



BILANGAN KHROMATIK PEWARNAAN GRAF DALAM MENGOPTIMALKAN TEMPAT PENYIMPANAN BAHAN KIMIA

Eka Aprilia Suci Ananda¹⁾

Yuni Listiana²⁾

Viktor Sagala³⁾

^{1,2,3)}Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Dr. Soetomo Surabaya

e-mail: ekaapriliasuciananda@gmail.com

ABSTRACT

Vertex coloring is a method giving colors to vertex in a graph, so that each neighborhood vertex has a different color. Chromatic numbers are the minimum number of colors that can be used to color the vertices on a graph G. The aim of this research is to optimize the storage of chemicals safely by applying the application of chromatic number of graph coloring and to determine whether the chemical storage in the laboratory is optimal or not. This study is using a qualitative observation research design. We use a graph coloring method to obtain optimal results. And we get data by observation, interview and documentation. The instrument that we used to collect data consist of chemical data form. The data analysis activity starts from collecting the lists names of chemicals until draw conclusions. The results of this study, using the Welch-Powell Algorithm we get the chromatic number is 4. So that by applying the chromatic number of graph coloring, we just need place chemical in the laboratory as many as 4 cabinets, so that the storage area more optimal laboratory compared to the previous storage area of 6 cabinets.

Keywords: chromatic numbers, graph coloring, chemical storage

ABSTRAK

Pewarnaan simpul merupakan salah satu topik dalam teori graf yang memiliki banyak penerapan. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui bagaimana cara mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan kimia secara aman dengan menggunakan penerapan bilangan khromatik pewarnaan graf dan untuk mengetahui apakah tempat penyimpanan bahan kimia yang berada pada laboratorium sudah optimal atau belum. Jenis penelitian merupakan penelitian kualitatif dengan menggunakan Algoritma Welch-Powell sebagai metode pewarnaan simpul pada graf untuk memperoleh hasil yang optimal. Pengumpulan data yang digunakan berupa observasi, wawancara dan dokumentasi. Instrumen yang digunakan untuk mengumpulkan data berupa data bahan-bahan kimia. Kegiatan analisis data dimulai dari mengumpulkan daftar nama-nama bahan kimia hingga penarikan kesimpulan. Berdasarkan hasil analisis data didapatkan bahwa bilangan khromatik pewarnaan simpul dari graf yang terbentuk adalah 4, artinya dengan menggunakan penerapan bilangan khromatik pewarnaan graf untuk menentukan tempat penyimpanan bahan kimia yang optimal dibutuhkan 4 lemari sebagai tempat penyimpanan bahan kimia yang berada pada laboratorium, sehingga hasil penelitian ini lebih optimal dibanding tempat penyimpanan sebelumnya yang sebanyak 6 lemari.

Kata Kunci : bilangan khromatik, pewarnaan graf, penyimpanan bahan kimia.

Teori Graf merupakan salah satu sub cabang dari ilmu matematika pada rumpun matematika diskrit. Graf dapat digunakan untuk merepresentasikan objek diskrit dan hubungan antara objek diskrit dengan menyatakan objek itu sebagai noktah, simpul, atau dalam bentuk bulatan, sedangkan hubungan antara objek diskrit dinyatakan dengan garis penghubung antara dua simpul. Pada tahun 1736, graf pertama kali digunakan untuk memecahkan masalah besar dan terkenal di Eropa yakni masalah jembatan Königsberg. Matematikawan dari Swiss yaitu Leonard Euler yang pertama kali mencetus ide untuk menyelesaikan permasalahan pada jembatan ini menggunakan graf. Beberapa topik menarik dalam teori graf yang banyak dikaji hingga saat ini adalah pelabelan graf, diantaranya adalah pelabelan total ajaib (Listiana, 2014) dan pelabelan super anti-ajaib (Listiana, 2017), pewarnaan titik atau sisi pada graf (Saifudin & Dafik, 2015), dimensi metrik dan dimensi partisi (Listiana, 2016), dan himpunan dominasi (Umilasari, 2015). Pewarnaan graf menjadi salah satu topik yang dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang di kehidupan sehari-hari.

