

PEMODELAN PENJADUALAN WAKTU KURSUS UNIVERSITI MENGUNAKAN KAEDAH PENGATURCARAAN GOL (Modelling of University Timetabling using Goal Programming Technique)

WAN MALISSA WAN MOHD AMINUDDIN*, WAN ROSMANIRA ISMAIL &
NORFAIEQAH AHMAD

ABSTRAK

Kajian ini dijalankan untuk membina sebuah model penjadualan waktu kursus universiti yang cekap berdasarkan pemodelanan matematik yang dibangunkan bagi menghasilkan jadual waktu kursus universiti yang optimal dan bebas konflik. Kajian ini dijalankan di Jabatan Sains Pengkomputeran dan Teori, Universiti Islam Antarabangsa Malaysia (UIAM) dengan melibatkan pengumpulan kursus-kursus wajib ke slot masa dan bilik-bilik kuliah. Pendekatan pengaturcaraan gol digunakan untuk membina model tersebut dan diselesaikan menggunakan perisian LINGO 12. Hasil akhir kajian ini menunjukkan model penjadualan waktu kursus yang dicadangkan ini mampu memenuhi kehendak dan kekangan yang telah ditetapkan serta mencapai matlamat untuk mengumpukkan kursus Tahun 4 ke slot masa pagi. Beberapa penambahbaikan turut dilakukan terhadap jadual waktu kursus yang telah sedia ada.

Kata kunci: pemodelan; penjadualan; pengaturcaraan gol

ABSTRACT

This study was conducted to build a university course timetabling model based on a mathematical model that has been developed to produce an optimal university course timetable. The study was done at the Department of Computational and Theoretical Sciences, International Islamic University Malaysia (IIUM) involving the allotment of all courses to their particular time slots and lecture rooms. In this study, the goal programming approach is used to build the model. Then, the model is solved by using LINGO 12 software. The result of this study shows that the proposed university course timetabling model had met all the requirements and constraints. Besides, the objective to allocate all Year 4 courses in morning sessions are successfully achieved. Apart from that, some improvements were also done to the current course schedule.

Keywords: modelling; timetabling; goal programming

1. Pendahuluan

Jadual waktu ditakrifkan sebagai suatu susunan perkara atau acara seperti mata pelajaran, acara pertandingan sukan, peserta-peserta acara persidangan dan sebagainya terhadap masa yang telah ditetapkan (Dewan Bahasa dan Pustaka 2017). Jadual waktu ini boleh diperoleh di mana-mana sahaja seperti pusat-pusat pengajian, pejabat-pejabat kerajaan atau swasta, institusi-institusi kesihatan dan sebagainya. Ini kerana dengan adanya jadual waktu, aktiviti di sesebuah organisasi itu dapat disusun dengan terancang agar segala aktiviti dapat berjalan dengan teratur dan sistematik.

Jadual waktu kursus pelajar merupakan sesuatu yang sinonim di pusat-pusat pengajian tinggi. Dalam menghasilkan sebuah jadual waktu kursus pelajar yang berkualiti ini, ianya bukanlah sesuatu yang mudah. Masalah yang timbul dalam penjadualan waktu kursus ini merupakan satu situasi yang sering melanda secara berterusan pada kebanyakan institusi-

institusi pengajian tinggi khususnya apabila sesi akademik yang baru hampir bermula (Rappos *et al.* 2022). Fenomena ini seringkali timbul apabila pihak pentadbiran yang diberi mandat untuk membina jadual tersebut dikehendaki mematuhi kesemua garis panduan yang telah ditetapkan oleh pihak universiti (Chen *et al.* 2021). Di samping itu, mereka juga perlu cuba memenuhi keperluan dan kehendak para pensyarah dan pelajar secara optimum dalam menghasilkan sebuah jadual waktu kursus yang berkualiti dan efektif di samping turut mengambil kira keperluan sedia ada di universiti berkenaan (Martinez *et al.* 2021; Mokhtari *et al.* 2021).

