari suatu titik ke titik lain, diantaranya ialah *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search*.

Pewarnaan graf merupakan sebuah Teknik dalam pemberian warna untuk setiap titik pada graf sehingga dua titik yang saling berdekatan tidak memiliki warna yang sama. Sebuah graf dapat diwarnai dengan cara memberikan warna yang berbeda untuk masing-masing simpul. Peneliti mengimplementasikan pewarnaan graf pada proses penyusunan jadwal seminar dengan memanfaatkan *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma tabu Search*. Pewarnaan graf bertujuan untuk mendapatkan banyaknya warna minimum dari sebuah graf yang disebut sebagai bilangan kromatik[4]. Hasil pewarnaan graf dengan menggunakan kedua algoritma tersebut akan menghasilkan jadwal seminar proposal dengan ruangan dan dosen pembimbing dan penguji yang tidak saling berbenturan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan efektifitas kedua metode dalam penjadwalan seminar proposal yang dilihat dari tiga aspek pembandingan, yaitu tahapan perulangan, hasil, dan Tingkat kesukaran dalam pengaplikasian algoritma secara manual

Telah ada penelitian terkait penerapan *Algoritma Welch Powell* dalam melakukan pewarnaan pada Peta Kabupaten Serdang Bedagai [5]. Dalam penelitian tersebut dipaparkan bahwa pewarnaan simpul yang menggunakan metode *Algoritma Welch Powell* cukup praktis digunakan karena proses pewarnaan dilakukan secara langsung pada suatu graf untuk menentukan jumlah bilangan kromatik. Pada penelitian lain, Interpretasi bilangan kromatik yang diperoleh dari hasil implementasi *Algoritma Welch Powell* juga cocok digunakan dalam penyusunan jadwal mata pelajaran agama di MI Al- Wathoniyyah 02 Semarang [6]. Kemudian *Algoritma Tabu Search* cukup efektif diimplementasikan ke masalah pewarnaan graf pada kasus penjadwalan mata kuliah [7]. Selain itu, penelitian [8] melakukan penerapan *Algoritma Tabu Search* untuk mengonstruksi jadwal *job shop* dimana *Algoritma Tabu Search* dilakukan terhadap 3 kasus diantaranya pesanan di bulan September, Oktober, dan November.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang telah dipaparkan dan metode penyelesaian, *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* memiliki perbedaan mendasar yang mana *Algoritma Welch Powell* melakukan pewarnaan graf secara langsung pada setiap simpul sesuai jumlah derajat, sementara *Algoritma Tabu Search* perlu dilakukan identifikasi konflik dan solusi pada titik yang bertetangga di setiap iterasi. Kemudian dilakukan pewarnaan sesuai solusi optimal yang telah ditemukan. Kedua Algoritma tersebut juga memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Sehingga peneliti memilih judul penelitian “Perbandingan Pewarnaan Graf Dengan *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* Dalam Menentukan Jadwal Seminar Proposal” untuk mengetahui efisiensi metode penjadwalan berdasarkan dua algoritma tersebut di Program Studi Pendidikan Agama Islam Fakultas Tarbiyah IAIN Kediri. Tema penelitian ini cukup penting dilakukan untuk mengetahui lebih dalam terkait penerapan ilmu matematika di bidang pendidikan. Selain itu, dengan membandingkan *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* akan terbukti Algoritma mana yang menghasilkan solusi terbaik khususnya pada permasalahan penjadwalan.

Algoritma Welch Powell

Algoritma Welch Powell merupakan salah satu algoritma yang dapat digunakan dalam pewarnaan graf. Algoritma ini juga merupakan salah satu teknik yang dapat diimplementasikan untuk menyusun jadwal [9].

