PRAKTIKUM

STRATEGI ALGORITMA

DAFTAR ISI

HAK CIPTA 1
KATA PENGANTAR 2
DAFTAR PENYUSUN 3
HALAMAN REVISI 4
HALAMAN PERNYATAAN 5
VISI DAN MISI PRODI TEKNIK INFORMATIKA 6
TATA TERTIB LABORATORIUM TEKNIK INFORMATIKA 7
DAFTAR ISI 10
DAFTAR GAMBAR 11
PRAKTIKUM 1: KOMPLEKSITAS ALGORITMA 12
PRAKTIKUM 2: ALGORITMA BRUTE FORCE 16
PRAKTIKUM 3: ALGORITMA GREEDY 20
PRAKTIKUM 4: ALGORITMA DIVIDE & CONQUER 22
PRAKTIKUM 5: ALGORITMA DECREASE & CONQUER 31
PRAKTIKUM 6: ALGORITMA BFS DAN DFS 35
PRAKTIKUM 7: ALGORITMA BACKTRACKING 45
PRAKTIKUM 8: ALGORITMA BRANCH AND BOUND 54
PRAKTIKUM 9: ALGORITMA A* 64
PRAKTIKUM 10: ALGORITMA STRING MATCHING 72
DAFTAR PUSTAKA 79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi perkalian dua matriks 17
Gambar 5.1. Contoh ilustrasi pengurutan decrease and conquer dengan selection sort 32
Gambar 6.1. Contoh graf berarah 35
Gambar 6.2. Algoritma BFS 36
Gambar 6.3 Algoritma DFS 37
Gambar 6.4 Graf berarah untuk soal Pre Test dan Post Test Praktikum 6 37
Gambar 6.5. Contoh isian folder project anda 38
Gambar 6.6. Setting OpenGL pada DevC++ 38
Gambar 6.7. Hasil algoritma BFS pada graf. 42
Gambar 6.8. Hasil algoritma DFS pada graf. 44
Gambar 7.1. Algoritma Bactracking 46
Gambar 7.2 Algoritma Runut-balik Untuk Pewarnaan Graf-1 46
Gambar 7.3. Algoritma Runut-balik Untuk Pewarnaan Graf-2 47
Gambar 7.4 Contoh kasus pewarnaan graf 47
Gambar 7.5 Graf untuk soal Pre Test dan Post Test Praktikum 7 48
Gambar 7.6. Contoh isian folder project 48
Gambar 7.7. Setting OpenGL pada DevC++ 49
Gambar 7.8 Hasil penerapan algoritma Bactracking untuk pewarnaan simpul graf 52
Gambar 8.1 Contoh kasus TSP 55
Gambar 8.2. Solusi algoritma B&B pada kasus TSP 56
Gambar 8.3. Kasus TSP untuk Pre Test dan Post Test Praktikum 8 56
Gambar 8.4. Contoh isian folder project 57
Gambar 8.5. Setting OpenGL pada DevC++ 57
Gambar 8.5. Hasil penerapan algoritma B&B pada kasus TSP 62
Gambar 9.1 Contoh kasus pencarian rute terdekat dari simpul A ke simpul F 64
Gambar 9.2. Graf untuk Pre Test dan Post Test Praktikum 9 65
Gambar 9.3. Contoh isian folder project 66
Gambar 9.4. Setting OpenGL pada DevC++ 66
Gambar 9.5. Hasil penerapan algoritma A* untuk mencari rute terdekat 71
Gambar 10.1 Ilustrasi algoritma KMP 72
Gambar 10.2. Ilustrasi fungsi pinggiran KMP 73
Gambar 10.3. Contoh penerapan algoritma KMP 73
Gambar 10.4. Contoh isian folder project 74
Gambar 10.5. Setting OpenGL pada DevC++ 74
Gambar 10.6. Hasil penerapan algoritma KMP 77

PRAKTIKUM 1: KOMPLEKSITAS ALGORITMA

Pertemuan ke : 1

Total Alokasi Waktu : 90 menit
- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 60 menit
- Post-Test : 15 menit

Total Skor Penilaian : 100%
- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

1.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan:
1. Mampu mengetahui contoh praktis penerapan kasus dengan algoritma yang sesuai.
2. Mampu menerapkan perhitungan kompleksitas pada suatu algoritma.

Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan perhitungan kompleksitas dari suatu algoritma.

1.2. TEORI PENDUKUNG

Apakah Strategi Algoritma itu?

Strategi algoritma (algorithm strategies) adalah:
- pendekatan umum
- untuk memecahkan persoalan secara algoritmis
- yang dapat diterapkan pada bermacam-macam persoalan
- dari berbagai bidang komputasi [Levitin, 2003]

Nama lain: algorithm design technique

Untuk persoalan dengan instansiasi yang besar, solusinya menjadi lebih sulit ditentukan. Perlu sebuah prosedur umum yang berisi langkahlangkah penyelesaian persoalan → **algoritma.** Analisis algoritma dilakukan untuk mengukur performa algoritma dari segi efisiensinya. Sehingga diketahui algoritma yang tepat untuk solusi suatu persoalan.

Algoritma yang bagus adalah algoritma yang efisien. Efisiensi suatu algoritma diukur dari berapa jumlah waktu dan ruang (*space*) memori yang dibutuhkan untuk menjalankannya. Algoritma yang efisien adalah algoritma yang meminimumkan kebutuhan waktu dan ruang. Kebutuhan waktu dan ruang suatu algoritma bergantung pada ukuran masukan (n), yang menyatakan jumlah data yang diproses. Efisiensi algoritma dapat digunakan untuk menilai algoritma yang terabit.

Mengukur waktu yang diperlukan oleh sebuah algoritma dengan cara menghitung banyaknya operasi/instruksi yang dieksekusi. Jika yang diketahui besaran waktu (dalam satuan detik) untuk melaksanakan sebuah operasi tertentu, maka dapat menghitung berapa waktu sesungguhnya untuk melaksanakan algoritma tersebut.

Contoh 1. ***Menghitung rata-rata***

a_1	a_2	a_3	...	a_n

Array/Larik bilangan bulat

1) Operasi pengisian nilai (jumlah=0, k=1, jumlah=jumlah+a_k, k=k+1, dan r =jumlah/n). Jumlah seluruh operasi pengisian nilai adalah $t_1 = 1 + 1 + n + n + 1 = 3 + 2n$
2) Operasi penjumlahan (jumlah+a_k, dan k+1). Jumlah seluruh operasi penjumlahan adalah $t_2 = n + n = 2n$
3) Operasi pembagian (jumlah/n). Jumlah seluruh operasi pembagian adalah $t_3 = 1$

Total kebutuhan waktu algoritma HitungRataRata: $t = t_1 + t_2 + t_3 = (3 + 2n)\, a + 2nb + c$ detik

Model perhitungan kebutuhan waktu seperti di atas kurang dapat diterima:

1. Dalam prakteknya contoh diatas tidak mempunyai informasi berapa waktu sesungguhnya untuk melaksanakan suatu operasi tertentu
2. Komputer dengan arsitektur yang berbeda akan berbeda pula lama waktu untuk setiap jenis operasinya.

Selain bergantung pada komputer, kebutuhan waktu sebuah program juga ditentukan oleh *compiler* bahasa yang digunakan.

Model abstrak pengukuran waktu/ruang harus independen dari pertimbangan mesin dan *compiler*
Besaran yang dipakai untuk menerangkan model abstrak pengukuran waktu/ruang ini adalah **kompleksitas algoritma**.

Ada dua macam kompleksitas algoritma, yaitu **kompleksitas waktu** dan **kompleksitas ruang**.

- **Kompleksitas waktu, *T*(*n*)**, diukur dari jumlah tahapan komputasi yang dibutuhkan untuk menjalankan algoritma sebagai fungsi dari ukuran masukan *n*.
- **Kompleksitas ruang, *S*(*n*)**, diukur dari memori yang digunakan oleh struktur data yang terdapat di dalam algoritma sebagai fungsi dari ukuran masukan *n*.

Dengan menggunakan besaran kompleksitas waktu/ruang algoritma, maka dapat menentukan *laju* peningkatan waktu (ruang) yang diperlukan algoritma dengan meningkatnya ukuran masukan *n*.

<u>Kompleksitas Waktu</u>

Dalam praktek, kompleksitas waktu dihitung berdasarkan jumlah operasi abstrak yang *mendasari* suatu algoritma, dan memisahkan analisisnya dari implementasi.

Contoh 2. Tinjau algoritma menghitung rata-rata pada *Contoh 1*.
Operasi yang mendasar pada algoritma tersebut adalah operasi penjumlahan elemen-elemen a_k (yaitu jumlah=jumlah+a_k),
Kompleksitas waktu HitungRataRata adalah $T(n) = n$.

*Contoh 3***.** Algoritma untuk mencari elemen terbesar di dalam sebuah larik (*array*) yang berukuran *n* elemen.

```
procedure CariElemenTerbesar(input a1, a2, ..., an : integer, output maks : integer)

{ Mencari elemen terbesar dari sekumpulan elemen larik integer a1, a2, ..., an.
  Elemen terbesar akan disimpan di dalam maks.
  Masukan: a1, a2, ..., an
```

```
 Keluaran: maks (nilai terbesar)
}
Deklarasi
k : integer

Algoritma
maks=a1
k=2

while k <= n do
if ak > maks then
maks=ak
endif
i-i+1

endwhile
{ k > n }
```

Kompleksitas waktu algoritma dihitung berdasarkan jumlah operasi perbandingan elemen larik (A[i] > maks).
Kompleksitas waktu CariElemenTerbesar : $T(n) = n - 1$.
Kompleksitas waktu dibedakan atas tiga macam :

1. $T_{max}(n)$: kompleksitas waktu untuk kasus terburuk *(worst case)* → kebutuhan waktu maksimum.
2. $T_{min}(n)$: kompleksitas waktu untuk kasus terbaik *(best case)* –> kebutuhan waktu minimum.
3. $T_{avg}(n)$: kompleksitas waktu untuk kasus rata-rata *(average case)* –> kebutuhan waktu secara rata-rata

1.3. ALAT DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

1. Komputer.
2. Dev C++.

1.4. PRE TEST

1. Apa alat ukur sebuah algoritma dikatakan effisien menjadi solusi suatu permasalahan?
2. Mengapa kita perlu algoritma yang efisien?

1.5. LANGKAH PRAKTIKUM

Algoritma pengurutan pilih (Selection Sort):

```
procedure Urut(input/output a1, a2, ..., an : integer)

Deklarasi
i, j, imaks, temp: integer

Algoritma

for i = n downto 2 do { pass sebanyak n – 1 kali }
   imaks = 1

   for j = 2 to i do
      if aj > aimaks then
         imaks = j
      endif
   endfor
```

```
    { pertukarkan aimaks dengan ai }
    temp = ai
    ai = aimaks
    aimaks = temp
endfor
```

Lakukan analisis algoritma diatas, tentukan:

1. Jumlah operasi perbandingan elemen. Untuk setiap *pass* ke-*i?*
2. Jumlah operasi pertukaran elemen?
3. Kompleksitas waktu algoritma diatas?

1.6. TUGAS / POST TEST

Algoritma INSERTION SORT:

INSERTION-SORT(A)	*cost*	*times*
for $j = 2$ **to** $A.length$	c_1	n
$key = A[j]$	c_2	$n-1$
// Insert $A[j]$ into the sorted sequence $A[1..j-1]$.	0	$n-1$
$i = j - 1$	c_4	$n-1$
while $i > 0$ and $A[i] > key$	c_5	$\sum_{j=2}^{n} t_j$
$A[i+1] = A[i]$	c_6	$\sum_{j=2}^{n} (t_j - 1)$
$i = i - 1$	c_7	$\sum_{j=2}^{n} (t_j - 1)$
$A[i+1] = key$	c_8	$n-1$

1. Tentukan kompleksitas waktunya!
2. Bandingkan kompleksitas waktu algoritma SELECTION SORT dengan INSERTION SORT, menurut kalian mana yang lebih mangkus dan apa alasannya?

PRAKTIKUM 2: ALGORITMA BRUTE FORCE

Pertemuan ke : 2

Total Alokasi Waktu : 90 menit
- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 60 menit
- Post-Test : 15 menit

Total Skor Penilaian : 100%
- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

2.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan:
1. Mahasiswa mampu mengaplikasikan notasi algoritma (*pseudocode*) ke coding program.
2. Mahasiswa dapat membuat program dari persoalan dengan strategi algoritma brute force untuk menyelesaikan persoalan pencarian bilangan terbesar dan uji bilangan prima.

Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan algoritma brute force untuk menyelesaikan persoalan pencarian bilangan terbesar dan uji bilangan prima.

2.2. TEORI PENDUKUNG

Brute force adalah algortima pendekatan yang lempang (*straightforward*) untuk memecahkan suatu persoalan dengan sangat sedarhana, langsung dan jelas (*obvious way*). Contoh-contoh persoalan yang dipecahkan dengan *Brute Force*:

1. Perpangkatan

   Menghitung a^n ($a>0$, n adalah bilangan bulat tak-negatif)

   $a^n = a \times a \times \ldots \times a$ (sebanyak n kali), jika n>0

   $= 1$, jika n = 0

   Algoritma: kalikan 1 dengan *a* sebanyak n kali

   Algoritma Pangkat:

```
Function pangkat(a : real, n : integer) → real { Menghitung a^n }
Deklarasi:
    i : integer hasil : real

Algoritma:
    hasil ← 1
    for i ← 1 to n do
        hasil ← hasil * a
    end
    return hasil
```

2. Pencarian elemen terbesar

   Persoalan:

   Diberikan sebuah senarai yang beranggotakan n buah bilangan bulat ($a_1, a_2, \ldots, a_n$). Carilah elemen terbesar didalam senarai tersebut.

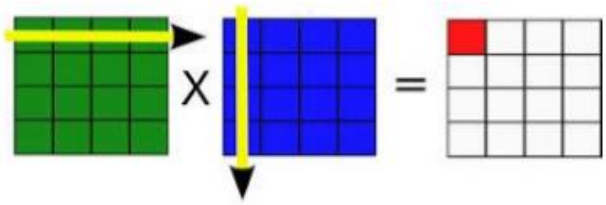
   Algoritma: Bandingkan setiap elemen senarai untuk menemukan elemen terbesar

```
procedure CariElemenTerbesar(input a1, a2, ..., an : integer,
                             output maks : integer)
{ Mencari elemen terbesar di antara elemen a1, a2, ..., an. Elemen terbesar akan disimpan di dalam
maks.  Masukan: a1, a2, ..., an Keluaran: maks
}

Deklarasi
   k : integer

Algoritma:
   maks←a1
   for k←2 to n do
      if ak > maks then
         maks←ak
      endif
   endfor
```

3. Perkalian dua buah matriks, A dan B

   Misalkan, *C = A × B dan elemen-elemen matrik* dinyatakan sebagai c_{ij}, a_{ij}, *dan* b_{ij}

   $C_{ij} = a_{i1}b_{1j} + a_{i2}b_{2j} \ldots + a_{in}\, b_{nj}$



Gambar 2.1 Ilustrasi perkalian dua matriks

Algoritma: hitung setiap elemen hasil perkalian satu per satu, dengan cara mengalikan dua vector yang panjangnya *n*.

```
Procedure PerkalianMatriks(input A, B : Matriks, input n : integer,output C : Matriks)
{ Mengalikan matriks A dan B yang berukuran n × n, menghasilkan
matriks C yang juga berukuran n × n
Masukan: matriks integer A dan B, ukuran matriks n
Keluaran: matriks C }
Deklarasi
i, j, k : integer

Algoritma
for i ← 1 to n do
   for j ← 1 to n do
      C[i,j] ← 0 { inisialisasi penjumlah }
      for k ← 1 to n do
         C[i,j] ← C[i,j] + A[i,k]*B[k,j]
      endfor
   endfor
endfor
```

4. Uji Bilangan Prima

Persoalan : Diberikan sebuah bilangan-bilangan bulat positif. Ujilah apakah bilangan tersebut merupakan bilangan prima atau bukan.

Definisi : Bilangan Prima adalah bilangan yang hanya habis dibagi oleh 1 dan dirinya sendiri.

Algoritma : Bagi n dengan 2 sampai $\sqrt{n}$. Jika semuanyan tidak habis dibagi n, maka n adalah bilangan prima.

```
function Prima(input x : integer)-> boolean

{ Menguji apakah x bilangan prima atau bukan.
  Masukan: x
  Keluaran: true jika x prima, atau false jika x tidak prima.}
Deklarasi
k, y : integer
test : boolean

Algoritma:
if x < 2 then { 1 bukan prima }
   return false
else
   if x = 2  then { 2 adalah prima, kasus khusus }
      return true
   else
      y ← √x
      test ← true
      while (test) and (y ³ 2) do
         if x mod y = 0 then
            test ← false
         else
            y ← y - 1
         endif
      endwhile
      { not test or y < 2 }
      return test
   endif
endif
```

Contoh Program dalam C++:

```
#include <iostream.h>
#include <conio.h>
#include <ctype.h>
#include <math.h>

// return 1 if n is prime, 0 otherwise
int isPrime(int p);

main()
{
   for (int n=1; n< 50; n++)
      if (isPrime(n)) cout<<n<<" "; getch();
   cout<<endl;
}
```

```
int isPrime(int p)
{
    float sqrtp=sqrt(p);

    if (p<2) return 0; // 2 is the first prime
    if (p==2) return 1;
    if (p%2==0) return 0; //2 is only the evenprime
    for (int d=3; d<=sqrtp; d+=2)
        if (p%d==0) return 0;
    return 1;
}
```

2.3. ALAT DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

1. Komputer.
2. Software Dev C++.

2.4. PRE TEST

1. Jelaskan apa ciri khas dari penyelesaian persoalan dengan algoritma *brute force*?
2. Jelaskan ciri khas algoritma brute force pada contoh diatas:
    a. Algoritma Perpangkatan
    b. Algoritma Pencarian Elemen Terbesar
    c. Algoritma Perkalian dua Matriks
    d. Algorima Uji Bilangan Prima

2.5. LANGKAH PRAKTIKUM

1. Buatlah coding/pseudocode algoritma-algoritma berikut, kemudian lakukan Run program
    a. Algoritma Pencarian Bilangan Terbesar
    b. Algorima Uji Bilangan Prima
2. Lakukanlah analisis hasil output coding

2.6. TUGAS / POST TEST

1. Kompilasi dan eksekusi contoh program diatas
2. Implementasikan dengan C++ algoritma pencarian bilangan terbesar diatas
3. Hitunglah kompleksitas dari algoritma uji bilangan prima.

