

Penerapan Pewarnaan Graf dalam Pengaturan Penyimpanan Bahan Kimia

Rahmat Nur Ibrahim Santosa - 13516009¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

¹13516009@std.itb.ac.id

Abstract—Bahan kimia saat ini sudah banyak dimanfaatkan oleh manusia, mulai dari pemanfaatan di kehidupan sehari-hari, sampai dengan pemanfaatan dalam jumlah besar pada suatu industri kimia. Salah satu permasalahan dalam penggunaan bahan kimia adalah masalah pengaturan penyimpanannya. Hal ini dikarenakan bahan kimia merupakan bahan yang reaktif dan dapat bereaksi dengan zat lainnya. Pengaturan penyimpanan bahan kimia menjadi hal yang penting untuk mencegah terjadinya reaksi-reaksi membahayakan yang tidak diinginkan, seperti terbentuknya api atau ledakan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk membuat pengaturan penyimpanan bahan kimia adalah dengan menggunakan teori pewarnaan graf. Teori ini tepat digunakan sebagai penyelesaian permasalahan karena prinsipnya sama dengan permasalahan ini secara keseluruhan.

Keywords—Bahan kimia, pengaturan penyimpanan, pewarnaan graf, Welch-Powell

I. PENDAHULUAN

Bahan kimia atau zat kimia adalah suatu bentuk materi yang memiliki komposisi kimia dan sifat karakteristik konstan [1]. Bahan ini berada di sekitar kita, mulai dari sabun, deterjen, bahkan cuka merupakan beberapa contoh bahan kimia. Bahan-bahan ini telah membantu manusia melakukan banyak hal dalam kehidupan sehari-hari. Misalkan, deterjen digunakan sehari-hari untuk membersihkan baju. Begitu juga dengan pembersih lantai yang digunakan untuk membersihkan lantai setiap hari, merupakan salah satu contoh dari bahan kimia juga. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan kimia yang memiliki kandungan senyawa aktif yang disesuaikan dengan kegunaannya.

Secara terminologi, seringkali kita menyebut suatu zat sebagai bahan kimia apabila benda itu memiliki sifat kimia. Bahan kimia sebetulnya tidak selalu harus bahan sintesis atau buatan manusia. Terdapat juga bahan-bahan kimia yang alami, contohnya antara lain adalah garam, gula, kapur, jahe, kunyit, air, dan lain sebagainya [2]. Namun dalam makalah ini, bahan kimia yang dimaksud secara keseluruhan adalah bahan kimia sintesis, meninjau bahwa bahan kimia sintesis memiliki kecenderungan untuk bereaksi yang lebih besar daripada bahan kimia yang alami.

Selain dalam kehidupan sehari-hari, bahan kimia juga digunakan pada pabrik-pabrik perusahaan besar. Perusahaan besar biasanya membutuhkan bahan kimia dalam jumlah yang

cukup besar untuk dapat melakukan proses yang besar juga. Oleh karena itu, dibutuhkan produksi bahan kimia dalam jumlah besar untuk mencukupi kebutuhan bahan kimia oleh industri. Suatu industri yang terlibat dalam produksi zat kimia disebut industri kimia [3]. Industri ini menggunakan proses kimia, termasuk reaksi kimia untuk membentuk suatu zat baru. Selain itu, bahan kimia yang cukup banyak juga dibutuhkan pada suatu laboratorium penelitian yang besar. Pada laboratorium, biasanya bahan kimia yang digunakan adalah berupa bahan kimia murni, atau biasanya disebut zat murni. Zat murni biasanya memiliki suatu sifat karakteristik tertentu yang harus kita jaga agar sifat tersebut tidak hilang.

Salah satu hal yang harus kita perhatikan ketika berurusan dengan bahan kimia adalah kereaktifannya, atau kecenderungannya untuk bereaksi dengan bahan yang lain. Dalam industri-industri besar, banyak disimpan bahan-bahan kimia yang memiliki reaktifitas yang tinggi dan dapat membahayakan jika bertemu dengan bahan yang lainnya. Bahan dengan reaktifitas tinggi yang dapat membahayakan disebut *hazardous material (HAZMAT)*. Bahaya yang disebabkan dapat bermacam-macam, seperti mengeluarkan api, ledakan, atau menghasilkan gas beracun.