Pewarnaan graf merupakan salah satu kasus dari pelabelan graf dengan memberi warna pada simpul atau sisi dari graf dengan syarat tertentu. Pewarnaan simpul (*vertex coloring*) yaitu memberi warna pada simpul-simpul di dalam graf, sehingga setiap dua simpul bertetangga mempunyai warna yang berbeda (Munir, 2015). Jumlah warna minimal untuk mewarnai semua simpul dalam suatu graf G disebut bilangan khromatik G , dinotasikan dengan $\chi(G)$ (Budayasa, 2007). Hingga saat ini penerapan teori graf dalam kehidupan sehari-hari begitu banyak manfaatnya. Seperti penerapan pada bidang seperti biologi, ilmu komputer, informatika, ekonomi, teknik, linguistik, matematika, kesehatan, dan ilmu-ilmu sosial (Rohman, 2017). Penelitian sebelumnya dengan judul “Aplikasi *Graph Coloring* pada Penjadwalan Perkuliahan di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Ampel Surabaya” membahas tentang aplikasi pewarnaan graf, dalam hal ini pewarnaan sisi, dan dari hasil analisa didapat penjadwalan yang konsisten dan hasil penjadwalan tersebut tidak saling tumpang tindih, baik dalam waktu perkuliahan dan ruang perkuliahan (Zaenab et al., 2016). Ada pula penelitian yang terdahulu dengan judul “Aplikasi Pewarnaan Graf terhadap Pembuatan Jadwal Ujian Semester di Jurusan Pendidikan Matematika Universitas Islam Jember”. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pewarnaan simpul dapat diterapkan dalam membuat jadwal ujian semester dengan hasil yang lebih teratur daripada metode yang digunakan sebelumnya, jadwal ujian semester tidak menunjukkan jadwal ujian yang bertabrakan sehingga pelaksanaan ujian semester dapat berjalan lebih teratur dari sebelumnya (Mahmudah & Irawati, 2018). Penelitian lain yang berjudul “Aplikasi Pewarnaan Graf untuk Optimalisasi Pengaturan Traffic Light di Sukoharjo” didapat hasil penelitian dengan menggunakan pewarnaan graf melalui perhitungan Algoritma Welch-Powell bahwa traffic light dapat meningkat dengan efektif yang dapat dilihat dari durasi total lampu hijau dan merah yang menyala (Meiliana & Maryono, 2017). Penelitian serupa dengan judul “Optimasi Pengaturan Lalu-lintas Jalan Raya Gedangan dengan Penerapan Algoritma Pewarnaan Graf” (Sagala & sari, 2018), didapat hasil penelitian bahwa penerapan Algoritma Welch-Powell dapat menentukan bilangan khromatik graf untuk memberi alternatif dalam penyelesaian masalah, sehingga ada perubahan yang diperbolehkan untuk berjalan bersamaan dalam penjadwalan arus yang kemudian dapat melakukan simulasi perubahan dalam durasi lampu hijau dan merah. Meskipun terdapat durasi lampu hijau yang berkurang dan durasi lampu merah yang bertambah, namun dapat mencegah kemungkinan arus yang kredit. Selanjutnya pada 2019 hingga 2021, penelitian lainnya terkait penerapan pewarnaan graf dapat dilihat pada (Rahadi, 2019), (Syam et al., 2020), dan (Jofie et al., 2020).

Dari beberapa penelitian terdahulu tentang penerapan pewarnaan graf, permasalahan yang lebih banyak dibahas adalah permasalahan tentang penjadwalan, baik penjadwalan matakuliah, produksi, maupun lalu lintas. Namun, ada aplikasi pewarnaan graf lainnya yang belum banyak dieksplorasi yaitu penerapan pewarnaan graf pada pengaturan tempat penyimpanan bahan kimia agar lebih maksimal. Beberapa bahan kimia memiliki zat-zat yang dapat berpengaruh jika disimpan atau diletakkan dengan bahan kimia lainnya. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan dalam penyimpanannya bahan kimia tersebut (Mahmudah, 2018).

Berdasarkan hasil studi literatur, penerapan pewarnaan graf dalam penyimpanan bahan kimia berbahaya telah dilakukan oleh (Mahmudah, 2018) dan (Damayanti et al., 2021). Mahmuda menggunakan algoritma *Greedy* untuk mengatur penyimpanan bahan kimia berbahaya dan didapatkan tiga tempat penyimpanan untuk enam jenis bahan kimia berbahaya. Sedangkan Damayanti et al. menggunakan algoritma *Welch-Powell* untuk menentukan jumlah lemari yang diperlukan dalam penyimpanan bahan kimia berbahaya pada laboratorium FMIPA UNTAN. Hasil penelitian oleh Damayanti et al. didapatkan hasil berupa representasi graf dari 17 bahan kimia berbahaya yang terdapat pada laboratorium berbentuk graf bipartit dengan bilangan kromatik pewarnaan graf tersebut adalah dua sehingga hanya diperlukan dua lemari penyimpanan. Dalam penelitian ini juga diterapkan pewarnaan graf pada untuk memaksimalkan penempatan bahan-bahan kimia secara optimal dengan menggunakan algoritma *Welch-Powell*. Berbeda dengan penelitian oleh Damayanti et al. yang menggunakan 17 bahan kimia berbahaya, maka pada pembahasan ini akan dikaji secara lebih luas untuk 59 jenis bahan kimia berbahaya. Sehingga diperlukan graf yang lebih besar dengan hubungan sisi-sisi yang lebih kompleks untuk merepresentasikan hubungan ke-59 jenis bahan kimia berbahaya tersebut.

