

# Aplikasi Pewarnaan Graf pada Pemecahan Masalah Penyusunan Jadwal

Nabila As'ad<sup>1)</sup> 135 07 006<sup>2)</sup>

1) Jurusan Teknik Informatika ITB, Bandung 40135, email: nabilaasad@students.itb.ac.id

**Abstract** – Dalam kehidupan nyata, sering terjadi adanya bentrokan penyusunan jadwal. Jika dilihat secara individu, penyusunan jadwal secara manual bukanlah hal yang sulit karena adanya toleransi waktu dan jadwal perseorangan yang berbeda-beda. Namun jika masalah penjadwalan tersebut menyangkut banyak orang, maka hal tersebut menjadi sulit. Contoh konkretnya adalah ketika menentukan jadwal ujian suatu mata kuliah. Seorang mahasiswa tidak hanya mengambil satu mata kuliah saja oleh karena itu penyusunan jadwal ujian suatu mata kuliah tidak boleh berbentrok dengan mata kuliah lain. Salah satu solusinya adalah dengan teknik pewarnaan graf (Graph Coloring). Makalah ini akan membahas mengenai solusi untuk masalah penyusunan jadwal tersebut. Yaitu dengan teknik pewarnaan graf dan algoritma-algoritma yang dapat digunakan dalam teknik pewarnaan graf ini.

**Kata Kunci:** Graf, jadwal, pewarnaan.

## 1. PENDAHULUAN

Masalah penyusunan sebuah jadwal merupakan sebuah masalah umum yang terjadi dalam kehidupan kita sehari-hari. Untuk penjadwalan sebagian besar kegiatan yang melibatkan banyak orang, sering terdapat faktor yang menyebabkan adanya bentrokan dalam penyusunan sebuah jadwal itu sendiri. Faktor-faktor tersebut contohnya adalah adanya berbagai kepentingan yang berbeda pada tiap orang dengan lokasi yang berbeda namun pada waktu yang sama. Selain itu, faktor *human error* (kesalahan manusia) juga sangat menentukan bagaimana proses penyusunan jadwal tersebut dapat terlaksana. Human error akan semakin sering terjadi jika banyak aturan dalam pembuatan jadwal, seperti kegiatan x harus dilakukan sebelum kegiatan y, kegiatan z harus bersamaan dengan kegiatan x dan seterusnya. Kesulitan dalam menyusun sebuah jadwal juga semakin dipersulit jika terdapat perubahan atau penambahan jadwal.

Dalam mata kuliah Struktur Diskrit, kita telah mengenal sebuah subbab yang membahas tentang pewarnaan graf. Banyak masalah yang dapat diselesaikan dengan metode pewarnaan graf ini. Dan metode pewarnaan graf ini dapat kita terapkan dalam kehidupan sehari-hari dan contohnya adalah dalam mengatasi masalah penyusunan jadwal ini.

## 2. GRAF

Teori graf merupakan sebuah pokok bahasan yang sudah tua usianya namun memiliki banyak terapan sampai saat ini. Graf digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut.

Graf pertama kali digunakan untuk memecahkan masalah jembatan Königsberg pada tahun 1736. Pada tahun tersebut, seorang matematikawan Swiss bernama L. Euler berhasil memecahkan masalah jembatan Königsberg tersebut. Ia memodelkan masalah ini ke dalam bentuk graf dengan daratan (titik-titik yang dihubungkan oleh jembatan) dimodelkan sebagai noktah atau *vertex* dan jembatan dinyatakan sebagai garis atau *edge*.

Definisi sebuah graf itu sendiri adalah sebagai pasangan himpunan  $(V, E)$  yang dalam hal ini:

$V$  = himpunan tidak kosong dari simpul-simpul (*vertices* atau *node*) dan  $E$  = himpunan sisi (*edges* atau *arcs*) yang menghubungkan sepasang simpul.

Dalam notasi matematika, graf dapat ditulis dengan:

$$G = (V, E)$$

Sebuah graf dimungkinkan tidak mempunyai sisi satu buah pun namun setiap simpulnya harus ada (minimal satu).