Saban tahun, bilangan pelajar yang diterima masuk ke Jabatan Sains Pengkomputeran dan Teori, Universiti Islam Antarabangsa Malaysia (UIAM) bagi melanjutkan pengajian semakin bertambah. Selaras dengan itu, pihak jabatan telah memperkenalkan pelbagai kursus bagi memberi peluang kepada pelajar untuk menimba ilmu yang diminati mereka. Peningkatan pengambilan pelajar yang meningkat setiap tahun ini telah menimbulkan kesulitan terutama ketika proses penjadualan waktu kursus dijalankan. Ini kerana, proses penghasilan jadual waktu ini bukan hanya melibatkan penjadualan kursus terhadap slot masa sahaja malah melibatkan juga penjadualan terhadap bilik-bilik kuliah yang terhad dan berbeza saiz kapasiti. Hal ini penting bagi memastikan kursus-kursus yang diumpukkan ke sesebuah bilik kuliah mempunyai kapasiti yang sama atau lebih besar daripada bilangan pelajar yang mengambil kursus berkenaan. Hal ini juga dapat menghindar pelajar daripada terpaksa berpindah ke bilik kuliah yang lain atau terpaksa mengangkut kerusi-kerusi tambahan daripada bilik kuliah lain untuk kegunaan mereka sebelum proses pembelajaran bermula.

Di samping itu, terdapat juga masalah yang dihadapi jabatan berkenaan dalam penjadualan waktu kursus adalah untuk tidak menempatkan kursus-kursus pelajar Tahun 4 ke slot masa petang. Ini kerana kursus-kursus berkenaan dianggap sukar oleh pihak tenaga pengajar dan memerlukan minda para pelajar berada dalam keadaan yang cergas. Berdasarkan kajian yang dijalankan oleh Borgers (2018), beliau menyatakan bahawa waktu yang paling efisien and efektif adalah pada sebelah pagi, maka para pelajar sewajarnya mengaturkan masa pada sebelah pagi untuk mengulang kaji pelajaran dan membuat tugas lain supaya boleh mendapat hasil kerja yang paling optimum. Ini menunjukkan bahawa hasil pembelajaran sebelah pagi akan mendatangkan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan waktu sebelah petang dan malam. Hal ini turut dipersetujui oleh Algethami dan Laesanklang (2021) yang telah mengumpulkan kursus-kursus yang ringan iaitu yang mempunyai jam kredit 1 dan 2 ke slot-slot masa petang manakala kursus-kursus yang berat yang mempunyai jam kredit 3 dan 4 ke slot-slot masa pagi.

Berdasarkan polisi UIAM pula, suatu kursus itu perlu dijalankan dua kali seminggu tetapi bukan pada hari yang sama. Namun, seandainya kedua-dua slot masa kursus berkenaan adalah terlalu jauh seperti kelas pertama adalah pada hari Isnin dan diikuti pada hari Khamis ini akan memberi kesukaran kepada pelajar dan juga pensyarah. Pada kebiasaannya, para pelajar mudah lupa apa yang telah dipelajari oleh mereka pada kelas sebelumnya memandangkan jurang masa kedua-dua kelas berkenaan terlalu jauh. Hal ini juga akan memberi kesukaran kepada pihak pensyarah kerana terpaksa mengulang kembali apa yang telah dipelajari sebelum ini sekiranya topik yang diajar pada kelas berikutnya adalah kesinambungan daripada topik sebelum ini. Walau bagaimanapun, seandainya kedua-dua slot masa berkenaan terlalu rapat seperti antara hari Isnin dan Selasa, ini akan memberi kesukaran kepada para pensyarah khususnya untuk menyediakan bahan bantu mengajar yang secukupnya untuk pembelajaran pada keesokan hari.

Berikutan permasalahan ini, satu model matematik dibangunkan dengan menggunakan pendekatan Pengaturcaraan Gol berdasarkan kekangan yang wujud dan polisi yang telah

ditetapkan. Melalui model yang dibangunkan ini, sebuah jadual waktu kursus yang efisien dapat dihasilkan. Kajian ini mempunyai dua objektif utama iaitu membina sebuah model penjadualan waktu kursus universiti yang cekap berdasarkan pemodelan matematik yang dibangunkan dan menentu sahkan keberkesanan model yang dibangunkan dengan masalah sebenar. Dalam memastikan keberkesanan pendekatan yang digunakan, model yang terhasil ini akan diaplikasikan terhadap data sebenar yang diperoleh dari Jabatan Sains Pengkomputeran dan Teori, UIAM.

