

## PENGOPTIMUMAN PENYELESAIAN MASALAH PENJADUALAN WAKTU KULIAH DENGAN TEKNIK ALGORITMA GENETIK

FAHRUL HAKIM AYOB<sup>1</sup>, M. NASIR SULAIMAN<sup>2</sup> & MOHD OTHMAN<sup>3</sup>

**Abstrak.** Penjadualan waktu kuliah ialah suatu permasalahan penetapan masa dan tempat bagi sebilangan pengajaran kuliah. Penjadualan waktu perlu memastikan pematuhan beberapa kekangan yang disyaratkan seperti penghindaran pertindihan waktu mengajar, pertindihan subjek dan pertindihan bilik kuliah. Kertas kerja ini membincangkan tentang suatu simulasi penjadualan mudah yang telah dibina dan diskopkan untuk sesebuah fakulti kecil berteraskan konsep heuristik kepintaran buatan iaitu Algoritma Genetik dalam mencari penyelesaian optimumnya. Perwakilan penyelesaian masalah yang diwakili oleh kromosom akan mengalami proses penyilangan dan mutasi pada setiap peringkat generasi. Dengan kewujudan fungsi baik pulih genetik yang menyokong pengoptimuman penyelesaian masalah ini, maka kebarangkalian untuk penghasilan kromosom yang lebih cergas adalah sangat tinggi. Kecergasan kromosom adalah ukuran kualiti jadual waktu yang dihasilkan. Semakin cergas kromosom yang diperoleh, semakin berkualiti jadual waktu yang dihasilkan. Pada keseluruhannya, sistem ini berjaya memperlihatkan keberkesanan teknik Algoritma Genetik dalam pengoptimuman penyelesaian masalah penjadualan waktu tersebut..

*Kata Kunci:* Algoritma genetik, penjadualan waktu kuliah, kromosom, mutasi, silang

**Abstract.** Lecture timetabling is the problem of assigning time and places for conducting lectures. Timetabling is required to satisfy a few constraints such as time of teaching, subjects, and places of conducting classes from clashes. This paper discusses the simulation of a simple lecture timetabling for a small faculty by using artificial intelligence's heuristic method called Genetic Algorithms. The solution of the problem represented by the chromosomes would go through the processes of crossover and mutations at every generation. With the existence of a few functions which are called genetic repairs that support Genetic Algorithms in the problem optimization, the chances of getting healthy chromosomes is better. These functions enhance the chromosomes' fitness function cost by reducing penalty cost from one generation to another. Fitness function of the chromosomes indicates the quality of timetable that is produced. As more fitness function is gained, a better quality timetable would be produced by this algorithm. Ultimately, this system has proved the effectiveness of Genetic Algorithms in optimising the timetabling problem.

*Keywords:* Genetic algorithms, lecture timetabling, chromosome, mutation, crossover

### 1.0 PENGENALAN

Algoritma Genetik merupakan satu teknik pengoptimuman penyelesaian masalah dalam bidang kepintaran buatan yang diadaptasikan daripada proses semula jadi

<sup>1,2&3</sup> Jabatan Teknologi Komunikasi dan Rangkaian, Fakulti Sains Komputer dan Teknologi Maklumat, Universiti Putra Malaysia, 43400 UPM Serdang, Selangor Darul Ehsan.

evolusi perkembangan pembiakan manusia. Algoritma Genetik menggunakan istilah kromosom sebagai perwakilan penyelesaian masalahnya [1]. Proses Algoritma Genetik bermula dengan penjanaan kromosom populasi awal yang melahirkan sebilangan individu. Individu tersebut akan dinilai tahap kecergasannya untuk pemilihan baka yang bermutu [2]. Individu yang mempunyai tahap kecergasan yang tinggi selalunya terpilih untuk dijadikan induk. Kromosom induk ini akan bergabung untuk melahirkan generasi baru yang disebut anak. Penggabungan ini juga dikenali sebagai proses penyilangan [3].

Sesetengah kromosom anak mungkin mengalami mutasi yang memperlihatkan perbezaan ketara tahap kecergasannya berbanding dengan anak yang lain [4]. Anak yang mempunyai tahap kecergasan yang rendah akan tersingkir sebelum generasi baru bermula. Anak yang mempunyai tahap kecergasan yang tinggi sebaliknya akan terus kekal dalam populasi dan mungkin akan terpilih untuk dijadikan induk bagi melahirkan generasi yang seterusnya [5].

## 2.0 JADUAL WAKTU KULIAH DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK

Jadual waktu kuliah bermakna jadual mingguan untuk semua pensyarah, kursus dan tempat serta menghalang pertembungan lebih daripada seorang pensyarah daripada mengajar sekumpulan pelajar yang sama pada sesuatu masa [6]. Lazimnya universiti tidak menetapkan bilik atau dewan kuliahnya untuk sekumpulan pelajar yang tertentu [7]. Bilik dan waktu bagi penjadualan kuliah diwakili oleh kromosom yang mengandungi gen penyimpanan maklumat seperti subjek (kursus) dan pensyarah. Pembentukan struktur kromosom sedemikian memudahkan pembangunan sistem jadual waktu kuliah yang tidak hanya khusus pada sesebuah fakulti. Tambahan lagi, pembentukan struktur kromosom tersebut dapat mengelakkan penjadualan lebih daripada seorang pensyarah untuk sesebuah tempat pada sesuatu masa [6].