Beberapa hal yang menjadi kelebihan dari *Algoritma Welch Powell* adalah mudah untuk diimplementasikan dan memiliki tahapan penyelesaian yang sederhana [10]. Namun algoritma ini tidak terlepas dari kelemahannya yakni *Algoritma Welch Powell* bukan termasuk algoritma optimal sehingga solusi akhir yang diterima tidak selalu menentukan batas bawah dari dari pewarnaan minimum. Akan tetapi, algoritma ini dapat menentukan batas atas dari warna minimum [11]

Langkah-langkah pewarnaan graf dengan *Algoritma Welch Powell* dalam menentukan jadwal seminar proposal adalah sebagai berikut [12]: 1) Mengurutkan setiap simpul graf G berdasarkan nilai derajat tertinggi; 2) Memberikan warna pertama C_1 pada simpul berderajat tertinggi, kemudian memberikan warna yang serupa pada simpul yang tidak bertetangga dengan C_1 ; 3) Mengulangi langkah ke-2 dengan memberikan warna kedua C_2 pada urutan derajat simpul terbesar kedua; 4) Mengulangi langkah ke-3 yakni memberikan warna ketiga C_3 , warna keempat C_4 , dan seterusnya hingga seluruh simpul selesai diberikan warna.

Algoritma Tabu Search

Ide dasar dari *Algoritma Tabu Search* adalah mencegah proses pencarian dari *local search* agar tidak terjadi pencarian ulang pada ruang solusi yang sudah ditelusuri, dengan memanfaatkan suatu struktur memori yang mencatat sebagian jejak proses pencarian yang telah dilakukan. Kelebihan *Algoritma Tabu Search* terletak pada struktur memori yang fleksibel [13]. Hal ini menjadikan proses pencarian lebih optimal karena tidak terjadi perulangan pada daerah solusi yang sama atau pada kandidat solusi yang pernah dikunjungi sebelumnya.

Langkah-langkah penyelesaian metode pewarnaan graf dengan menggunakan *Algoritma Tabu Search* pada penjadwalan seminar proposal adalah sebagai berikut [14]: 1) Mewarnai titik secara acak; 2) Menentukan apakah solusi awal (hasil pewarnaan secara acak) memenuhi kriteria solusi yang diharapkan; 3) Jika terjadi konflik (terdapat titik yang bertetangga memiliki warna sama) maka diperlukan solusi baru dan solusi yang didapat dengan melakukan move (pemindahan warna); 4) Menyimpan solusi yang tidak tabu dalam tabu list atau short term memory (daftar kandidat solusi yang sudah pernah dicoba) dan mengabaikan solusi yang tabu; 5) Memilih solusi optimal dari tabu list; 6) Menerapkan solusi optimal pada graf; 7) Jika masih ada konflik maka kembali ke langkah ke-3. tetapi jika tidak ada konflik maka proses pewarnaan selesai.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif melalui pendekatan kuantitatif. Data yang didapatkan berupa data primer bersama Ibu Novi Rosita Rahmawati, M.Pd selaku sekretaris prodi Pendidikan Agama Islam dan Bapak Badrul Munir Marzuki, S. Kom. yang menjabat sebagai Kepala Sub Bagian Akademik, Kemahasiswaan, dan Alumni Fakultas Tarbiyah. Kemudian data skunder diperoleh dari Bapak Yah Yah An Nurrofiq selaku Staf Karyawan Fakultas Tarbiyah IAIN Kediri seperti 380 nama mahasiswa pendaftar ujian proposal, 41 dosen pembimbing dan penguji, 5 hari efektif, serta 5 daftar ruangan yang digunakan untuk ujian seminar proposal. Data tersebut diperoleh melalui kegiatan wawancara terstruktur serta telaah dokumen. Penelitian ini dilaksanakan sejak bulan Maret 2023 sampai dengan Juni 2023. Setelah data terkumpul, dilakukan analisis dengan menggunakan *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search*.

