

Aplikasi Pewarnaan Graph pada Pembuatan Jadwal

Janice Laksana / 13510035
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
13510035@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Teorema graf yang dimulai pada abad 19 merupakan pokok bahasan yang usianya sudah tua. Graf digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Objek pada graf biasanya direpresentasikan sebagai noktah, bulatan, atau titik, sedangkan hubungan antarobjek dinyatakan dengan menggunakan garis. Aplikasi graf sangat luas. Teori graf dapat dipakai di berbagai disiplin ilmu maupun kehidupan sehari-hari. Aplikasi dari graf yang akan dibahas adalah pewarnaan graf. Pewarnaan graf memiliki aplikasi yang cukup luas. Salah satunya adalah untuk menyusun jadwal kuliah sehingga jadwal kuliah yang diambil tidak bertabrakan dengan jadwal mata kuliah yang lain.

Kata Kunci—aplikasi graf, pewarnaan graf, penjadwalan mata kuliah.

I. PENDAHULUAN

Teorema graf merupakan pokok bahasan yang usianya sudah tua, teorema ini dimulai pada abad ke-19. Masalah pertama kali yang menggunakan teori ini adalah jembatan Königsberg (tahun 1736). Yang pertama kali berhasil menemukan teori ini dengan pembuktian yang sederhana adalah seorang matematikawan Swiss, L.Euler. Ia memodelkan masalah ini dengan merepresentasikan daratan sebagai noktah (simpul) dan jembatan sebagai garis (sisi).

Graf memiliki aplikasi yang sangat luas. Salah satunya adalah pewarnaan graf (*graph colouring*). Banyak dari persoalan kehidupan sehari-hari yang memiliki karakteristik seperti mewarnai graf. Contohnya adalah persoalan mewarnai peta sehingga tidak ada wilayah bertetangga yang mempunyai warna yang sama dan persoalan menentukan jadwal ujian mata kuliah sehingga tidak ada jadwal ujian yang bertabrakan.

Pada makalah ini akan dibahas mengenai bagaimana menentukan jadwal ujian mata kuliah dengan menggunakan pewarnaan graf sehingga jadwal ujian mata kuliah yang mahasiswa ambil tidak bertabrakan waktunya.

II. TEORI

2.1 Definisi Graf

Secara matematis, graf didefinisikan sebagai pasangan himpunan (V, E) yang dalam hal ini :

V = himpunan tidak-kosong dari simpul-simpul

(vertices atau node) = $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$

E = himpunan sisi (*edges* atau *arcs*) yang menghubungkan sepasang simpul = $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$

Graf yang memiliki hanya satu buah simpul tanpa sebuah sisi pun dinamakan graf trivial.^[1]

2.2 Terminologi Dasar Graf

Di bawah ini akan didefinisikan beberapa terminologi (istilah) yang akan digunakan pada pewarnaan graf.

2.2.1 Graf tak-berarah (*undirected graph*)

Graf yang sisinya tidak mempunyai orientasi arah disebut graf tak-berarah. Pada graf tak-berarah, urutan pasang simpul yang dihubungkan oleh sisi tidak diperhatikan. Jadi $(v_j, v_k) = (v_k, v_j)$ adalah sisi yang sama.

2.2.2 Bertetangga (*Adjacent*)

Dua buah simpul pada graf tak berarah G dikatakan bertetangga bila keduanya terhubung langsung dengan sebuah sisi. Dengan kata lain, v_j bertetangga dengan v_k jika (v_j, v_k) adalah sebuah sisi pada graf G .

2.2.3 Bersisian (*Incident*)

Untuk sembarang sisi $e = (v_j, v_k)$ sisi e dikatakan bersisian dengan simpul v_j dan simpul v_k .

2.2.4 Graf Kosong (*Null Graph* atau *Empty Graph*)

Graf yang himpunan sisinya merupakan himpunan kosong disebut sebagai graf kosong dan ditulis sebagai N_n , yang dalam hal ini adalah jumlah simpul.

2.2.5 Derajat (*Degree*)

Derajat suatu simpul pada suatu graf tak-berarah adalah jumlah sisi yang bersisian dengan simpul tersebut.

Notasi : $d(v)$ menyatakan derajat simpul v .