Keupayaan Algoritma Genetik (AG) dalam proses pengoptimuman sesuatu penyelesaian masalah telah memberi sumbangan yang amat besar dalam bidang kepintaran buatan walaupun ia masih pada peringkat percubaan [8]. AG dilihat sebagai satu paradigma yang berguna untuk mendapatkan satu set penyelesaian yang terbaik yang diilhamkan daripada pengkajian terhadap proses semulajadi pembiakan manusia. Terdapat banyak penyelesaian masalah yang boleh dioptimumkan dengan menggunakan teknik AG. Salah satu daripadanya adalah penyelesaian masalah sistem penjadualan waktu kuliah di universiti [9].

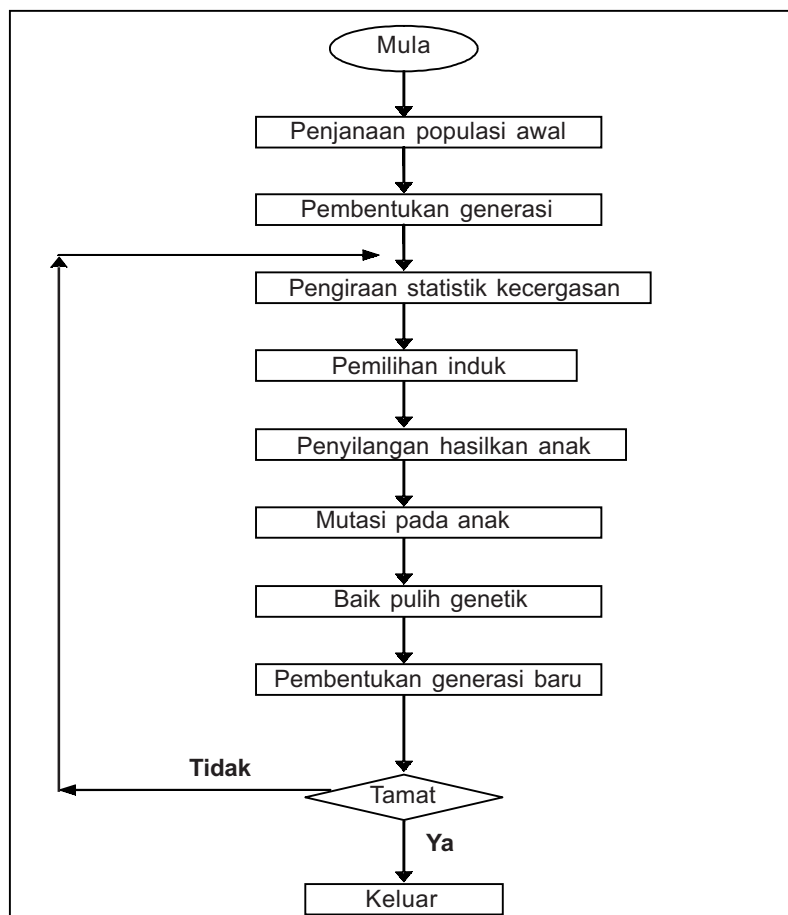
Penjadualan waktu kuliah ialah suatu permasalahan penetapan masa dan tempat bagi sebilangan pengajaran kuliah [10]. Penjadualan waktu perlu memastikan pematuhan beberapa kekangan yang disyaratkan seperti penghindaran pertindihan waktu mengajar, pertindihan subjek dan pertindihan bilik kuliah [11]. Kertas kerja ini membincangkan tentang suatu simulasi penjadualan mudah yang telah dibina dan diskopkan untuk sesebuah fakulti kecil berteraskan konsep heuristik kepintaran buatan

iaitu Algoritma Genetik dalam mencari penyelesaian optimumnya [6]. Selain itu, kertas kerja ini membincangkan hasil penggunaan teknik Algoritma Genetik dalam penjadualan waktu kuliah.

### 3.0 PELAKSANAAN PEMODELAN MASALAH PENJADUALAN WAKTU

Sistem penjadualan waktu kuliah yang dibangunkan adalah tertakluk pada skop yang dinyatakan seperti berikut [6]:

- (i) Penjadualan berfokus dari hari Isnin hingga Sabtu. Dari hari Isnin sehingga Jumaat, jadual bermula dari pukul 8 pagi sehingga 5 petang. Manakala pada hari Sabtu, jadual bermula dari pukul 8 pagi sehingga 2 petang.
- (ii) Sistem menetapkan tiada waktu berkembar untuk semua subjek. Setiap subjek diperuntukan mempunyai hanya satu slot masa.



**Rajah 1** Carta aliran proses Algoritma Genetik

- (iii) Sistem tidak menetapkan waktu rehat tengah hari (dari pukul 12 tengahari hingga 2 petang) kepada semua pensyarah.
- (iv) Sistem tidak menghadkan berapa banyak subjek yang akan diajarkan oleh seseorang pensyarah.

### 3.1 Metodologi

Carta aliran dalam Rajah 1 menunjukkan urutan keseluruhan proses Algoritma Genetik [7]. Kitaran proses tersebut akan terhenti dalam dua keadaan iaitu apabila populasi mencapai tahap paling optimum atau generasi telah mencapai bilangan generasi yang telah ditetapkan. Setiap proses tersebut akan dihuraikan berserta algoritmanya [7].