Adapun teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya: (1) Menentukan data nama mahasiswa seminar proposal, nama dosen pembimbing, dan nama dosen penguji. (2) Menyatakan keterhubungan antar data pendaftar seminar proposal dengan dosen pembimbing dan dosen penguji ke dalam bentuk matriks bertetangga. (3) Merepresentasikan data menjadi sebuah graf. (4) Mengimplementasikan *Algoritma Welch Powell* pada graf penjadwalan seminar proposal dengan memberi warna pada simpul. (5) Mengaplikasikan *Algoritma Tabu Search* pada graf penjadwalan seminar proposal dengan memberi warna pada simpul. (6) Hasil yang diperoleh akan dibandingkan kebenarannya menggunakan software pemrograman Microsoft Excel yang nantinya juga dijadikan sebagai uji keakuratan pembahasan penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

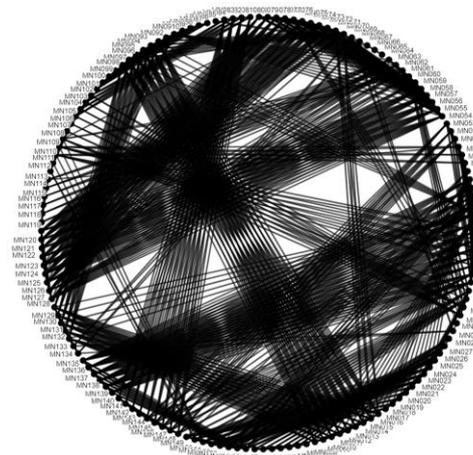
Pendaftaran ujian seminar proposal dibagi menjadi 2 gelombang, yakni gelombang Bulan November dengan jumlah 157 Mahasiswa dan gelombang Bulan Desember berjumlah 223 Mahasiswa. Sementara itu, total keseluruhan dosen pembimbing dan dosen penguji ada 41 Orang. Dari total keseluruhan mahasiswa, Ibu Novi Rosita Rahmawati, M. Pd., selaku Sekretaris Prodi PAI memberikan estimasi waktu selama dua minggu untuk melakukan ujian seminar proposal. Dalam hal ini, Ibu Novi menggunakan sepuluh hari efektif dari hari Senin hingga Jum'at. Kemudian menggunakan 5 ruangan berbeda di setiap harinya.

Untuk mengatur jadwal perkuliahan, permasalahan dimodelkan ke dalam bentuk matriks bertetangga untuk menyatakan hubungan antar mahasiswa berdasarkan kesamaan dosen pembimbing maupun dosen penguji. Misalkan Graf G memiliki n simpul dan misalkan simpul telah diurutkan, katakanlah $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$. Kemudian matriks ketetanggaan $A(G) = [a_{i,j}]$ dari graf G adalah matriks $m \times m$ yang didefinisikan dengan,

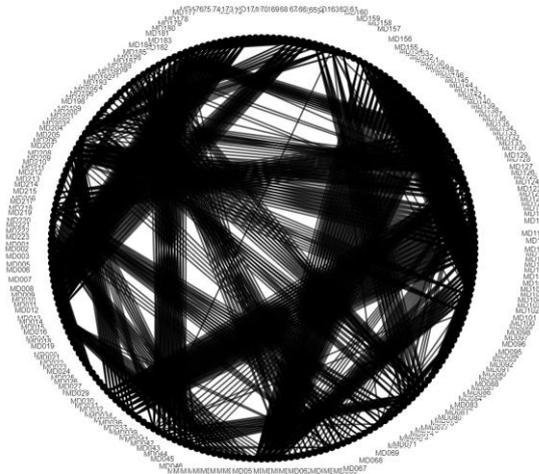
$$a_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{untuk } v_{i,j} \in E_G \\ 0 & \text{untuk } v_{i,j} \notin E_G \end{cases}$$

Setelah memodelkan ke dalam bentuk matriks bertetangga, dibuatlah bentuk graf sederhana dengan menyatakan simpul sebagai kode mahasiswa, sedangkan sisi menyatakan hubungan antar mahasiswa berdasarkan kesamaan dosen pembimbing maupun dosen penguji. Salah satu contoh adalah simpul MN010 bertetangga dengan simpul MN009, MN011 dengan MN009, MN060 dengan MN032, dan seterusnya.