Untuk mengatasi permasalahan reaktifitas bahan kimia, perusahaan harus mengatur tata letak penyimpanan bahan kimia agar bahan-bahan yang tidak kompatibel (yang dapat bereaksi satu sama lain) tidak diletakkan secara berdekatan. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya hal-hal berbahaya seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan menggunakan teori pewarnaan simpul pada graf. Teori ini cocok digunakan dalam permasalahan ini karena memiliki sifat yang sama dengan permasalahan ini secara keseluruhan.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Definisi Graf

Graf merupakan sebuah representasi objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Graf pertama kali ditemukan oleh Euler dalam penyelesaian permasalahan jembatan Königsberg pada tahun 1736. Dalam sebuah graf, suatu objek dinyatakan sebagai simpul (vertice) yang biasanya berbentuk bulatan atau titik. Hubungan antara kedua objek dinyatakan dalam garis yang menghubungkan kedua simpul tersebut yang disebut sisi (edge).

Secara teoretis, suatu graf G merupakan pasangan himpunan simpul (V) dan sisi (E), ditulis dengan notasi $G = (V, E)$. V merupakan himpunan tidak-kosong dari simpul-simpul dan E adalah himpunan sisi yang menghubungkan suatu simpul. Dalam kata lain, suatu graf minimal terdiri dari satu simpul saja, dan dapat memiliki nol sisi.

2.2 Jenis Graf

Graf dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis. Dilihat dari ada atau tidaknya kalang atau sisi ganda pada suatu graf, maka graf dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu:

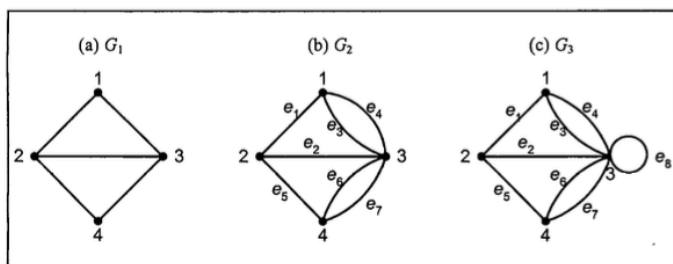
1. Graf Sederhana (*simple graph*)

Graf sederhana adalah graf yang tidak mengandung kalang (loop) dan tidak mengandung sisi-ganda. Dalam graf sederhana, sisi tidak memiliki makna urutan tersendiri, sehingga sisi (u, v) akan sama dengan sisi (v, u) .

2. Graf Tidak Sederhana (*unsimple graph*)

Graf tidak sederhana adalah graf yang mengandung kalang (loop) atau mengandung sisi-ganda. Graf tidak sederhana terbagi lagi menjadi dua macam, yaitu graf ganda (*multigraph*) dan graf semu (*pseudograph*). Graf ganda adalah graf yang memiliki sisi ganda, yaitu dua buah sisi yang keduanya menghubungkan dua simpul yang sama. Graf semu adalah graf yang memiliki kalang atau *loop*, yaitu sisi yang menghubungkan awal dan akhirnya merupakan satu titik yang sama.

Representasi visual graf sederhana dan graf tidak sederhana dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh masing-masing tiga jenis graf (a) graf sederhana, (b) graf ganda, (c) graf semu (sumber: Rinaldi Munir, Matematika Diskrit, 2016)

Adapun berdasarkan jenis sisinya, graf terbagi menjadi dua jenis yaitu:

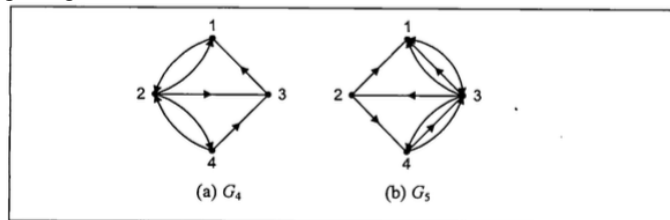
1. Graf tak-berarah (*undirected graph*)

Merupakan graf yang sisinya tidak memiliki orientasi arah. Dalam graf ini, urutan pasangan simpul yang dihubungkan oleh sisi tidak diperhatikan. Dalam kata lain, sisi (u, v) akan sama dengan sisi (v, u) .

2. Graf berarah (*directed graph*)

Merupakan graf yang setiap sisinya memiliki orientasi arah. Sisi yang berarah disebut busur (*arc*). Dalam kata lain, simpul (u, v) berbeda dengan sisi (v, u) . Pada graf berarah, suatu busur terdiri dari dua komponen yaitu simpul asal dan simpul terminal. Graf berarah terbagi menjadi dua jenis, yaitu graf berarah biasa, yang tidak dapat memiliki sisi ganda, dan graf-ganda berarah, yaitu graf berarah yang memiliki sisi ganda atau sisi gelang.