### 3.2 Penjanaan Populasi Awal

Penjanaan populasi awal adalah satu proses pengwujudan kromosom individu yang menjurus kepada pembentukan generasi pertama [12]. Pada peringkat ini, gabungan maklumat pensyarah dan subjek (kod PS) akan dijanakan secara rawak ke dalam slot kromosom yang mewakili slot waktu dan bilik [6]. Algoritma bagi penjanaan populasi awal ialah:

MULA

Masukkan parameter bilangan generasi, populasi, dan kod PS untuk mendapatkan saiz kromosom  
 Masukkan kadar kebarangkalian proses penyilangan dan mutasi berlaku  
 Jana secara rawak keseluruhan kod PS bagi membentuk matriks populasi awal  
 Laksanakan fungsi baik pulih genetik terhadap matriks populasi awal  
 Laksanakan pengiraan statistik kecergasan populasi awal  
 Keluarkan laporan bagi populasi awal

TAMAT

Penetapan bilangan generasi menentukan bilangan generasi maksimum yang bakal dijanakan dalam proses Algoritma Genetik ini. Manakala penetapan parameter saiz populasi pula akan menentukan jumlah individu yang terlibat dalam sesuatu generasi [6]. Setelah melalui pengiraan statistik kecergasan populasi awal, lazimnya sistem akan memperoleh kromosom jadual waktu yang mempunyai kos fungsi kecergasan yang terendah kerana terdapat banyak kegagalan dalam mematuhi kekangan [13]. Sebelum proses dilarikan, skrin *input* yang memerlukan parameter Algoritma Genetik seperti bilangan generasi dan populasi, kadar kebarangkalian proses penyilangan dan mutasi berlaku dan sebagainya ditunjukkan dalam Rajah 2.

How many generation ?:  
 Enter the population size:  
 Enter the crossover rate (0.0 - 1.0):  
 Enter the mutation rate (0.0 - 1.0):  
 How many PS code involved?  
 How many subject involved? How many lecturer involved?  
 How many classroom involved ?

**Rajah 2** Parameter Algoritma Genetik

### 3.3 Pengiraan Statistik Kecergasan

Pengiraan statistik kecergasan adalah pengiraan kos fungsi objektif (KFO) yang diperoleh daripada penalti yang dikenakan terhadap individu jika terdapat sebarang kekangan yang gagal dipatuhi [6]. Fungsi objektif (pengiraan KFO) untuk jadual waktu  $S$  ialah:

$$f(S) = \rho \cdot \alpha \tag{1}$$

yang dalamnya

$\alpha$  ialah jumlah *infeasibility* dalam jadual waktu  $S$ .

$\rho$  ialah nilai penalti bagi *infeasibility* dalam jadual waktu  $S$ .

Fungsi utama proses Algoritma Genetik adalah untuk mematuhi kekangan yang dinyatakan supaya jadual waktu sentiasa menuju ke arah *feasibility*. Kekangan tinggi tersebut dinyatakan seperti berikut [6]:

- (i) Setiap pensyarah dan subjek mesti dijadualkan mengikut jumlah waktu yang ditetapkan.
- (ii) Seseorang pensyarah tidak boleh dijadualkan untuk mengajar lebih daripada sebuah bilik kelas pada sesuatu masa.
- (iii) Setiap waktu pengajaran kursus bagi subjek yang dikhaskan untuk sesuatu semester tidak boleh dijadualkan pada waktu yang sama.
- (iv) Seseorang pensyarah tidak boleh mengajar subjek yang sama lebih daripada sekali dalam sehari kepada kumpulan pelajar yang sama.

Dalam kajian ini, setiap penyalahan kekangan yang telah dinyatakan akan dikenakan penalti yang bernilai 1000. Hanya satu contoh pengiraan kos penalti penyalahan kekangan akan diberi iaitu pengiraan kos penalti pertembungan pensyarah.

#### 3.3.1 Kos Penalti Pertembungan Pensyarah

Jika seseorang pensyarah dijadualkan untuk mengajar sesuatu kursus yang bertempat lebih daripada sebuah bilik kuliah pada sesuatu masa, maka pertembungan pensyarah dikatakan berlaku [6]. Cara pengiraan kos bagi pertembungan ini dinyatakan dalam algoritma di bawah.

```

MULA
  SELAGI (kod PS belum maksimum){
    SELAGI (jujukan slot x pada hari i belum maksimum){
      JIKA (kod PS pada slot x hari i == kod PS) {
        dapatkan kod pensyarah daripada kod PS
        umpukkan kod pensyarah pada z }
      SELAGI (kod PS belum maksimum){
        SELAGI (jujukan slot x berikutnya pada hari i belum maksimum){
          dapatkan kod pensyarah daripada kod PS
          umpukkan kod pensyarah pada y }
        bandingkan z dengan y
        JIKA (z == y) {
          kira jumlah_tembung di jujukan slot x pada hari i }
        }
      }
    }
  jumlah = jumlah_tembung * 1000
TAMAT

```

Algoritma tersebut menunjukkan pengiraan pertembungan pensyarah pada jujukan slot  $x$ . Katakan jujukan slot  $x$  mewakili slot pertama untuk setiap hari  $i$  iaitu pada hari Isnin. Maka jujukan slot  $x$  mewakili waktu dari 8 pagi sehingga 9 pagi untuk setiap hari Isnin bagi setiap bilik kuliah yang terbabit. Jika terdapat tiga kod pensyarah yang sama pada jujukan slot  $x$  tersebut, maka pertembungan pensyarah dikatakan berlaku sebanyak 2 kali. Oleh itu, nilai kos pertembungan akan dikira seperti berikut:

$$2 * 1000 = 2000.$$

Daripada pengiraan tersebut, didapati bahawa nilai kos pertembungan adalah 2000.