Selanjutnya, dilakukan pewarnaan berdasarkan masing-masing algoritma hingga tidak ada simpul bertetangga yang memiliki warna sama. Gambar 1 menunjukkan representasi graf pada bulan November, sedangkan pada Gambar 2 menunjukkan representasi graf pada bulan Desember. Graf tersebut merupakan graf yang belum diberi pewarnaan.



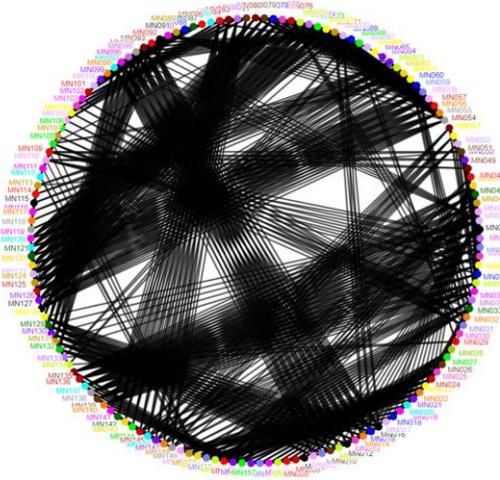
Gambar 1. Representasi Graf Bulan November



Gambar 2. Representasi Graf Bulan Desember

A. Implementasi Algoritma Welch Powell

Setelah dilakukan pewarnaan berdasarkan langkah-langkah yang telah diuraikan pada bagian Pendahuluan, diperoleh graf yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

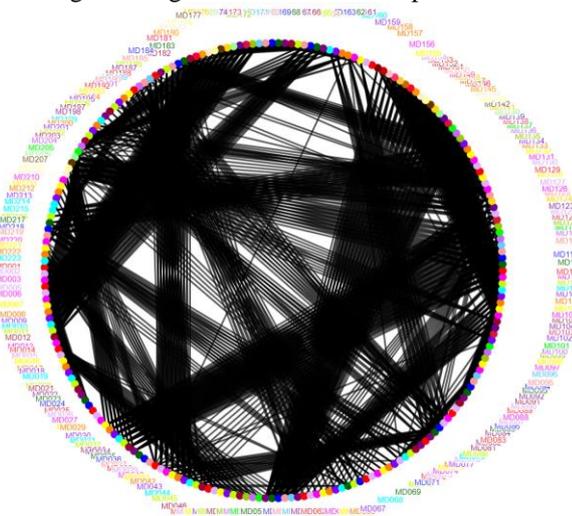


Gambar 3. Implementasi *Algoritma Welch Powell* Bulan November

Berdasarkan Teorema Brooks, diketahui bahwa derajat tertinggi pada bulan November adalah $\Delta(G) = 38$ dan bilangan kromatik $\chi(G) = 26$. Sehingga,

$$\begin{aligned} \chi(G) &\leq \Delta(G) + 1 \\ 26 &\leq 38 + 1 \\ 26 &\leq 39 \end{aligned}$$

Dengan kata lain, pewarnaan graf dengan bilangan kromatik 26 ini dapat dikatakan sebagai solusi.

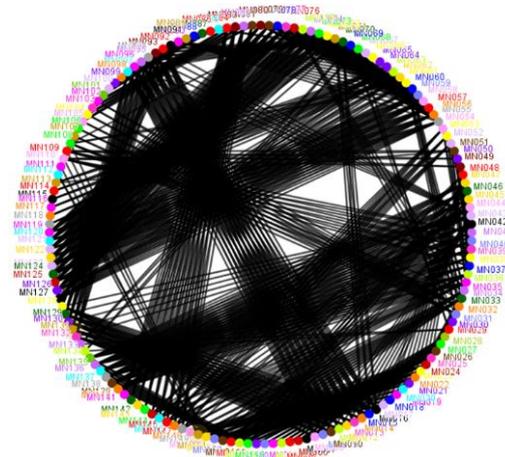


Gambar 4. Implementasi *Algoritma Welch Powell* Bulan Desember

Derajat tertinggi bulan Desember adalah $\Delta(G) = 53$, sedangkan bilangan kromatik $\chi(G) = 32$. Mengacu pada Teorema Brooks, dihasilkan perhitungan $32 \leq 54$, sehingga bilangan kromatik yang tersebut dapat dikatakan solusi.