Representasi visual graf berarah dan jenisnya dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Contoh kedua jenis graf berarah (a) graf berarah, (b) graf ganda berarah (sumber: Rinaldi Munir, Matematika Diskrit, 2016)

2.3 Terminologi Graf

Dalam teori graf, terdapat beberapa istilah yang sering digunakan yang berkaitan dengan graf. Di bawah ini merupakan beberapa terminologi dalam graf yang sering dipakai.

1. Bertetangga (*Adjacent*)

Dua buah simpul dalam graf tidak berarah dikatakan bertetangga apabila keduanya dihubungkan oleh suatu sisi secara langsung.

2. Bersisian (*Incident*)

Suatu sisi dikatakan bersisian dengan suatu simpul apabila sisi tersebut berhubungan dengan simpul tersebut secara langsung.

3. Simpul Terpencil (*Isolated Vertex*)

Simpul yang tidak memiliki sisi yang terhubung dengannya dikatakan simpul terpencil.

4. Graf Kosong (*Null Graph*)

Graf kosong merupakan graf yang tidak memiliki sisi, namun masih memiliki himpunan titik yang berjumlah lebih dari atau sama dengan satu.

5. Derajat (*Degree*)

Dalam graf tidak berarah, derajat suatu simpul merupakan jumlah sisi yang bersisian secara langsung dengan simpul tersebut. Sedangkan dalam graf berarah, derajat terbagi menjadi dua, yaitu derajat masuk (d_{in}) dan derajat keluar (d_{out}).

6. Lintasan (*Path*)

Lintasan merupakan rangkaian simpul dan sisi yang dilalui dari suatu simpul awal v_0 ke simpul tujuan v_n . Penulisannya ditulis berselang-seling antara simpul dan sisi dengan bentuk: $e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n$.

7. Sirkuit (*Circuit*)

Sirkuit atau siklus adalah lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama.

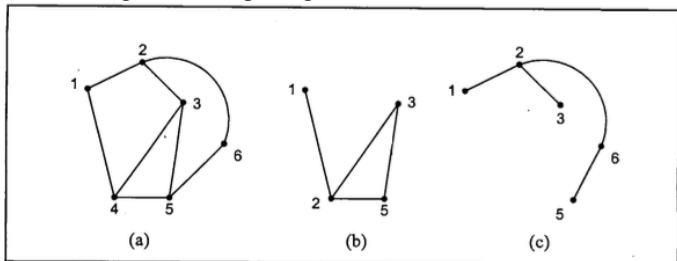
8. Terhubung (*Connected*)

Dalam graf tak-berarah, graf dikatakan terhubung jika pada setiap simpulnya terdapat sisi yang menghubungkannya, dan untuk setiap sisi tersebut terdapat sisi yang dapat mencapainya. Dalam graf berarah, graf dikatakan terhubung jika graf tidak berbaliknya juga terhubung.

9. Upagraf (*Subgraph*) dan Komplemen Upagraf

Jika terdapat graf $G = (V, E)$, maka graf $G_1 = (V_1, E_1)$ disebut upagraf dari G jika V_1 merupakan himpunan bagian dari V dan E_1 merupakan himpunan bagian dari E . Bagian yang tidak termasuk upagraf disebut dengan

komplemen upagraf. Upagraf dan komplemen upagraf digambarkan pada gambar 2.3 di bawah ini.



Gambar 2.3 (a) Graf G , (b) Sebuah upagraf G_1 , dan (c) komplemen upagraf yang bersesuaian.

(sumber: Rinaldi Munir, Matematika Diskrit, 2016)

10. Upagraf Merentang (*Spanning Subgraph*)

Upagraf $G_1 = (V_1, E_1)$ dari graf $G = (V, E)$ dikatakan upagraf merentang jika upagraf G_1 mengandung semua simpul dari G .

11. Cut-Set

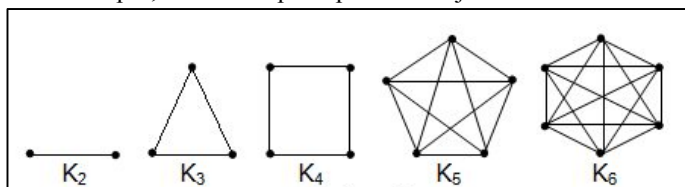
Cut-Set adalah himpunan sisi dari graf terhubung G yang apabila di buang dari G akan menyebabkan graf G menjadi graf tidak terhubung.