Beberapa perusahaan industri memiliki laboratorium untuk menyimpan berbagai jenis bahan kimia yang memiliki karakteristik dan sifat mudah meledak berbeda-beda. Sehingga pada beberapa bahan kimia yang merupakan campuran dari sifat bahan kimia yang mudah meledak tidak bisa disimpan bersamaan. Untuk mencegah hal tersebut maka perusahaan memisahkan bahan-bahan kimia menjadi beberapa bagian untuk di tempatkan di ruangan berbeda dalam sebuah gudang (Munir, 2015). PT Tirta Investama Pandaan merupakan salah satu perusahaan merk air mineral ternama di Indonesia, dimana dalam kegiatan industri di PT Tirta Investama Pandaan terdapat 59 bahan kimia yang disimpan di laboratorium. Karena sifat dari bahan kimia ada yang bersifat korosif dan ada yang mudah terbakar maka ada beberapa pasangan bahan kimia tidak bisa ditempatkan dalam satu tempat. Untuk itu perlu adanya tempat penyimpanan yang aman yaitu dengan di tempatkan di lemari terpisah dalam satu ruangan yang di lengkapi dengan blower dan ventilasi udara. Jika lebih banyak tempat yang dibutuhkan maka banyak pula pengeluaran biaya sehingga kurang optimal. Sehingga untuk menyelesaikan permasalahan ini, kami menerapkan pewarnaan graf simpul dalam permasalahan yang berbeda dalam bidang industri yaitu dengan menerapkan pewarnaan graf simpul dalam mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan kimia yang ada di perusahaan.

Sehingga berdasarkan permasalahan diatas, maka dalam penelitian ini dibahas hasil penerapan pewarnaan graf dalam mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan kimia berbahaya dengan studi kasus pada Laboratorium PT Tirta Investama Pandaan. Dalam penelitian ini, tidak hanya menerapkan bilangan khromatik pewarnaan graf dalam mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan kimia, namun juga dilakukan pengaturan bagaimana mendistribusikan bahan kimia secara

aman sesuai dengan klasifikasi penyimpanan dan simbol bahaya dari masing-masing bahan kimia, sehingga dapat menghindari terjadinya penumpukan dalam satu tempat penyimpanan bahan kimia.

Jenis penelitian ini merupakan penelitian observasi kualitatif yaitu menggunakan metode Pewarnaan Graf Simpul untuk memperoleh hasil yang optimal. Data penelitian didapatkan dari PT Tirta Investama Pandaan yang berlokasi di Jalan Surabaya-Malang Km 48,5 Pandaan-Pasuruan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan-bahan kimia pada area laboratorium dengan menerapkan salah satu algoritma pewarnaan graf untuk mencari bilangan kromatiknya yaitu algoritma Welch-Powell.

Secara umum terdapat **empat tahapan** dalam **penelitian** ini. **Tahapan pertama** yaitu pengumpulan data, data yang didapatkan penulis dalam penelitian ini yaitu dengan cara pengambilan data berupa data bahan-bahan kimia pada area laboratorium PT Tirta Investama Pandaan yang berupa matriks compatibility reagen kimia yang di dapat dari pihak karyawan departemen QA yang terkait. **Tahapan kedua** yaitu analisis data yang dimulai dari membangun graf dengan menganalisa daftar bahan kimia yang tidak boleh berdekatan. Bahan kimia dinyatakan sebagai simpul dengan ketentuan dua bahan kimia yang tidak berbahaya jika diletakkan berdekatan dihubungkan dengan sebuah sisi. Kemudian ditelaah lagi untuk menemukan matriks ketetangaan yang terbentuk. **Tahapan ketiga** adalah penerapan algoritma *Welch-Powell* untuk mendapatkan bilangan kromatik pewarnaan titik yang menyatakan jumlah tempat optimal untuk meletakkan bahan-bahan kimia berbahaya di dalam laboratorium. **Langkah-langkah algoritma *Welch-Powell* yang digunakan adalah sebagai berikut** (Apriyanto, 2018): (1) Simpul diurutkan berdasarkan derajatnya yaitu dari derajat terbesar ke derajat terkecil, (2) Ambil sebuah simpul dengan derajat terbesar, kemudian diberikan sebuah warna, (3) Semua simpul yang tidak bertetangga dengan simpul yang telah diambil diberikan warna yang sama, (4) Mengulangi langkah 2 dan 3 yang dimulai dari simpul yang berderajat terbesar berikutnya yang belum diwarnai sampai seluruh simpul sudah diwarnai. Kemudian **tahapan keempat** yaitu mendistribusikan bahan kimia berdasarkan jumlah penyimpanan yang didapatkan dari tahapan ketiga untuk menghindari penumpukan bahan kimia pada satu tempat sehingga didapatkan penyimpanan yang lebih optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara didapatkan daftar bahan kimia beserta symbol bahayanya sebagaimana Tabel 1. Berdasarkan pada tabel 1 diperoleh data-data bahan kimia yang tidak boleh berdekatan maupun bercampuran dalam satu tempat penyimpanan dengan bahan kimia yang lain berdasarkan simbol bahaya dan klasifikasi penyimpanannya. Data bahan kimia yang tidak boleh saling berdekatan tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Bahan-Bahan Kimia dan Simbol Bahayanya