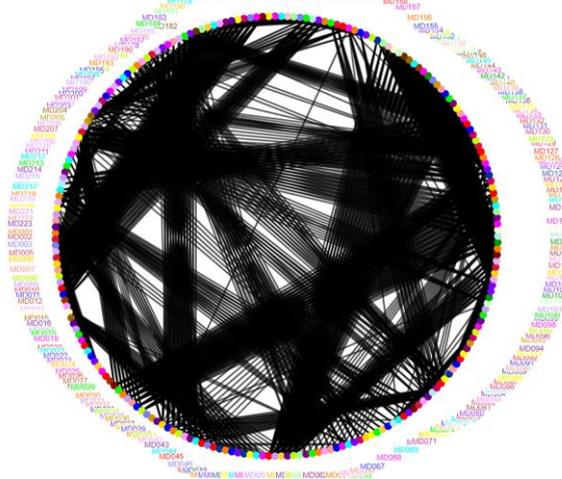
B. Implementasi *Algoritma Tabu Search*

Setelah dilakukan pewarnaan berdasarkan langkah-langkah yang telah diuraikan pada bagian Pendahuluan, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Implementasi *Algoritma Tabu Search* Bulan November

Pewarnaan simpul pada bulan November dengan mengaplikasikan *Algoritma Tabu Search* menghasilkan 22 warna berbeda, artinya bilangan kromatik pada bulan November adalah $\chi(G) = 22$. Jumlah paling banyak berada di warna magenta, nila, dan merah yakni 10 buah di setiap warna, sedangkan simpul paling sedikit ditempatkan warna abu-abu yakni 5 buah pada simpul MN055, MN094, MN118, MN138, dan MN149.



Gambar 6. Implementasi *Algoritma Tabu Search* Bulan Desember

Graf bulan Desember dapat diwarnai paling sedikit dengan 32 warna berbeda menggunakan *Algoritma Tabu Search*. Dengan demikian, bilangan kromatik bulan Desember adalah $\chi(G) = 32$. Warna paling banyak adalah magenta untuk 15 buah simpul diantaranya simpul MD019, MD025, MD055, MD068, MD098, MD115, MD125, MD133, MD143, MD157, MD169, MD172, MD187, MD199, MD211, sedangkan warna paling sedikit adalah warna coklat yang digunakan untuk mewarnai 2 buah simpul yakni simpul MD147 dan MD182.

Langkah selanjutnya, hasil pewarnaan graf diuji keakuratannya dengan mengoperasikan salah satu fitur pada *Microsoft Excel* yakni *conditional formatting duplicate values*. *Conditional formatting duplicate values* ini digunakan untuk memeriksa adanya data ganda yang menyebabkan terjadinya bentrok antar dosen. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa tidak ditemukan dosen pembimbing maupun dosen penguji yang bentrok di waktu yang sama. Artinya hasil implementasi *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* terbukti valid dan tidak ada jadwal yang bentrok.

Pada dasarnya, baik *Algoritma Welch Powell* maupun *Algoritma Tabu Search* merupakan algoritma yang efektif dan dapat diimplementasikan untuk menentukan jadwal seminar proposal. Akan tetapi kedua algoritma ini tidak terlepas dari kelebihan dan kekurangan. *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* memiliki beberapa perbedaan yang kemudian dijadikan sebagai tolak ukur peneliti sebagai bahan perbandingan. Beberapa perbedaan yang dimaksud antara lain:

Pertama, *Algoritma Welch Powell* memiliki tahapan yang lebih ringkas dan cepat yaitu memerlukan 27 kali perulangan ketika sedang memberikan suatu warna pada simpul bulan November yang tidak bertetangga. Sedangkan pada bulan Desember terhitung 34 perulangan yang dilakukan. Perulangan ini dipengaruhi oleh banyaknya orde atau simpul pada graf. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan [15] yang menghentikan pewarnaan pada iterasi ke 16 untuk jumlah simpul keseluruhan adalah 53 simpul. Sementara itu, penelitian [16] membutuhkan perulangan sebanyak 11 kali untuk 33 simpul pada graf. Hal ini membuktikan bahwa makin

banyak simpul, makin banyak pula jumlah perulangan yang dilakukan. Sedangkan untuk *Algoritma Tabu Search*, proses perulangan bulan November hanya memerlukan 24 kali iterasi untuk 157 buah simpul dan bulan Desember memerlukan 36 kali iterasi untuk simpul berjumlah 223 buah. [17] dalam penelitiannya yang berjudul *Aplikasi Graph Coloring Dengan Algoritma Tabu Search Dalam Penyelesaian Masalah Penjadwalan kereta Api*, menggunakan perhitungan manual dan perhitungan rancang bangun dalam mengaplikasikan *Algoritma Tabu Search* dalam dalam kasus pewarnaan graf menghasilkan jumlah warna minimum yang sama yakni 12 warna. Dalam hal ini, Permatasari menilai hasil *running* program yang menggunakan PHP lebih cepat dibanding perhitungan manual yang membutuhkan 5 kali iterasi untuk total simpul sebanyak 24 buah.

Kedua, Melalui implementasi *Algoritma Welch Powell*, pewarnaan graf pada bulan November memperoleh bilangan kromatik 26, sedangkan pada implementasi *Algoritma Tabu Search* bilangan kromatik yang dihasilkan lebih minimum yakni 22. Hal ini berkaitan dengan definisi *Algoritma Tabu Search* yang memang merupakan salah satu metode optimasi untuk memecahkan permasalahan kompleks, sehingga hasil yang diperoleh pun lebih efektif dan efisien. Sebelumnya, penelitian [11] dijelaskan bahwa hasil implementasi *Algoritma Welch Powell* tidak selalu memberikan solusi minimum pada sebuah graf. Akan tetapi pada kasus tertentu, *Algoritma Welch Powell* dapat memberikan batas atas jumlah warna yang dapat digunakan untuk pewarnaan graf. Namun pernyataan tersebut tidak berlaku untuk graf dengan orde kecil seperti halnya dalam penelitian [18] yang menerapkan pewarnaan graf dalam menyusun ujian skripsi dengan *Algoritma Welch Powell*. Dalam penelitian tersebut diperoleh 4 warna minimum yang juga merupakan bilangan kromatik dari total keseluruhan simpul yakni 10 buah. Walaupun demikian, kedua bilangan kromatik yang dihasilkan dari implementasi *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* pada bulan November tetap memenuhi kriteria penentuan bilangan kromatik apabila ditinjau dari Teorema Brooks dan dapat dikatakan sebagai sebuah solusi, sehingga dari hasil implemementasi dapat disimpulkan bahwa *Algoritma Tabu Search* lebih optimal dan efisien daripada *Algoritma Welch Powell*.

Ketiga, dalam proses mengaplikasikan secara manual, penulis mengalami beberapa kesulitan seperti mencari simpul bertetangga yang masih memiliki warna serupa pada *Algoritma Welch Powell* dan membedakan solusi tabu dan tidak tabu dalam *Algoritma Tabu search*. Hal ini dikarenakan pada tahap tersebut dibutuhkan tingkat ketelitian yang tinggi agar tidak terjadi konflik dan menimbulkan proses perulangan berkepanjangan.

Berdasarkan prosedur pewarnaan simpul pada graf secara manual, *Algoritma Welch Powell* memiliki rangkaian proses yang lebih mudah dan sederhana daripada *Algoritma Tabu Search* yang cukup rumit. Dalam penelitian ini, proses pewaraan graf diawali dengan mencatat simpul pada secarik kertas berdasarkan kesamaan warna. Kemudian setelah memastikan bahwa tidak ada simpul bertetangga yang memiliki warna sama baru dilakukan pewarnaan simpul melalui aplikasi geogebra secara berurutan. Dalam *Algoritma Welch Powell*, tahapan paling penting yang harus dilakukan sebelum melakukan pewarnaan adalah menentukan nilai derajat (*degree*) di setiap simpul pada graf. Nilai derajat ini diperoleh dari jumlah sisi yang saling terhubung antara satu buah simpul dengan simpul lainnya. Dengan kata lain, nilai derajat sangat menentukan solusi akhir pada *Algoritma Welch Powell*.