2.4 Graf Sederhana Khusus

Dalam teori graf, terdapat beberapa graf sederhana yang sering digunakan. Beberapa diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Graf Lengkap

Sebuah graf dinyatakan graf lengkap apabila setiap simpulnya bertetangga dengan setiap simpul yang lainnya. Jika sebuah graf lengkap memiliki n buah simpul, maka setiap simpul berderajat $n-1$.

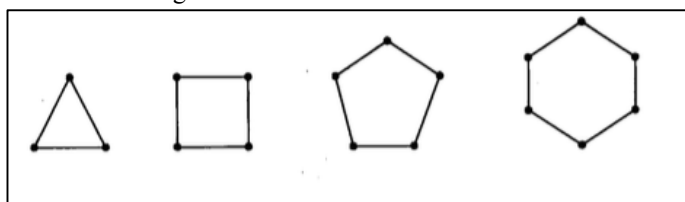


Gambar 2.4 Graf lengkap K_n

(Sumber: <http://ovieciinduts.blogspot.co.id/2012/01/teori-graf.html>, diakses pada 03 Desember 2017)

2. Graf Lingkaran

Sebuah graf dinyatakan graf lingkaran jika setiap simpulnya berderajat 2, dan terdapat sisi dari simpul terakhir ke simpul pertama sehingga semua simpul terhubung.



Gambar 2.5 Graf lingkaran

(sumber: Rinaldi Munir, Matematika Diskrit, 2016)

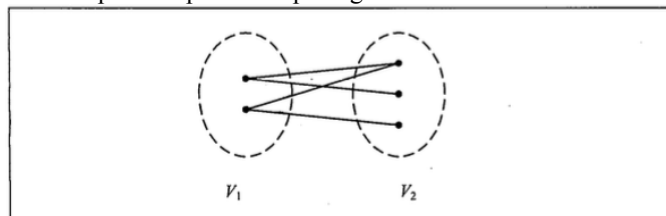
3. Graf Teratur

Graf teratur merupakan graf yang seluruh simpulnya

berderajat sama. Contohnya adalah graf lingkaran, karena graf lingkaran merupakan graf teratur berderajat dua. Graf lengkap juga merupakan graf teratur dengan derajat $n-1$, dimana n adalah jumlah simpul.

4. Graf Bipartit

Graf bipartit merupakan graf sederhana yang simpulnya dapat dibagi menjadi dua buah himpunan. Setiap simpul dari suatu himpunan bertetangga dengan simpul dari himpunan yang satunya, namun tidak bertetangga dengan simpul dari himpunannya sendiri. Gambar graf bipartit dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Graf bipartit

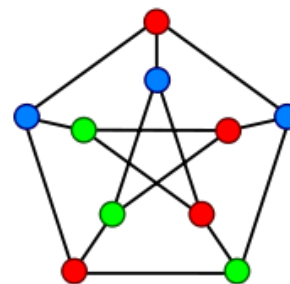
(sumber: Rinaldi Munir, Matematika Diskrit, 2016)

2.5 Pewarnaan Graf

Terdapat tiga macam jenis pewarnaan graf, yaitu pewarnaan simpul, pewarnaan sisi, dan pewarnaan wilayah.

1. Pewarnaan Simpul

Pewarnaan simpul dilakukan dengan memberikan warna berbeda pada setiap titik yang bertetangga, sehingga tidak ada dua titik bertetangga dengan warna yang sama.

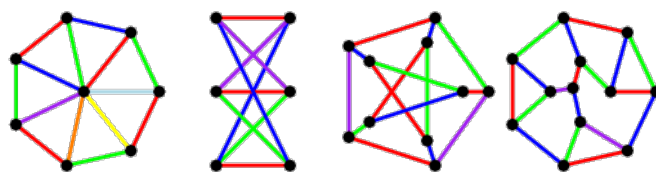


Gambar 2.7 Pewarnaan Simpul

(Sumber: https://adekasamawa.files.wordpress.com/2010/01/180px-petersen_graph_3-coloring-svg.png, diakses pada 03 Desember 2017)

2. Pewarnaan Sisi

Pewarnaan sisi dilakukan dengan memberikan warna yang berbeda pada sisi yang bertetangga sehingga tidak ada dua sisi yang bertetangga dengan warna yang sama.