PRAKTIKUM 3: ALGORITMA GREEDY

Pertemuan ke : 3

Total Alokasi Waktu : 90 menit (Alokasi waktu disesuaikan dengan RPS)

- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 60 menit
- Post-Test : 15 menit

Total Skor Penilaian : 100%

- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

3.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan:

1. Mahasiswa mampu menggunakan pendekatan algoritma *greed*y untuk menyelesaikan masalah yang tepat.
2. Mahasiswa dapat membuat program dari persoalan dengan strategi algoritma Greedy untuk menyelesaikan persoalan Penukaran Uang.

Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan algoritma Greedy untuk menyelesaikan persoalan Penukaran Uang.

3.2. TEORI PENDUKUNG

Algoritma *greedy* merupakan metode yang paling popular untuk memecahkan persoalan optimasi (*optimization problems*). Hanya ada dua macam persoalan optimasi yaitu maksimasi (*maximization*) dan minimasi (*minimization*). Greedy = rakus, tamak, loba, …

Prinsip greedy yaitu "*take what you can get now!*". Algoritma greedy membentuk solusi langkah per langkah (*step by step*). Pada setiap langkah, terdapat banyak pilihan yang perlu dievaluasi. Oleh karena itu, pada setiap langkah harus dibuat keputusan yang terbaik dalam menentukan pilihan.

Masalah Penukaran Uang

Nilai uang yang ditukar: A Himpunan koin (multiset): $\{d_1, d_2, \ldots\}$.
Himpunan solusi: $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, $x_i = 1$ jika d_i dipilih, $x_i = 0$ jika d_i tidak dipilih.
Obyektif persoalan adalah

Minimisasi $F = \sum_{i=1}^{n} x_i$ (fungsi obyektif)

dengan kendala $\sum_{i=1}^{n} d_i x_i = A$

Strategi algoritma greedy: Pada setiap langkah, pilih koin dengan nilai terbesar dari himpunan koin yang tersisa.

```
function CoinExchange(input C : himpunan_koin, A : integer) → himpunan_koin
{ mengembalikan koin-koin yang total nilainya = A, tetapi jumlah koinnya minimum }

Deklarasi
  S : himpunan_koin
  x : koin

Algoritma
  S ← {}
  while (∑(nilai semua koin di dalam S) ≠ A) and (C ≠ {} ) do
    x ← koin yang mempunyai nilai terbesar
    C ← C - {x}
    if  (∑(nilai semua koin di dalam S) + nilai koin x ≤ A then
      S ← S ∪ {x}
    endif
  endwhile

  if (∑(nilai semua koin di dalam S) = A then
    return S
  else
    write('tidak ada solusi')
  endif
```

3.3. ALAT DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

1. Komputer.
2. Software Dev C++.

3.4. PRE TEST

Jelaskan apa yang anda ketahui tentang algoritma greedy?

3.5. LANGKAH PRAKTIKUM

1. Buatlah coding/pseudocode algoritma penukaran koin diatas, kemudian lakukan Run program
2. Lakukan pengujian dengan sebuah kasus

3.6. TUGAS / POST TEST

1. Implementasikan dengan C++ algoritma diatas, amati dan analisis output yang dihasilkan serta lakukan tester dalam suatu kasus.
2. Hitung kompleksitas waktunya!

PRAKTIKUM 4: ALGORITMA DIVIDE & CONQUER

Pertemuan ke : 4

Total Alokasi Waktu : 90 menit
- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 45 menit
- Post-Test : 30 menit

Total Skor Penilaian : 100%
- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

4.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan:
1. Mampu menggunakan pendekatan skema Divide and Conquer untuk menyelesaikan masaah yang tepat
2. Mampu mengaplikasikan notasi algoritma (pseudocode) ke coding

Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan algoritma Divide and Conquer untuk menyelesaikan masaah yang tepat.

4.2. TEORI PENDUKUNG

Definisi *Divide and Conquer*

Divide: membagi masalah menjadi beberapa upa-masalah yang memiliki kemiripan dengan masalah semula namun berukuran lebih kecil (idealnya berukuran hampir sama),

Conquer: memecahkan (menyelesaikan) masing-masing upa-masalah (secara rekursif), dan

Combine: mengabungkan solusi masing-masing upa-masalah sehingga membentuk solusi masalah semula.

Obyek permasalahan yang dibagi adalah masukan (input) atau instances yang berukuran n: tabel (larik), matriks, eksponen, dan sebagainya, bergantung pada masalahnya. Tiap-tiap upa-masalah mempunyai karakteristik yang sama (the same type) dengan karakteristik masalah asal, sehingga metode Divide and Conquer lebih natural diungkapkan dalam skema rekursif. Skema Umum Algoritma *Divide and Conquer*, sebagai berikut:

```
procedure DIVIDE_and_CONQUER(input n : integer)
{ Menyelesaikan masalah dengan algoritma D-and-C.
  Masukan: masukan yang berukuran n
  Keluaran: solusi dari masalah semula
}
Deklarasi
    r, k : integer

Algoritma
  if n ≤ n0 then  {ukuran masalah sudah cukup kecil }
    SOLVE upa-masalah yang berukuran n ini
```

```
else
  Bagi menjadi r upa-masalah, masing-masing berukuran n/k
  for masing-masing dari r upa-masalah do
    DIVIDE_and_CONQUER(n/k)
  endfor
  COMBINE solusi dari r upa-masalah menjadi solusi masalah semula }
endif
```

Permasalahan yang dapat diselesaikan dengan algoritma *divide and conquer*:

3. Mencari nilai Minimum dan Maksimum (MinMaks)

Persoalan:

Misalkan diberikan tabel *A* yang berukuran *n* elemen dan sudah berisi nilai *integer*. Carilah nilai minimum dan nilai maksimum sekaligus di dalam tabel tersebut. Penyelesaian dengan Divide and Conquer seperti berikut:

Misalkan tabel *A* berisi elemen-elemen sebagai berikut:

4 12 23 9 21 1 35 2 24

Ide dasar algoritma secara *Divide and Conquer*:

4 12 23 9 21 1 35 2 24

DIVIDE

4 12 23 9 21 1 35 2 24

SOLVE: tentukan min & maks pada tiap bagian

4 12 23 9 21 1 35 2 24

min = 4 min = 1

maks = 23 maks = 35

COMBINE

4 12 23 9 21 1 35 2 24

min = 1

maks = 35

Algoritma:

```
procedure MinMaks2(input A : TabelInt, i, j : integer,
          output min, maks : integer)
{ Mencari nilai maksimum dan minimum di dalam tabel A yang berukuran n elemen secara Divide and
Conquer.
Masukan: tabel A yang sudah terdefinisi elemen-elemennya
Keluaran: nilai maksimum dan nilai minimum tabel
}
Deklarasi
   min1, min2, maks1, maks2 : integer

Algoritma:
   if i=j then                    { 1 elemen      }
      min←Ai
      maks←Ai
   else
      if (i = j-1) then           { 2 elemen      }
         if Ai < Aj then
            maks←Aj
```

```
            min←Ai
        else
            maks←Ai
            min←Aj
        endif
    else                    { lebih dari 2 elemen }
        k←(i+j) div 2       { bagidua tabel pada posisi k }
        MinMaks2(A, i, k, min1, maks1)
        MinMaks2(A, k+1, j, min2, maks2)
        if min1 < min2 then
            min←min1
        else
            min←min2
        endif

        if maks1<maks2 then
            maks←maks2
        else
            maks←maks2
        endif
    endif
endif
```

4. Algoritma Pengurutan dengan *divide and conquer*

Skema Algoritma pengurutan dengan *divide and conquer* secara umum adalah sebagai berikut:

```
procedure Sort(input/output A : TabelInt, input n : integer)
{ Mengurutkan tabel A dengan metode Divide and Conquer    Masukan: Tabel A dengan n elemen
Keluaran: Tabel A yang terurut
}
Algoritma:
  if Ukuran(A) > 1 then
    Bagi A menjadi dua bagian, A1 dan A2, masing-masing berukuran n1 dan n2 (n = n1 + n2)

    Sort(A1, n1)   { urut bagian kiri yang berukuran n1 elemen }
    Sort(A2, n2)   { urut bagian kanan yang berukuran n2 elemen }

    Combine(A1, A2, A)  { gabung hasil pengurutan bagian kiri dan bagian kanan }
  end
```

1) Permasalahan *Merge Sort*

Algoritma Merge Sort:

1. Untuk kasus *n* = 1, maka tabel *A* sudah terurut dengan sendirinya (langkah SOLVE).
2. Untuk kasus *n* > 1, maka
   (a) DIVIDE: bagi tabel *A* menjadi dua bagian, bagian kiri dan bagian kanan, masing-masing bagian berukuran *n*/2 elemen.
   (b) CONQUER: Secara rekursif, terapkan algoritma *D-and-C* pada masing-masing bagian.
   (c) MERGE: gabung hasil pengurutan kedua bagian sehingga diperoleh tabel *A* yang terurut.

Algoritma Merge Sort dengan Divide and Conquer:

```
procedure MergeSort(input/output A : TabelInt, input i, j : integer)
  { Mengurutkan tabel A[i..j] dengan algoritma Merge Sort
```

```
            Masukan: Tabel A dengan n elemen
            Keluaran: Tabel A yang terurut
  }
Deklarasi:
  k : integer

Algoritma:
  if i < j then   { Ukuran(A)> 1}
    k←(i+j) div 2
    MergeSort(A, i, k)
    MergeSort(A, k+1, j)
    Merge(A, i, k, j)
  endif
```

Pseduocode Prosedure Merge

```
procedure Merge(input/output A : TabelInt, input kiri,tengah,kanan : integer) { Menggabung tabel
A[kiri..tengah] dan tabel A[tengah+1..kanan]   menjadi
 tabel A[kiri..kanan] yang terurut menaik.
 Masukan: A[kiri..tengah] dan tabel A[tengah+1..kanan] yang sudah terurut
 menaik.
 Keluaran: A[kiri..kanan] yang terurut menaik.
}
Deklarasi
 B : TabelInt
 i, kidal1, kidal2 : integer

Algoritma:
 kidal1←kiri          { A[kiri .. tengah] }
 kidal2←tengah + 1   { A[tengah+1 .. kanan] }
 i←kiri
 while (kidal1 ≤ tengah) and (kidal2 ≤ kanan) do
      if A_kidal1 ≤ A_kidal2 then
           B_i←A_kidal1
              kidal1←kidal1 + 1
             else
                B_i←A_kidal2
                kidal2←kidal2 + 1
             endif
             i←i + 1
           endwhile
           { kidal1 > tengah or kidal2 > kanan }

           { salin sisa A bagian kiri ke B, jika ada }
     while (kidal1 ≤ tengah) do
        B_i←A_kidal1
        kidal1←kidal1 + 1
        i←i + 1
     endwhile
     { kidal1 > tengah }

     { salin sisa A bagian kanan ke B, jika ada }
     while (kidal2 ≤ kanan) do
        B_i←A_kidal2
        kidal2←kidal2 + 1
        i←i + 1
     endwhile
     { kidal2 > kanan }

     { salin kembali elemen-elemen tabel B ke A }
     for i←kiri to kanan do
```

```
      Ai←Bi
    endfor
    { diperoleh tabel A yang terurut membesar }
```

2) Permasalahan *Quick Sort*

Ditemukan oleh Tony Hoare tahun 1959 dan dipublikasikan tahun 1962. Termasuk pada pendekatan sulit membagi, mudah menggabung (*hard split/easy join*). Tabel A dibagi (istilahnya: dipartisi) menjadi A1 dan A2 sedemikian sehingga elemenelemen A1 ≤ elemen-elemen A2.

Teknik mem-partisi tabel:

(i) pilih x ∈ { A[1], A[2], ..., A[n] } sebagai pivot,

(ii) pindai tabel dari kiri sampai ditemukan A[p] ≥ x

(iii) pindai tabel dari kanan sampai ditemukan A[q] ≤ x

(iv) pertukarkan A[p] ⇔ A[q] (v) ulangi (ii), dari posisi p + 1, dan (iii), dari posisi q – 1 , sampai kedua pemindaian bertemu di tengah tabel (p ≥ q)

Algoritma Merge Sort dengan *Divide and Conquer*:

```
procedure QuickSort(input/output A : TabelInt, input i,j: integer)

{ Mengurutkan tabel A[i..j] dengan algoritma Quick Sort.
  Masukan: Tabel A[i..j] yang sudah terdefinisi elemen-elemennya.
  Keluaran: Tabel A[i..j] yang terurut menaik.
}
Deklarasi
 k : integer

Algoritma:
if i < j then                    { Ukuran(A) > 1 }
    Partisi(A, i, j, k)  { Dipartisi pada indeks k }
    QuickSort(A, i, k)           { Urut A[i..k] dengan Quick Sort }
    QuickSort(A, k+1, j) { Urut A[k+1..j] dengan Quick Sort }
endif
```

Pseudocode Prosedur Patisi Tabel

```
procedure Partisi(input/output A : TabelInt, input i, j : integer,
            output q : integer)
{ Membagi tabel A[i..j] menjadi upatabel A[i..q] dan A[q+1..j]
  Masukan: Tabel A[i..j]yang sudah terdefinisi harganya.
  Keluaran upatabel A[i..q] dan upatabel A[q+1..j] sedemikian sehingga
        elemen tabel A[i..q] lebih kecil dari elemen tabel A[q+1..j] }
Deklarasi
  pivot, temp : integer

Algoritma:
  pivot←A[(i + j) div 2] { pivot = elemen tengah}
  p ← i
  q ← j
  repeat
    while A[p] < pivot do
      p ← p + 1
    endwhile
    { A[p] >= pivot}

    while A[q] > pivot do
      q ← q – 1
    endwhile
```

```
    { A[q] <= pivot}

    if p < q then
      {pertukarkan A[p] dengan A[q] }
       swap(A[p], A[q])

      {tentukan awal pemindaian berikutnya }
       p ← p + 1
       q ← q - 1
     endif
   until p > q
```

4.3. PRE TEST

1. Buatlah fuction quicksort!
2. Buatlah fuction partition!

4.4. ALAT DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

1. Komputer.
2. Software Dev C++.

4.5. LANGKAH PRAKTIKUM

1. Ketik program algoritma shorting dibawah ini, kemudian lakukan Run program!
   Program Algoritma Sorting:

```
#include <cstdlib.h>
#include <iostream.h>


using namespace std;

typedef int larik [10]; //tipe data untuk merge

void baca_data(int A[], int n){
    //proses input dan baca data
    for (int i = 0; i < n; i++) {
        cout <<"Data ke - " << i + 1  <<" : ";
        cin >> A[i];
    }
}

void cetak_data(int A[], int n){
    //cetak data
    for (int i = 0; i < n; i++) {
       cout << A[i] <<" ";
    }
}

void tukar_data(int *a, int *b) {
   //tukar data
   int temp;
   temp = *a;
   *a = *b;
   *b = temp;
}
```

```
void minimum(int A[], int dari, int n, int *tempat) {
    int i, min;
    min = A[dari];
    *tempat = dari;
    for (i = dari + 1; i < n; i++)
    if (A[i] < min) {
          min = A[i];
          *tempat = i;
     }
 }

void bubble_sort(int x[], int n) {
    // bubble sort
   for (int i = 0; i < n - 1; i++) {
      for (int j = i + 1; j < n; j++) {
         if (x[i] > x [j]) tukar_data (&x[i], &x[j]);
      }
   }
}

void selection_sort(int A[], int n) {
    // sellection sort
    int i, t;
    for (i = 0; i < n; i++) {
       minimum (A, i, n, &t);
       tukar_data (&A[i], &A[t]);
    }
 }

void merge(larik a, int kiri, int tengah, int kanan) {
    int bagkir, postemp, bykel, i;
    larik temp;
    bagkir = tengah -1;
    postemp = kiri;
    bykel = kanan - kiri + 1;

    while ((kiri <= bagkir) && (tengah <= kanan)) {
        if ((a[kiri] <= a[tengah])) {
                temp[postemp] = a[kiri];
                postemp = postemp + 1;
                kiri = kiri + 1;
        }
        else {
           temp[postemp] = a[tengah];
           postemp = postemp + 1;
           tengah = tengah + 1;
        }
        //kopi bagian kiri
        while ((kiri <= bagkir)) {
             temp[postemp] = a[kiri];
             postemp = postemp + 1;
             kiri = kiri + 1;
         }
        //kopi bagian kanan
        while ((tengah <= kanan)) {
             temp[postemp] = a[tengah];
             postemp = postemp + 1;
             tengah = tengah + 1;
         }
        //kopi ke aaray asal
```

```
        for (i = 1; i <= bykel; i++) {
            a[kanan] = temp[kanan];
            kanan = kanan -1;
        }
    }
}

void merge_sort(larik A, int kiri, int kanan) {
    int tengah;

    if (kiri < kanan) {
            tengah = (kiri + kanan) / 2;
            merge_sort(A, kiri, tengah);
            merge_sort(A, tengah + 1, kanan);
            merge(A, kiri, tengah + 1, kanan);
    }
}

int main(int argc, char *argv[])
{
    int data[10], n;
    int pilih;

    t1:
    cout << "1. Bubble Sort\n2. Selection Sort\n3. Merge Sort\n\n";
    cout << "Pilihan : ";
    cin >> pilih;

    switch (pilih) {
        case 1: //bubble sort
            cout <<"BUBBLE SORT";
            cout <<"\n\nMasukan data : ";
            cin >> n;

            baca_data(data, n);
            cout <<"Data yang anda masukan : ";
            cetak_data(data, n);
            cout<<endl;
            bubble_sort(data, n);
            cout <<"Setelah ditukar (Bubble Sort) : ";
            cetak_data(data, n);
            cout <<endl;  break;

        case 2: //selection sort
            cout <<"SELECTION SORT";
            cout <<"\n\nMasukan data : ";
            cin >> n;
            baca_data(data, n);
            cout <<"Data yang anda masukan : ";
            cetak_data(data, n);
            cout<<endl;
            selection_sort(data, n);
            cout <<"Setelah ditukar (Selection Sort): ";
            cetak_data(data, n);
            cout <<endl; break;

        case 3: //merge sort
            cout <<"MERGE SORT";
            cout <<"\n\nMasukan data : ";
            cin >> n;
```

```
            baca_data(data, n);
            cout <<"Data yang anda masukan : ";
            cetak_data(data, n);
            cout<<endl;
            merge_sort(data, 0, n - 1);
            cout <<"Setelah ditukar (Merge Sort): ";
            cetak_data(data, n);
            cout <<endl; break;

        default: cout <<"Ulangi !\n"; goto t1;
    }
    system("PAUSE");
    return EXIT_SUCCESS;
}
```

2. Kemudian lakukan Run program!

4.6. TUGAS / POST TEST

1. Pada program algoritma shorting diatas ada 3 algoritma. Buatlah program tersendiri untuk algoritma merge sort dengan solusi divide and conquer!
2. Lakukan Eksekusi sehingga menghasilkan output!