Graf dapat dikelompokkan dalam beberapa kategori yaitu berdasarkan ada atau tidaknya sisi ganda, berdasarkan jumlah simpulnya, atau berdasarkan orientasi arah pada sisi.

## 3. PEWARNAAN GRAF

Dalam sebuah teori graf, metode pewarnaan graf merupakan sebuah kasus khusus untuk pelabelan sebuah graf. Pewarnaan graf merupakan penambahan warna pada elemen sebuah graf itu sendiri.

### 3.1. Pengertian

Pewarnaan graf adalah metode pewarnaan elemen sebuah graf yang terdiri dari pewarnaan *vertex* (simpul), sisi (*edge*), dan wilayah (*region*).

### 3.2. Pewarnaan Simpul

Dalam menggunakan spesifikasi yang lain, pewarnaan sebuah graf sering disebut dengan pewarnaan dari

simpul graf itu sendiri. Pewarnaan simpul pada graf adalah memberi warna pada simpul-simpul suatu graf sedemikian sehingga tidak ada dua simpul bertetangga yang memiliki warna yang sama [1]. Kita dapat memberikan sembarang warna pada simpul-simpul asalkan berbeda dengan simpul-simpul tetangganya.

Terminologi dalam menggunakan warna untuk label *vertex* kembali kepada pemetaan warna. Label warna seperti merah dan biru hanya dipakai ketika angka dari warna-warna itu kecil dan normalnya, diketahui bahwa label-label tersebut digambar dari integer-integer  $\{1, 2, 3, \dots\}$ .

Sebuah pewarnaan yang menggunakan beberapa  $n$ -buah warna biasanya disebut dengan  $n$ -coloring. Ukuran terkecil banyaknya warna yang dapat diberikan kepada sebuah graf  $G$  dinamakan dengan bilangan kromatik, yang dilambangkan dengan  $\chi(G)$ . Beberapa graf tertentu dapat langsung diketahui jumlah bilangan kromatiknya. Graf kosong  $N_n$  memiliki  $\chi(G)$  sebanyak 1 karena semua simpul tidak terhubung. Karena jumlah  $\chi(G)$ -nya adalah 1, maka untuk mewarnai semua simpulnya cukup dengan satu warna saja. Graf lengkap  $K_n$  memiliki  $\chi(G) = n$  karena semua simpul saling terhubung satu sama lain. Graf lingkaran dengan  $n$  ganjil memiliki  $\chi(G) = 3$ , sedangkan jika  $n$  genap maka  $\chi(G) = 2$ . Sembarang pohon  $T$  memiliki  $\chi(T) = 2$ .

### 3.3. Pewarnaan Sisi

Pewarnaan sebuah sisi graf, pewarnaan sisi-sisinya secara tepat berarti cara pemberian warna pada garis sedemikian rupa sehingga setiap garis yang bertumpuan pada titik yang sama diberi warna yang berbeda. Pewarnaan sisi dengan warna-warna (sebut saja dengan variabel  $k$ ) dinamakan sebagai pewarnaan sisi  $k$ . Dan ekuivalen dengan persoalan membagi sisi dengan warna-warna tertentu pada himpunan sisi dengan warna tertentu. Angka terkecil dari warna-warna yang dibutuhkan untuk pewarnaan sisi graf  $G$  disebut sebagai indeks kromatik atau angka kromatik sisi,  $\chi'(G)$ . Pewarnaan *tait* adalah sebuah pewarnaan tiga sisi dari sebuah graf kubus. Teori empat warna (teori yang berawal dari pernyataan mengenai: "Dapatkah sembarang graf planar diwarnai hanya dengan empat warna saja?") ekuivalen dengan bahwa tiap graf planar kubus tanpa jembatan (sisi) menunjukkan sebuah pewarnaan *tait* [2].