No.	Nama Bahan Kimia	Simbol Bahaya	No.	Nama Bahan Kimia	Simbol Bahaya
1	HCl (Hydrochloric acid) fuming 37%		31	KI (Potassium Iodide)	None

No.	Nama Bahan Kimia	Simbol Bahaya	No.	Nama Bahan Kimia	Simbol Bahaya
2	H ₂ SO ₄ (Sulfuric acid) 95-97%		32	Na ₂ O ₃ S ₂ (Sodium thiosulfate)	None
3	Ethanol 96%		33	NaOH (Sodium Hydroxide)	
4	Methanol		34	Na ₂ SO ₄ (Sodium Sulfate)	None
5	Acetic Acid (glasial) 100%		35	NH ₄ Cl (Ammonium Chloride)	
6	Acetic Anhydride		36	Vaselin	None
7	Tetramethyl Benzidine		37	Phenolphthalein	None
8	Ammonia Solution 25%		38	KMnO ₄ (Potassium permanganate)	
9	Cerium (IV) Sulfat Solution		39	Eosin Yellowish	
10	Nitric Acid (HNO ₃) 65%		40	Methyl Orange	
11	Ethanolamine		41	Crystal Violet	
12	Hydrogen Peroxide Solution 30%		42	AgNO ₃ (Silver nitrate)	
13	Perchloric Acid 70- 72%		43	Murexide	None
14	Vortexx (H ₂ O ₂ ; PAA ; Asam Asetat)		44	BCG (Bromocresol green)	None

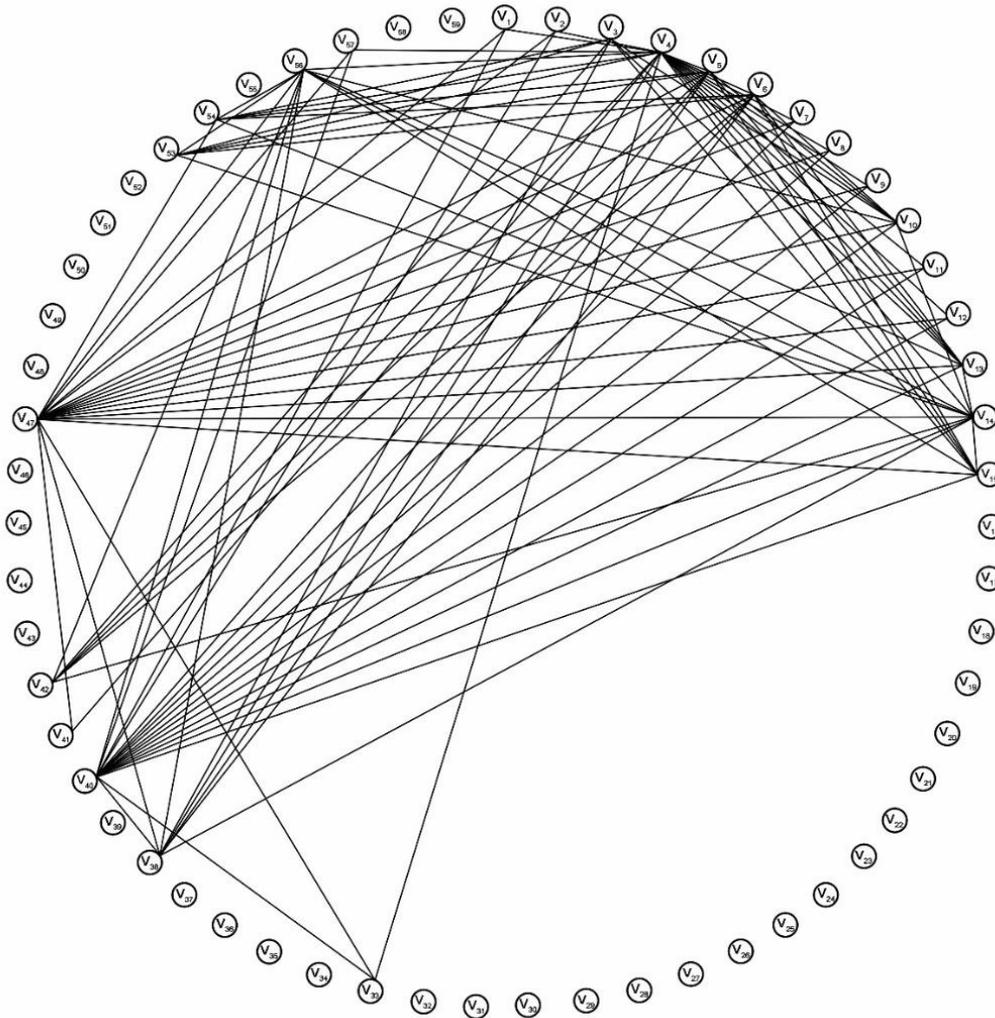
No.	Nama Bahan Kimia	Simbol Bahaya	No.	Nama Bahan Kimia	Simbol Bahaya
15	Oxonia Active 150 (H ₂ O ₂ ; PAA)		45	Methylene Blue	
16	Ster-bac (QAC)		46	EBT (Eriochrome black T)	
17	Extran MA-02 Neutral		47	Mercury (II) Thiocyanate	
18	NaCl (Sodium Chloride)	None	48	KCl (Potassium chloride) solution	None
19	MgSO ₄ (Magnesium Sulfat)	None	49	Buffer Solution	None
20	Starch	None	50	Conductivity Solution	None
21	Potassium Hydrogen Phthalate	None	51	Conductivity Standard 300 µ/cm	
22	Ammonium Heptamolybdate	None	52	Bromat Standard for IC	
23	Potassium Iodide	None	53	Bromat-1000 mg/L	
24	Potassium Chromate		54	Silver 1000 µ/ml MATRIX 5% HNO ₃	
25	Ammonium Iron (III) Sulfate	None	55	Ozone Reagen	
26	CaCO ₃ (Calcium Carbonate)	None	56	NH ₄ ⁺ (Ammonium test)	
27	Na ₂ CO ₃ (Sodium Carbonate)		57	P (Phospate Test)	