PRAKTIKUM 5: ALGORITMA DECREASE & CONQUER

Pertemuan ke : 5

Total Alokasi Waktu : 90 menit
- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 45 menit
- Post-Test : 30 menit

Total Skor Penilaian : 100%
- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

5.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan:
1. Mampu menggunakan pendekatan skema Decrease and Conquer untuk menyelesaikan masalah yang tepat
2. Mampu mengaplikasikan notasi algoritma (pseudocode) ke coding

Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan algoritma Decrease and Conquer untuk menyelesaikan masaah yang tepat.

5.2. TEORI PENDUKUNG

Decrease and conquer: metode desain algoritma dengan mereduksi persoalan menjadi beberapa subpersoalan yang lebih kecil, tetapi selanjutnya hanya memproses satu sub-persoalan saja. Berbeda dengan divide and conquer yang memproses semua sub-persoalan dan menggabung semua solusi setiap sub-persoalan. Decrease and conquer terdiri dari dua tahapan:
1. **Decrease**: mereduksi persoalan menjadi beberapa persoalan yang lebih kecil (biasanya dua subpersoalan).
2. **Conquer**: memproses satu sub-persoalan secara rekursif.

Tidak ada tahap combine dalam decrease and conquer. Tiga varian decrease and conquer:
1. Decrease by a constant: ukuran instans persoalan direduksi sebesar konstanta yang sama setiap iterasi algoritma. Biasanya konstanta = 1.
2. Decrease by a constant factor: ukuran instans persoalan direduksi sebesar faktor konstanta yang sama setiap iterasi algoritma. Biasanya faktor konstanta = 2.
3. Decrease by a variable size: ukuran instans persoalan direduksi bervariasi pada setiap iterasi algoritma.

Persoalan dengan solusi Decrease and Conquer:

1. Pengurutan dengan Selection Sort

Misalkan tabel *a* berisi elemen-elemen berikut:

4 12 3 9 1 21 5 2

Langkah-langkah pengurutan dengan *Selection Sort*:

4	12	3	9	1	21	5	2
1	12	3	9	4	21	5	2
1	2	3	9	4	21	5	12
1	2	3	9	4	21	5	12
1	2	3	4	9	21	5	12
1	2	3	4	5	21	9	12
1	2	3	4	5	9	12	21
1	2	3	4	5	9	12	21
1	2	3	4	5	9	12	21

Gambar 5.1. Contoh ilustrasi pengurutan decrease and conquer dengan selection sort

Algoritma selection sort:

```
procedure SelectionSort(input/output A : TabelInt, input i,j: integer)

{ Mengurutkan tabel A[i..j] dengan algoritma Selection Sort.
  Masukan: Tabel A[i..j] yang sudah terdefinisi elemen-elemennya.
  Keluaran: Tabel A[i..j] yang terurut menaik. }

Algoritma:
   if  i < j then     { Ukuran(A) > 1 }
     Bagi(A, i, j)
     SelectionSort(A, i+1, j)
   endif
```

Algoritma Table Partition Selection Sort:

```
procedure Bagi(input/output A : TabInt, input i,j: integer)

{ Mencari elemen terkecil di dalam tabel A[i..j], dan menempatkan elemen terkecil sebagai elemen
pertama tabel.
   Masukan: A[i..j]
   Keluaran: A[i..j] dengan Ai adalah elemen terkecil.
}
Deklarasi
   idxmin, k, temp : integer

Algoritma:
   Idxmin←i
   for k←i+1 to j do
     if Ak < Aidxmin then
       idxmin←k
     endif
   endfor

 { pertukarkan Ai dengan Aidxmin }
  temp←Ai
  Ai←Aidxmin
  Aidxmin←temp
```

5.3. PRE TEST

1. Apakah karakteristik dari algoritma decrease and conquer?
2. Jelaskan perbedaan algoritma decrease and conquer dengan divide and conquer!
3. Sebutkan algoritma selain selection sort yang menggunakan teknik decrease and conquer!

5.4. ALAT DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

1. Komputer.
2. Software Dev C++.

5.5. LANGKAH PRAKTIKUM

1. Ketik program selection sort dibawah ini, kemudian lakukan Run program!

```
// C++ program for implementation of selection sort
#include <bits/stdc++.h>
using namespace std;

void swap(int *xp, int *yp)
{
    int temp = *xp;
    *xp = *yp;
    *yp = temp;
}

void selectionSort(int arr[], int n)
{
    int i, j, min_idx;

    // One by one move boundary of unsorted subarray
    for (i = 0; i < n-1; i++)
    {
            // Find the minimum element in unsorted array
            min_idx = i;
            for (j = i+1; j < n; j++)
            if (arr[j] < arr[min_idx])
                    min_idx = j;

            // Swap the found minimum element with the first element
            swap(&arr[min_idx], &arr[i]);
    }
}

/* Function to print an array */
void printArray(int arr[], int size)
{
    int i;
    for (i=0; i < size; i++)
            cout << arr[i] << " ";
    cout << endl;
}

// Driver program to test above functions
int main()
{
    int arr[] = {64, 25, 12, 22, 11};
```

```
    int n = sizeof(arr)/sizeof(arr[0]);
    selectionSort(arr, n);
    cout << "Sorted array: \n";
    printArray(arr, n);
    return 0;
}
```

2. Kemudian lakukan eksekusi program!
3. Analisis hasil output!

5.6. TUGAS / POST TEST

Buatlah program selection sort dengan user sebagai penginput bilangan array!

PRAKTIKUM 6: ALGORITMA BFS DAN DFS

Pertemuan ke : 6

Total Alokasi Waktu : 90 menit
- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 45 menit
- Post-Test : 30 menit

Total Skor Penilaian : 100%
- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

6.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan mampu menerapkan algoritma BFS dan DFS untuk melakukan transversal pada graf.

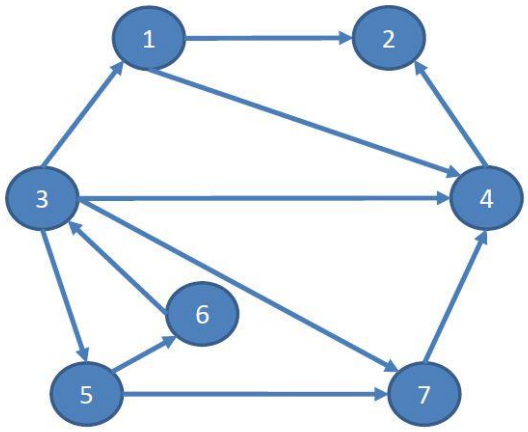
Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan algoritma BFS dan DFS untuk melakukan transversal pada graf.

6.2. TEORI PENDUKUNG

Algoritma traversal graf digunakan untuk mengunjungi simpul dengan cara yang sistematik dengan asumsi graf terhubung. Algoritma transversal graf diantaranya pencarian melebar (breadth first search/BFS) dan pencarian mendalam (depth first search/DFS). Algoritma ini termasuk dalam algoritma pencarian tanpa informasi (uninformed/blind search). Dalam proses pencarian solusi, terdapat dua pendekatan yaitu graf statis dan graf dinamis. Graf statis merupakan graf yang sudah terbentuk sebelum proses pencarian dilakukan. Graf ini direpresentasikan sebagai struktur data. Graf dinamis merupkan graf yang terbentuk saat proses pencarian dilakukan. Graf ini tidak tersedia sebelum pencarian, graf dibangun selama pencarian solusi.

Breadth First Search (BFS)
Pada BFS traversal dimulai dari simpul v.
Algoritma:
1. Kunjungi simpul v
2. Kunjungi semua simpul yang bertetangga dengan simpul v terlebih dahulu.
3. Kunjungi simpul yang belum dikunjungi dan bertetangga dengan simpul-simpul yang tadi dikunjungi, demikian seterusnya.

Depth First Search (DFS)
Pada DFS traversal dimulai dari simpul v.
Algoritma:
1. Kunjungi simpul v



Gambar 6.1. Contoh graf berarah

2. Kunjungi simpul w yang bertetangga dengan simpul v.
3. Ulangi DFS mulai dari simpul w.
4. Ketika mencapai simpul usedemikian sehingga semua simpul yang bertetangga dengannya telah dikunjungi, pencarian dirunut-balik (backtrack) ke simpul terakhir yang dikunjungi sebelumnya dan mempunyai simpul w yang belum dikunjungi.
5. Pencarian berakhir bila tidak ada lagi simpul yang belum dikunjungi yang dapat dicapai dari simpul yang telah dikunjungi.

Pada Gambar 6.1 diatas,
Hasil algoritma BFS dimulai dari node-1 yaitu: 1-2-4-3-5-7-6
Hasil algoritma DFS dimulai dari node-1 yaitu: 1-2-4-3-5-6-7

Algoritma BFS

```
procedure BFS(input v:integer)
{ Traversal graf dengan algoritma pencarian BFS.

  Masukan: v adalah simpul awal kunjungan
  Keluaran: semua simpul yang dikunjungi dicetak ke layar
}
Deklarasi
   w : integer
   q : antrian;

   procedure BuatAntrian(input/output q : antrian)
   { membuat antrian kosong, kepala(q) diisi 0 }

   procedure MasukAntrian(input/output q:antrian, input v:integer)
   { memasukkan v ke dalam antrian q pada posisi belakang }

   procedure HapusAntrian(input/output q:antrian,output v:integer)
   { menghapus v dari kepala antrian q }

   function AntrianKosong(input q:antrian) → boolean
   { true jika antrian q kosong, false jika sebaliknya }

Algoritma:
   BuatAntrian(q)          { buat antrian kosong }

   write(v)                { cetak simpul awal yang dikunjungi }
   dikunjungi[v]←true      { simpul v telah dikunjungi, tandai dengan
                             true}
   MasukAntrian(q,v)       { masukkan simpul awal kunjungan ke dalam
                             antrian}

  { kunjungi semua simpul graf selama antrian belum kosong }
   while not AntrianKosong(q) do
       HapusAntrian(q,v)   { simpul v telah dikunjungi, hapus dari
                             antrian }
       for tiap simpul w yang bertetangga dengan simpul v do
             if not dikunjungi[w] then
                write(w)     {cetak simpul yang dikunjungi}
                MasukAntrian(q,w)
                dikunjungi[w]←true
             endif
       endfor
   endwhile
  { AntrianKosong(q) }
```

NUM-RN-MLK/IF2211/2013

Gambar 6.2. Algoritma BFS
(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2019)

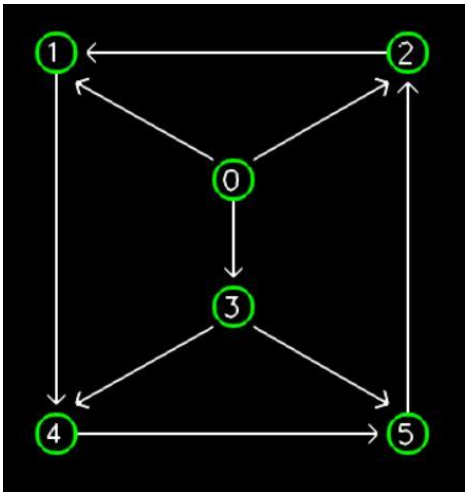
Algoritma DFS

```
procedure DFS(input v:integer)
{Mengunjungi seluruh simpul graf dengan algoritma pencarian DFS

Masukan: v adalah simpul awal kunjungan
Keluaran: semua simpulyang dikunjungi ditulis ke layar
}
Deklarasi
   w : integer

Algoritma:
   write(v)
   dikunjungi[v]←true
   for w←1 to n do
      if A[v,w]=1 then {simpul v dan simpul w bertetangga }
         if not dikunjungi[w] then
            DFS(w)
         endif
      endif
   endfor
```

Gambar 6.3 Algoritma DFS
(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2019)

6.3. PRE TEST

1. Analisis graf berarah pada Gambar 6.4 di bawah ini dan tuliskan urutan jalurnya secara manual apabila menggunakan algoritma BFS dan DFS mulai dari simpul/node ke-0!
2. Apa perbedaan utama antara algoritma BFS dan DFS?



Gambar 6.4 Graf berarah untuk soal Pre Test dan Post Test Praktikum 6

6.4. ALAT DAN BAHAN

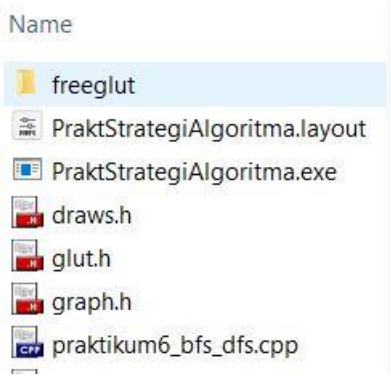
Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

1. Komputer.
2. Dev C++.
3. OpenGL Library.

6.5. LANGKAH PRAKTIKUM

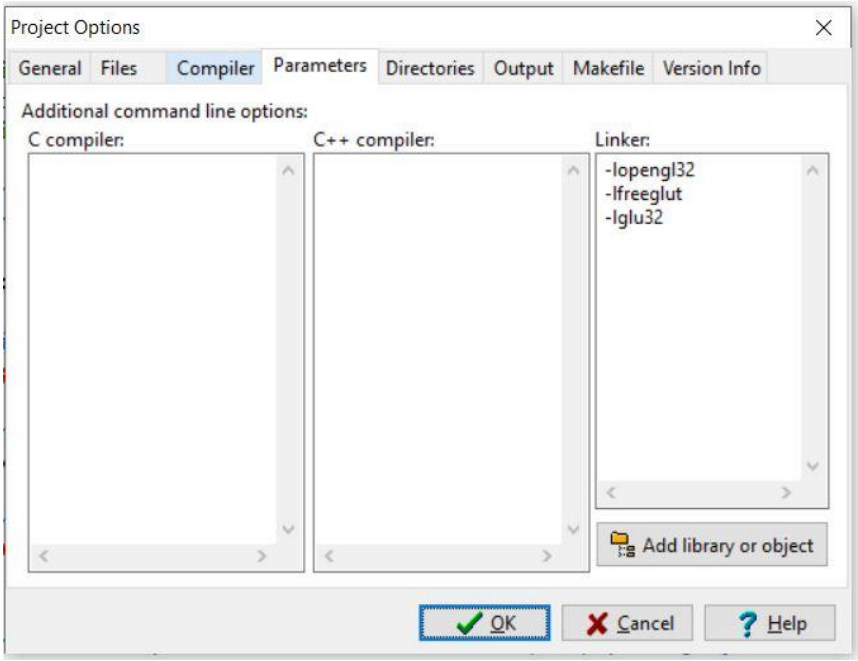
PERSIAPAN

1. Buka DevC++ dan buat project baru dengan nama **praktikum06.**
2. Download library **freeglut** di elearning Strategi Algoritma di bagian atas. Ekstrak .rar nya di lokasi folder project anda berada. Contoh tampilan folder project anda ditunjukkan pada Gambar 6.5.



Gambar 6.5. Contoh isian folder project anda

3. Setting OpenGL library pada DevC++ dengan klik Project – Project options – Parameters lalu isikan –lopengl32 –lfreeglut –lglu32 pada Linker seperti pada Gambar 6.6.



Gambar 6.6. Setting OpenGL pada DevC++

4. Download file tambahan praktikum yaitu **draws.h** dan **graph.h** untuk menggambar graf dengan OpenGL dari elearning Strategi Algoritma. Ekstrak .rar nya lalu copy kan ke folder project anda.
5. Buat file baru dengan nama **praktikum06.cpp**.