### 3.3.2 Kos Kecergasan Individu/Kromosom

Setelah kesemua kos penalti bagi sesuatu individu itu dikira, maka kos penalti tersebut hendaklah dijumlahkan untuk mendapatkan KFO pula. Formulanya dinyatakan seperti berikut :

$$KFO = \sum_{kpp} + \sum_{kps} + S_{kpps} \quad (2)$$

yang dalamnya

$kpp$  = kos pertembungan pensyarah

$kps$  = kos pertembungan subjek

$kpps$  = kos pengulangan pensyarah-subjek

KFO akan ditolak dengan nilai siling iaitu satu nilai tertinggi yang telah ditetapkan untuk mendapatkan kos Fungsi Kecergasan (KFK). Kajian ini menetapkan nilai siling pada 130 000 kerana penolakan nilai tersebut dengan KFO tidak akan memperoleh nilai negatif [13]. Formula untuk mendapatkan KFK ditunjukkan seperti berikut:

$$KFK = 130000 - KFO$$

Pemerolehan nilai KFK membawa kepada pengiraan nilai kecergasan relatif individu (KR). Tujuan utama pengiraan KFK adalah untuk mengukur kualiti individu yang dihasilkan bagi pemilihan induk [6]. Dalam pemilihan induk, setiap KFK individu akan dijumlahkan untuk mendapatkan KFK kumulatif atau KFK individu terkumpul. Kemudian setiap KFK individu dalam sesuatu populasi akan dibahagi dengan KFK kumulatif tersebut untuk mendapatkan KR. Formulanya adalah seperti berikut:

$$KR = \frac{KFK}{\Sigma_{KFK}} \quad (3)$$

KR mewakili kecergasan setiap individu bagi penentuan kelayakan pemilihan untuk dijadikan induk. Individu yang mempunyai nilai KR yang tinggi mencerminkan individu tersebut mempunyai tahap kecergasan yang tinggi.

### 3.3.3 Pemilihan Induk

Pemilihan induk adalah suatu proses pemilihan individu untuk dijadikan induk bagi kelahiran generasi yang seterusnya [14]. Individu atau kromosom yang terpilih kebanyakannya mempunyai KFK dan KR yang tinggi. Proses ini menetapkan bahawa bilangan induk yang dipilih adalah setara dengan saiz populasi. Jika saiz populasi adalah 20 maka individu yang terpilih untuk dijadikan induk adalah 20 juga (10 pasang). Setelah proses pemilihan induk tamat, proses yang bakal menyusul kemudian adalah proses penyilangan, mutasi, baik pulih genetik dan penggantian generasi lama dengan yang baru [15].

### 3.4 Penyilangan

Penyilangan adalah proses penggabungan sepasang kromosom induk untuk membentuk sepasang kromosom anak [16]. Nilai kadar kebarangkalian bagi proses penyilangan adalah ditetapkan oleh pengguna sistem. Contohnya dalam kajian ini, nilai 0.8 ditetapkan sebagai kadar proses penyilangan, maka julat antara nilai 0 dan 0.8 dianggap sebagai julat proses penyilangan. Ini menjadikan kebarangkalian bagi proses penyilangan berlaku terhadap sepasang induk yang terpilih adalah sebanyak 80% [6].

### 3.5 Mutasi

Mutasi pula adalah perubahan sifat yang dialami oleh kromosom anak yang terhasil [16]. Lazimnya kadar mutasi ditetapkan lebih rendah daripada kadar penyilangan [17]. Dalam kajian ini, kadar mutasi ditetapkan hanya pada 20% sahaja. Walau bagaimanapun, kadar tersebut masih bergantung pada keadaan. Jika berasa sukar untuk memperoleh penyelesaian optimum yang baik pada sesuatu larian sistem, maka

penambahan kadar mutasi harus dilakukan. Kemungkinan penambahan tersebut dapat menghasilkan penyelesaian optimum yang lebih baik pada larian sistem seterusnya [8].

### 3.6 Baik Pulih Genetik

Proses baik pulih genetik (*genetic repair*) pula memantau tahap kecergasan individu baru atau anak selepas proses penyilangan dan mutasi berlaku [7]. Besar kemungkinan individu yang dihasilkan mempunyai KFK yang sangat rendah (kadar *infeasibility* yang sangat tinggi) kerana terlalu banyak kegagalan dalam mematuhi kekangan yang telah disyaratkan. Oleh yang demikian, fungsi baik pulih genetik perlu dilaksanakan untuk mengatasi masalah ini. Terdapat tiga fungsi penting dalam proses baik pulih genetik ini iaitu fungsi menjarakkan subjek, penghalang pertembungan dan penjejakan semula.

#### 3.6.1 Fungsi Menjarakkan Subjek

Fungsi menjarakkan subjek ditetapkan untuk menghalang berlakunya pengajaran sesuatu subjek oleh seseorang pensyarah lebih daripada sekali dalam sehari kepada sekumpulan pelajar yang sama [6]. Fungsi ini menetapkan seseorang pensyarah itu mengajar sesuatu subjek hanya sekali dalam sehari kepada sesuatu kumpulan pelajar. Waktu pengajaran yang terlebih akan diagih pada hari yang berikutnya. Algoritma fungsi ini dinyatakan seperti berikut:

```

MULA
  SELAGI (kod PS tidak maksimum)
  SELAGI (slot pada hari j tidak maksimum){
    JIKA (kod PS pada slot hari j == kod PS)
      Umpukkan kod PS pada x
    SELAGI (kod PS tidak maksimum){
      SELAGI (slot berikutnya pada hari j tidak maksimum)
        Umpukkan kod PS pada y
      JIKA (x == y){
        Janakan mana-mana slot di dalam seminggu yang
        mengandungi kod PS sehingga tidak sama dengan
        kod PS pada hari tersebut
      }
    }
  }
TAMAT