2.2.6 Graf Planar (*Planar Graph*) dan Graf Bidang (*Plane Graph*)

Graf yang dapat digambarkan pada bidang datar dengan sisi-sisi yang tidak saling memotong (bersilangan) disebut sebagai graf planar, jika tidak, maka ia disebut graf tak-planar.

Graf planar yang digambarkan dengan sisi-sisi yang tidak saling berpotongan disebut graf bidang (*plane graph*).

Rumus Euler

Jumlah wilayah (f) pada graf planar sederhana

juga dapat dihitung dengan rumus Euler sebagai berikut :

$$n - e + f = 2$$

atau

$$f = e - n + 2$$

yang dalam hal ini,

e = jumlah sisi

n = jumlah simpul

2.2.7 Graf Lengkap (*Complete Graph*)

Graf lengkap adalah graf sederhana yang setiap simpulnya memiliki sisi ke semua simpul lainnya. Graf lengkap dengan n buah simpul dilambangkan dengan K_n . Setiap simpul K_n , berderajat $n-1$.

Jumlah sisi pada graf lengkap yang terdiri dari n buah simpul adalah $n(n-1)/2$.

2.2.8 Graf Bipartit (*Bipartite Graph*)

Graf G yang himpunan simpulnya dapat dipisah menjadi dua himpunan bagian V_1 dan V_2 , sedemikian sehingga setiap sisi pada G menghubungkan semua simpul di V_1 ke sebuah simpul di V_2 disebut sebagai graf bipartit dan dinyatakan sebagai $G(V_1, V_2)$. Dengan kata lain, setiap pasang simpul di V_1 , demikian juga dengan simpul-simpul di V_2 tidak bertetangga/ Apabila setiap simpul di V_1 bertetangga dengan semua simpul di V_2 maka graf disebut sebagai graf bipartit lengkap dan dilambangkan dengan $K_{m,n}$. Jumlah sisi pada graf bipartite lengkap adalah mn .

2.3 Pewarnaan Graf (*Graph Colouring*)

Pewarnaan graf dibagi menjadi tiga macam, yaitu pewarnaan simpul, pewarnaan sisi, dan pewarnaan wilayah (*region*). Yang akan dibahas di sini hanyalah pewarnaan simpul. Pada pewarnaan simpul, simpul-simpul graf diberi warna sedemikian rupa sehingga tidak ada dua simpul bertetangga memiliki warna yang sama.

Dalam persoalan pewarnaan graf, masalah yang ada tidak hanya sekedar mewarnai simpul-simpul dengan warna berbeda dari warna simpul tetangganya saja, namun jumlah macam warna yang digunakan juga harus sesedikit mungkin. Jumlah warna minimum yang dapat digunakan untuk mewarnai simpul disebut bilangan kromatik graf G .

Beberapa graf tertentu dapat langsung ditentukan bilangan kromatiknya. Untuk graf kosong, bilangan kromatiknya adalah satu karena semua simpul tidak terhubung, jadi untuk mewarnai semua simpul cukup dibutuhkan satu warna saja. Graf bipartit mempunyai bilangan kromatik dua, satu untuk simpul-simpul di himpunan V_1 dan satu lagi untuk simpul-simpul di himpunan V_2 .

Persoalan menentukan bilangan kromatik graf planar yang direpresentasikan sebagai graf bidang sudah banyak diteliti.

2.4 Algoritma Pewarnaan Graf

2.4.1 Algoritma Welch-Powell

Algoritma ini dapat digunakan untuk mewarnai sebuah graf secara efisien. Akan tetapi algoritma ini tidak selalu memberikan jumlah minimum warna yang diperlukan untuk mewarnai. Walaupun demikian, algoritma ini praktis untuk digunakan dalam mewarnai simpul graf.^[2]

Algoritma Welch-Powell ini dinyatakan sebagai berikut :

1. Urutkan simpul-simpul dalam graf G dalam derajat yang menurun.
2. Gunakan satu warna untuk mewarnai simpul pertama (yang mempunyai derajat paling tinggi) dan simpul-simpul lain (sesuai dengan urutannya) yang tidak bertetangga dengan simpul yang pertama ini.
3. Mulailah lagi dengan simpul yang memiliki derajat tertinggi berikutnya dalam daftar terurut yang masih belum diwarnai. Ulangi proses ini dengan menggunakan warna kedua.
4. Ulangi penambahan warna-warna sampai semua simpul telah diwarnai.