PRAKTIKUM

1. Tuliskan kode berikut pada **praktikum06.cpp** untuk inisialisasi variable dan jendela OpenGL.

```
// Praktikum 6: BFS dan DFS
// Penerapan contoh di slide kuliah Strategi Algoritma - BFS dan DFS hal 14
```

```
// header
#include <windows.h>
#include <iostream>
#include <list>

// header untuk menggambar graf dengan OpenGL
#include "draws.h"

using namespace std;

// deklarasi global Graph
Graph graph;

// buffer untuk simpan teks
char markText[10];

// hasil dari penerapan algoritma
vector<int>* pathResult;
vector<int> pathSequence;

// fungsi untuk menggambar jalur hasil pencarian dengan OpenGL
void drawResult()
{
   glPushMatrix();

   // gambar garis dengan anak panah
   float radius = 15.0f;
   for (int i=0; i<graph.getNumNodes(); i++)
   {
         for (int j=0; j<pathResult[i].size(); j++)
         {
               int nodeIdx = pathResult[i].at(j);
               Vec3 color(1.0f,0.0f,1.0f);
               drawLine(graph.getNodePosition(), i, nodeIdx, color,
                     radius, 2.0f, graph.getIsDirected());
         }
   }
   // gambar urutan hasil pencarian
   for (int i=0; i<pathSequence.size(); i++)
   {
         int nodeIdx = pathSequence.at(i);
         if (i == 0)
               sprintf(markText,"%s","start");
         else
               sprintf(markText,"%d",i);
         Vec3 position(
               graph.getNodePosition()[nodeIdx].getX()+2.0f*radius,
               graph.getNodePosition()[nodeIdx].getY()+2.0f*radius,
               0.0f);
         Vec3 color(1.0f,0.0f,1.0f);
         drawText(position, color, markText, radius, 2.0f);
   }

   glPopMatrix();
}

// taruh semua obyek yang akan digambar di fungsi display()
void displayGraph()
{
   // bersihkan dan reset layar dan buffer
   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
```

```
    glLoadIdentity();
    // posisikan kamera pandang
    gluLookAt(0.0f, 0.0f, 2.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f);
    // panggil fungsi untuk menggambar obyek
    drawNodes();
    if (!pathSequence.empty())
          drawResult();
    drawEdges();
    // tampilkan obyek ke layar
    glutSwapBuffers();
}
```

Note: Ingat untuk C++ fungsi yang akan digunakan/dipanggil harus berada di atas fungsi yang memanggil kecuali dideklarasikan nama fungsinya terlebih dahulu di bagian atas program setelah header

2. Tuliskan kode fungsi berikut untuk menerapkan algoritma BFS pada graf.

```
// fungsi untuk menerapkan Breadth First Search (BFS) pada graf
// graph = graf
// startIdx = indeks node mulai
void BFS(Graph graph, int startIdx)
{
    // tandai semua node yang belum dikunjungi
    bool* visited = new bool[graph.getNumNodes()];
    for(int i = 0; i < graph.getNumNodes(); i++)
        visited[i] = false;

    // buat antrian node
    list<int> queue;

    // tandai node sekarang sebagai node yang dikunjungi
    visited[startIdx] = true;
    queue.push_back(startIdx);

    pathSequence.clear();
    pathResult = new vector<int>[graph.getNumNodes()];
    while(!queue.empty())
    {
        // keluarkan node dari antrian dan cetak indeksnya
        startIdx = queue.front();
        cout << startIdx << " ";
        pathSequence.push_back(startIdx);
        queue.pop_front();

        // ambil semua node yang bertetangga dengan node sekarang
        // dari daftar antrian node
        for (int i=0; i<graph.getAdjNodes()[startIdx].size(); i++)
        {
                // jika node tetangganya belum dikunjungi maka tandai
                // telah dikunjungi dan keluarkan dari antrian
                int nodeIdx = graph.getAdjNodes()[startIdx].at(i);
                if (!visited[nodeIdx])
                {
                        visited[nodeIdx] = true;
                        queue.push_back(nodeIdx);
                        pathResult[startIdx].push_back(nodeIdx);
                }
         }
```

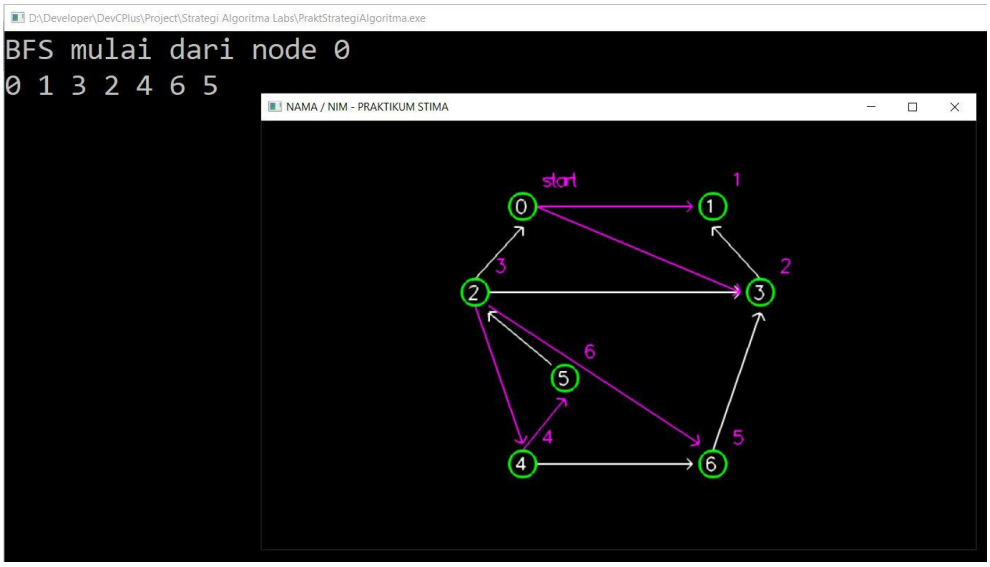
```
        // jika antrian kosong tapi masih ada node yang belum dikunjungi
        // maka buat node tersebut sebagai titik awal lagi
        if (queue.empty())
        {
                int j=0;
                // cari node yang belum dikunjungi
                while (visited[j] && j<graph.getNumNodes())
                        j++;
                // bila ada node yang belum dikunjungi maka masukan di antrian
                if (!visited[j] && j<graph.getNumNodes())
                {
                        visited[j] = true;
                        queue.push_back(j);
                }
        }
    }
}
```

3. Tuliskan kode tester berikut untuk menerapkan algoritma BFS pada graf di Gambar 6.1.

```
// kode tester
int main(int argc, char** argv)
{
   // inisialisasi graf
   graph.setIsDirected(true);
   graph.setNumLevels(4);
   graph.setNumNodes(7);
   // tambahkan nodes
   graph.addNode(0, 0, 1.1f);
   graph.addNode(1, 0, 0.95f);
   graph.addNode(2, 1, 0.9f);
   graph.addNode(3, 1, 1.05f);
   graph.addNode(4, 3, 1.1f);
   graph.addNode(5, 2, 0.85f);
   graph.addNode(6, 3, 0.95f);
   // tambahkan edges
   graph.addEdge(0, 1);
   graph.addEdge(0, 3);
   graph.addEdge(2, 0);
   graph.addEdge(2, 3);
   graph.addEdge(2, 4);
   graph.addEdge(2, 6);
   graph.addEdge(3, 1);
   graph.addEdge(4, 5);
   graph.addEdge(4, 6);
   graph.addEdge(5, 2);
   graph.addEdge(6, 3);
   // perkiraan posisi node
   graph.setNodePosition();

   // terapkan BFS
   int startIdx = 0;
   cout << "BFS mulai dari node " << startIdx << "\n";
   BFS(graph, startIdx);

   // inisialisasi jendela OpenGL
   glutInit(&argc, argv);
   glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA | GLUT_DEPTH);
   // set ukuran jendela tampilan dalam piksel
   glutInitWindowSize(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT);
   // posisi jendela dilayar komputer dalam piksel
```

```
    glutInitWindowPosition(100, 100);
    // judul jendela (isi dengan NAMA / NIM - JUDUL PRAKTIKUM)
    glutCreateWindow("NAMA / NIM - PRAKTIKUM STIMA");
    // panggil fungsi init untuk inisialisasi awal
    initView();
    // event handler untuk display
    glutDisplayFunc(displayGraph);
    glutReshapeFunc(reshapeView);
    // looping
    glutMainLoop();

    return 0;
}
```

4. Jalankan kodenya unutuk menerapkan algoritma BFS pada graf diatas. Hasil penerapan ditunjukkan pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7. Hasil algoritma BFS pada graf.

Note: Kalau waktunya masih cukup silakan dilanjutkan dengan langkah berikut. Apabila tidak maka langkah selanjutnya dijadikan tugas.

5. Tuliskan kode fungsi berikut untuk menerapkan algoritma DFS pada graf.

```
// fungsi rekursi untuk Depth First Search (DFS)
void DFSRecursive(Graph graph, int startIdx, int endIdx, bool visited[])
{
    // tandai node sekarang sebagai node yang dikunjungi
     visited[startIdx] = true;
     cout << startIdx << " ";
     pathSequence.push_back(startIdx);

     // rekursi ke semua node yang bertetangga
     for (int i=0; i<graph.getAdjNodes()[startIdx].size(); i++)
     {
         int nodeIdx = graph.getAdjNodes()[startIdx].at(i);
         if (!visited[nodeIdx])
         {
             DFSRecursive(graph, nodeIdx, startIdx, visited);
             pathResult[startIdx].push_back(nodeIdx);
```

```
        }
    }
   // jika semua node cabang pada node awal sudah habis maka
   // tentukan node baru yang belum dikunjungi sebagai node awal
   if (startIdx == endIdx)
   {
         int j=0;
         // cari node yang belum dikunjungi
         while (visited[j] && j<graph.getNumNodes())
               j++;
         // bila ada node yang belum dikunjungi maka masukan dalam antrian
         if (!visited[j] && j<graph.getNumNodes())
               DFSRecursive(graph, j, j, visited);
   }
}

// fungsi untuk menerapkan Depth First Search (DFS) pada graf
// graph = graf
// startIdx = indeks node mulai
void DFS(Graph graph, int startIdx)
{
    // tandai semua node yang belum dikunjungi
    bool* visited = new bool[graph.getNumNodes()];
    for(int i = 0; i < graph.getNumNodes(); i++)
        visited[i] = false;

    pathSequence.clear();
    pathResult = new vector<int>[graph.getNumNodes()];

    // rekursi DFS
    DFSRecursive(graph, startIdx, startIdx, visited);
}
```

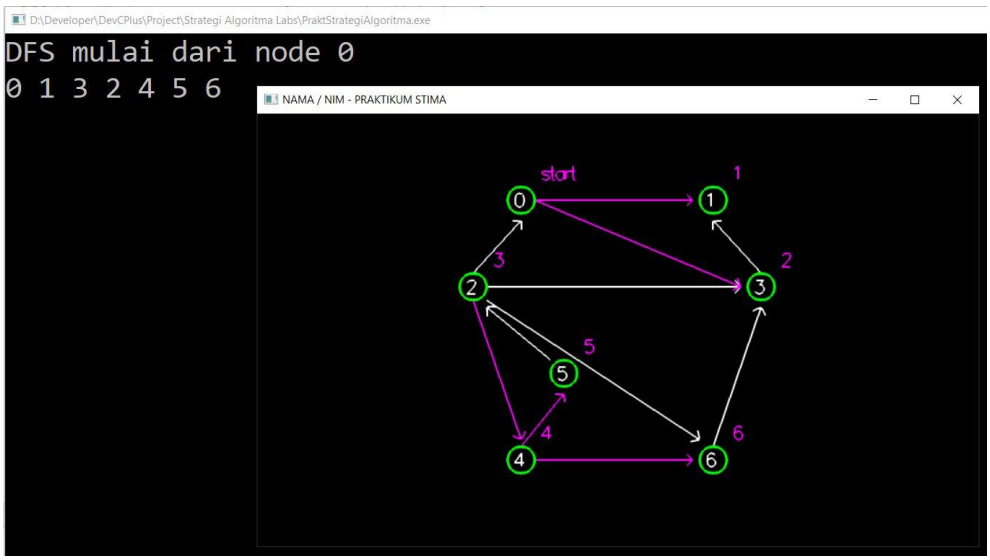
6. Ganti kode penerapan algoritma BFS berikut yang ada di kode tester main() menjadi penerapan algoritma DFS.

```
   . . .
   // terapkan BFS
   int startIdx = 0;
   cout << "BFS mulai dari node " << startIdx << "\n";
   BFS(graph, startIdx);
   . . .
```

Menjadi

```
   . . .
   // terapkan DFS
   int startIdx = 0;
   cout << "DFS mulai dari node " << startIdx << "\n";
   DFS(graph, startIdx);
   . . .
```

7. Jalankan kodenya unutuk menerapkan algoritma DFS pada graf diatas. Hasil penerapan ditunjukkan pada Gambar 6.8.



Gambar 6.8. Hasil algoritma DFS pada graf.

8. Amati perbedaan kedua algoritma tersebut dan jelaskan perbedaannya.

6.6. TUGAS / POST TEST

1. Terapkan algoritma BFS dan DFS pada graf berarah di Gambar 6.4 (lihat bagian Pre Test) mulai dari simpul ke-0 dengan memodifikasi kode tester praktikum BFS dan DFS yang sudah anda buat!
2. Analisis apakah hasil dari program sama dengan jawaban pre test anda!

PRAKTIKUM 7: ALGORITMA BACKTRACKING

Pertemuan ke : 7

Total Alokasi Waktu : 90 menit
- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 45 menit
- Post-Test : 30 menit

Total Skor Penilaian : 100%
- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

7.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan mampu menerapkan algoritma Backtracking untuk menyelesaikan masalah pewarnaan node/simpul pada graf.

Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan algoritma Backtracking untuk menyelesaikan masalah pewarnaan node/simpul pada graf.

7.2. TEORI PENDUKUNG

Algoritma runut-balik merupakan perbaikan dari exhaustive search. Pada exhaustive search, semua kemungkinan solusi dieksplorasi satu per satu. Pada backtracking, hanya pilihan yang mengarah kesolusi yang dieksplorasi, pilihan yang tidak mengarah ke solusi tidak dipertimbangkan lagi. Dengan kata lain memangkas (pruning) simpul-simpul yang tidak mengarah ke solusi. Algoritma runut-balik pertama kali diperkenalkan oleh D. H. Lehmer pada tahun 1950. Kemudian, R.J Walker, Golomb, dan Baumert menyajikan uraian umum tentang algoritma runut-balik. Pada graf atau pohon, Backtracking dapat dipandang sebagai pencarian di dalam pohon menuju simpul daun (goal) tertentu. Ada tiga macam simpul (node) yaitu Simpul akar, Simpul dalam, dan Simpul daun. Prinsip Pencarian Solusi dengan Metode Runut-balik:

1. Solusi dicari dengan membentuk lintasan dari akar ke daun. Aturan pembentukan yang dipakai adalah mengikuti aturan depht-first order (DFS).
2. Simpul-simpul yang sudah dilahirkan dinamakan simpul hidup (live node).
3. Simpul hidup yang sedangdiperluas dinamakan simpul-E (Expand-node).
4. Tiap kali simpul-E diperluas, lintasan yang dibangun olehnya bertambah panjang.
5. Jika lintasan yang sedang dibentuk tidak mengarah ke solusi, maka simpul-E tersebut “dibunuh” sehingga menjadi simpul mati (dead node).
6. Fungsi yang digunakan untuk membunuh simpul-E adalah dengan menerapkan fungsi pembatas (bounding function).
7. Simpul yang sudah mati tidak akan pernah diperluas lagi.
8. Jika pembentukan lintasan berakhir dengan simpul mati, maka proses pencarian backtrackke simpul aras diatasnya
9. Lalu, teruskan dengan membangkitkan simpul anak yang lainnya.
10. Selanjutnya simpul ini menjadi simpul-E yang baru.

11. Pencarian dihentikan bila kita telah sampai pada goal node.

Algoritma Backtracking:

```
procedure RunutBalikR(input k:integer)
{Mencari semua solusi persoalan dengan metode runut-balik; skema
rekursif
 Masukan: k, yaitu indeks komponen vektor solusi, x[k]
 Keluaran: solusi x = (x[1], x[2], …, x[n])
}
Algoritma:
   for tiap x[k] yang belum dicoba sedemikian sehingga
        ( x[k]←T(k)) and B(x[1], x[2], ... ,x[k])= true do
      if (x[1], x[2], ... ,x[k]) adalah lintasan dari akar ke daun
      then
        CetakSolusi(x)
      endif
      RunutBalikR(k+1)     { tentukan nilai untuk x[k+1]}
   endfor
```

Gambar 7.1. Algoritma Bactracking

(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2018)

Setiap simpul dalam pohon ruang status berasosiasi dengan sebuah pemanggilan rekursif. Jika jumlah simpul dalam pohon ruang status adalah 2n atau n! maka untuk kasus terburuk, algoritma runut-balik membutuhkan waktu dalam O(p(n)2n) atau O(q(n)n!), denganp(n) dan q(n) adalah polinom derajat n yang menyatakan waktu komputasi setiap simpul.

Pewarnaan Graf (Graph Colouring)

Diberikan sebuah graf G dengan n buah simpul dan disediakan m buah warna. Bagaimana mewarnai seluruh simpul graf G sedemikian sehingga tidak ada dua buah simpul bertetangga yang mempunyai warna sama (perhatikan juga bahwa tidak seluruh warna harus dipakai).

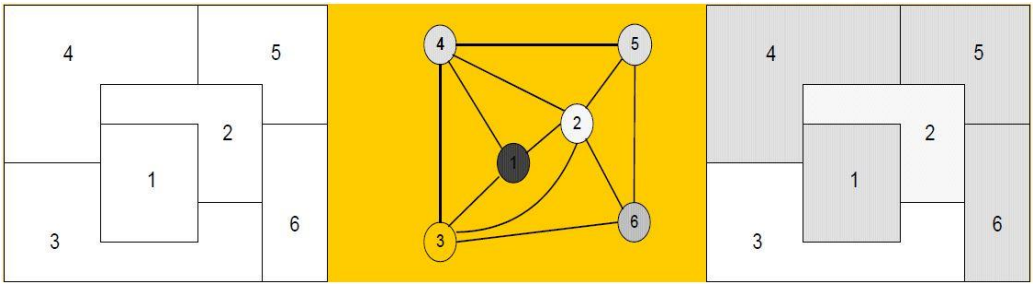
```
procedure PewarnaanGraf(input k : integer)
{ Mencari semua solusi solusi pewarnaan graf; rekursif
  Masukan: k adalah nomor simpul graf.
  Keluaran: jika solusi ditemukan, solusi dicetak ke piranti
keluaran
}
Deklarasi
  stop : boolean

Algoritma:
  stop←false
  while not stop do
     {tentukan semua nilai untuk x[k] }
     WarnaBerikutnya(k) {isi x[k] dengan sebuah warna}
     if x[k] = 0 then    {tidak ada warna lagi, habis}
      stop←true
     else
      if k=n then       {apakah seluruh simpul sudah diwarnai?}
         CetakSolusi(X,n)
      else
         PewarnaanGraf(k+1)    {warnai simpul berikutnya}
       endif
    endif
  endwhile
```

Gambar 7.2 Algoritma Runut-balik Untuk Pewarnaan Graf-1

```
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 berbeda-beda.
 K.Akhir: x[k] berisi dengan warna berikutnya apabila 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)  {warna berikutnya}
     if x[k]=0  then          {semua warna telah terpakai}
      stop←true
     else
        {periksa warna simpul-simpul tetangganya}
       j←1
       keluar←false
        while (j≤n) and (not keluar) do

           if (GRAF[k,j]) {jika ada sisi dari simpul k ke simpul j}
               and              {dan}
            (x[k] = x[j])      {warna simpul k = warna simpul j }
           then
            keluar←true {keluar dari kalang}
           else
            j←j+1       {periksa simpul berikutnya}
          endif
        endwhile
        { j > n or keluar}

        if j=n+1 {seluruh simpul tetangga telah diperiksa dan
                  ternyata warnanya berbeda dengan x[k] }
        then
           stop←true    {x[k] sudah benar, keluar dari kalang}
        endif

     endif
  endwhile
```

Gambar 7.3. Algoritma Runut-balik Untuk Pewarnaan Graf-2
(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2018)

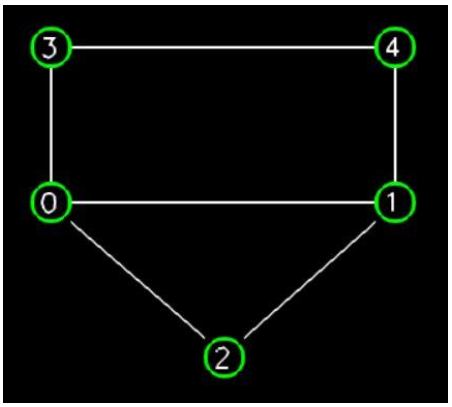
Contoh:



Gambar 7.4 Contoh kasus pewarnaan graf
(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2018)

7.3. PRE TEST

Analisis graf pada Gambar 7.5 di bawah ini dan tuliskan satu cara urutan pewarnaan simpul yang mungkin secara manual dengan algoritma Backtracking apabila menggunakan 3 warna: merah, hijau dan biru!