No.	Nama Bahan Kimia	Simbol Bahaya	No.	Nama Bahan Kimia	Simbol Bahaya
28	Titriplex (EDTA)		58	COD Cell Test	
29	CH3COONa (Sodium acetate)	None	59	Digestion Solution for COD	
30	MgCl2 (Magnesium chloride)	None			

Tabel 2. Bahan Kimia yang Tidak Boleh Berdekatan dengan Bahan Kimia Lain

No. Bahan Kimia	No. Bahan Kimia yang Tidak Boleh Berdekatan	No. Bahan Kimia	No. Bahan Kimia yang Tidak Boleh Berdekatan
1	4,40,47	14	4,10,13,15,38,40,42,47,53,54,56
2	4,40,47	15	3,4,5,6,14,40,47,56
3	10,13,15,38,42,53,54	33	4,40,47
4	1,2,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,33,38,41,42,53,54,56,57	38	3,4,5,6,14,40,47,56
5	4,10,13,15,38,40,42,47,53,54	40	1,2,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,33,38,41,54,56,57
6	4,10,13,15,38,40,42,47,53,54	41	4,40,47
7	4,40,47	42	3,4,5,6,14,56
8	4,40,47	47	1,2,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,33,38,41,54,56,57
9	4,40,47	53	3,4,5,6,14,56
10	3,4,5,6,14,40,47,56	54	3,4,5,6,14,40,47,56
11	4,40,47	56	4,10,13,14,15,38,40,42,47,53,54
12	4,40,47	57	4,40,47
13	3,4,5,6,14,40,47,56		

Berdasarkan data pada tabel 2, maka dibangun model matematika dalam bentuk matriks ketetanggaan yang merepresentasikan hubungan antar bahan kimia, dimana bahan kimia yang tidak boleh berdekatan dinyatakan dengan angka 1 dan bahan kimia yang boleh berdekatan dinyatakan dengan angka 0. Matriks ketetanggaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. Kemudian matriks ketetanggaan tersebut diterjemahkan dalam bentuk graf sederhana yang menggambarkan hubungan