2.4.2 Algoritma Recursive Largest First

Langkah kerja dari algoritma Recursive Largest First secara singkat :

1. Buat daftar semua simpul yang belum diwarnai dengan derajat tetangga (jumlah node 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 (2) dan semua simpul yang bertetangga dengan simpul tersebut dari daftar simpul.
4. Warnai semua simpul yang tersisa pada daftar simpul dengan warna yang sama dengan warna simpul tadi.
5. Ulangi langkah-langkah diatas hingga semua node pada graph terwarnai.^[3]

2.4.3 Algoritma Runut-Balik

Input :

1. Matriks ketetanggaan graf $[1..n, 1..n]$
 $\text{graf}[i,j] = \text{true}$ jika ada sisi (i,j)
 $\text{graf}[i,j] = \text{false}$ jika ada sisi (i,j)
2. Warna
Dinyatakan dengan integer $1,2,\dots,m$

Output :

1. Tabel $X[i..n]$ yang dalam hal ini, $X[i]$ adalah warna untuk simpul i .
2. Panggil prosedur $\text{PewarnaanGraf}^{[4]}$

procedure PewarnaanGraf (input k : integer)
 { Mencari semua solusi pewarnaan graf; rekursif
 Masukan : k adalah nomor simpul graf.
 Keluaran : jika solusi ditemukan, solusi dicetak ke piranti keluaran }

Deklarasi

stop : boolean

Algoritma :

```

stop ← false
while not stop do
  { tentukan semua nilai untuk x[k] }
  WarnaBerikutnya(k)
  if x[k] = 0 then
    stop ← true
  else
    if k = n then
      CetakSolusi(x,n)
    else
      PewarnaanGraf (k+1)
    endif
  endif
endwhile

```

procedure WarnaBerikutnya (input k : integer)

{ Menentukan warna untuk simpul k

Masukan : k

Keluaran : nilai untuk x[k]

K.Awal : x[1], x[2], ..., x[k-1] telah diisi dengan warna dalam himpunan {1, 2, ..., m} sehingga setiap simpul bertetangga mempunyai warna yang berbeda- beda.

K.Akhir : x[k] berisi dengan warna berikutnya apa bila berbeda dengan warna simpul-simpul tetangganya. Jika tidak ada warna yang dapat digunakan, x[k] diisi dengan nol }

Deklarasi

stop, keluar : boolean

j : integer

Algoritma

```

stop ← false
while not stop do
  x[k] ← (x[k]+1) mod (m+1)
  if x[k]=0 then
    stop ← true
  else
    j ← 1
    keluar ← false
    while (j ≤ n) and (not keluar) do
      if (graf[k,j]) and (x[k] = x[j]) then
        keluar ← true
      else
        j ← j+1
      endif
    endwhile
  endif
endwhile

```

else

j ← 1

keluar ← false

while (j ≤ n) and (not keluar) do

if (graf[k,j]) and (x[k] = x[j]) then

keluar ← true

else

j ← j+1

endif

endwhile

if j = n+1 then

stop ← true

endif

endif

endwhile

III. PENERAPAN METODE PEWARNAAN GRAF UNTUK PENYUSUNAN JADWAL

Salah satu aplikasi penerapan dari metode graf dalam pewarnaan graf ini dalam kehidupan sehari-hari adalah dalam penyusunan jadwal.

Pertama-tama yang harus kita lakukan untuk mengaplikasikan metode pewarnaan graf dalam membuat jadwal ini adalah dengan menggambarkan graf yang menyatakan penjadwalan. Simpul-simpul yang ada pada graf menyatakan jadwal yang ada sedangkan garis (sisi) menyatakan jadwal yang tidak bisa berlangsung secara bersamaan. Jadi apabila terdapat dua buah simpul dihubungkan oleh sisi, maka kedua jadwal tersebut tidak dapat dibuat pada waktu yang sama. Untuk batas ruang yang digunakan dapat direpresentasikan dengan batas jumlah warna sama yang digunakan.