### 3.4. Pewarnaan wilayah

Pewarnaan wilayah adalah pemberian warna pada setiap wilayah pada graf sehingga tidak ada wilayah bersebelahan yang memiliki warna yang sama. Pewarnaan wilayah ini diterapkan pada pewarnaan peta. Pada pewarnaan peta, diberikan warna yang berbeda pada setiap propinsi yang saling bersebelahan. Dalam mengerjakan pewarnaan wilayah, kita dapat menggunakan prinsip pewarnaan simpul pada graf.

Misalnya adalah masalah pewarnaan peta. Tiap wilayah pada peta dinyatakan sebagai simpul graf. Sedangkan sisi menyatakan bahwa terdapat dua wilayah yang berbatasan langsung (disebut juga bertetangga). Oleh karena itu, graf yang terbentuk merupakan graf planar. Graf planar ialah graf yang dapat digambarkan pada bidang datar sedemikian sehingga tidak ada sisi-sisinya yang saling berpotongan [1]. Bilangan kromatik pada graf planar tidak lebih dari empat. Sehingga dalam pewarnaan sebuah peta, cukup hanya menggunakan empat warna saja. Warna yang digunakan dalam pewarnaan peta adalah hijau, kuning, merah, dan biru.

## 4. ALGORITMA-ALGORITMA PEWARNAAN GRAF

Dalam metode pewarnaan graf, terdapat beberapa algoritma-algoritma yang telah diterapkan. Algoritma-algoritma ini telah banyak digunakan dalam pengembangan berbagai macam *software* penyusunan jadwal. Karena banyaknya persoalan penyusunan jadwal yang kompleks, tidak memungkinkan untuk melakukan pewarnaan graf secara manual. Semakin banyak jumlah komponen-komponen yang harus diperhitungkan dalam penyusunan sebuah jadwal, maka semakin sulit penyusunan sebuah jadwal tersebut. Berikut ini merupakan beberapa algoritma yang dapat digunakan dalam metode pewarnaan graf.

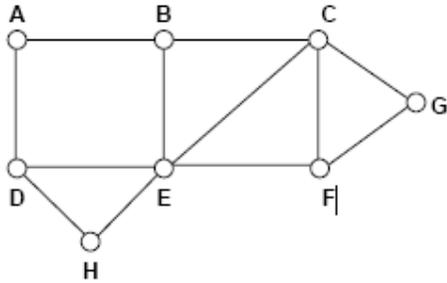
### 4.1. Algoritma Welch-Powell

Algoritma Welch-Powell dapat digunakan untuk mewarnai sebuah graf  $G$  secara efisien. Algoritma ini tidak selalu memberikan jumlah warna minimum yang diperlukan untuk mewarnai  $G$ , namun algoritma ini cukup praktis untuk digunakan dalam pewarnaan simpul sebuah graf. Algoritma Welch-Powell hanya cocok digunakan untuk graf dengan orde yang kecil. Oleh karena itu algoritma Welch-Powell hanya dapat menentukan batas atas warna. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.

1. Urutkan semua simpul berdasarkan derajatnya, dari derajat besar ke derajat kecil.
2. Ambil warna pertama (misalnya merah), warnai simpul pertama yang sudah diurutkan berdasarkan derajatnya tadi. Kemudian warnai simpul berikutnya yang tidak berdampingan dengan simpul pertama tadi dengan warna yang masih sama (merah).
3. Kemudian dilanjutkan dengan warna kedua, dan seterusnya, sampai semua simpul telah diberi warna.

Contohnya:

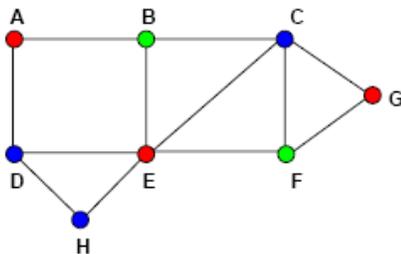
Misalkan kita ingin mewarnai simpul graf di bawah ini.