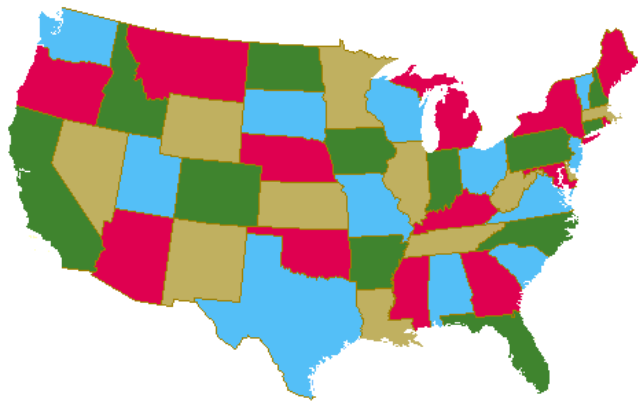
Gambar 2.8 Pewarnaan Sisi

(Sumber: https://adekasamawa.files.wordpress.com/2010/01/180px-petersen_graph_3-coloring-svg.png, diakses pada 03 Desember 2017)

3. Pewarnaan Wilayah

Pewarnaan bidang dilakukan dengan memberikan warna

yang berbeda pada bidang yang bersebelahan sehingga tidak ada dua wilayah yang bertetangga dengan warna yang sama.



Gambar 2.8 Pewarnaan Wilayah pada Peta Amerika
(Sumber: [http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2015-2016/Graf%20\(2015\).pdf](http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2015-2016/Graf%20(2015).pdf), diakses pada 03 Desember 2017)

Dalam pewarnaan, terdapat istilah bilangan kromatik. Bilangan kromatik adalah jumlah minimum warna yang dibutuhkan untuk mewarnai peta, dan dinotasikan dengan $\chi(G)$. Secara teori, bilangan kromatik untuk suatu graf planar sederhana tidak lebih dari empat. Artinya, dibutuhkan paling banyak empat warna untuk mewarnai suatu graf planar sehingga setiap simpul/sisi/wilayah yang berdekatan memiliki warna berbeda.

Untuk beberapa graf khusus, bilangan kromatik bisa langsung ditentukan dari jenisnya. Graf kosong memiliki bilangan kromatik satu karena tidak memiliki sisi. Graf Lengkap K_n memiliki bilangan kromatik n karena semua simpul berhubungan satu sama lain. Graf lingkaran berderajat dua memiliki bilangan kromatik dua. Sedangkan graf bipartit memiliki bilangan kromatik dua karena terdapat dua warna untuk kedua himpunan.

Pewarnaan simpul dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma Welch-Powell, atau yang lebih sering disebut dengan algoritma greedy. Langkah-langkah penggunaan graf adalah sebagai berikut:

1. Urutkan simpul dari derajat terbesar ke derahat terkecil.
2. Ambil simpul derajat terbesar, berikan sebuah warna.
3. Berikan warna yang sama untuk semua simpul yang tidak bertetangga dengan simpul yang diambil tadi.
4. Ulangi langkah 2 dan 3, dimulai dengan simpul yang memiliki derajat tertinggi berikutnya dalam daftar terurut yang belum diwarnai hingga semua simpul sudah diwarnai.

III. PENGATURAN PENYIMPANAN BAHAN KIMIA

Bahan kimia merupakan bahan yang memiliki karakteristik tertentu. Beberapa karakteristik pentingnya adalah sifat reaktifnya terhadap bahan lain. Beberapa zat harus dipisahkan dengan zat lainnya karena apabila disimpan di tempat yang sama dapat membentuk reaksi yang dapat membahayakan sekitarnya, seperti contohnya ledakan atau kebakaran. Namun, beberapa zat

bisa juga diletakkan pada tempat penyimpanan yang sama karena tidak reaktif satu sama lain.

Permasalahan penyimpanan bahan kimia ini sering terjadi di perusahaan yang menyediakan bahan kimia. Pada permasalahan ini, perusahaan harus mengalokasikan beberapa tempat penyimpanan sedemikian rupa sehingga bahan kimia tidak bereaksi dengan bahan yang reaktif terhadapnya. Hal ini dilakukan untuk mencegah bahan bereaksi, meskipun sebenarnya sudah ada botol yang menampungnya.

Tentunya dalam permasalahan ini, kita menginginkan untuk membuat tempat penyimpanan dengan jumlah seminimal mungkin. Hal ini dilakukan untuk menekan biaya dan efisiensi kompartemen penyimpanan. Oleh karena itu, di gudang penyimpanan bahan kimia akan dilakukan pembagian kompartemen-kompartemen agar bahan kimia yang tidak bereaksi (atau disebut kompatibel) dapat disatukan di satu kompartemen yang sama.