Dari proses metode pewarnaan graf tersebut, kita bisa mengindikasikan bagaimana membuat jadwal yang tepat sehingga jadwal yang memang tidak bisa dibuat pada waktu yang sama tidak konflik. Kita bisa melihat dari graf kita, dari warna simpul, kita bisa mengetahui apabila simpul yang berwarna sama, menunjukkan apabila simpul-simpul tersebut dapat dibuat pada waktu yang sama. Namun apabila warna yang digunakan berbeda, maka jadwal tersebut tidak dapat dibuat pada waktu yang sama. Jumlah warna yang digunakan menunjukkan banyaknya jadwal yang harus dibuat dalam penyusunan jadwal.

Salah satu contoh penggunaan warna graf untuk penyusunan jadwal adalah ketika menyusun jadwal ujian. Misalnya terdapat 8 orang mahasiswa (1, 2, ..., 8) dan lima buah mata kuliah yang dapat dipilih (A, B, C, D, E). Hubungan antara masing-masing mahasiswa dengan mata kuliah yang diambil dapat direpresentasikan dengan table sebagai berikut :

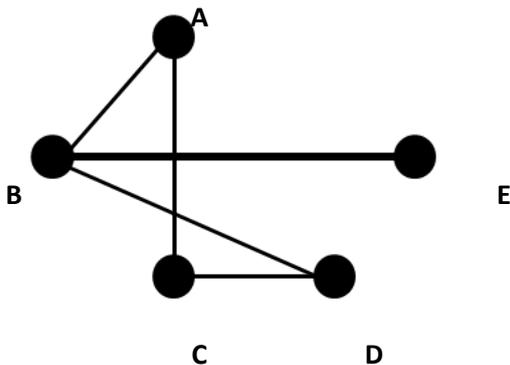
	A	B	C	D	E
1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	1	0
3	0	0	1	1	0
4	1	1	0	0	0

5	0	1	0	1	0
6	0	0	1	1	0
7	1	0	1	0	0
8	0	0	1	1	0

Berdasarkan tabel di atas, kita cari bagaimana caranya untuk mengatur penjadwalan ujian mata kuliah tersebut sehingga semua mahasiswa dapat mengikuti ujian mata kuliah yang mereka ambil tanpa ada konflik atau tanpa ada yang bertabrakan waktunya. Jadi apabila ada mahasiswa yang mengambil dua buah mata kuliah atau lebih, jadwal dari mata kuliah yang dia ambil tersebut harus pada waktu yang tidak bersamaan. Namun jadwal dari ujian mata kuliah bisa dijadwalkan pada waktu yang sama jika tidak ada mahasiswa yang sama yang mengikuti ujian dua mata kuliah itu.

Persoalan penjadwalan mata kuliah ini penting mengingat kita masih menjadi mahasiswa. Oleh karena itu cara membuat jadwal ujian mata kuliah ini sebaiknya benar-benar dipahami dan diterapkan dalam kehidupan sehari-hari.

Seperti yang telah dikatakan di awal, langkah pertama yang kita lakukan adalah menggambarkan graf yang menyatakan penjadwalan ujian. Simpul-simpul pada graf akan merepresentasikan mata kuliah, sedangkan sisi-sisi yang menghubungkan simpul merepresentasikan adanya mahasiswa yang memilih mata kuliah tersebut. Gambar graf tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

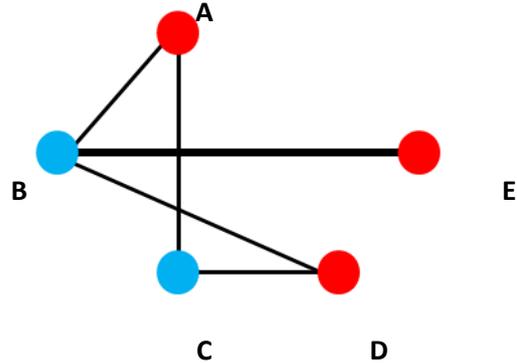


Gambar 1. Graf persoalan penjadwalan ujian 5 mata kuliah untuk 8 orang mahasiswa

Dari graf yang telah dibuat, kita harus memberi warna pada simpul-simpul graf tersebut yaitu simpul A, B, C, D, dan E namun tidak ada dua simpul yang bertetangga yang warnanya sama. Selain itu juga kita harus mewarnai sedemikian rupa sehingga kita jumlah warna yang kita gunakan untuk mewarnai simpul minimum (bilangan kromatik).