Gambar 1: Graf yang akan diwarnai simpulnya dengan algoritma *Welch-Powell*

Langkah-langkah yang akan dilakukan adalah:

1. Urutkan simpul berdasarkan derajatnya dari besar ke kecil : Simpul berderajat terbesar adalah E, yaitu 5 (mempunyai 5 ruas) kemudian simpul C berderajat 4, B,D,F masing-masing berderajat 3 dan A,H,G masing-masing berderajat 2. Jadi Urutannya adalah : **E,C,B,D,F,A,H,G**
2. Ambil warna pertama, misalnya Merah. Beri warna Merah simpul E (karena E adalah simpul urutan pertama).Kemudian cari simpul yang **tidak berdampingan** dengan simpul E, beri warna yang sama (merah).
3. Diberikan warna yang sama pada simpul A dan G dengan warna simpul E yaitu merah karena Simpul A dan G tidak berdampingan dengan simpul E. sehingga diperoleh urutan simpul yang belum diberi warna adalah C, B, D, F, dan H.
4. Ambil warna kedua, misalnya Biru, warnai simpul C ( karena simpul C sekarang ada di urutan pertama). Kemudian cari simpul yang **tidak berdampingan** dengan simpul C, beri warna yang sama (Biru).
5. Diberikan warna yang sama pada simpul D dan H dengan warna simpul C yaitu biru karena Simpul D dan H tidak berdampingan dengan simpul C. Sehingga diperoleh urutan simpul yang belum diberi warna adalah B dan F.
6. Mengambil warna ketiga, misalnya warna hijau. Lalu warna tersebut ditambahkan pada simpul B dan F (simpul B dan F tidak bertetangga). Dan hasil pewarnaan graf tersebut adalah:



Gambar 2: Graf yang telah diwarnai simpulnya dengan algoritma *Welch-Powell*

## 4.2. Algoritma Recursive Largest First

Algoritma *Recursive Largest First* hampir mirip prinsipnya dengan algoritma *Welch-Powell*. Langkah kerja dari algoritma *Recursive Largest First* adalah sebagai berikut.

1. Buat daftar semua simpul yang belum diwarnai dengan derajat tetangga (jumlah simpul tetangga yang belum diwarnai) terurut secara *descending*.
2. Ambil simpul yang memiliki derajat tetangga tertinggi dan warnai dengan sebuah warna.
3. Buang simpul yang telah diwarnai pada langkah sebelumnya dan semua simpul yang bertetangga tersebut dari daftar simpul.
4. Warnai semua simpul yang tersisa dengan warna yang sama pada simpul tadi. Lalu ulangi langkah-langkah diatas hingga semua simpul pada graf telah terwarnai semua.

## 4.3. Algoritma Backtracking

Algoritma *Backtracking* merupakan bentuk algoritma yang banyak dan sering digunakan dalam memecahkan permasalahan yang bersifat kombinasi. Algoritma ini dikenal juga dengan nama algoritma runut-balik. Cara kerja dari algoritma *backtracking* adalah mencoba satu demi satu kemungkinan cara yang bisa dilakukan untuk memperoleh hasil yang terbaik. memiliki keunggulan dalam kemampuannya untuk memperoleh hasil kombinasi yang terbaik karena mencoba semua kemungkinan yang ada. Di sisi lain algoritma ini tidak efisien sebab proses pencarian membutuhkan waktu yang lama karena pengujian dilakukan satu demi satu untuk semua kemungkinan.

Dalam langkah pewarnaan menggunakan algoritma ini, graf yang ada diumpamakan sebagai graf dengan bentuk pohon (pohon merupakan salah satu bentuk graf). Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut [3].