```

Algoritma tersebut menyatakan apabila terdapat persamaan kod PS dalam slot hari j, maka sistem akan mendapatkan kod PS yang baru untuk digantikan dengan kod PS yang sama tersebut. Sistem tidak membenarkan dua atau lebih kod PS yang sama dalam sehari. Kod PS mengandungi gabungan antara data pensyarah dan subjek



bagi sesuatu pengajaran subjek untuk sesuatu kumpulan pelajar. Oleh itu, dua atau lebih kod PS yang sama tidak sepatutnya didapati dalam sehari [6].

### 3.6.2 Fungsi Penghalang Pertembungan

Fungsi ini menghalang pertembungan subjek dan pensyarah berlaku dalam jadual waktu. Algoritma fungsi penghalang pertembungan ditunjukkan seperti berikut [6]:

```

MULA
    SELAGI (kod PS tidak maksimum){
        SELAGI (jujukan slot j tidak maksimum){
            JIKA (kod PS pada slot j == kod PS){
                Umpukkan kod semester pada X
                Umpukkan kod pensyarah pada Y}
            SELAGI (kod PS tidak maksimum){
                SELAGI (jujukan berikutnya slot j tidak maksimum){
                    JIKA (kod PS pada jujukan berikutnya slot j
                    == kod PS){
                        Umpukkan kod semester pada x
                        Umpukkan kod pensyarah pada y}
                    JIKA ((X==x) ATAU (Y==y)){
                        Pertembungan dikatakan berlaku pada slot itu
                        SELAGI (pertembungan berlaku)
                        Jadikan slot tersebut sebagai slot masa lahu}
                }
            }
        }
    }
TAMAT
    
```

Fungsi penghalang pertembungan menghalang pertembungan daripada berlaku pada slot  $j$  bagi setiap bilik kuliah terbabit. Apabila terdapat sebarang persamaan kod pensyarah atau kod semester dalam jujukan slot tersebut, maka pertembungan dikatakan berlaku. Seterusnya sistem akan menukar slot yang bertembung tersebut dengan dengan slot masa lahu (slot yang tiada sebarang aktiviti pengajaran). Slot masa lahu yang berturutan dalam jujukan slot  $j$  tidak dianggap sebagai suatu pertembungan kerana slot tersebut tidak mempunyai sebarang aktiviti pengajaran [6].

### 3.6.3 Fungsi Penjejakan Semula

Bagi memastikan supaya tiada berlaku kelebihan dan kekurangan waktu kuliah yang ditetapkan dalam seminggu akibat proses penyilangan dan mutasi, fungsi penjejakan semula hendaklah dilaksanakan dalam sistem [10]. Fungsi tersebut akan mengira jumlah waktu setiap subjek daripada jadual yang telah terjana dan membandingkannya dengan keperluan sebenar waktu yang diperlukan dalam seminggu. Algoritma fungsi penjejakan semula ditulis seperti berikut:

```

MULA
  SELAGI (kod PS belum maksimum){
    SELAGI (jumlah slot belum maksimum){
      JIKA (kod PS di dalam slot == kod PS){
        Dapatkan kod subjek daripada kod PS
        Kira jumlah bilangan waktu subjek itu daripada jadual yang terjana
        Bandingkan jumlah bilangan waktu subjek itu dengan
        jumlah sebenar yang telah disyaratkan dalam seminggu
        SELAGI (waktu terlebih)
        Jadikan slot waktu terlebih itu kepada slot masa lahu
        SELAGI (waktu berkurangan)
        Tukarkan slot masa lahu dengan slot pengajaran subjek berkurangan tersebut
      }
    }
  }
TAMAT

```

Masalah kelebihan waktu boleh diatasi dengan menjadikan slot waktu yang terlebih itu kepada slot masa lahu [12]. Bagi mengatasi masalah kekurangan waktu pula, penukaran slot masa lahu kepada slot waktu pengajaran subjek yang kurang tersebut akan dilakukan sehingga jumlahnya menepati jumlah waktu pengajaran yang disyaratkan dalam seminggu.

### 3.7 Penggantian Generasi

Pada peringkat penggantian generasi lama dengan yang baru, suatu fungsi yang dikenali sebagai fungsi penapisan (*filteration*) akan dilaksanakan. Pada umumnya, fungsi penapisan akan memastikan setiap generasi yang dihasilkan seharusnya adalah lebih baik daripada generasi sebelumnya [10]. Algoritma fungsi penapisan ditunjukkan seperti di bawah [6]:

```

MULA
  Dapatkan nilai KFK individu terbaik daripada generasi terdahulu
  Bandingkan setiap nilai KFK individu generasi terkini dengan nilai terbaik tersebut
  JIKA (nilai KFK individu generasi terkini < nilai terbaik KFK generasi terdahulu)
    Gantikan individu terkini dengan individu terbaik generasi terdahulu
TAMAT

```

Algoritma fungsi penapisan tersebut memperlihatkan konsep '*elitist*' yang dipertahankan oleh setiap generasi yang mengakibatkan penyingkiran individu yang mempunyai nilai KFK yang kurang daripada nilai KFK tertinggi generasi yang terdahulu [7]. Dengan wujudnya fungsi penapisan ini, kualiti kecergasan setiap generasi dijamin akan terus meningkat dengan meningkatnya nilai KFK bagi individu dalam populasi dari satu generasi kepada generasi yang lain. Oleh itu, purata KFK populasi bagi setiap generasi akan terus meningkat dan ini boleh didapati daripada laporan yang ditunjukkan dalam Rajah 2.