Bilangan kromatik graf pada gambar 1 adalah 2. Sehingga, warna yang dapat diberikan pada simpul dapat dilihat dari Gambar 2. Dan dari graf Gambar 2 itu dapat kita amati, untuk mata kuliah A, D, dan E, ujian mata kuliah tersebut dapat diadakan pada waktu yang bersamaan dan untuk mata kuliah B dan C juga dapat

diadakan pada waktu yang sama. Namun untuk mata kuliah A dan B tidak dapat diadakan pada waktu yang sama, demikian pula A dan C, E dan B, dst.

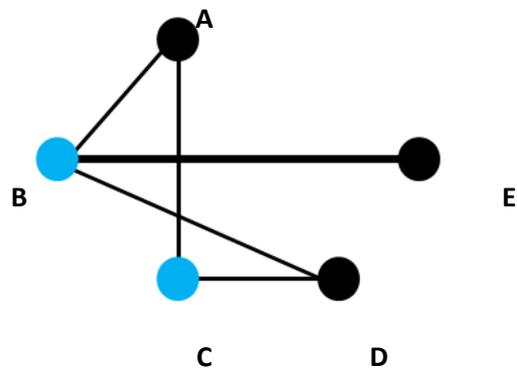


Gambar 2. Graf persoalan penjadwalan ujian 5 mata kuliah untuk 8 orang mahasiswa yang telah diwarnai

Salah satu cara lain untuk mencari bagaimana kita menyusun jadwal ujian mata kuliah adalah dengan menggunakan Algoritma Welch-Powell.

	A	B	C	D	E
DERAJAT	2	3	2	2	1
SIMPUL TETANGGA	B, C	A, D, E	A, D	B, C	B
URUTAN	2	1	3	4	5

1. Urutkan simpul-simpul dalam graf G dalam derajat yang menurun. Urutan simpul-simpul dalam derajat yang menurun adalah B, A, C, D, E.
2. Gunakan satu warna untuk mewarnai simpul pertama (yang mempunyai derajat paling tinggi) dan simpul-simpul lain (sesuai dengan urutannya) yang tidak bertetangga dengan simpul yang pertama ini. Kita warnai B dengan warna biru dan juga simpul C (gambar 3)



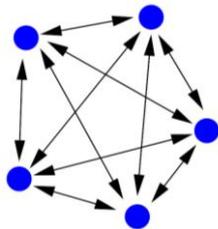
Gambar 3. Graf persoalan penjadwalan ujian 5 mata kuliah untuk 8 orang mahasiswa dengan simpul B dan C telah diwarnai.

3. Mulailah lagi dengan simpul yang memiliki derajat tertinggi berikutnya dalam daftar terurut yang masih belum diwarnai. Ulangi proses ini dengan

menggunakan warna kedua. Kita warnai simpul A dengan warna merah, demikian juga simpul E dan D. Sehingga akan diperoleh Gambar yang sama dengan Gambar 1.

Aplikasi penerapan lain dari metode graf dalam pewarnaan graf ini dalam kehidupan sehari-hari adalah dalam membuat penjadwalan transmisi. Untuk membuat jadwal transmisi ini, target yang dituju adalah node harus dapat memutuskan kapan untuk mengakses saluran, mengtransmit dan ada dua hal yang harus dihindari, yaitu mengenai tabrakan paket dan juga bandwidth tidak boleh tidak dimanfaatkan secara maksimal. [5]

Salah satu cara untuk menentukan jadwal transmisi ini adalah menggunakan TDMA (*Time Division Multiple Access*) dimana terdapat slot sebanyak jumlah node, hanya satu node yang mengirimkan per slot, bekerja dengan baik untuk jaringan seperti berikut ini :



Gambar 4. Jaringan di mana algoritma TDMA bekerja dengan baik

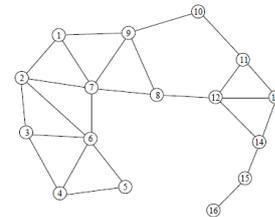
Namun tidak memaksimalkan bandwidth dalam topologi di mana dimungkinkan berjalannya beberapa transmisi. Kekurangan dari algoritma ini adalah algoritma ini bekerja secara lambat, pembagian yang kurang adil : beberapa node menggunakan slot yang lebih dibanding node lain, lalu lintas yang dibutuhkan oleh node tidak diperhitungkan, topologi harus konstan.