1. Solusi dicari dengan membentuk lintasan dari akar ke daun. Aturan pembentukan yang dipakai adalah mengikuti aturan pencarian mendalam (DFS). Simpul-simpul yang sudah dilahirkan dinamakan **simpul hidup** (*live node*). Simpul hidup yang sedang diperluas dinamakan **simpul-E** (*Expand-node*).
2. Tiap kali simpul-E diperluas, lintasan yang dibangun olehnya bertambah panjang. Jika lintasan yang sedang dibentuk tidak mengarah ke solusi, maka simpul-E tersebut “dibunuh” sehingga menjadi **simpul mati** (*dead node*). Fungsi yang digunakan untuk membunuh simpul-E adalah dengan menerapkan **fungsi pembatas** (*bounding function*). Simpul yang sudah mati tidak akan pernah diperluas lagi.
3. Jika pembentukan lintasan berakhir dengan simpul mati, maka proses pencarian diteruskan dengan membangkitkan simpul anak yang lainnya. Bila tidak ada lagi simpul anak yang dapat dibangkitkan, maka pencarian solusi dilanjutkan dengan melakukan runut-balik ke

simpul hidup terdekat (simpul orangtua). Selanjutnya simpul ini menjadi simpul-E yang baru.

4. Pencarian dihentikan bila kita telah menemukan solusi atau tidak ada lagi simpul hidup untuk runut-balik.

### 5. PENYUSUNAN JADWAL DENGAN METODE PEWARNAAN GRAF

Salah satu aplikasi penerapan pewarnaan graf dalam kehidupan sehari-hari adalah dalam penyusunan sebuah jadwal. Sebuah jadwal yang ada mula-mula dipetakan menjadi bentuk graf terlebih dahulu. Proses pewarnaan graf ini nantinya akan dilakukan pada graf yang terbentuk. Pemetaan dilakukan dengan mengasumsikan bahwa setiap jadwal adalah sebuah *vertex* (simpul) dan urutan jadwal atau dua jadwal yang tidak bisa diadakan bersamaan dipetakan dengan membuat *edge*(sisi) antara dua titik tersebut. Untuk kapasitas ruang yang ada akan dimodelkan dengan batasan jumlah warna sama yang bisa digunakan untuk mewarnai simpul.

Setelah proses pewarnaan graf telah selesai, setiap simpul pada graf hasil pewarnaan tersebut akan memiliki warna sama yang berbeda-beda. Dari warna-warna tersebut akan diketahui bahwa simpul dengan warna yang sama bisa dijadwalkan bersamaan sedangkan untuk simpul dengan warna yang berlainan harus dijadwalkan berbeda. Jumlah warna yang digunakan menunjukkan banyaknya jadwal yang harus disusun dalam melakukan penyusunan jadwal.

Karena penulis adalah seorang mahasiswa, disini penulis akan mengambil contoh bagaimana menyusun jadwal kuliah dengan metode pewarnaan graf ini.

Misalkan terdapat himpunan delapan orang mahasiswa,

$$M = \{1, 2, 3, 4, \dots, 8\}$$

Dan lima buah mata kuliah yang dapat dipilih oleh kedelapan mahasiswa tersebut,

$$MK = \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

Tabel berikut memperlihatkan matriks lima mata kuliah dan delapan orang mahasiswa.

Mahasiswa ke-	A	B	C	D	E
1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	1	0
3	0	0	1	1	0
4	1	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0
6	0	0	1	1	0
7	1	0	1	0	0
8	0	0	1	1	0

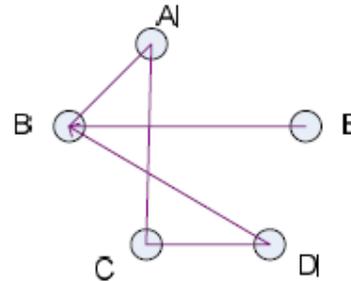
Tabel 1. Tabel Mata Kuliah yang Diambil Oleh Delapan Orang Mahasiswa

Pada tabel tersebut terlihat matriks lima mata kuliah dan delapan orang mahasiswa. Angka 1 pada elemen (i,

j) menandakan bahwa mahasiswa I memilih mata kuliah j, sedangkan angka 0 menyatakan bahwa mahasiswa tersebut tidak memilih mata kuliah j.