Gambar 7.5 Graf untuk soal Pre Test dan Post Test Praktikum 7

7.4. ALAT DAN BAHAN

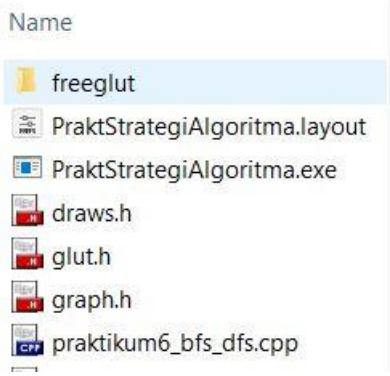
Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

1. Komputer.
2. DevC++.
3. OpenGL Library.

7.5. LANGKAH PRAKTIKUM

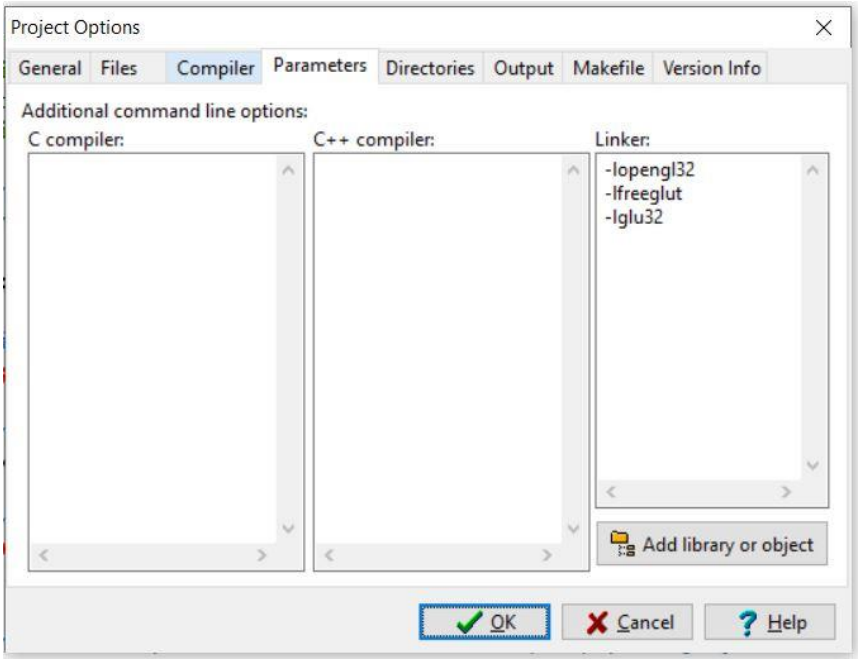
PERSIAPAN

1. Buka DevC++ dan buat project baru dengan nama **praktikum07.**
2. Download library **freeglut** di elearning Strategi Algoritma di bagian atas. Ekstrak .rar nya di lokasi folder project anda berada. Contoh tampilan folder project ditunjukkan pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6. Contoh isian folder project

3. Setting OpenGL library pada DevC++ dengan klik Project – Project options – Parameters lalu isikan –lopengl32 –lfreeglut –lglu32 pada Linker seperti pada Gambar 7.7.



Gambar 7.7. Setting OpenGL pada DevC++

4. Download file tambahan praktikum yaitu **draws.h** dan **graph.h** untuk menggambar graf dengan OpenGL dari elearning Strategi Algoritma. Ekstrak .rar nya lalu copy kan ke folder project anda.
5. Buat file baru dengan nama **praktikum07.cpp**.

PRAKTIKUM

1. Tuliskan kode berikut pada praktikum07.cpp untuk inisialisasi variable dan jendela OpenGL.

```
// Praktikum 7: Backtracking
// Penerapan contoh di slide kuliah Strategi Algoritma - Backtracking hal 39

#include <windows.h>
#include <iostream>
#include <list>

#include "draws.h"

using namespace std;

// global Graph
Graph graph;

// hasil penerapan algoritma
bool colorExist;
int* colorList;

// fungsi untuk menandai hasil
void drawResult()
{
   glPushMatrix();

   float radius = 15.0f;
   if (colorExist)
   {
      // gambar nodes
      for (int i=0; i<graph.getNumNodes(); i++)
      {
```

```
            sprintf(text,"%d",i);
            drawCircle(graph.getNodePosition()[i], getColorTable(colorList[i]-1),
               radius, 360, 3.0f);
            drawText(graph.getNodePosition()[i], Vec3(1.0f,1.0f,1.0f), text,
               radius, 2.0f);
         }
      }

      glPopMatrix();
}

// taruh semua obyek yang akan digambar di fungsi display()
void displayGraph()
{
   // bersihkan dan reset layar dan buffer
   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
   glLoadIdentity();
   // posisikan kamera pandang
   gluLookAt(0.0f, 0.0f, 2.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f);
   // panggil fungsi untuk menggambar obyek
   if (colorExist)
      drawResult();
   else
      drawNodes();
   drawEdges();
   // tampilkan obyek ke layar
   glutSwapBuffers();
}
```

2. Tuliskan kode fungsi berikut untuk menerapkan algoritma Backtracking untuk pewarnaan simpul pada graf.

```
// cek apakah warna sudah dipakai atau belum di node tetangga
// kalau belum return true dan sebaliknya
bool assignColor(int nodeIdx, vector<bool> adjStatus[], int colorList[],
   int colorIdx)
{
   for (int i=0; i<adjStatus[nodeIdx].size(); i++)
   {
      vector<bool> localAdjStatus = adjStatus[nodeIdx];
      if (localAdjStatus.at(i) && colorIdx == colorList[i])
         return false;
    }
    return true;
}

// rekursive pewarnaan graf dengan jumlah warna = numColors;
bool graphColoringRecursive(vector<bool> adjStatus[], int numNodes,
   int numColors, int colorList[], int nodeIdx)
{
    // base case: jika semua node sudah diwarnai return true
    if (nodeIdx == numNodes)
        return true;

    // coba warna yang lain
    for (int colorIdx = 1; colorIdx <= numColors; colorIdx++)
    {
        // cek apakah warna bisa diterapkan pada node
        if (assignColor(nodeIdx, adjStatus, colorList, colorIdx))
        {
           colorList[nodeIdx] = colorIdx;
```

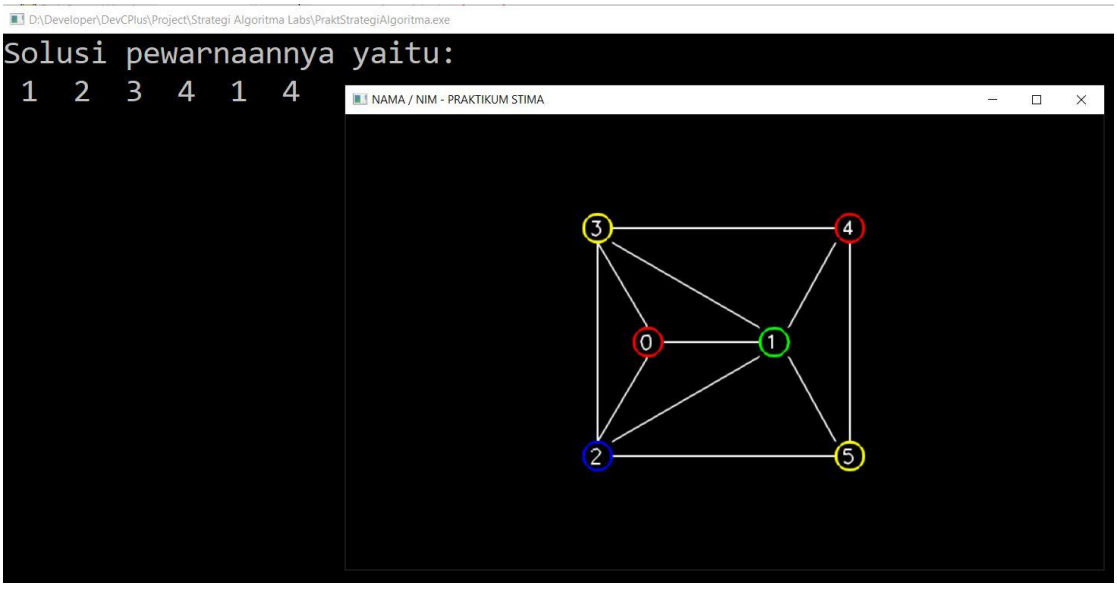
```
            // rekursi untuk mewarnai semua node
            if (graphColoringRecursive(adjStatus, numNodes, numColors,
               colorList, nodeIdx+1))
                 return true;

            // jika warna tidak mungkin diterapkan maka dihapus
            colorList[nodeIdx] = 0;
         }
    }
    // jika tidak ada warna yang bisa diterapkan maka return false
    return false;
}

// fungsi untuk mewarnai node pada graf dengan jumlah warna = numColors
void graphColoring(vector<bool> adjStatus[], int numColors)
{
    // inisialisasi awal semua warna di node = 0
    colorList = new int[graph.getNumNodes()];
    for (int i = 0; i < graph.getNumNodes(); i++)
       colorList[i] = 0;

    // rekursi pewarnaan graf
    if (graphColoringRecursive(adjStatus, graph.getNumNodes(), numColors,
       colorList, 0) == false)
    {
       printf("Tidak ada solusi pewarnaan yang mungkin");
       colorExist = false;
    }
    else
    {
       printf("Solusi pewarnaannya yaitu: \n");
       for (int i = 0; i < graph.getNumNodes(); i++)
          printf(" %d ", colorList[i]);
       printf("\n");
       colorExist = true;
    }
}
```

3. Tuliskan kode tester berikut untuk menerapkan algoritma Backtracking pada kasus di Gambar 7.4.

```
// kode tester
int main(int argc, char** argv)
{
   // inisialisasi graf
   graph.setIsDirected(false);
   graph.setNumLevels(3);
   graph.setNumNodes(6);
   // tambahkan node
   graph.addNode(0, 1, 1.2f);
   graph.addNode(1, 1, 0.85f);
   graph.addNode(2, 2, 1.0f);
   graph.addNode(3, 0, 1.0f);
   graph.addNode(4, 0, 1.0f);
   graph.addNode(5, 2, 1.0f);
   // tambahkan edge
   graph.addEdge(0, 1);
   graph.addEdge(0, 2);
   graph.addEdge(0, 3);
   graph.addEdge(1, 2);
   graph.addEdge(1, 3);
```

```
    graph.addEdge(1, 4);
    graph.addEdge(1, 5);
    graph.addEdge(2, 3);
    graph.addEdge(2, 5);
    graph.addEdge(3, 4);
    graph.addEdge(4, 5);
    // estimate node position
    graph.setNodePosition();
    graph.setAdjStatus();

    // banyaknya warna
    int numColors = 4;
    graphColoring(graph.getAdjStatus(), numColors);

    // inisialisasi jendela OpenGL
    glutInit(&argc, argv);
    glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA | GLUT_DEPTH);
    // set ukuran jendela tampilan dalam piksel
    glutInitWindowSize(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT);
    // posisi jendela dilayar komputer dalam piksel
    glutInitWindowPosition(100, 100);
    // judul jendela (isi dengan NAMA / NIM - JUDUL PRAKTIKUM)
    glutCreateWindow("NAMA / NIM - PRAKTIKUM STIMA");
    // panggil fungsi init untuk inisialisasi awal
    initView();
    // event handler untuk display
    glutDisplayFunc(displayGraph);
    glutReshapeFunc(reshapeView);
    // looping
    glutMainLoop();

    return 0;
}
```

4. Jalankan kodenya untuk menerapkan algoritma Backtracking pada graf diatas. Hasil penerapan ditunjukkan pada Gambar 7.8. Keterangan: Warna 1: merah, Warna 2: hijau, Warna 3: biru, Warna 4: kuning, dst bisa dilihat di draws.h.



Gambar 7.8 Hasil penerapan algoritma Bactracking untuk pewarnaan simpul graf

5. Amati hasilnya kemudian jelaskan cara kerjanya.

7.6. TUGAS / POST TEST

1. Terapkan algoritma backtracking pada graf di Gambar 7.5 (lihat bagian Pre Test) untuk pewarnaan simpul menggunakan 3 warna dengan memodifikasi kode tester praktikum backtracking yang sudah anda buat!
2. Analisis apakah hasil dari program sama dengan jawaban pre test anda!

PRAKTIKUM 8: ALGORITMA BRANCH AND BOUND

Pertemuan ke : 8

Total Alokasi Waktu : 90 menit
- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 45 menit
- Post-Test : 30 menit

Total Skor Penilaian : 100%
- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

8.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan menerapkan algoritma branch and bound untuk Travelling Salesman Problem.
Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan algoritma branch and bound untuk Travelling Salesman Problem.

8.2. TEORI PENDUKUNG

Algoritma Branch and Bound digunakan untuk persoalan optimisasi yang meminimalkan atau memaksimalkan suatu fungsi objektif, yang tidak melanggar batasan(constraints) persoalan. Algoritma B&B merupakan BFS + least cost search. Dimana di BFS murni, simpul berikutnya yang akan diekspansi berdasarkan urutan pembangkitannya (FIFO) sedangkan di B&B, setiap simpul diberi sebuah nilai cost: ĉ(i)= nilai taksiran lintasan termurah ke simpul status tujuan yang melalui simpul status i. Simpul berikutnya yang akan di-expand tidak lagi berdasarkan urutan pembangkitannya, tetapi simpul yang memiliki cost yang paling kecil (least cost search) –pada kasus minimasi. Algoritma B&B juga menerapkan "pemangkasan" pada jalur yang dianggap tidak lagi mengarah pada solusi.
Kriteria pemangkasan secara umum:
1. Nilai simpul tidak lebih baik dari nilai terbaik sejauh ini
2. Simpul tidak merepresentasikan solusi yang 'feasible' karena ada batasan yang dilanggar
3. Solusi yang feasible pada simpul tersebut hanya terdiri atas satu titik tidak ada pilihan lain; dengan membandingkan nilai fungsi obyektif dengan solusi terbaik saat ini, yang terbaik yang diambil.

Pada umumnya, untuk kebanyakan persoalan, letak simpul solusi tidak diketahui. Misalnya pada persoalan N-Ratu: persoalan yg ideal (letak simpul solusi diketahui). Untuk kasus lain apakah letak simpul solusi diketahui? Misalnya knapsack problem, graph colouring, permainan 8-puzzle, dan TSP. Pada umumnya, untuk kebanyakan persoalan, letak simpul solusi tidak diketahui. Cost setiap simpul umumnya berupa taksiran.

$$\hat{c}(i) = \hat{f}(i) + \hat{g}(i)$$

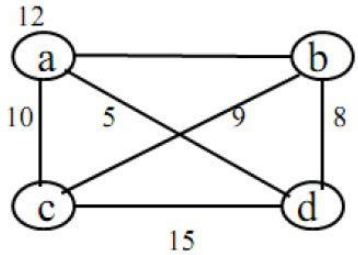
$\hat{c}(i)$ = ongkos untuk simpul i
$\hat{f}(i)$ = ongkos mencapai simpul i dari akar
$\hat{g}(i)$ = ongkos mencapai simpul tujuan dari simpul i.

Algoritma umum untuk B&B sebagai berikut:

1. Masukkan simpul akar ke dalam antrian Q. Jika simpul akar adalah simpul solusi (goal node), maka solusi telah ditemukan. Stop.
2. Jika Q kosong, tidak ada solusi. Stop.
3. Jika Q tidak kosong, pilih dari antrian Q simpul i yang mempunyai nilai 'cost' ĉ(i)paling kecil. Jika terdapat beberapa simpul i yang memenuhi, pilih satu secara sembarang.
4. Jika simpul i adalah simpul solusi, berarti solusi sudah ditemukan, stop. Jika simpul i bukan simpul solusi, maka bangkitkan semua anak-anaknya. Jika i tidak mempunyai anak, kembali ke langkah 2.
5. Untuk setiap anak j dari simpul i, hitung ĉ(j), dan masukkan semua anak-anak tersebut ke dalam Q.
6. Kembali ke langkah 2.

Travelling Salesman Problem

Diberikan n buah kota serta diketahui jarak antara setiap kota satu sama lain. Temukan perjalanan (tour) terpendek yang melalui setiap kota lainnya hanya sekali dan kembali lagi ke kota asal keberangkatan. Contoh kasus ditunjukkan pada Gambar 8.1.