Ada pendekatan lain yang dapat digunakan untuk mencari set transmisi maksimal. Algoritma ini mempunyai prinsip yaitu tidak ada transmisi yang akan bertabrakan dalam segmen data, dan set transmisi yang dihasilkan adalah maksimal; tidak ada transmisi yang dapat ditambahkan tanpa mengakibatkan tabrakan. Kekurangan dari algoritma ini tidak memperhitungkan apabila jumlah node bertambah, maka kinerjanya akan memburuk.

Algoritma selanjutnya adalah Protokol Lima Tahap. Ide dasarnya adalah “*non-deterministic contentions*”. Akan tetapi waktu yang dibutuhkan sedikit lebih panjang, waktu senggang antar paket dibutuhkan, sebagai perhitungan untuk waktu yang tidak tepat dan waktu propagasi sinyal, Untuk meminimalkan waktu senggang tersebut, dibutuhkan jam yang sangat akurat. Salah satu solusinya adalah dengan menggunakan GPS, tanpa GPS, sinkronisasi jam sangat sulit untuk

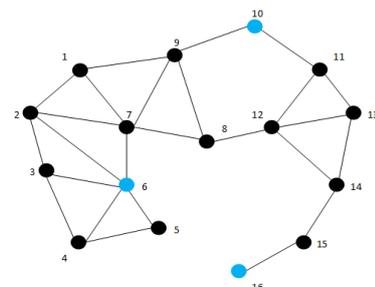
distribusikan dalam mengontrol masalah.

Lalu algoritma selanjutnya adalah dengan pendekatan pewarnaan graf. Masalah yang ada adalah bagaimana menentukan warna sehingga tidak ada dua node yang bertetangga yang memiliki warna yang sama dan berapa jumlah minimum warna yang dibutuhkan. Algoritma tersebut ternyata berjalan dengan baik dan inilah prosesnya

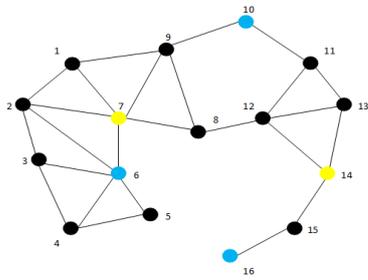


Gambar 5a. Graf awal (belum memiliki warna) Kita coba dekati dengan algoritma Welch-Powell. Langkah awal, kita akan membuat tabel yang memuat node tetangga dari masing-masing node, derajat, dan urutan simpulnya.

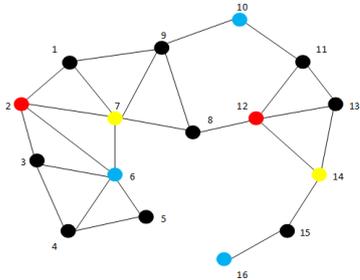
	1	2	3	4
DERAJAT	3	4	3	3
SIMPUL TETANGGA	2, 7, 9	1, 3, 6, 7	2, 4, 6	3, 5, 6
URUTAN	5	3	6	7
	5	6	7	8
DERAJAT	2	5	5	3
SIMPUL TETANGGA	4, 6	2, 3, 4, 5, 7	1, 2, 6, 8, 9	7, 9, 12
URUTAN	13	1	2	8
	9	10	11	12
DERAJAT	4	2	3	3
SIMPUL TETANGGA	1, 7, 8, 10	9, 11	10, 12, 13	8, 11, 13
URUTAN	4	14	9	10
	13	14	15	16
DERAJAT	3	3	2	1
SIMPUL TETANGGA	11, 12, 14	12, 13, 15	14, 16	15
URUTAN	11	12	15	16



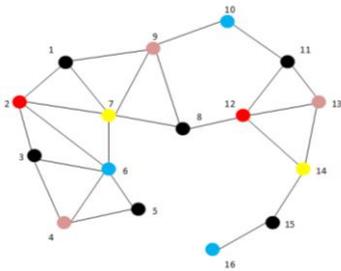
Gambar 5b. Node 6 diwarnai, begitu juga dengan node 10 dan 16



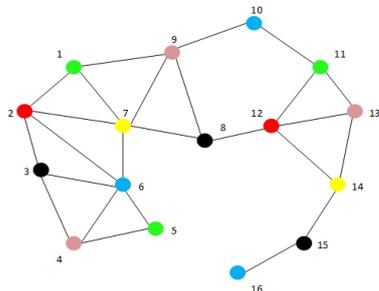
Gambar 5c. Node 7 diwarnai, begitu juga dengan node 14