Berdasarkan tabel tersebut, akan ditentukan sebuah jadwal ujian sedemikian sehingga semua mahasiswa dapat mengikuti semua ujian mata kuliah tersebut. Oleh karena itu tidak boleh terdapat jadwal ujian mata kuliah yang bertabrakan dengan jadwal ujian mata kuliah lainnya yang juga diambil oleh mahasiswa tersebut. Ujian dua buah mata kuliah dapat dijadwalkan pada waktu yang sama jika tidak ada mahasiswa yang sama yang mengikuti ujian dua mata kuliah tersebut.

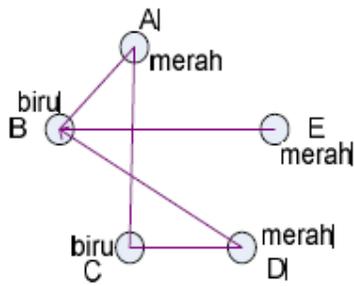
Penyelesaian untuk masalah ini sama dengan persoalan menentukan bilangan kromatik untuk sebuah graf. Pertama-tama, persoalan tersebut dipetakan ke dalam sebuah graf, diman setiap simpul dalam graf tersebut menyatakan mata kuliah. Dan sisi yang menghubungkan dua simpul menyatakan ada mahasiswa yang memilih kedua mata kuliah tersebut.



Gambar 3: Graf Mata Kuliah Delapan Orang Mahasiswa

Dapat dilihat pada graf tersebut bahwa apabila terdapat dua buah simpul yang dihubung oleh kedua sisi, maka ujian kedua mata kuliah tersebut tidak dapat diadakan secara bersamaan. Simpul (mata kuliah) tidak boleh mendapat alokasi waktu (warna simpul) yang sama. Warna-warna yang berbeda dapat diberikan kepada simpul-simpul graf tersebut. Jadwal yang efisien adalah jadwal yang memungkinkan waktu sedikit mungkin untuk melaksanakan semua kegiatan tersebut. Oleh karena itu, disini yang akan dicari adalah bilangan kromatik graf tersebut,  $\chi(G)$ .

Dalam mengerjakan pewarnaan graf ini, dapat menggunakan langkah-langkah pewarnaan graf secara umum ataupun algoritma yang telah dipaparkan pada bab IV di atas. Semua cara tergantung kepada individu yang akan menyusun sebuah jadwal itu sendiri. Pada graf persoalan diatas, ditemukan bahwa bilangan kromatik graf tersebut adalah dua. Oleh karena itu simpul pada graf tersebut dapat diwarnai oleh dua macam warna yang menandakan bahwa ujian-ujian kelima mata kuliah tersebut dapat dilaksanakan hanya pada dua waktu saja. Berikut merupakan gambar graf persoalan ini yang telah diberi warna.



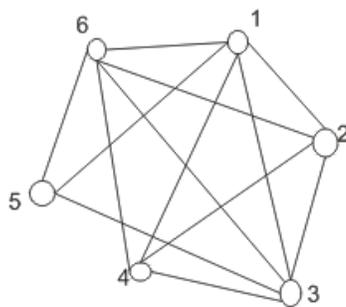
Gambar 4: Graf yang Telah Diberi Warna Tiap Simpulnya

Pada gambar diatas, terlihat bahwa ujian untuk mata kuliah A, D, dan E dapat dilaksanakan pada waktu yang bersamaan, begitu pula dengan mata kuliah B dan C. Perbedaan warna simpul menunjukkan bahwa ujian mata kuliah tersebut dilaksanakan pada waktu yang berbeda.

Contoh lainnya adalah dalam menyusun sebuah jadwal rapat. Misalkan terdapat tugas kelompok. Dalam satu kelas terdapat enam buah kelompok mahasiswa. Satu mahasiswa dapat bergabung ke dalam kelompok lainnya juga. Berikut merupakan daftar nama tiap-tiap kelompok.