Gambar 8.1 Contoh kasus TSP

Kasus TSP dapat diselesaikan dengan B&B reduce cost matrix atau dengan bobot tour lengkap.

Branch and Bound dengan Reduce Cost Matrix pada kasus TSP

Sebuah matriks dikatakan tereduksi jika setiap kolom dan barisnya mengandung paling sedikit satu buah nol dan semua elemen lainnya non-negatif. Misalkan:
A: matriks tereduksi untuk simpul R.
S: anak dari simpul R sehingga sisi (R, S) pada pohon ruang status berkoresponden dengan sisi (i, j) pada perjalanan.
Jika S bukan simpul daun, maka matriks bobot tereduksi untuk simpul S dapat dihitung sebagai berikut:

1. ubah semua nilai pada baris i dan kolom j menjadi tak hingga (infinity). Ini untuk mencegah agar tidak ada lintasan yang keluar dari simpul i atau masuk pada simpul j;
2. ubah A(j, 1) menjadi tak hingga. Ini untuk mencegah penggunaan sisi (j, 1);
3. reduksi kembali semua baris dan kolom pada matriks A kecuali untuk elemen tak hingga.

Jika r adalah total semua pengurang, maka nilai batas untuk simpul S adalah:

$$cost(S) = cost(R) + A(i, j) + r$$

Hasil reduksi ini menghasilkan matriks B.
Ulangi langkah diatas sampai tiba di node daun. Semua simpul hidup yang nilainya lebih besar dari cost tur lengkap akan dibunuh (B) karena tidak mungkin lagi menghasilkan perjalanan dengan bobot < cost tur lengkap.

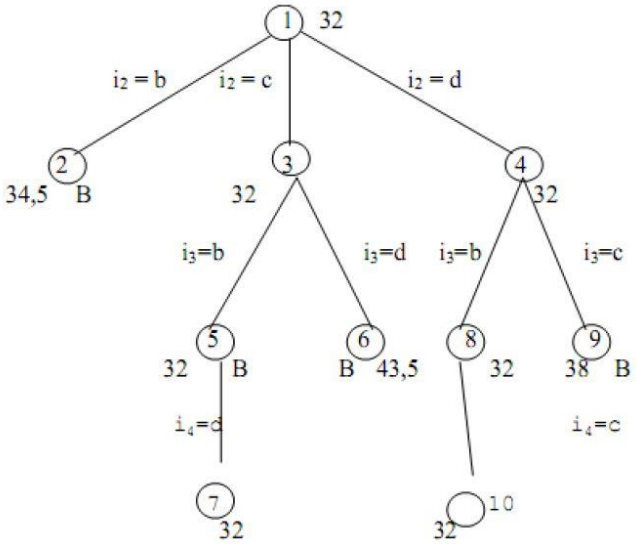
Branch and Bound dengan Bobot Tur Lengkap pada kasus TSP

Apabila menggunakan bobot tour lengkap, taksiran dari batas dapat dihitung dengan:

$$\text{bobot tur lengkap} = 1/2 \sum_{i=1}^{n} \text{bobot sisi } i_1 + \text{bobot sisi } i_2$$

sisi i_1 dan sisi i_2 adalah dua sisi yang bersisian dengan simpul i di dalam tur lengkap.

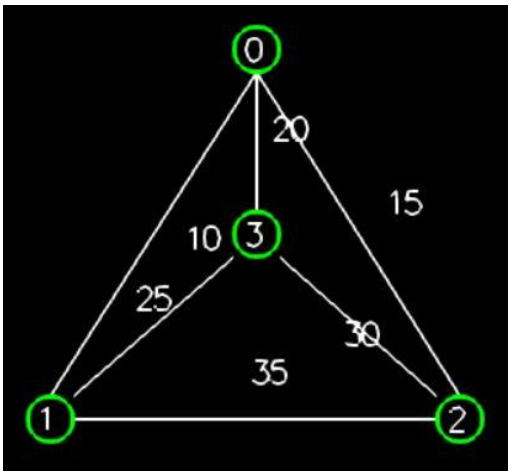
Solusi dari TSP pada Gambar 8.1 dengan algoritma B&B yaitu:



Gambar 8.2. Solusi algoritma B&B pada kasus TSP
(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2019)

8.3. PRE TEST

Analisis graf pada Gambar 8.3 di bawah ini dan tuliskan satu solusi jalur dengan cost minimum yang mungkin untuk kasus TSP menggunakan algoritma Branch and Bound!



Gambar 8.3. Kasus TSP untuk Pre Test dan Post Test Praktikum 8

8.4. ALAT DAN BAHAN

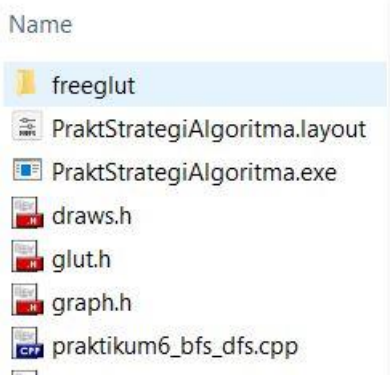
Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

1. Komputer.
2. DevC++.
3. OpenGL Library.

8.5. LANGKAH PRAKTIKUM

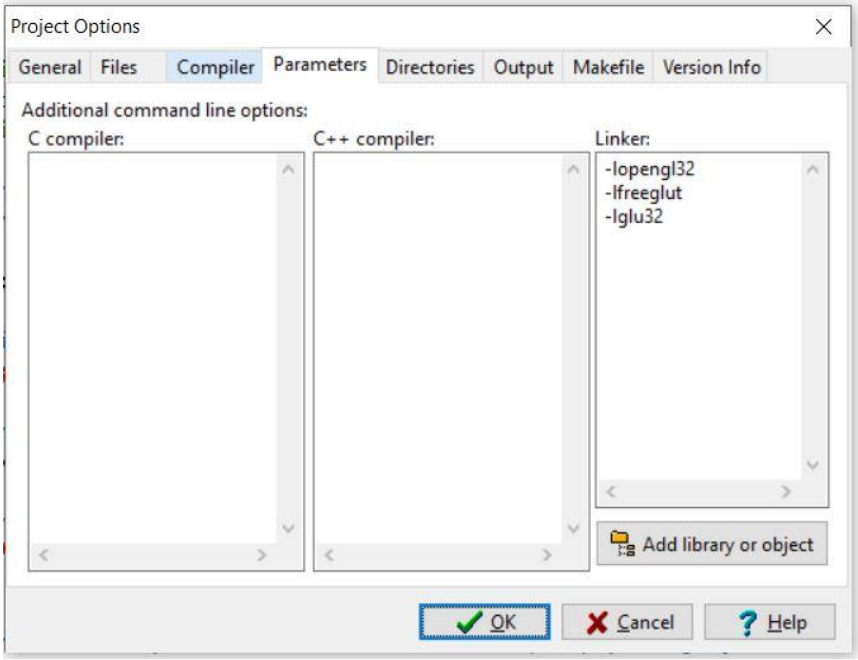
PERSIAPAN

1. Buka DevC++ dan buat project baru dengan nama **praktikum08.**
2. Download library **freeglut** di elearning Strategi Algoritma di bagian atas. Ekstrak .rar nya di lokasi folder project anda berada. Contoh tampilan folder project ditunjukkan pada Gambar 8.4.



Gambar 8.4. Contoh isian folder project

3. Setting OpenGL library pada DevC++ dengan klik Project – Project options – Parameters lalu isikan –lopengl32 –lfreeglut –lglu32 pada Linker seperti pada Gambar 8.5.



Gambar 8.5. Setting OpenGL pada DevC++

4. Download file tambahan praktikum yaitu **draws.h** dan **graph.h** untuk menggambar graf dengan OpenGL dari elearning Strategi Algoritma. Ekstrak .rar nya lalu copy kan ke folder project anda.
5. Buat file baru dengan nama **praktikum08.cpp**.

PRAKTIKUM

1. Tuliskan kode berikut pada praktikum08.cpp untuk inisialisasi variable dan jendela OpenGL.

```
// Praktikum 8: Branch and Bound
// Algoritma Branch and Bound untuk menyelesaikan Travelling Salesman Problem
```

```
#include <windows.h>
#include <iostream>
#include <list>

#include "draws.h"

using namespace std;

// global Graph
Graph graph;
char markText[10];
// hasil dari algoritma
vector<int> pathSequence;
// batas bawah dari cost untuk pruning tree
float lowerBound;
// cost tur lengkap
float completeCost;

// fungsi untuk menandai hasil
void drawResult()
{
   glPushMatrix();

   // gambar edges
   float radius = 15.0f;
   for (int i=1; i<pathSequence.size(); i++)
   {
      int sourceIdx = pathSequence.at(i-1);
      int targetIdx = pathSequence.at(i);
      drawLine(
         graph.getNodePosition(),
         sourceIdx,
         targetIdx,
         Vec3(1.0f,0.0f,1.0f),
         radius, 3.0f, true);
   }
   // gambar teks
   sprintf(markText,"%s","start");
   Vec3 position(
      graph.getNodePosition()[pathSequence.at(0)].getX()+2.0f*radius,
      graph.getNodePosition()[pathSequence.at(0)].getY()+2.0f*radius,
      0.0f);
   drawText(position, Vec3(1.0f,0.0f,1.0f), markText, radius, 2.0f);

   glPopMatrix();
}

// taruh semua obyek yang akan digambar di fungsi display()
void displayGraph()
{
   // bersihkan dan reset layar dan buffer
   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
   glLoadIdentity();
   // posisikan kamera pandang
   gluLookAt(0.0f, 0.0f, 2.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f);
   // panggil fungsi untuk menggambar obyek
   drawNodes();
   drawResult();
   drawEdges();
   drawDistances();
```

```
    // tampilkan obyek ke layar
    glutSwapBuffers();
}
```

2. Tuliskan kode fungsi berikut untuk menerapkan algoritma Branch and Bound untuk kasus TSP.

```
// reduce cost pada baris
float reduceRows(vector<float> costMatrix[], int rowIdx, int numNodes)
{
    float minValue = (float)INT_MAX;
    for (int i=0; i<numNodes; i++)
          if (costMatrix[rowIdx].at(i) < minValue)
                minValue = costMatrix[rowIdx].at(i);
    for (int i=0; i<numNodes; i++)
    {
          if (costMatrix[rowIdx].at(i) >= (float)INT_MAX) continue;
          costMatrix[rowIdx].at(i) -= minValue;
    }
    return (minValue >= (float)INT_MAX ? 0.0f : minValue);
}

// reduce cost pada kolom
float reduceCols(vector<float> costMatrix[], int colIdx, int numNodes)
{
    float minValue = (float)INT_MAX;
    for (int i=0; i<numNodes; i++)
          if (costMatrix[i].at(colIdx) < minValue)
                minValue = costMatrix[i].at(colIdx);
    for (int i=0; i<numNodes; i++)
    {
          if (costMatrix[i].at(colIdx) >= (float)INT_MAX) continue;
          costMatrix[i].at(colIdx) -= minValue;
    }
    return (minValue >= (float)INT_MAX ? 0.0f : minValue);
}

// reduce cost matrix
float reduceCostMatrix(vector<float> costMatrix[], int numNodes)
{
    float sums = 0.0f;
    for (int i=0; i<numNodes; i++)
          sums += reduceRows(costMatrix, i, numNodes);
    for (int i=0; i<numNodes; i++)
          sums += reduceCols(costMatrix, i, numNodes);
    return sums;
}

// fungsi rekursif dari branch and bound
void BBRecursive(
    int rootIdx,
    int startIdx,
    int levelIdx,
    Graph graph,
    bool visited[],
    vector<int> path,
    vector<float> costMatrix[],
    float costRoot)
{
    // inisialisasi
    int tLevelIdx = levelIdx;
```

```
    bool* tVisited = new bool[graph.getNumNodes()];
    vector<float> *tCostMatrix = new vector<float>[graph.getNumNodes()];
    for (int i=0; i<graph.getNumNodes(); i++)
    {
          tVisited[i] = visited[i];
          for (int j=0; j<graph.getNumNodes(); j++)
                tCostMatrix[i].push_back(costMatrix[i].at(j));
    }
    vector<int> tPathSequence;
    for (int i=0; i<path.size(); i++)
          tPathSequence.push_back(path.at(i));

    // update variabel
    tLevelIdx++;
    tVisited[startIdx] = true;
    tPathSequence.push_back(startIdx);

    // proses semua node yang bertetangga dengan node sekarang
    for (int n=0; n<graph.getAdjNodes()[startIdx].size(); n++)
    {
         int nodeIdx = graph.getAdjNodes()[startIdx].at(n);
         // apabila node belum dikunjungi
         if (!tVisited[nodeIdx])
         {
              // update cost matrix
              for (int i=0; i<graph.getNumNodes(); i++)
              {
                 tCostMatrix[startIdx].at(i) = (float)INT_MAX;
                 tCostMatrix[i].at(nodeIdx) = (float)INT_MAX;
              }
              tCostMatrix[nodeIdx].at(0) = (float)INT_MAX;

              // hitung reduce cost matrix di node cabang
              float r = reduceCostMatrix(tCostMatrix, graph.getNumNodes());
              float costNode = costRoot + costMatrix[startIdx].at(nodeIdx) + r;

              // rekursi node cabang apabila cost <= batas bawah cost
              if (costNode <= lowerBound)
              {
                   // rekursi node cabang
                   BBRecursive(rootIdx, nodeIdx, tLevelIdx, graph, tVisited,
                        tPathSequence, tCostMatrix, costNode);

                   // bila mencapai simpul daun
                   if (tLevelIdx == graph.getNumNodes()-1)
                   {
                        // hitung cost tur lengkap
                        tPathSequence.push_back(nodeIdx);
                        tPathSequence.push_back(rootIdx);
                        float finalCost = 0.0f;
                        for (int i=0; i<tPathSequence.size();i++)
                             if (i >= 1)
                                  finalCost +=
graph.getNodeDistance()[tPathSequence.at(i-1)].at(tPathSequence.at(i));

                        // apabila cost < cost tur lengkap sebelumnya
                        if (finalCost < completeCost)
                        {
                             lowerBound = costNode;
                             completeCost = finalCost;
```

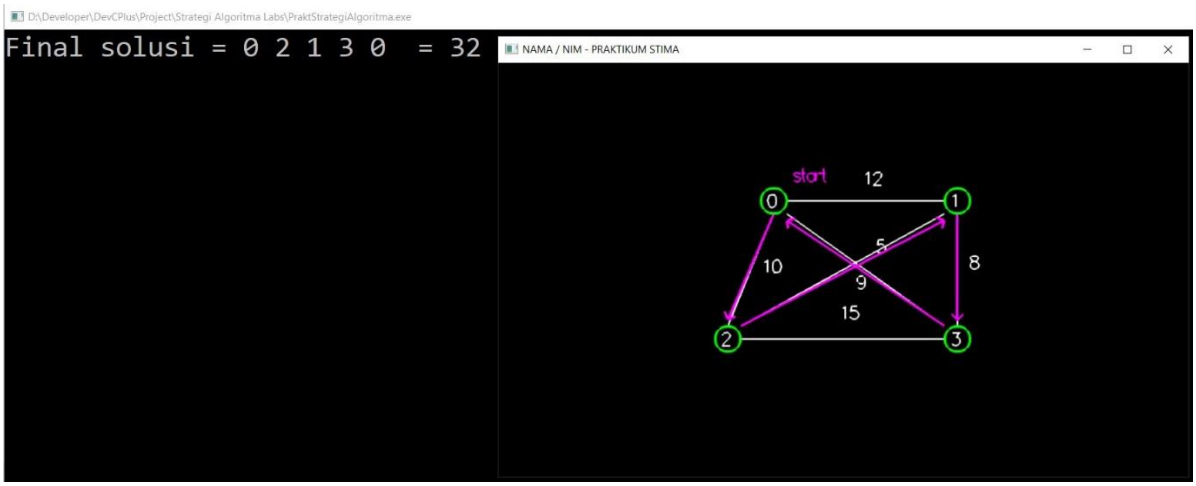
```
                            // update jalur tur lengkap
                            pathSequence.clear();
                            for (int i=0; i<tPathSequence.size(); i++)
                                 pathSequence.push_back(tPathSequence.at(i));
                        }
                    }
                }
                // reset cost matrix
                for (int i=0; i<graph.getNumNodes(); i++)
                        for (int j=0; j<graph.getNumNodes(); j++)
                              tCostMatrix[i].at(j) = costMatrix[i].at(j);
        }
    }
}

// fungsi penerapan branch and bound
void BB(int startIdx, Graph graph)
{
   // inisialisasi
   completeCost = (float)INT_MAX;
   lowerBound = (float)INT_MAX;
   pathSequence.clear();
   bool* visited = new bool[graph.getNumNodes()];
   vector<float>* costMatrix = new vector<float>[graph.getNumNodes()];
   for (int i=0; i<graph.getNumNodes(); i++)
   {
         visited[i] = false;
         for (int j=0; j<graph.getNumNodes(); j++)
               costMatrix[i].push_back(graph.getCostMatrix()[i].at(j));
   }

   // hitung reduce cost matrix di node akar
   float costRoot = reduceCostMatrix(costMatrix, graph.getNumNodes());

   // rekursi BB
   BBRecursive(startIdx, startIdx, 0, graph, visited, pathSequence,
        costMatrix, costRoot);

   // cetak hasil jalur tur lengkapnya
   float finalDistance = 0.0f;
   cout << "Final solusi = ";
   for (int i=0; i<pathSequence.size();i++)
   {
         cout << pathSequence.at(i) << " ";
         if (i >= 1)
               finalDistance += graph.getNodeDistance()[pathSequence.at(i-
                    1)].at(pathSequence.at(i));
   }
   cout << " = " << finalDistance;
}
```

3. Tuliskan kode tester berikut untuk menerapkan algoritma B&B pada kasus di Gambar 8.1.

```
// kode tester
int main(int argc, char** argv)
{
   // inisialisasi graf
   graph.setIsDirected(false);
   graph.setNumLevels(2);
   graph.setNumNodes(4);
```

```
    // tambahkan node
    graph.addNode(0, 0, 1.2f);
    graph.addNode(1, 0, 1.0f);
    graph.addNode(2, 1, 1.0f);
    graph.addNode(3, 1, 1.0f);
    // tambahkan edge dengan jarak
    graph.addEdge(0, 1, 12.0f);
    graph.addEdge(0, 2, 10.0f);
    graph.addEdge(0, 3, 5.0f);
    graph.addEdge(1, 2, 9.0f);
    graph.addEdge(1, 3, 8.0f);
    graph.addEdge(2, 3, 15.0f);
    // estimate node position
    graph.setNodePosition();
    graph.setAdjStatus();

    // terapkan algoritma BB mulai dari indeks node-0
    BB(0, graph);

    // inisialisasi jendela OpenGL
    glutInit(&argc, argv);
    glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA | GLUT_DEPTH);
    // set ukuran jendela tampilan dalam piksel
    glutInitWindowSize(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT);
    // posisi jendela dilayar komputer dalam piksel
    glutInitWindowPosition(100, 100);
    // judul jendela (isi dengan NAMA / NIM - JUDUL PRAKTIKUM)
    glutCreateWindow("NAMA / NIM - PRAKTIKUM STIMA");
    // panggil fungsi init untuk inisialisasi awal
    initView();
    // event handler untuk display
    glutDisplayFunc(displayGraph);
    glutReshapeFunc(reshapeView);
    // looping
    glutMainLoop();

    return 0;
}
```

4. Jalankan kodenya untuk menerapkan algoritma Branch and Bound pada graf diatas. Hasil penerapan ditunjukkan pada Gambar 8.6.