Sementara itu, *Algoritma Tabu Search* lebih menekankan pencarian informasi terkait jumlah bilangan kromatik terlebih dahulu. Kemudian proses percobaan bergerak secara berurutan dari satu solusi ke solusi berikutnya dengan mengoperasikan struktur memori jangka pendek yang disebut *tabu list*. Pada tahap ini, dilakukan pengecekan terkait adanya konflik dan pencarian solusi secara berulang yang mengakibatkan terjadinya banyak *move* atau perpindahan warna pada setiap perulangan yang dilakukan hingga tidak ditemukan konflik dan mencapai solusi optimal. [17] menyampaikan dalam penelitiannya bahwa implementasi *Algoritma Tabu Search* membutuhkan waktu yang lama jika dikerjakan secara manual. Hal ini dikarenakan pada saat melakukan perulangan dibutuhkan tingkat ketelitian yang tinggi untuk menghindari kealahan dalam setiap percobaan. Dengan demikian, *Algoritma Welch Powell* lebih diunggulkan dan lebih disarankan daripada pada *Algoritma Tabu Search*.

Secara umum, peneliti menyimpulkan hasil perbandingan pewarnaan graf Dengan *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* Dalam Menentukan Jadwal Seminar Proposal melalui tabel 1.

Tabel 1
Perbandingan Implementasi *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search*

Aspek Perbandingan	<i>Algoritma Welch Powell</i>	<i>Algoritma Tabu Search</i>
Tahapan Perulangan	Proses perulangan dipengaruhi oleh banyaknya simpul. Semakin banyak simpul pada graf, semakin banyak proses perulangan yang dilakukan.	Memerlukan banyak perulangan atau iterasi yang dipengaruhi oleh bilangan kromatik.
Hasil	Tidak selalu memberikan warna minimum atau batas bawah bilangan kromatik.	Lebih efisien dan optimal karena dapat memberikan

		batas bawah bilangan kromatik.
Tingkat Kesukaran dalam Mengaplikasikan Algoritma Secara Manual	Lebih mudah dan sederhana, di mana hanya perlu menentukan urutan jumlah derajat untuk melakukan pewarnaan.	Cukup rumit karena harus membedakan solusi tabu dan tidak tabu dalam <i>tabu list</i> dan melakukan banyak pemindahan warna pada simpul.