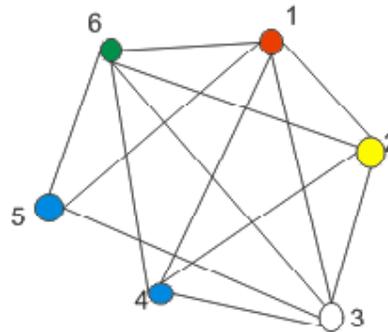
- K1= {Amir, Budi, Yanti}
- K2= {Budi, Hasan, Tommy}
- K3= {Amir, Tommy, Yanti}
- K4= {Hasan, Tommy, Yanti}
- K5= {Amir, Budi}
- K6= {Budi, Tommy, Yanti}

Disini persoalan yang akan dipecahkan adalah bagaimana menyusun jadwal asistensi untuk tiap kelompok agar tidak saling bertabrakan. Hal yang pertama dilakukan adalah memetakan persoalan tersebut ke dalam graf seperti yang diperlihatkan pada graf berikut.



Gambar 5: Graf Persoalan Jadwal Asistensi

Pada graf tersebut, tiap simpul menandakan tiap kelompok dan sisi menandakan kelompok yang memiliki anggota kelompoknya yang sama. Dengan menggunakan metode pewarnaan graf, diperoleh bilangan kromatik graf tersebut adalah 5. Oleh karena itu, gambar graf yang telah diwarnai tiap simpulnya adalah sebagai berikut.



Gambar 6: Graf Persoalan Jadwal Asistensi yang Telah Diberi Warna Tiap Simpulnya

Dari gambar diatas dapat terlihat bahwa untuk menyelesaikan masalah jadwal asistensi, jadwal asistensi dapat dilakukan pada lima waktu yang berbeda.

Dari contoh-contoh yang telah dijabarkan diatas. Telah dijabarkan beberapa contoh penyelesaian permasalahan penyusunan jadwal dengan metode pewarnaan graf. Untuk graf dengan jumlah simpul yang sedikit, dapat ditentukan bilangan kromatik suatu graf dengan mudah. Namun untuk graf dengan jumlah simpul yang banyak, disini diperlukan sebuah *software* komputer. Dalam pembuatan *software* tersebut dapat menerapkan algoritma-algoritma yang telah dijabarkan pada bab 4 diatas.

## 6. KESIMPULAN

1. Salah satu solusi untuk masalah penyusunan jadwal adalah dengan metode pewarnaan graf.
2. Langkah awal penyelesaian adalah dengan memetakan suatu jadwal ke dalam graf lalu menentukan bilangan kromatik graf tersebut.
3. Terdapat beberapa algoritma yang dapat digunakan untuk metode pewarnaan graf ini.
4. Untuk graf dengan jumlah simpul yang sedikit, dapat ditentukan bilangan kromatik suatu graf dengan mudah. Namun untuk graf dengan jumlah simpul yang banyak, disini diperlukan sebuah *software* komputer.

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Rinaldi Munir dan Ibu Harlili selaku dosen mata kuliah IF2031 Struktur Diskrit yang telah membimbing penulis selama satu semester ini. Tak lupa, kepada teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu-persatu namun telah banyak membantu penulis dalam penulisan makalah ini.

## DAFTAR REFERENSI

- [1] Rinaldi Munir, *Diktat Kuliah IF2031: Struktur Diskrit*, 2008, Departemen Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung.
- [2] Wikipedia, "Graph Coloring",

[http://en.wikipedia.org/wiki/Graph\\_coloring](http://en.wikipedia.org/wiki/Graph_coloring)

Tanggal akses: 30 Desember 2008 pukul 13.10 WIB.

[3] Trisya Indah P, "Algoritma Backtracking dan Penggunaannya", 2003, STT Telkom.

[4] Delphindo, "Graph Coloring Untuk Penjadwalan Kuliah"

<http://www.opensubscriber.com/message/delphindo@yahoogroups.com/9834217.html>

Tanggal akses: 30 Desember 2008 pukul 13.20 WIB

[5] Musykir, "Teori Graf"

<http://musykir.wordpress.com/2007/10/tori-graf3.html>

Tanggal akses: 30 Desember 2008 pukul 14.00 WIB.