2. Kajian Kesusasteraan

Penjadualan waktu kursus merupakan sebuah kes permasalahan penjadualan yang istimewa (Wren 1996). Daskalaki *et al.* (2004) telah mendefinisikan penjadualan waktu kursus sebagai satu proses permasalahan penetapan kursus universiti kepada slot masa yang spesifik sepanjang tempoh lima hari bekerja seminggu dan juga penetapan kepada bilik-bilik kuliah yang tertentu dengan mengambil kira kapasiti bilik kuliah serta keperluan kursus yang bakal ditempatkan di bilik berkenaan.

Secara tradisinya, penjadualan waktu kursus ini dijalankan secara manual dengan menggunakan kaedah cuba dan jaya (Datta *et al.* 2006). Menerusi kaedah ini, keputusan yang diperoleh adalah tidak terjamin kesahihannya. Sekalipun keputusan yang sah dapat diperoleh, keputusan tersebut tetap mempunyai kekurangan. Rentetan itu, perkara ini telah menggalakkan pelbagai kajian saintifik dijalankan sejak lebih dari empat dekad yang lalu bagi menghasilkan sebuah teknik penyelesaian bagi permasalahan penjadualan ini. Namun, sehingga ke hari ini teknik penyelesaian terbaik melibatkan permasalahan penjadualan waktu kursus masih belum diperoleh.

Masalah penjadualan waktu kursus universiti bukanlah suatu isu baru dalam dunia penyelidikan. Kajian berkaitan masalah penjadualan yang kompleks ini sebenarnya telah lama menarik minat para penyelidik dalam bidang penyelidikan operasi dan kepintaran buatan di seluruh dunia sejak lebih daripada 40 tahun yang lalu (Burke *et al.* 2006). Ini dapat dibuktikan dengan kelahiran banyak kajian, penulisan dan penerbitan yang berkenaan secara berterusan hingga ke hari ini. Di samping itu, pelbagai pendekatan turut digunakan dalam menyelesaikan masalah penjadualan ini dalam menerbitkan model dan algoritma bagi menghasilkan jadual waktu kursus yang berkualiti. Walau bagaimanapun, tiada satu pendekatan pun yang boleh dikatakan dapat memberikan penyelesaian yang terbaik kepada masalah penjadualan ini. Hal ini kerana, setiap pendekatan mempunyai ciri-ciri keistimewaannya yang tersendiri dan bergantung kepada masalah penjadualan tersebut.

Kajian pertama yang melibatkan isu penjadualan waktu kursus universiti dijalankan oleh Gotlieb (1962). Beliau telah merumuskan masalah jadual waktu kelas dan pensyarah dengan mengambil kira bahawa setiap sesi kuliah perlu mengandungi sekumpulan pelajar, seorang tenaga pengajar dan pelbagai waktu yang boleh dipilih secara bebas. Rentetan daripada kajian ini, pelbagai kajian susulan terus dijalankan sehingga ke hari ini dengan menggunakan kaedah dan pendekatan yang berbeza. Akkoyunlu (1973) contohnya telah menyelesaikan masalah penjadualan waktu di universiti menggunakan pengaturcaraan linear. Dalam kajiannya, beliau menghuraikan tentang model matematik bagi pengagihan kursus terhadap tempoh masa jadual mingguan dan memberikan algoritma untuk menghasilkan penyelesaian optimal yang berkait rapat dengan kos setiap ciri dalam jadual waktu. Selain itu, Nakasuwan *et al.* (1999) turut menggunakan pengaturcaraan linear dalam kajiannya. Beliau telah berjaya menyelesaikan masalah penjadualan waktu di Institut Teknologi Antarabangsa Sirindhorn, Universiti Thammasat, Thailand dengan melibatkan kekangan slot masa, kekangan tenaga pengajar, kekangan kemudahan yang diguna pakai dan sebagainya.