Gambar 2. Graf sederhana G yang terbentuk

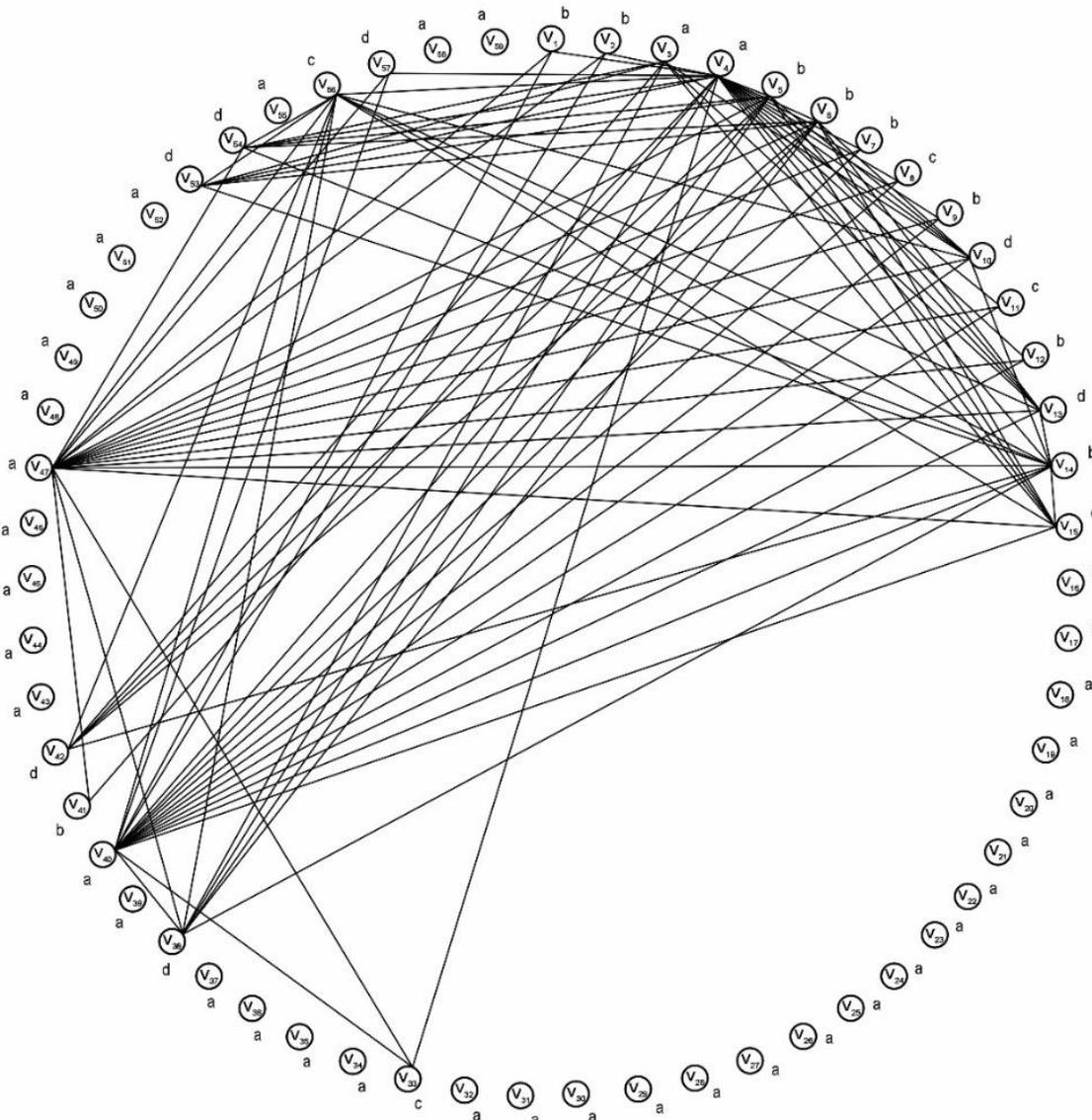
Selanjutnya setelah dilakukan pewarnaan simpul dengan Algoritma Welch-Powell didapatkan hasil perhitungan yang terangkum pada tabel 3 sebagai berikut :

Tabel 3. Pewarnaan Simpul dengan Menggunakan Algoritma Welch-Powell

Simpul	V ₄	V ₄₀	V ₄₇	V ₁₄	V ₅₆	V ₅	V ₆	V ₁₀	V ₁₃	V ₁₅	V ₃₈	V ₅₄	V ₃	V ₄₂	V ₅₃
Derajat	21	19	19	11	11	10	10	8	8	8	8	8	7	6	6
Warna	a	a	a	b	c	b	b	d	d	d	d	d	a	d	d
Simpul	V ₁	V ₂	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₁	V ₁₂	V ₃₃	V ₄₁	V ₅₇	V ₁₆	V ₁₇	V ₁₈	V ₁₉	V ₂₀
Derajat	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	0
Warna	b	b	b	c	b	c	b	c	b	d	a	a	a	a	a

Simpul	V ₂₁	V ₂₂	V ₂₃	V ₂₄	V ₂₅	V ₂₆	V ₂₇	V ₂₈	V ₂₉	V ₃₀	V ₃₁	V ₃₂	V ₃₄	V ₃₅	V ₃₆
Derajat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Warna	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
Titik	V ₃₇	V ₃₉	V ₄₃	V ₄₄	V ₄₅	V ₄₆	V ₄₈	V ₄₉	V ₅₀	V ₅₁	V ₅₂	V ₅₅	V ₅₈	V ₅₉	
Derajat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Warna	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	

Hasil pewarnaan simpul pada graf G berdasarkan Algoritma Welch-Powell dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pewarnaan Simpul pada Graf G