4. SIMPULAN

Berdasarkan tiga aspek pembandingan yaitu tahapan perulangan, hasil, dan tingkat kesukaran dalam mengaplikasikan algoritma secara manual, *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* diketahui memiliki kelemahan dan kekurangan masing-masing. Dalam penelitian ini, dari 157 simpul di bulan November dan 223 simpul di bulan Desember *Algoritma Welch Powell* menunjukkan keunggulannya dimana jumlah iterasi yang dibutuhkan lebih kecil sehingga konflik yang dihasilkan pun lebih sedikit. Selain itu, *Algoritma Welch Powell* dinilai lebih sederhana dalam mengimplementasikan secara manual. Walaupun demikian, pewarnaan graf melalui *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* cukup efektif dan dapat digunakan untuk menyelesaikan kasus penjadwalan seminar proposal mahasiswa IAIN Kediri Program Studi Pendidikan Agama Islam Tahun Ajaran 2021/2022. Peneliti memberikan saran yaitu menggabungkan atau mengintegrasikan *Algoritma Welch Powell* dan *Algoritma Tabu Search* untuk mengetahui lebih dalam tingkat efisiensi dan efektifitas hasil pewarnaan graf pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. R. Baker, "Scheduling a full-time workforce to meet cyclic staffing requirements," *Manage. Sci.*, vol. 20, no. 12, pp. 1561–1568, 1974.
- [2] C. Pricilla, "Penerapan Pewarnaan Graf Dalam Penentuan Jadwal Perkuliahan," Institut Teknologi Bandung, 2015.
- [3] Novian Riskiana Dewi, "Penerapan Pewarnaan Graf Terhadap Penyusunan Jadwal Seminar Proposal Skripsi di Prodi Pendidikan Matematika UIN Raden Intan Lampung," *Buana Mat. J. Ilm. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 10, no. 1, pp. 103–112, 2020, doi: 10.36456/buanamatematika.v10i1.2610.
- [4] M. Qomaruddin, W. Bismi, and D. Hariyanto, "Pewarnaan Graf Pada Peta Provinsi Jawa Barat Menggunakan Algoritma Welch-Powell," *J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 2, p. 258, 2022, doi: 10.26418/justin.v10i2.53829.
- [5] S. Hizriani, "Penerapan Algoritma Welch Powell untuk Melakukan Graph Colouring pada Peta Kabupaten Serdang Bedagai," Doctoral Dissertation, 2017.
- [6] R. R. Gani, "Penerapan Pewarnaan Titik Pada Graf Untuk Menyusun Jadwal Pelajaran (Studi Kasus MI Al Wathoniyyah 02 Semarang).," Universitas Negeri Semarang, 2018.
- [7] I. Suryani, "Implementasi Masalah Pewarnaan Graph Dengan Algoritma Tabu Search Pada Penjadwalan Kuliah," Universitas Negeri Malang, 2013.
- [8] Betrianis and P. T. Aryawan, "Penerapan Algoritma Tabu Search dalam Penjadwalan Job Shop," *Makara Teknol.*, vol. 7, no. 3, pp. 107–112, 2003.
- [9] A. W. Bustan and 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, pp. 79–86, 2019.
- [10] E. C. L. Tobing, "Analisis Jaringan Komunikasi #Percumalaporpolisi Di Twitter," UPN Veteran Jawa Timur, 2022.
- [11] Supiyandi and M. Eka, "Penerapan Teknik Pewarnaan Graph Pada Penjadwalan Ujian Dengan Algoritma Welch-Powell," *Algoritma. J. Ilmu Mat. dan Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 58–63, 2018, [Online]. Available: <http://jurnal.uinsu.ac.id/index.php/algoritma/article/view/3153>

- [12] S. Lipschutz and M. Lipson, *Schaum's Outlines Of: Theory and Problems of Discrete Mathematics (Third Edition)*. Doi: <http://dx.doi.org/10.1036/0071470387>. New York: Mc Graw Hill, 2007.
- [13] M. Gendreau and J. Y. Potvin, *Handbook of metaheuristics*. New York: Springer, 2010.
- [14] C. H. Aladag and G. Hocaoglu, "A tabu search algorithm to solve a course timetabling problem," *Hacetatepe J. Math. Stat.*, pp. 53–64, 2007.
- [15] S. Almirawati and B. Rahadjeng, "Penerapan Pewarnaan Titik Graf Pada Penyusunan Jadwal Seminar Proposal Di Jurusan Bahasa Inggris Uin Sayyid Ali Rahmatullah Tulungagung," *MATHunesa J. Ilm. Mat.*, vol. 10, no. 2, pp. 249–257, 2022, doi: 10.26740/mathunesa.v10n2.p249-257.
- [16] M. Firdaus, "Aplikasi pewarnaan Graf menggunakan Algoritma Welch-Powell pada penyusunan jadwal mata kuliah prodi matematika UIN Sunan Ampel Surabaya," UIN Sunan Ampel Surabaya, 2020.
- [17] R. W. Permatasari, "Aplikasi Graph Coloring Dengan Algoritma Tabu Search Dalam Penyelesaian Masalah Penjadwalan kereta Api," UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, 2016.
- [18] K. Harianto and T. S. E. 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, 2016.