MirHassani (2006) telah mempraktikkan pendekatan pengaturcaraan integer dalam kajian menyelesaikan permasalahan penjadualan 200 subjek di Universiti Teknologi Shahrood, Iran. Model yang dibina oleh beliau telah diformulasi menggunakan perisian AIMMS. Kaedah penjadualan yang dihasilkan ini telah diaplikasikan sepenuhnya menggantikan kaedah yang digunakan sebelum ini. Penyelidikan berkenaan isu dan teknik yang sama juga telah dilakukan oleh Schimmelpfeng dan Helber (2007) di Fakulti Ekonomi dan Pengurusan, Universiti Hannover, Jerman untuk mencipta sebuah jadual pengajian lengkap yang merangkumi 150 kuliah mingguan, tutorial dan seminar yang dihadiri oleh 5 hingga 650 pelajar dan 100 orang pensyarah. Tujuan kajian ini dilakukan adalah untuk menyusun perkara-perkara berkenaan kepada slot masa dan bilik-bilik kuliah tertentu supaya beberapa kekangan yang lembut dan sukar dipenuhi. Model yang telah dibina diformulasi menggunakan perisian sumber terbuka penyelesai bercampur-integer dan CPLEX komersial.

Nguyen *et al.* (2012) pula mencadangkan kaedah hibrid kombinasi Algoritma Pencarian Harmoni (SB) dan Algoritma Lebah untuk menyelesaikan permasalahan penjadualan kursus universiti yang praktikal. Kaedah yang dicadangkan ini telah diuji ke atas 14 data sebenar yang diambil dari Fakulti Teknologi Maklumat, HCMC Universiti Sains di Vietnam. Kaedah yang dicadangkan ini juga turut dibandingkan dengan beberapa pendekatan metaheuristik lain iaitu Pencarian Pemboleh Ubah Kejiranan, Pencarian Tabu dan Algoritma Lebah. Hasil kajian telah menunjukkan bahawa pendekatan HS hibrid - Lebah Algoritma mampu memberi penyelesaian yang bermutu tinggi dalam menyelesaikan masalah ini berbanding dengan kaedah lain.

Pendekatan pengaturcaraan gol telah diguna pakai oleh Badri *et al.* (1998) dalam penyelidikannya. Model yang dibina dalam kajian ini bertujuan untuk mengumpulkan para pensyarah ke kursus-kursus yang ditawarkan dan kemudiannya ke slot-slot masa secara serentak melalui satu peringkat sahaja. Model yang diterbitkan ini kemudiannya diaplikasikan menggunakan data sebenar dari Jabatan Statistik, Fakulti Perniagaan dan Ekonomi di Universiti UAE. Di samping itu, model kajian ini juga merupakan penambahbaikan terhadap kajian lepas yang telah dijalankan oleh Badri (1996). Kajian oleh Badri pada tahun 1996 ini menggunakan model pengoptimuman yang melibatkan dua peringkat. Peringkat pertama melibatkan umpukan para pensyarah kepada kursus dan peringkat seterusnya umpukan pensyarah-kursus terhadap slot masa. Oleh hal yang demikian, model ini adalah terbatas dan penambahbaikan telah dijalankan kerana melibatkan dua peringkat yang mengakibatkan penggunaan banyak masa dan usaha.

Jamili *et al.* (2018) pula menggabungkan pendekatan pengaturcaraan gol dan kaedah TOPSIS dalam kajian menyelesaikan permasalahan penjadualan kursus universiti. Walau bagaimanapun, model yang dihasilkan menerusi pendekatan pengaturcaraan gol ini telah mencadangkan beberapa jadual kursus apabila diselesaikan menerusi perisian GAMS. Oleh itu, kaedah kedua telah digunakan bagi memilih satu jadual yang paling optimum untuk dicadangkan kepada pihak pentadbiran untuk diaplikasikan di universiti berkenaan.