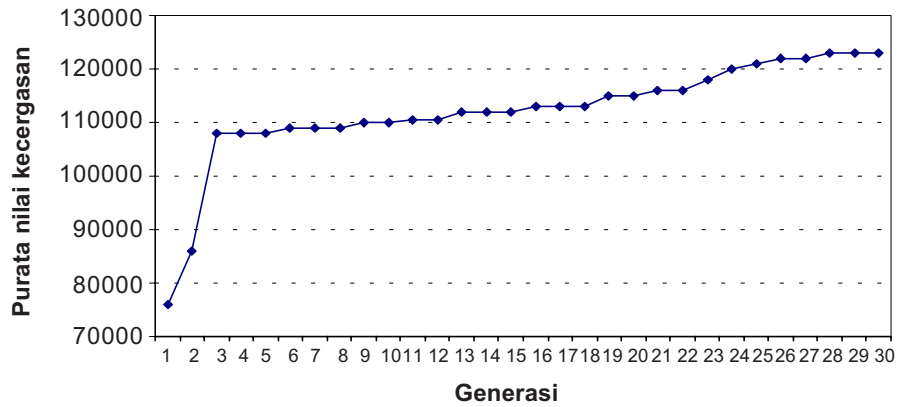
<b>Generasi 1</b>	
individu 1 : KFK = 66000	nilai penyalahan kekangan = 64000
individu 2 : KFK = 74000	nilai penyalahan kekangan = 56000
individu 3 : KFK = 74000	nilai penyalahan kekangan = 56000
individu 4 : KFK = 84000	nilai penyalahan kekangan = 46000
.	.
individu 40: KFK = 50000	nilai penyalahan kekangan=80000
purata KFK populasi generasi 1=76000	purata nilai penyalahan kekangan generasi 1=54000
<b>Generasi 2</b>	
individu 1 : KFK = 84000	nilai penyalahan kekangan = 46000
individu 2 : KFK = 85000	nilai penyalahan kekangan = 45000
individu 3 : KFK = 86000	nilai penyalahan kekangan = 44000
individu 4 : KFK = 88000	nilai penyalahan kekangan = 42000
.	.
individu 40: KFK = 890000	nilai penyalahan kekangan=41000
purata KFK populasi generasi 2=86000	purata nilai penyalahan kekangan generasi 2=44000
<b>Generasi 3</b>	
individu 1 : KFK = 89000	nilai penyalahan kekangan = 41000
individu 2 : KFK = 98000	nilai penyalahan kekangan = 32000
individu 3 : KFK = 100000	nilai penyalahan kekangan = 30000
individu 4 : KFK = 106000	nilai penyalahan kekangan = 24000
.	.
individu 40: KFK = 890000	nilai penyalahan kekangan=41000
purata KFK populasi generasi 3=108000	purata nilai penyalahan kekangan generasi 3=22000
.	.
.	.
<b>Generasi 40</b>	
individu 1 : KFK = 129000	nilai penyalahan kekangan = 1000
individu 2 : KFK = 130000	nilai penyalahan kekangan = 0
individu 3 : KFK = 129000	nilai penyalahan kekangan = 1000
individu 4 : KFK = 129000	nilai penyalahan kekangan = 1000
.	.
individu 40: KFK = 130000	nilai penyalahan kekangan=0
purata KFK populasi generasi 40=129000	purata nilai penyalahan kekangan generasi 40=1000