3.1 Pemodelan Graf

Dalam pembuatan konfigurasi penyimpanan bahan kimia, dibutuhkan data bahan yang tidak kompatibel atau akan bereaksi dengan bahan kimia lain. Sebagai contoh, dalam permasalahan di makalah ini, digunakan bahan-bahan bersifat asam anorganik, asam organik, kaustik, amino, senyawa halogen, alkohol, glikol, dan glikol eter. Reaktifitas bahan-bahan tersebut antara lain adalah sebagai berikut:

- Bahan asam anorganik akan bereaksi dengan asam organik, bahan kaustik, asam amino, serta alkohol, gliter dan gliter eter.
- Bahan asam organik akan bereaksi dengan asam anorganik dan amino.
- Bahan kaustik akan bereaksi dengan asam anorganik, amino serta alkohol, gliter dan gliter eter.
- Bahan amino akan bereaksi dengan asam anorganik, asam organik, bahan kaustik, serta senyawa halogen.
- Bahan bersenyawa halogen hanya bereaksi dengan amino.
- Alkohol, glikol dan glikol eter bereaksi dengan asam anorganik dan asam organik.

Langkah selanjutnya adalah memodelkan data reaktifitas tersebut menjadi sebuah graf. Untuk memudahkan pembuatan graf, data di atas bisa diubah terlebih dahulu ke dalam bentuk matriks ketetanggaan (*adjacency matrix*). Dalam hal ini, matriks akan bernilai 1 apabila matriks reaktif terhadap suatu bahan dan bernilai 0 apabila matriks tidak reaktif terhadap suatu bahan. Matriks ketetanggaan ini dapat dilihat dalam tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Matriks Reaktifitas Bahan Kimia

	A	B	C	D	E	F*
A	0	1	1	1	0	1
B	1	0	0	1	0	0
C	1	0	0	1	0	1
D	1	1	1	0	1	0
E	0	0	0	1	0	0
F*	1	0	1	0	0	0

Keterangan:

A = Asam Anorganik

- B = Asam Organik
- C = Kaustik
- D = Amino
- E = Senyawa Halogen
- F = Alkohol

*Alkohol sama sifatnya dengan glikol dan glikol eter, sehingga dapat disatukan dalam satu baris/kolom.

Setelah membuat matriks ketetanggaan, langkah selanjutnya adalah membuat graf pemodelan permasalahan. Ketentuan pembuatan graf antara lain adalah sebagai berikut:

1. Anggap setiap bahan kimia sebagai simpul.
2. Hubungkan dua simpul dengan sebuah sisi jika dan hanya jika kedua simpul tersebut tidak kompatibel satu sama lain, atau dalam kata lain kedua bahan kimia bersifat reaktif satu sama lain.

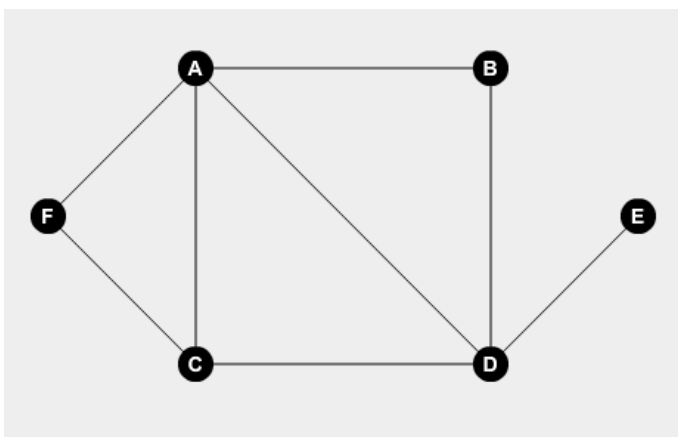
Untuk mencegah terjadinya kesalahan, kita dapat membuat senarai ketetanggaan (*adjacency list*) sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam pembuatan graf.

Tabel 3.2 Senarai Ketetanggaan Reaktivitas Bahan Kimia

Simpul	Simpul yang tidak kompatibel
A	B, C, D, F
B	A, D
C	A, D, F
D	A, B, C, E
E	D
F	A, C

Dari senarai tersebut, dapat terlihat bahwa simpul A akan terhubung dengan simpul B, C, D, dan F. Sedangkan simpul B akan terhubung dengan simpul A dan D. Dan seterusnya sampai simpul F akan terhubung dengan simpul A dan C.