Dari hasil pewarnaan graf G didapatkan 4 jenis warna berbeda, sehingga bilangan khromatik pewarnaan simpul dari graf G adalah $\chi(G) = 4$. Hal ini menunjukkan bahwa banyaknya tempat penyimpanan bahan kimia yang dibutuhkan secara aman dan optimal adalah sebanyak 4 tempat penyimpanan berbeda. Pengelompokan simpul berdasarkan warna simpul berdasarkan hasil pewarnaan simpul pada graf G menggunakan Algoritma Welch-Powell disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Bilangan Khromatik Pewarnaan Simpul

Warna	Simpul
a	$V_3, V_4, V_{16}, V_{17}, V_{18}, V_{19}, V_{20}, V_{21}, V_{22}, V_{23}, V_{24}, V_{25}, V_{26}, V_{27}, V_{28}, V_{29}, V_{30}, V_{31}, V_{32}, V_{34}, V_{35}, V_{36}, V_{37}, V_{39}, V_{40}, V_{43}, V_{44}, V_{45}, V_{46}, V_{47}, V_{48}, V_{49}, V_{50}, V_{51}, V_{52}, V_{55}, V_{58}, V_{59}$
b	$V_1, V_2, V_5, V_6, V_7, V_9, V_{12}, V_{14}, V_{41}$
c	$V_8, V_{11}, V_{33}, V_{56}$
d	$V_{10}, V_{13}, V_{15}, V_{38}, V_{42}, V_{53}, V_{54}, V_{57}$

Berdasarkan hasil penerapan bilangan khromatik pewarnaan simpul pada graf dalam mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan kimia pada area laboratorium PT Tirta Investama Pandaan, dengan 59 bahan kimia dan 95 pasangan bahan kimia yang tidak dapat berdekatan dengan bahan kimia yang lain didapatkan bahwa bilangan khromatik pewarnaan simpulnya adalah 4, sehingga kita bisa mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan kimia sebanyak 4 tempat penyimpanan dengan merujuk pada tabel 4. Namun untuk menghindari penumpukan dalam satu tempat bahan kimia yang terdapat pada tabel 4 dengan jumlah yang tidak merata, maka kita bisa mendistribusikan bahan-bahan kimia yang tidak berbahaya ke tempat yang lainnya. Dengan syarat bahan kimia yang akan didistribusikan tersebut aman jika berdekatan dengan bahan kimia yang lain sesuai dengan klasifikasi penyimpanan dan simbol bahaya dari masing-masing bahan kimia pada tabel 1 dan 2, sehingga kita bisa mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan kimia dengan aman. Hasil akhir pendistribusian penempatan bahan kimia dengan aman disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil Distribusi Penempatan Bahan Kimia

Tempat	Simpul
Lemari 1	$V_3, V_4, V_{18}, V_{19}, V_{20}, V_{23}, V_{30}, V_{40}, V_{47}, V_{58}, V_{59}$
Lemari 2	$V_1, V_2, V_5, V_6, V_7, V_9, V_{12}, V_{14}, V_{21}, V_{22}, V_{25}, V_{28}, V_{31}, V_{35}, V_{41}, V_{43}$
Lemari 3	$V_8, V_{11}, V_{16}, V_{17}, V_{24}, V_{26}, V_{27}, V_{29}, V_{32}, V_{33}, V_{39}, V_{44}, V_{48}, V_{49}, V_{50}, V_{56}$
Lemari 4	$V_{10}, V_{13}, V_{15}, V_{34}, V_{36}, V_{37}, V_{38}, V_{42}, V_{45}, V_{46}, V_{51}, V_{52}, V_{53}, V_{54}, V_{55}, V_{57}$

Berdasarkan hasil observasi lapangan, wawancara dan dokumentasi tempat penyimpanan bahan kimia pada area laboratorium PT Tirta Investama Pandaan saat ini adalah sebanyak 6 lemari, sedangkan dengan menggunakan penerapan bilangan khromatik pewarnaan graf tempat penyimpanan bahan kimia pada area laboratorium hanya dibutuhkan 4 lemari.

Jadi dari hasil perbandingan antara data yang didapat dari perusahaan dengan penerapan bilangan khromatik pewarnaan graf dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan penerapan bilangan khromatik pewarnaan graf yang diperoleh dari perhitungan Algoritma Welch-Powell dapat mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan kimia pada area laboratorium PT Tirta Investama

Pandaan. Sehingga hasil dari penelitian ini dapat digunakan untuk merekomendasikan tempat penyimpanan bahan kimia yang lebih optimal.

SIMPULAN

Dari hasil analisis dan perhitungan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan penerapan bilangan khromatik pewarnaan graf dalam mengoptimalkan tempat penyimpanan bahan kimia pada area laboratorium PT Tirta Investama Pandaan sebanyak 4 lemari, sehingga tempat penyimpanan bahan kimia pada area laboratorium lebih optimal dibanding tempat penyimpanan bahan kimia sebelumnya yang sebanyak 6 lemari.