Gambar 8.6. Hasil penerapan algoritma B&B pada kasus TSP

5. Amati hasilnya kemudian jelaskan cara kerjanya.

8.6. TUGAS / POST TEST

1. Terapkan algoritma branch and bound pada graf di Gambar 8.3 (lihat bagian Pre Test) untuk kasus TSP dengan memodifikasi kode tester praktikum branch and bound yang sudah anda buat!
2. Analisis apakah hasil dari program sama dengan jawaban pre test anda!

PRAKTIKUM 9: ALGORITMA A*

Pertemuan ke : 9

Total Alokasi Waktu : 90 menit
- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 45 menit
- Post-Test : 30 menit

Total Skor Penilaian : 100%
- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

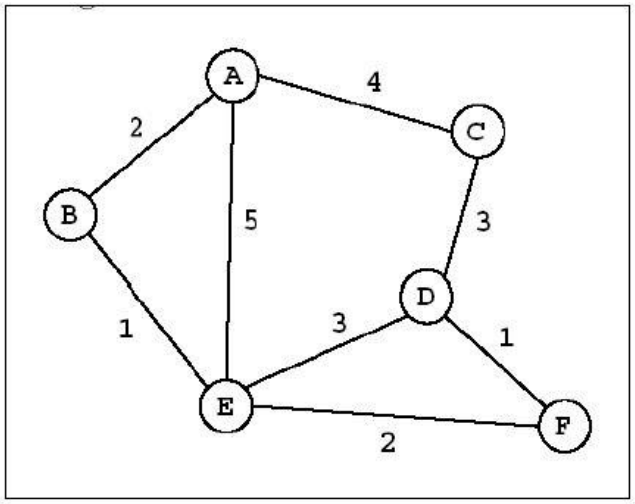
9.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan menerapkan algoritma A* untuk mencari rute terpendek.

Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan algoritma A* untuk mencari rute terpendek.

9.2. TEORI PENDUKUNG

Algoritma A* mempunyai ide untuk menghindari jalur yang terlalu mahal. Untuk melakukan hal tersebut digunakan fungsi evaluasi yaitu f(n) = g(n) + h(n) dimana g(n) merupakan cost untuk mencapai n, h(n) adalah perkiraan cost dari n ke tujuan dan f(n) merupakan perkiraan total cost melalui jalur n ke tujuan. Perkiraan dari cost heuristic h(n) dapat menggunakan rumus pengukuran jarak seperti jarak Manhattan, jarak Euclidean dan lainnya. Untuk memilih jalur, algoritma A* memilih total cost f(n) yang paling murah diantara jalur yang mungkin ditempuh. Algoritma A* dapat menghasilkan solusi rute dengan cost terendah. Contoh kasus pencarian rute terdekat ditunjukkan pada Gambar 9.1.



Gambar 9.1 Contoh kasus pencarian rute terdekat dari simpul A ke simpul F.
(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2019)

Solusi dari kasus tersebut apabila diselesaikan menggunakan algoritma A* yaitu:

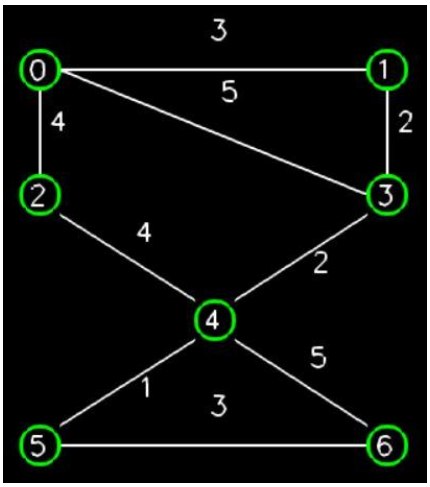
A Star	
Formula: f(n) = g(n) + h(n)	
Simpul - Ekspan	Simpul Hidup
A	Ba f(Ba) = 2+2 = 4
	Ca f(Ca) = 4 + 2 = 6
	Ea f(Ea) = 5 + 1 = 6
Ba	Eba f(Eba) = 3 + 1 = 4
	Ca f(Ca) = 4 + 2 = 6
	Ea f(Ea) = 5 + 1 = 6

Eba	Feba f(Feba) = 5 + 0 = 5
	Ca f(Ca) = 4 + 2 = 6
	Ea f(Ea) = 5 + 1 = 6
	Deba f(Deba) = 6+1 = 7
Feba	Sudah sampai solusi

Jalur: A-B-E-F	
Jarak: 5	
Banyaknya iterasi: 4	

9.3. PRE TEST

Analisis graf pada Gambar 9.2 di bawah ini dan tuliskan satu solusi jalur terpendek yang mungkin menggunakan algoritma A* apabila jarak heuristiknya merupakan banyaknya busur minimal dari node asal ke node target!



Gambar 9.2. Graf untuk Pre Test dan Post Test Praktikum 9

9.4. ALAT DAN BAHAN

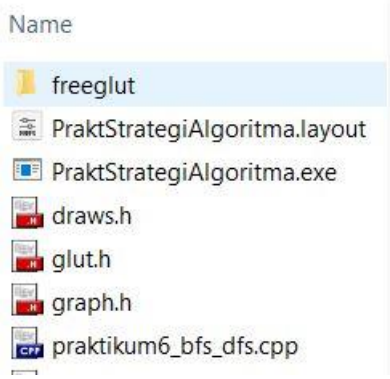
Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

1. Komputer.
2. DevC++.
3. OpenGL Library.

9.5. LANGKAH PRAKTIKUM

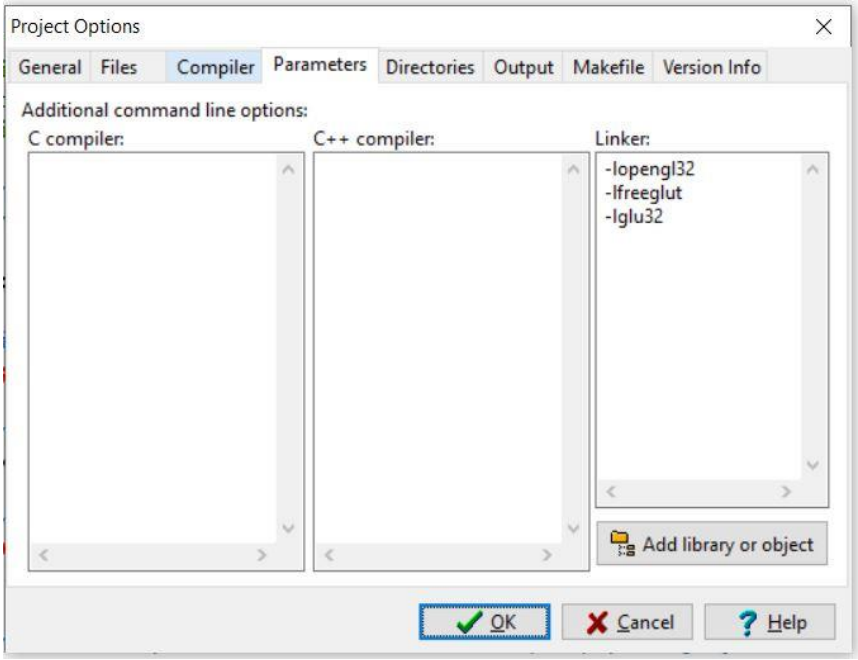
PERSIAPAN

1. Buka DevC++ dan buat project baru dengan nama **praktikum09.**
2. Download library **freeglut** di elearning Strategi Algoritma di bagian atas. Ekstrak .rar nya di lokasi folder project anda berada. Contoh tampilan folder project ditunjukkan pada Gambar 9.3.



Gambar 9.3. Contoh isian folder project

3. Setting OpenGL library pada DevC++ dengan klik Project – Project options – Parameters lalu isikan –lopengl32 –lfreeglut –lglu32 pada Linker seperti pada Gambar 9.4.



Gambar 9.4. Setting OpenGL pada DevC++

4. Download file tambahan praktikum yaitu **draws.h** dan **graph.h** untuk menggambar graf dengan OpenGL dari elearning Strategi Algoritma. Ekstrak .rar nya lalu copy kan ke folder project anda.
5. Buat file baru dengan nama **praktikum09.cpp**.

PRAKTIKUM

1. Tuliskan kode berikut pada praktikum09.cpp untuk inisialisasi variable dan jendela OpenGL.

```
// Praktikum 9: A*
// Penerapan contoh di slide kuliah materi A* untuk mencari rute terdekat
```

```
#include <windows.h>
#include <iostream>
#include <list>

#include "draws.h"

using namespace std;

// global Graph
Graph graph;
char markText[10];
vector<int> pathSequence;
float finalCost;

// fungsi untuk menandai jalur hasil pencarian
void drawResult()
{
   glPushMatrix();

   // gambar edges
   float radius = 15.0f;
   for (int i=1; i<pathSequence.size(); i++)
   {
         int sourceIdx = pathSequence.at(i-1);
         int targetIdx = pathSequence.at(i);
         drawLine(
               graph.getNodePosition(),
               sourceIdx,
               targetIdx,
               Vec3(1.0f,0.0f,1.0f),
               radius, 3.0f, true);
   }
   // gambar teks
   sprintf(markText,"%s","start");
   Vec3 position(
         graph.getNodePosition()[pathSequence.at(0)].getX()+2.0f*radius,
         graph.getNodePosition()[pathSequence.at(0)].getY()+2.0f*radius,
         0.0f);
   drawText(position, Vec3(1.0f,0.0f,1.0f), markText, radius, 2.0f);

   glPopMatrix();
}

// taruh semua obyek yang akan digambar di fungsi display()
void displayGraph()
{
   // bersihkan dan reset layar dan buffer
   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
   glLoadIdentity();
   // posisikan kamera pandang
   gluLookAt(0.0f, 0.0f, 2.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f);
   // panggil fungsi untuk menggambar obyek
   drawNodes();
   if (!pathSequence.empty())
         drawResult();
   drawEdges();
   drawDistances();
   // tampilkan obyek ke layar
   glutSwapBuffers();
}
```

2. Tuliskan kode fungsi berikut untuk menerapkan algoritma A* untuk kasus pencarian rute terdekat.

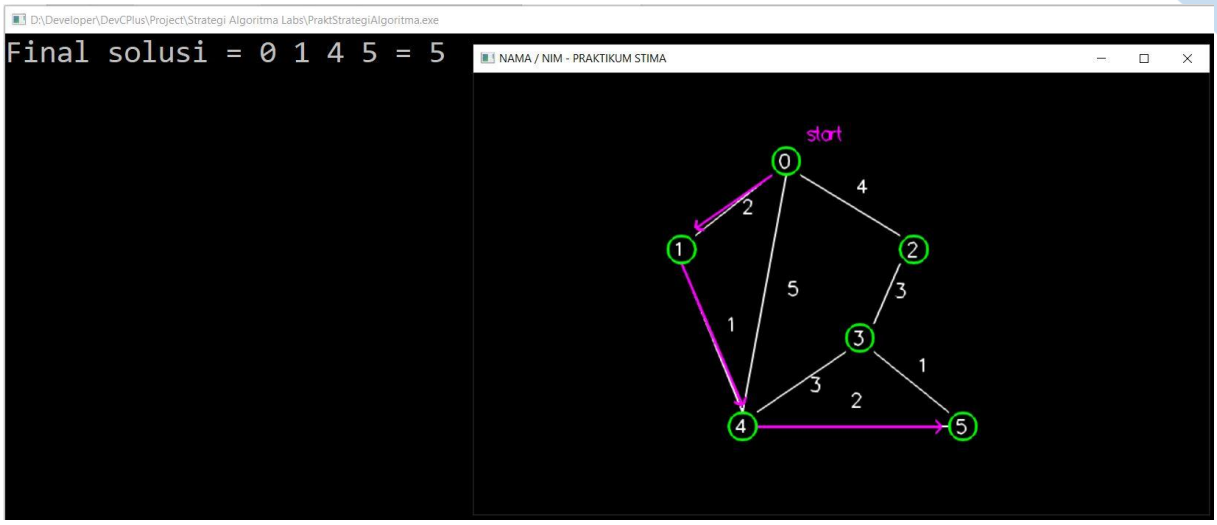
```
// hitung jarak heuristik node asal ke node target misalnya
// menggunakan banyaknya busur minimal dari simpul asal ke target
float computeHeuristic(
   Graph graph,
   bool visited[],
   int startIdx,
   int endIdx)
{
   // inisialisasi
   bool* localVisited = new bool[graph.getNumNodes()];
   for (int i=0; i<graph.getNumNodes(); i++)
         localVisited[i] = visited[i];

   // jika simpul asal sudah terhubung ke simpul target
   if (graph.getAdjStatus()[startIdx].at(endIdx))
         return 1.0f;

   // jika sudah sampai di simpul target
   if (startIdx == endIdx)
         return 0.0f;

   // hitung banyaknya busur minimum antara simpul asal dan target
   float distance = 0.0f;
   for (int i=0; i<graph.getAdjNodes()[startIdx].size(); i++)
    {
        int nodeIdx = graph.getAdjNodes()[startIdx].at(i);
        if (!localVisited[nodeIdx])
        {
         localVisited[nodeIdx] = true;
                distance = 1.0f + computeHeuristic(graph, localVisited,
                     nodeIdx, endIdx);
        }
    }
    return distance;
}

// hitung cost perjalanan
float computeCost(
   Graph graph,
   int startIdx,
   int nodeIdx,
   int endIdx)
{
    // inisialisasi
    bool* visited = new bool[graph.getNumNodes()];
    for (int i=0; i<graph.getNumNodes(); i++)
         visited[i] = false;

    // hitung jarak g(n)
    float distance2root = 0.0f;
    if (pathSequence.size() > 1)
         for (int i=1; i<pathSequence.size(); i++)
                distance2root += graph.getNodeDistance()[pathSequence.at(i-
                     1)].at(pathSequence.at(i));
    float distance2travel = distance2root +
         graph.getNodeDistance()[startIdx].at(nodeIdx);

   // hitung jarak h(n)
```

```
    float distance2target = computeHeuristic(graph, visited, nodeIdx, endIdx);

    // f(n) = g(n) + h(n)
    return distance2travel + distance2target;
}

// fungsi rekursif dari branch and bound
void AStarRecursive(
    Graph graph,
    int startIdx,
    int endIdx,
    bool visited[],
    vector<int> &pathSequence)
{
    // tandai node sekarang sebagai node yang dikunjungi
     visited[startIdx] = true;
     pathSequence.push_back(startIdx);

     // base untuk berhenti
     if (startIdx == endIdx) return;

    // cari cost minimum dari semua node yang bertetangga dengan node sekarang
    int minIdx;
    float minCost = (float)INT_MAX;
    for (int i=0; i<graph.getAdjNodes()[startIdx].size(); i++)
     {
         int nodeIdx = graph.getAdjNodes()[startIdx].at(i);
         if (!visited[nodeIdx])
         {
                 float cost = computeCost(graph, startIdx, nodeIdx, endIdx);
                 if (cost < minCost)
                 {
                         minCost = cost;
                         minIdx = nodeIdx;
                         finalCost = minCost;
                 }
         }
     }
     // rekursi ke node dengan cost minimum
     AStarRecursive(graph, minIdx, endIdx, visited, pathSequence);
}

// fungsi penerapan branch and bound
void AStar(Graph graph, int startIdx, int endIdx)
{
    // inisialisasi
    finalCost = 0.0f;
     bool* visited = new bool[graph.getNumNodes()];
    for (int i=0; i<graph.getNumNodes(); i++)
          visited[i] = false;
    pathSequence.clear();

    // terapkan rekursi dari BB
    AStarRecursive(graph, startIdx, endIdx, visited, pathSequence);

    // cetak hasilnya
    cout << "Final solusi = ";
    for (int i=0; i<pathSequence.size(); i++)
          cout << pathSequence.at(i) << " ";
    cout << "= " << finalCost;
}
```

3. Tuliskan kode tester berikut untuk menerapkan algoritma A* pada kasus di Gambar 9.1.

```
// kode tester
int main(int argc, char** argv)
{
    // inisialisasi graf
    graph.setIsDirected(false);
    graph.setNumLevels(4);
    graph.setNumNodes(6);
    // tambahkan node
    graph.addNode(0, 0, 0.85f);
    graph.addNode(1, 1, 0.85f);
    graph.addNode(2, 1, 0.9f);
    graph.addNode(3, 2, 1.05f);
    graph.addNode(4, 3, 1.1f);
    graph.addNode(5, 3, 1.0f);
    // tambahkan edge
    graph.addEdge(0, 1, 2.0f);
    graph.addEdge(0, 2, 4.0f);
    graph.addEdge(0, 4, 5.0f);
    graph.addEdge(1, 4, 1.0f);
    graph.addEdge(2, 3, 3.0f);
    graph.addEdge(3, 4, 3.0f);
    graph.addEdge(3, 5, 1.0f);
    graph.addEdge(4, 5, 2.0f);
     // estimate node position
     graph.setNodePosition();
     graph.setAdjStatus();

    // penerapan algoritma A*
    int startIdx = 0;
    int endIdx = 5;
    AStar(graph, startIdx, endIdx);

    // inisialisasi jendela OpenGL
    glutInit(&argc, argv);
    glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA | GLUT_DEPTH);
    // set ukuran jendela tampilan dalam piksel
    glutInitWindowSize(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT);
    // posisi jendela dilayar komputer dalam piksel
    glutInitWindowPosition(100, 100);
    // judul jendela (isi dengan NAMA / NIM - JUDUL PRAKTIKUM)
    glutCreateWindow("NAMA / NIM - PRAKTIKUM STIMA");
    // panggil fungsi init untuk inisialisasi awal
    initView();
    // event handler untuk display
    glutDisplayFunc(displayGraph);
    glutReshapeFunc(reshapeView);
    // looping
    glutMainLoop();

    return 0;
}
```

4. Jalankan kodenya unutuk menerapkan algoritma A* pada graf diatas. Hasil penerapan ditunjukkan pada Gambar 9.5.



Gambar 9.5. Hasil penerapan algoritma A* untuk mencari rute terdekat

5. Amati hasilnya kemudian jelaskan cara kerjanya.

9.6. TUGAS

1. Terapkan algoritma A* pada graf di Gambar 9.2 (lihat bagian Pre Test) untuk mencari rute terpendek dengan memodifikasi kode tester praktikum A* yang sudah anda buat!
2. Analisis apakah hasil dari program sama dengan jawaban pre test anda!