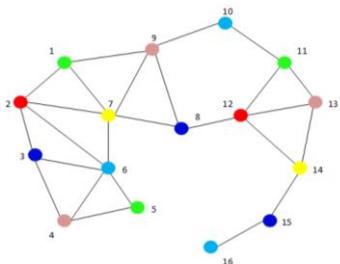
Gambar 5d. Node 2 diwarnai, begitu juga dengan node 12



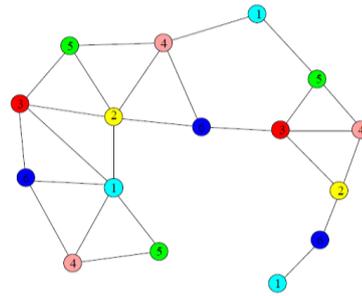
Gambar 5e. Node 9 diwarnai, begitu juga dengan node 4 dan 13



Gambar 5f. Node 1 diwarnai, begitu juga dengan node 5 dan 11



Gambar 5g. Node 3 diwarnai, begitu juga dengan node 8 dan 15



Gambar 5h. Graf yang node nya sudah semua diberi warna dengan nomer urutan diberi warnanya.

IV. KESIMPULAN

Teori graf, walaupun merupakan teori yang sudah lama, namun teori ini dapat kita terapkan dalam banyak aplikasi, bahkan aplikasi yang sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari kita yaitu dalam pembuatan jadwal dengan metode pewarnaan graf. Jadwal yang dibuat pun jadwal yang sudah terdengar akrab di telinga kita yaitu jadwal ujian mata kuliah. Bahkan teori yang tidak begitu sulit ini pun bisa digunakan untuk menyelesaikan penjadwalan transmisi yang terlihat sulit menjadi mudah untuk dikerjakan. Dalam menggunakan metode pewarnaan graf ini banyak pendekatan algoritma yang dapat kita gunakan. Dari pendekatan algoritma secara manual sampai pendekatan algoritma yang menggunakan program komputer. Untuk menentukan pewarnaan simpul graf, kita tidak hanya terpaku pada tujuan untuk member warna simpul sedemikian rupa sehingga simpul yang bertetangga tidak memiliki kesamaan warna, namun kita pun harus berusaha mencari jumlah warna minimum yang digunakan atau biasa dikenal dengan bilangan kromatik. Untuk graf dengan simpul yang tidak banyak, kita bisa menggunakan algoritma secara manual, namun ketika graf sudah kompleks dan memiliki banyak simpul, untuk menggunakan algoritma manual akan sulit, sehingga sebaiknya digunakan algoritma dengan program komputer.

Untuk pembuatan jadwal dengan menggunakan pewarnaan graf, di sini saya menggunakan contoh jadwal ujian mata kuliah dan jadwal transmisi. Pada awalnya yang saya lakukan adalah membuat representasi jadwal ke dalam graf, dan setelah itu baru kita tentukan warna simpul serta bilangan kromatiknya.

V. DAFTAR REFERENSI

- [1] M. Rinaldi, "Diktat Kuliah IF 2091 Struktur Diskrit", Program Studi Teknik Informatika, 2008, Bandung, Indonesia.
- [2] <http://kuliah.imm.web.id/>. Tanggal akses : 9 Desember 2010. Pukul 18.10.
- [3] <http://program-tugasakhir.blogspot.com/2008/02/graph.html>. Tanggal akses : 9 Desember 2010. Pukul 18.35.

- [4] http://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=p10%20aplikasi%20graf&source=web&cd=1&ved=0CBkQFjAA&url=http%3A%2F%2Fkuliah.imm.web.id%2Fmatematika4%2FBahan-PPT%2FP10%2520Aplikasi%2520graph.ppt&ei=O6jjTjAGZDirQec7dH3Bw&usg=AFQjCNFPgbUYtFkhqzLF2PzBUHgPuToM_w&cad=rja. Tanggal akses : 9 Desember 2010. Pukul 21.50.
- [5] http://pages.cs.aueb.gr/~toumpis/courses/ad_hoc/transmission_scheduling.pdf. Tanggal akses : 10 Desember 2011. Pukul 16.20.

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, 11 Desember 2011



Janice Laksana
13510035