REFERENSI

- Apriyanto, A. (2018). Pewarnaan Graph Berbasis Algoritma Welch Powell Dalam Pengaturan Jadwal Praktikum. *Proximal: Jurnal Penelitian Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 1(2), 11–21.
- Budayasa, I. K. (Universitas N. S. (2007). *Teori Graph dan Aplikasinya*. Unesa University Press.
- Damayanti, R., Yundari, & Pasaribu, M. (2021). PENERAPAN PEWARNAAN GRAF PADA PENEMPATAN BAHAN KIMIA MUDAH MENYALA Studi Kasus: Laboratorium Kimia FMIPA UNTAN. *Bimaster : Buletin Ilmiah Matematika, Statistika Dan Terapannya*, 10(3), 323–330. <https://doi.org/10.26418/BBIMST.V10I3.47436>
- Jofie, M. Z., Bahri, S., & Baqi, A. Z. (2020). Aplikasi Algoritma Greedy Untuk Pewarnaan Wilayah Pada Peta Kota Padang Berbasis Teorema Empat Warna. *Jurnal Matematika UNAND*, 9(4), 294–301. <https://doi.org/10.25077/jmu.9.4.294-301.2020>
- Listiana, Y. (2016). Dimensi Matriks Dan Dimensi Partisi Pada Graf Hasil Operasi Korona. *SOULMATH*, 4(5). <https://doi.org/10.25139/sm.v4i5.235>
- Listiana, Y. (2017). Super Edge Antimagic Total Labeling On Disjoint Union Of Cycle With Chord. *Jurnal Ilmiah Soulmath : Jurnal Edukasi Pendidikan Matematika*, 5(2), 63–70. <https://doi.org/10.25139/SM.V5I2.750>
- Listiana, Y. (2014). Vertex magic total labeling on sun digraphs. *Proceedings of International Seminar on Mathematics Education and Graph Theory*, 583–589.
- Mahmudah, M. (2018). Aplikasi Pewarnaan Graf Terhadap Penyimpanan Bahan Kimia. *AXIOMA Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika Universitas Islam Jember*, 3(1), 45–50.
- Mahmudah, M., & Irawati, T. N. (2018). APLIKASI PEWARNAAN GRAF TERHADAP PEMBUATAN JADWAL UJIAN SEMESTER DI JURUSAN PENDIDIKAN MATEMATIKA UNIVERSITAS ISLAM JEMBER. *Kadikma*, 9(2), 12–21. <https://doi.org/10.19184/KDMA.V9I2.8530>
- Meiliana, C. H., & Maryono, D. (2017). APLIKASI PEWARNAAN GRAF UNTUK OPTIMALISASI PENGATURAN TRAFFIC LIGHT DI SUKOHARJO. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Dan Kejuruan*, 7(1). <https://doi.org/10.20961/JIPTEK.V7I1.12662>
- Munir, R. (Institut T. B. (2015). *Matematika Diskrit* (5th ed.). Informatika.
- Rahadi, A. P. (2019). PENJADWALAN MATA KULIAH MENGGUNAKAN PEWARNAAN GRAF DENGAN ALGORITMA LARGEST FIRST. *Jurnal Pedagogik*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.35974/jpd.v2i1.1067>
- Rhohman, F. (2017). IMPLEMENTASI GRAPH COLOURING PADA PEWARNAAN WILAYAH KELURAHAN DI KOTA KEDIRI. *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)*, 1(1), 183–188.

- Sagala, V., & sari, F. M. (2018). Optimasi Pengaturan Lalulintas Raya Gedangan dengan Penerapan Algoritma Welch-Powel dan Bilangan Khromatik. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 15(1), 79–88. <https://doi.org/10.12962/LIMITS.V15I1.3370>
- Saifudin, I., & Dafik. (2015). Bilangan Khromatik Pewarnaan Sisi pada Graf Khusus dan Operasinya. *Prosiding Seminar Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 202–210.
- Syam, R., Ihsan, H., & Asman, A. (2020). Aplikasi Pewarnaan Graf dengan Algoritma Recursive Largest First pada Penjadwalan Mata Kuliah. *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*, 2(1), 63. <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v2i1.12461>
- Umilasari, R. (2015). *Bilangan Dominasi Jarak Dua pada Graf-Graf Hasil Operasi Korona dan Comb*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zaenab, D. S., Adyanti, D. A., Fanani, A., & Ulinnuha, N. (2016). Aplikasi Graph Coloring Pada Penjadwalan Perkuliahan Di Fakultas Sains Dan Teknologi Uin Sunan Ampel Surabaya. *Jurnal Matematika "MANTIK,"* 2(1), 30. <https://doi.org/10.15642/mantik.2016.2.1.30-39>