**Rajah 2** Peningkatan purata nilai KFK pada setiap generasi

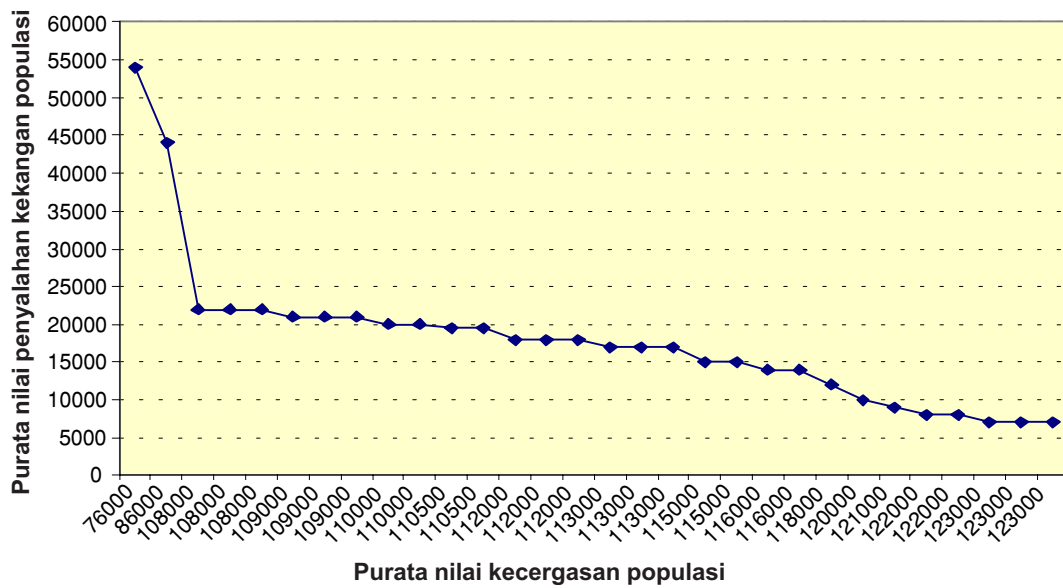
#### 4.0 PERBINCANGAN

Dengan peningkatan nilai KFK bagi setiap individu dalam populasi dari satu generasi kepada generasi yang lain, implikasi yang terhasil adalah suatu kesan positif ke arah penghasilan jadual waktu yang *feasible* dan berkualiti [11]. Purata nilai KFK setiap individu dalam populasi bagi setiap generasi didapati bertambah sejajar dengan matlamat proses AG untuk mempertingkatkan (pengoptimuman) purata kecergasan individu dalam populasi dari satu generasi kepada generasi yang lain. Individu yang cergas mencerminkan tahap kualiti jadual waktu yang terhasil. Semakin cergas individu itu, semakin berkualiti jadual waktu yang dihasilkan dan semakin kurang tahap *infeasibility* iaitu kegagalan mematuhi kekangan (penyalahan kekangan) yang disyaratkan [14]. Hal ini dapat dibuktikan dengan graf purata nilai kecergasan populasi berlawanan dengan generasi (rujuk Rajah 3). Berdasarkan graf tersebut, didapati bahawa purata nilai kecergasan populasi adalah berkadar terus dengan generasi iaitu semakin meningkat generasi, maka purata nilai kecergasan populasi pun turut meningkat. Graf dalam Rajah 4 pula menunjukkan perkadaran songsang antara purata nilai kecergasan populasi dengan purata nilai penyalahan kekangan populasi untuk setiap generasi. Graf tersebut juga menunjukkan bahawa semakin bertambah purata nilai kecergasan populasi maka semakin susut purata nilai penyalahan kekangan (penalti). Akhirnya,

output yang terhasil adalah suatu jadual waktu yang paling optimum yang diperoleh daripada kromosom individu yang paling cergas dalam set penyelesaian yang mengandungi sekumpulan individu atau populasi (rujuk Rajah 5).



**Rajah 3** Graf purata nilai kecergasan populasi lawan generasi



**Rajah 4** Graf purata nilai penyalahan kekangan lawan purata nilai kecergasan populasi



## PENGOPTIMUMAN PENYELESAIAN MASALAH PENJADUALAN WAKTU KULIAH 131

0 clash.  
 At generation 22  
 At population 2  
 The fittest chromosome as below  
 35 34 10 27 3 11 28 7 33 21 0 18 37 0 23 40 16 .....31 18 4 33

**MONDAY**  
 time 8-9 9-10 10-11 11-12 12-1 1-2 2-3 3-4  
 Room1 melayu1Arbaaya englis1Shahira melayu2Muzaffa englis5Mizayan matema1BadrulR fizik\_3Ramlial kimia\_6Mizayan kimia\_2Shuhair  
 Room2 fizik\_5Irdawat FREE FREE melayu3NorliaA fizik\_1Shuhain FREE FREE matema5IntarHa kimia\_1YaakubI kimia\_4HakinNu  
 Room3 matema4YunusAl englis3NorliaA matema1Sameera fizik\_2BadrulR FREE FREE englis6Mustaza englis2Shuhair matema1Arbaaya

**TUESDAY**  
 Room1 englis1Shahira matema1Sameera FREE FREE fizik\_5Irdawat matema6IntanHa fizik\_1Sameera FREE FREE kimia\_1YaakubI  
 Room2 FREE FREE FREE FREE FREE FREE englis1Suhaimi melayu1Muzaffa englis2Shuhair englis4Norashi FREE FREE  
 Room3 FREE FREE FREE FREE kimia\_1Suhaimi FREE FREE FREE FREE kimia\_3HakinNu FREE FREE FREE FREE

**WEDNESDAY**  
 Room1 matema3Ramlial kimia\_4HakinNu FREE FREE kimia\_5Mustaza englis1Suhaimi kimia\_1YaakubI kimia\_1Suhaimi matema4YunusAl  
 Room2 FREE FREE melayu5Rohaiza FREE FREE fizik\_2BadrulR FREE FREE melayu3NorliaA melayu4Norashi fizik\_3Ramlial  
 Room3 fizik\_1Sameera fizik\_1Shuhain englis1Shahira melayu1Arbaaya FREE FREE matema2AzmanAb FREE FREE FREE FREE

**THURSDAY**  
 Room1 matema3Ramlial matema1Arbaaya englis2Shuhair FREE FREE kimia\_6Mizayan melayu6Rohaiza englis4Norashi fizik\_4YunusAl  
 Room2 fizik\_6Irdawat englis6Mustaza fizik\_1Shuhain fizik\_5Irdawat kimia\_3HakinNu fizik\_3Ramlial melayu2Muzaffa kimia\_2Shuhair  
 Room3 kimia\_1YaakubI matema2AzmanAb melayu5Rohaiza matema1BadrulR englis1Shuhain matema5IntarHa fizik\_1AzmanAb melayu1Muzaffa

**FRIDAY**  
 Room1 FREE FREE matema1Arbaaya matema4YunusAl fizik\_4YunusAl kimia\_1YaakubI matema3Ramlial englis3NorliaA melayu5Rohaiza  
 Room2 matema1BadrulR englis4Norashi FREE FREE fizik\_1AzmanAb melayu4Norashi matema2AzmanAb englis6Mustaza fizik\_6Irdawat  
 Room3 FREE FREE kimia\_3HakinNu kimia\_1Suhaimi englis5Mizayan FREE FREE englis1Shuhain englis1Suhaimi kimia\_1YaakubI