PRAKTIKUM 10: ALGORITMA STRING MATCHING

Pertemuan ke : 10

Total Alokasi Waktu : 90 menit
- Pre-Test : 15 menit
- Praktikum : 45 menit
- Post-Test : 30 menit

Total Skor Penilaian : 100%
- Pre-Test : 20 %
- Praktikum : 30 %
- Post-Test : 50 %

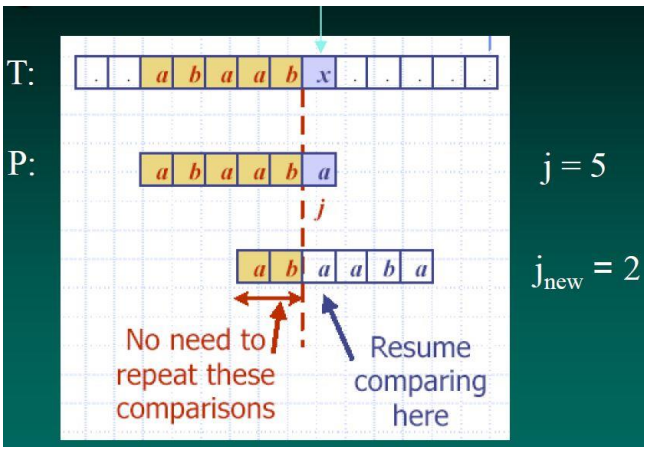
10.1. TUJUAN DAN INDIKATOR CAPAIAN

Setelah mengikuti praktikum ini mahasiswa diharapkan menerapkan algoritma string matching dengan Knuth-Morris-Pratt (KMP) dan algoritma Boyer-Moore.

Indikator ketercapaian diukur dengan keberhasilan mahasiswa dalam menerapkan string matching dengan Knuth-Morris-Pratt (KMP) dan algoritma Boyer-Moore.

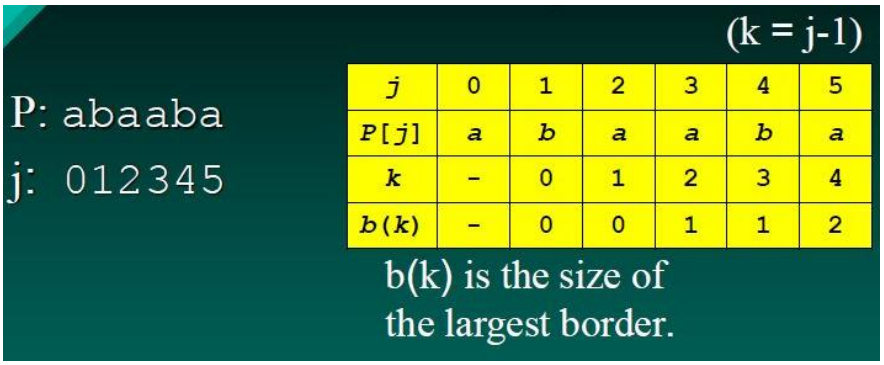
10.2. TEORI PENDUKUNG

Pencocokan string merupakan proses pencocokan pola karakter pada teks. Beberapa algoritma dapat digunakan untuk pencocokan string mulai dari brute force, Knuth-Morris-Pratt (KMP), dan Booyer-Moore. Pada praktikum ini akan dibahas dan diimpelemtasikan algoritma KMP untuk pencocokan string. Algoritma KMP mencari pola pada teks mulai dari kiri ke kanan seperti algoritma brute force. Akan tetapi, KMP melakukan pergeseran dalam pencarian pola lebih baik dari pada brute force. Apabila ada ketidakcocokan antar teks T di T(i) dengan pola P di P(j) misalnya T(i) != P(j), algoritma KMP akan menggeser pola untuk menghindari perbandingan yang tidak penting. Algoritma KMP diilustrasikan pada Gambar 10.1.



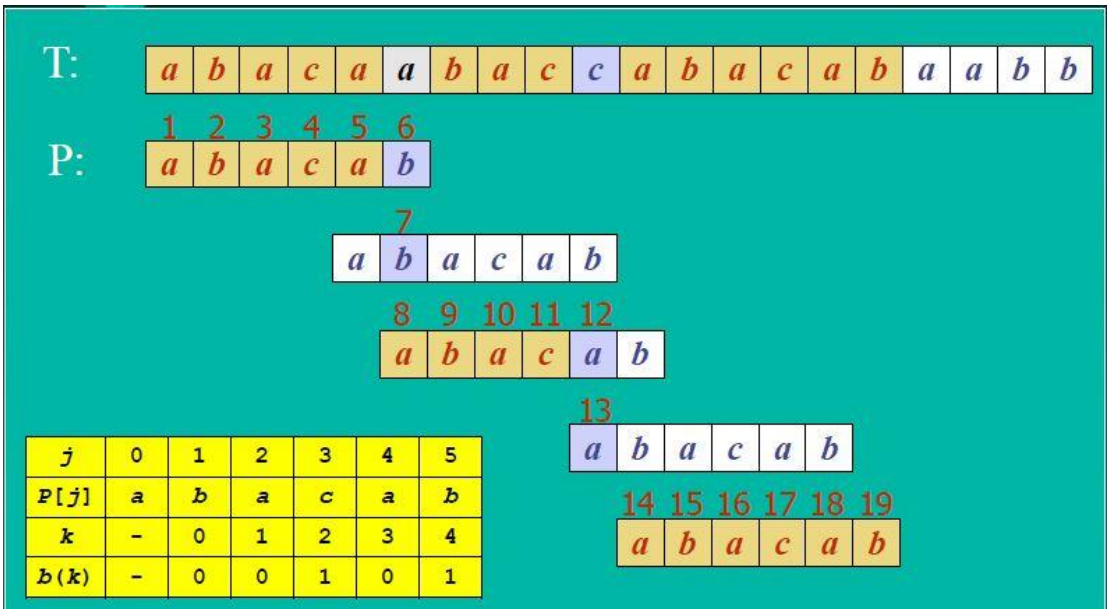
Gambar 10.1 Ilustrasi algoritma KMP
(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2019)

Algoritma KMP melakukan pra proses terhadap pola untuk menemukan kecocokan dari awalan pola dengan pola itu sendiri. Apabila j merupakan posisi ketidakcocokan pada pola dan k merupakan posisi sebelum ketidakcocokan terjadi (k = j-1) maka fungsi pinggiran KMP (KMP border function) atau b(k) didefinisikan sebagai ukuran dari awalan terbesar dari P[0…k] yang juga merupakan akhiran dari P[1…k]. Gambar 10.2 merupakan ilustrasi dari fungsi pinggiran KMP pada pola "abaaba". Dari Gambar 10.2 makna dari b(4) sama dengan 2 berarti menemukan awalan terbesar dari P[0…4] yang juga merupakan akhiran dari P[1…4] atau menemukan awalan terbesar dari "abaab" yang juga merupakan akhiran dari "baab". Jadi hasilnya yaitu "ab" atau sama dengan 2.



Gambar 10.2. Ilustrasi fungsi pinggiran KMP
(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2019)

Contoh penerapan KMP pada teks "abacaabaccabacabaabb" dengan pola yang dicari yaitu "abacab" ditunjukkan pada Gambar 10.3.



Gambar 10.3. Contoh penerapan algoritma KMP
(**Sumber**: Slide Mata Kuliah Strategi Algoritmik IF2211– ITB, Rinaldi Munir, 2019)

10.3. PRE TEST

Baca slide kuliah materi pencocokan string dengan algoritma Boyer-Moore di halaman 41. Tulis notasi algoritma untuk algoritma Boyer-Moore tersebut!

10.4. ALAT DAN BAHAN

Alat dan bahan yang digunakan dalam praktikum ini yaitu:

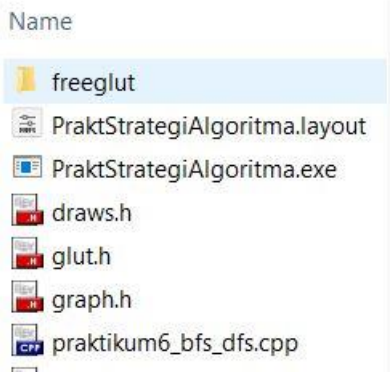
1. Komputer.

2. Dev C++.
3. OpenGL Library.

10.5. LANGKAH PRAKTIKUM

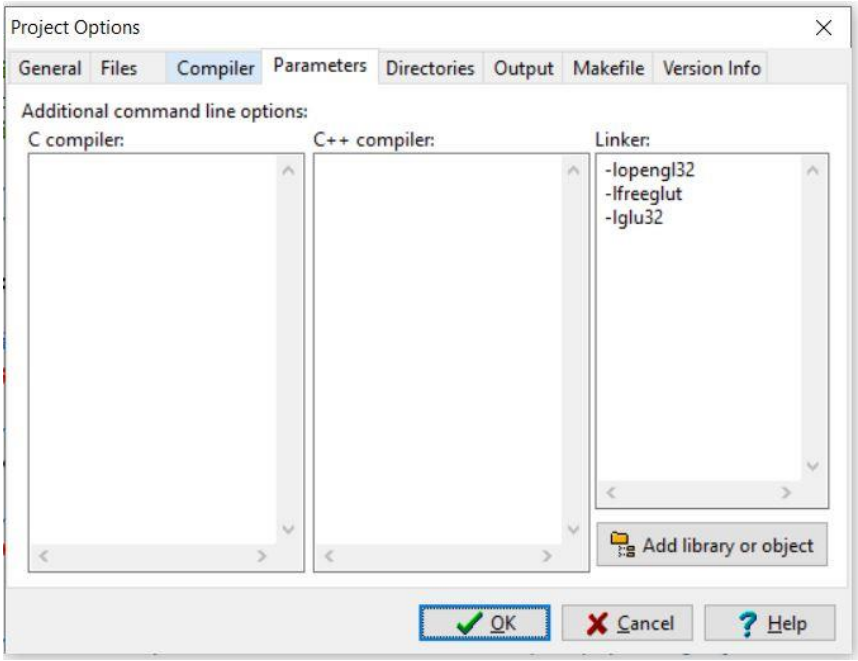
PERSIAPAN

1. Buka DevC++ dan buat project baru dengan nama **praktikum10.**
2. Download library **freeglut** di elearning Strategi Algoritma di bagian atas. Ekstrak .rar nya di lokasi folder project anda berada. Contoh tampilan folder project ditunjukkan pada Gambar 10.4.



Gambar 10.4. Contoh isian folder project

3. Setting OpenGL library pada DevC++ dengan klik Project – Project options – Parameters lalu isikan –lopengl32 –lfreeglut –lglu32 pada Linker seperti pada Gambar 10.5.



Gambar 10.5. Setting OpenGL pada DevC++

4. Download file tambahan praktikum yaitu **draws.h** dan **graph.h** untuk menggambar graf dengan OpenGL dari elearning Strategi Algoritma. Ekstrak .rar nya lalu copy kan ke folder project anda.
5. Buat file baru dengan nama **praktikum10.cpp**.

PRAKTIKUM

1. Tuliskan kode berikut pada praktikum10.cpp untuk inisialisasi variable dan jendela OpenGL.

```
// Praktikum 10: String Matching
// Penerapan contoh di slide kuliah materi string matching dengan KMP

#include <windows.h>
#include <iostream>
#include <string>

#include "draws.h"

using namespace std;

// global Graph
Graph graph;
char markText[1024];
string ptext;
string pattern;
int startIdx;

// fungsi untuk menandai jalur hasil pencarian
void drawResult()
{
   glPushMatrix();

   sprintf(markText,"%s",ptext.c_str());
   Vec3 position(-350.0f, 0.0f, 0.0f);
   Vec3 color1(1.0f,1.0f,1.0f);
   Vec3 color2(1.0f,0.0f,1.0f);
   if (startIdx >= 0)
      drawText(position, color1, color2, markText, 2.0f, startIdx,
         pattern.length());
   else
      drawText(position, color1, color1, markText, 2.0f, 0, pattern.length());

   glPopMatrix();
}

// taruh semua obyek yang akan digambar di fungsi display()
void displayGraph()
{
   // bersihkan dan reset layar dan buffer
   glClear(GL_COLOR_BUFFER_BIT | GL_DEPTH_BUFFER_BIT);
   glLoadIdentity();
   // posisikan kamera pandang
   gluLookAt(0.0f, 0.0f, 2.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 0.0f, 1.0f, 0.0f);
   // panggil fungsi untuk menggambar obyek
   drawResult();
   // tampilkan obyek ke layar
   glutSwapBuffers();
}
```

2. Tuliskan kode fungsi berikut untuk menerapkan algoritma KMP untuk pencocokan string.

```
// cari kecocokan dalam pola itu sendiri
int* computeFail(string pattern)
{
   int* fail = new int[pattern.length()];
   fail[0] = 0;
   int m = pattern.length();
```

```
    int j = 0;
    int i = 1;
    while (i < m)
    {
        if (pattern.at(j) == pattern.at(i))
        {
            // karakter j+1 cocok
            fail[i] = j + 1;
            i++;
            j++;
        }
        else if (j > 0) // prefiks j
            j = fail[j-1];
        else
        {
            // tidak cocok
            fail[i] = 0;
            i++;
        }
    }
    return fail;
}

// pencocokan string dengan KMP
int KMPMatch(string text, string pattern)
{
    int n = text.length();
    int m = pattern.length();
    int* fail = computeFail(pattern);
    int i=0;
    int j=0;
    while (i < n)
    {
        if (pattern.at(j) == text.at(i))
        {
            if (j == m -1)
                return i -m + 1; // cocok
            i++;
            j++;
        }
        else if (j > 0)
            j = fail[j-1];
        else
            i++;
    }

    return -1; // tidak cocok
}
```

3. Tuliskan kode tester berikut untuk menerapkan algoritma KMP pada kasus di Gambar 10.3.

```
// kode tester
int main(int argc, char** argv)
{
    // teks yang akan dicocokkan
    ptext = "abacaabacabacababa";
    // pola yang akan dicocokkan
    pattern = "acabaca";
    cout << "cari: [" << pattern << "] di dalam teks: [" << ptext << "]\n";
```

```
    // penerapan algoritma KMP
    startIdx = KMPMatch(ptext, pattern);

    if (startIdx == -1)
          cout << "pola tidak ditemukan pada teks\n";
    else
          cout << "pola ditemukan pada posisi-" << startIdx << "\n";

    // inisialisasi jendela OpenGL
    glutInit(&argc, argv);
    glutInitDisplayMode(GLUT_DOUBLE | GLUT_RGBA | GLUT_DEPTH);
    // set ukuran jendela tampilan dalam piksel
    glutInitWindowSize(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT);
    // posisi jendela dilayar komputer dalam piksel
    glutInitWindowPosition(100, 100);
    // judul jendela (isi dengan NAMA / NIM - JUDUL PRAKTIKUM)
    glutCreateWindow("NAMA / NIM - PRAKTIKUM STIMA");
    // panggil fungsi init untuk inisialisasi awal
    initView();
    // event handler untuk display
    glutDisplayFunc(displayGraph);
    glutReshapeFunc(reshapeView);
    // looping
    glutMainLoop();

    return 0;
}
```

4. Jalankan kodenya unutuk menerapkan algoritma KMP. Hasil penerapan algoritma KMP ditunjukkan pada Gambar 10.6.

Gambar 10.6. Hasil penerapan algoritma KMP

5. Amati hasilnya kemudian jelaskan cara kerjanya.

10.6. TUGAS / POST TEST

1. Tulis kode program untuk notasi algoritma Boyer-Moore yang anda buat di Pre Test dengan cara memodifikasi kode praktikum yang sudah anda buat diatas!
2. Terapkan untuk kasus text dan pattern yang sama seperti pada praktikum algoritma KMP!

LEMBAR JAWABAN PRE-TEST DAN POST-TEST PRAKTIKUM

Nama : **NIM :**	**Asisten:** **Paraf Asisten:**	**Tanggal:** **Nilai:**

DAFTAR PUSTAKA

1. Design Methods and Analysis of Algorithms, Basu SK, Prentice-Hall of India, 2012
2. Rinaldi Munir, Strategi Algoritmik, Informatika ITB, Bandung 2009.
3. An Introduction to The Analysis of Algorithms, SEDGEWICK, Robert, Addison-Wesley, Massachussets, 1996
4. David Luebke, Algorithms, Virginia University, 2009
5. https://dosen.perbanas.id/kompleksitas-algoritma/
6. http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2018-2019/stima18-19.htm#SlideKuliah