Langkah selanjutnya adalah membuat representasi graf yang sesuai dengan matriks ketetanggaan dan senarai ketetanggaan yang telah kita buat. Graf yang kita buat merupakan graf sederhana, karena pada persoalan ini sisi graf tidak mengandung orientasi arah. Dalam kata lain, jika a bereaksi dengan b maka b juga akan bereaksi dengan a, sehingga sisi (a,b) akan sama dengan sisi (b,a). Representasi graf dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Graf Pemodelan Permasalahan

Gambar 3.1 tersebut merupakan representasi pemodelan

masalah penyimpanan bahan kimia. Simpul menyatakan bahan kimia, sesuai dengan keterangan pada tabel 3.1, sedangkan sisi menyatakan hubungan bahwa dua bahan kimia yang dihubungkan tidak dapat disatukan dalam tempat yang sama karena dapat bereaksi jika diletakkan dalam tempat yang sama.

3.2 Pewarnaan Graf

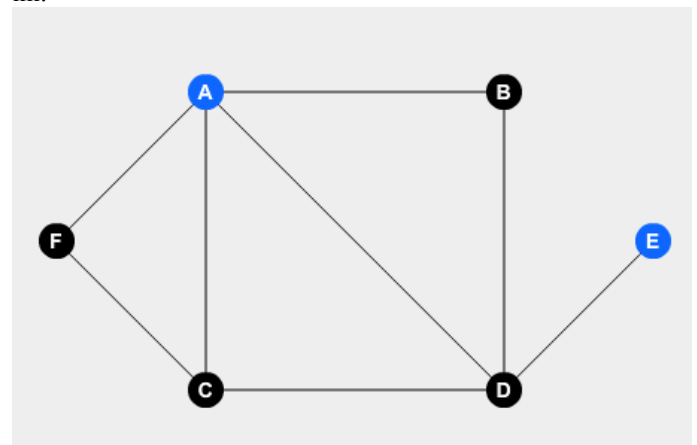
Pewarnaan graf merupakan metode yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan ini. Hal ini dikarenakan prinsip pewarnaan graf secara garis besar sama dengan permasalahan ini. Dalam pewarnaan graf, dua buah simpul yang bertetangga tidak boleh memiliki warna yang sama. Hal ini sejalan dengan permasalahan ini, yaitu dua bahan kimia yang sama tidak boleh diletakkan dalam satu tempat. Bahan kimia analog dengan simpul, sedangkan tempat penyimpanan analog dengan warna dari simpul tersebut.

Dalam persoalan ini, kita dapat menggunakan algoritma Welch-Powell untuk mencari pewarnaan yang tepat untuk graf. Hal ini dikarenakan graf ini merupakan graf planar. Dari upabab 2.5 telah dijelaskan tahapan-tahapan dalam menentukan warna graf menggunakan algoritma Welch-Powell. Langkah pertama adalah dengan mengurutkan derajat simpul dari derajat terbesar ke derajat terkecil. Hasil pengurutan simpul dapat dilihat pada tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Hasil Pengurutan Derajat Simpul

Urutan	Simpul	Derajat
1	A	4
2	D	4
3	C	3
4	B	2
5	F	2
6	E	1

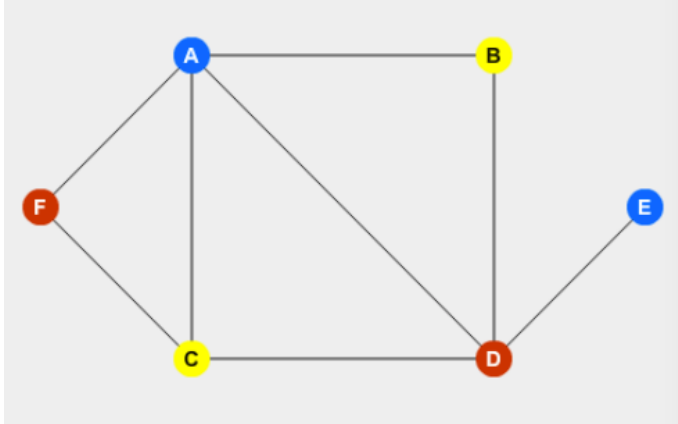
Langkah selanjutnya adalah dengan mengambil simpul dengan derajat tertinggi dan mewarnai simpul-simpul yang tidak bertetangga dengan simpul tersebut dengan warna yang sama. Hasil dari langkah ini dapat dilihat pada gambar 3.2 di bawah ini.