**SATURDAY**  
 Room1 melayu1Muzaffa fizik\_4YunusAl kimia\_4HakinNu fizik\_1AzmanAb kimia\_5Mustaza matema5IntanHa  
 Room2 FREE FREE melayu1Arbaaya FREE FREE matema6IntanHa melayu6Rohaiza melayu4Norashi  
 Room3 englis5Mizayan fizik\_6Irdawat fizik\_1Sameera melayu3NorliaA fizik\_2BadrulR kimia\_1Shahira

### Rajah 5 Jadual waktu terhasil daripada kromosom individu yang paling cergas

## 5.0 KESIMPULAN

Dalam menghasilkan jadual waktu kuliah fakulti yang bersifat umum, asas pembentukan struktur kromosom bagi perwakilan penyelesaian masalah dapat diringkaskan dengan pengumpulan kombinasi dua maklumat iaitu pensyarah dan subjek ke dalam kromosom. Fungsi baik pulih genetik sangat penting dalam menghasilkan jadual waktu yang *feasible*. Fungsi ini membolehkan jadual waktu yang dijanakan menuju ke arah pematuhan kekangan yang telah disyaratkan melalui proses pengoptimuman. Pada tahap pengeluaran semula iaitu pada peringkat penggantian generasi lama dengan yang baru, fungsi penapisan memainkan peranan yang sangat penting dalam mengawal tahap kecergasan individu dalam generasi. Hal ini dapat dibuktikan apabila bilangan generasi bertambah, purata nilai KFK (kos fungsi kecergasan) setiap individu juga turut bertambah. Tanpa kewujudan fungsi ini dalam sistem, purata nilai KFK individu pada setiap generasi akan menjadi tidak seragam dan sukar untuk diramalkan. Pada kesimpulannya, sistem ini berjaya memperlihatkan pengurangan penyalahan kekangan sekaligus memperlihatkan keberkesanan teknik Algoritma Genetik dalam pengoptimuman penyelesaian masalah penjadualan.

## RUJUKAN

- [1] Gyuri, Lajos. 1995. Complete Modular Timetabling using Constraint Logic Programming. Extended abstract submitted to *IPCTAT '95 the 1<sup>st</sup> International Conference on the Practice and Theory of Automated Scheduling*. Artificial Intelligence Division. University of Leeds.

- [2] Colomi, A., M. Dorigo., dan V. Maniezzo. 1996. Metaheuristics for High-school Timetabling. (Submitted to) *Computational Optimization and Application Journal*.
- [3] Schaerf, A. 1995. A Survey of Automated Timetabling. Report CS-R9567 of Stichting Mathematisch Centrum (SMC). Amsterdam.
- [4] Abramson, A., dan Abela. 1992. A Parallel Genetic Algorithm for Solving the School Timetabling Problem. *Appearing in 15<sup>th</sup> Australian Computer Science Conference*. Hobart. 1-1.
- [5] Schaerf, A., dan M. Schaerf. 1995. Local Search Techniques for High School Timetabling. *In Proc. Of the 1st International Conf. On the Practice and Theory of Automated Timetabling*. 313-323.
- [6] Ayob, F. Hakim. 2000. Sistem Penjadualan Waktu Kuliah Fakultas Di Universiti Menggunakan Teknik Algoritma Genetik. *Tesis Master*. Universiti Putra Malaysia. Serdang.
- [7] Yasin, Azman. 1998. Penjadualan Waktu Sekolah dengan Menggunakan Kaedah Algoritma Genetik. *Tesis Master*. Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi.
- [8] Salwach, Witold, 1997. Genetic Algorithm in Solving Constraint Satisfaction Problems: The Timetable Case. *(To appear) in Badania Operacyjne i Decyzje*.
- [9] Ross, P., dan H. Ballinger Geoffrey. 1993. Parallel of Genetic Algorithms Testbed. CD-ROM: Prime Time Freeware for AI. Tech. Rep. No. 1-1, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh.
- [10] Ross, P., D. Corne., dan H. -L. Fang. 1994a. Evolutionary Timetabling: Practice, Prospects and Work in Progress. *In UK Planning and Scheduling Workshop*. 1-8.
- [11] Selim, S. M. 1988. Split Vertices in Vertex Colouring and Their Application in Developing a Solution to the Faculty Timetable Problem. *The Computer Journal*. 31(1): 76-82.
- [12] Solotorevsky, G., E. Gudes., dan A. Meisels. 1994. RAPS: A Rule-based Language Specifying Resource Allocation and Time-tabling Problems *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. 6(5): 681-697.
- [13] Watt, J., dan V. Maniezzo. 1998. High-school Scheduling Problems. *Application Journal*. 46: 77-83.
- [14] Ruben, R., dan J. Robert. 1998. A Parallel Genetic Algorithms to Solve the Scheduling Problem. *Computational Optimization Journal*. 50: 66-70.
- [15] Corne, D., F. -L. Fang., dan C. Mellish. 1998. Solving the Modular Exam Scheduling Problem with Genetic Algorithms. Tech. Rep. No. 622, Department of Artificial Intelligence, University of Edinburgh.
- [16] Davis, L. 1999. *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold.
- [17] Paechter, B., H. Luchian, A. Cumming., dan M. Petruic. 1999. Two Solutions to the General Timetable Problem using Evolutionary Methods. *In IEEE Conference on Evolutionary Computation*. 313-315.