Gambar 3.2 Tahap 1 Pewarnaan Graf

Tahap selanjutnya, dipilih simpul D sebagai simpul tertinggi dan diberi warna. Warna yang sama diberikan kepada simpul F dikarenakan simpul F tidak bertetangga dengan D. Tahap ini diulang sampai semua simpul sudah memiliki warna. Hasil akhir

dari pewarnaan graf dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 Hasil Akhir Pewarnaan Graf

3.3 Solusi Permasalahan

Setelah pewarnaan graf berhasil dilakukan, penyelesaian permasalahan sudah bisa diambil. Dalam gambar 3.3 dapat kita lihat bahwa simpul A memiliki warna yang sama dengan E, simpul F memiliki warna yang sama dengan D, dan simpul B memiliki warna yang sama dengan simpul C. Seperti yang dijelaskan di awal upabab 3.2, warna yang sama dapat diartikan bahwa kedua bahan kimia dapat diletakkan di kompartemen yang sama.

Berdasarkan pewarnaan pada graf 3.3, dapat kita tarik kesimpulan bahwa untuk menyimpan delapan jenis bahan kimia dalam permasalahan ini, cukup dibuat tiga kompartemen saja. Kompartemen pertama diisi oleh asam amino dan senyawa halogen. Kompartemen kedua diisi oleh asam organik dan bahan kaustik. Sedangkan amino, alkohol, glikol, dan glikol eter dapat diletakkan di kompartemen ketiga. Solusi permasalahan dapat dilihat pada tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3.4 Solusi Permasalahan

Kompartemen	Bahan Kimia
1	Asam Amino, Senyawa Halogen
2	Asam Organik, Kaustik
3	Amino, Alkohol, Glikol, Glikol Eter

IV. KESIMPULAN

Teori pewarnaan simpul graf dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai macam permasalahan, salah satunya adalah permasalahan pengaturan penyimpanan bahan kimia. Dengan menggunakan teori pewarnaan graf, kita dapat membuat konfigurasi penyimpanan dengan lebih cepat dan efisien. Selain itu, kita juga dapat menemukan jumlah kompartemen minimum yang dibutuhkan untuk menyimpan beberapa bahan. Hal ini tentunya lebih menguntungkan agar tempat penyimpanan bahan kimia menjadi lebih efisien karena kompartemennya yang tidak terlalu banyak.

Metode penyelesaian dalam makalah ini dapat diterapkan juga pada beberapa permasalahan yang serupa. Sebagai contoh, permasalahan pembuatan jadwal dapat menggunakan metode ini. Pembuatan jadwal memiliki pokok permasalahan yang sama, yaitu ke-tidak-kompatibilitas-an pelaksana dari jadwal tersebut, seperti pada penetapan jadwal kuliah mahasiswa.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya lah penulis berhasil menyelesaikan makalah ini. Terima kasih penulis sampaikan juga kepada kedua orang tua saya dan saudara-saudara saya yang selalu memberikan dukungannya kepada saya dalam proses penyelesaian masalah. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada bapak Drs. Judhi Santoso, M.Sc yang telah memberikan ilmu pengetahuan tentang mata kuliah Matematika Diskrit yang saya gunakan untuk menyelesaikan makalah ini.

REFERENCES

- [1] Bimbingan, "Pengertian Bahan Kimia dan Penggolongannya", <http://www.bimbingan.org/pengertian-bahan-kimia.htm>, diakses pada tanggal 4 Desember 2017
- [2] IUPAC, Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book") (1997). Online corrected version: (2006–) "Chemical Substance".
- [3] Munir, Rinaldi. 2016. *Matematika Diskrit*. Bandung: Infomatika Bandung.
- [4] NCTM, "Graph Creator", <https://illuminations.nctm.org/Activity.aspx?id=3550>, diakses pada tanggal 3 Desember 2017
- [5] P. Paruchuri, "Storage Problem", <http://www.cs.kent.edu/~dragan/ST-Spring2016/storage%20problem.pdf>, diakses pada tanggal 3 Desember 2017.
- [6] S. Syamsy, "Pewarnaan Graf (*Graph Coloring*)", <http://dhukhasyamsy.blogspot.co.id/2013/05/pewarnaan-graf-graph-coloring.html>, diakses pada tanggal 3 Desember 2017.
- [7] Technofunc, "Sectors of Chemical Industry", <http://www.technofunc.com/index.php/domain-knowledge/chemicals-industry/item/sectors-of-chemical-industry>, diakses pada tanggal 4 Desember 2017.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 3 Desember 2017

Rahmat Nur Ibrahim Santosa
13516009