Justeru, model yang dibina oleh Badri *et al.* (1998) akan digunapakai sebagai model asas kepada pembinaan model jadual kursus dalam kajian ini. Walau bagaimanapun, proses pengumpulan bukan hanya memberi penekanan kepada mengumpulkan para pensyarah ke kursus-kursus dan slot-slot masa secara serentak sahaja seperti yang dilakukan oleh Badri *et al.* (1998), bahkan akan menambah pengumpulan bilik-bilik kuliah ke dalam jadual kursus yang bakal dihasilkan nanti. Selain itu, model yang dihasilkan dalam kajian ini akan dapat menghasilkan satu jadual yang paling optimum apabila diselesaikan menerusi perisian LINGO tanpa perlu menggunakan kaedah lain bagi memilih jadual yang paling optimum seperti yang telah dijalankan oleh Jamili *et al.* (2018).

3. Metodologi Kajian

3.1. Langkah-langkah pembinaan model pengaturcaraan gol

Pengaturcaraan gol didefinisikan sebagai suatu penyelesaian masalah bagi model pengaturcaraan matematik yang melibatkan lebih daripada satu matlamat (objektif). Pengaturcaraan gol ini sebenarnya merupakan lanjutan bagi pengaturcaraan linear. Bagi masalah pengaturcaraan linear, pengaturcaraan ini mengandaikan bahawa pembuat keputusan cuba mengoptimumkan fungsi objektif yang tunggal misalnya memaksimumkan keuntungan atau meminimumkan kos. Sebaliknya, kaedah pengaturcaraan gol berusaha untuk meminimumkan pemboleh ubah sisihan dalam fungsi objektif sama ada pemboleh ubah sisihan positif atau negatif atau kedua-duanya sekali bagi setiap matlamat mengikut aras keutamaannya. Selain itu, kedua-dua pemboleh ubah sisihan ini juga dikenali sebagai pemboleh ubah lebih capaian atau kurang capaian.

Selaras dengan itu, kajian ini telah memilih untuk menggunakan kaedah pengaturcaraan gol dalam membangunkan model bagi penjadualan waktu kursus. Kaedah ini dipilih disebabkan oleh kecekapan dan pelaksanaannya yang mudah serta berkemampuan untuk menyelesaikan matlamat yang berbilang. Perisian LINGO 12.0 pula digunakan bagi memperoleh keputusan daripada pemodelan waktu kursus ini.

Langkah-langkah bagi membina suatu model pengaturcaraan gol ini boleh diringkaskan seperti berikut:

- (1) mengenal pasti pemboleh ubah keputusan;
- (2) menentukan kesemua matlamat, aras aspirasi, gol dan sisihan gol;
- (3) mengenal pasti kekangan-kekangan yang terlibat;
- (4) memberi pangkat setiap fungsi matlamat berdasarkan aras keutamaan;
- (5) menetapkan fungsi objektif.

3.1.1. Langkah 1: Mengenal pasti pemboleh ubah keputusan

Pemboleh ubah keputusan dalam suatu masalah merupakan pemboleh ubah yang boleh dikawal. Lazimnya, pemboleh ubah ini dikenali sebagai pemboleh ubah kawalan. Sebarang set pemboleh ubah ini seringkali diwakili oleh huruf seperti x , y , dan z . Pemboleh ubah ini berfungsi untuk menerangkan keputusan yang perlu dibuat.

3.1.2. Langkah 2: Menentukan matlamat, aras aspirasi, gol dan sisihan gol

Pengaturcaraan gol mempunyai beberapa sebutan khas dan konsep yang bakal digunakan dalam kajian ini. Sebutan ini termasuklah:

- (1) **MATLAMAT** – Matlamat ialah kenyataan am dalam bentuk cerita atau sebutan kuantitatif yang mencerminkan keinginan pembuat keputusan.
- (2) **ARAS ASPIRASI** – Aras aspirasi ialah nilai khusus yang berhubung dengan aras pencapaian matlamat yang dikehendaki atau yang boleh diterima. Aras aspirasi ini berfungsi untuk menyukat pencapaian matlamat dan secara amnya bertanggungjawab sebagai asas yang menjadikan matlamat sebagai kenyataan.
- (3) **GOL** – Gabungan matlamat dengan aras aspirasi disebut sebagai gol.
- (4) **SISIHAN GOL** – Sisihan gol merupakan perbezaan di antara pencapaian sebenar dengan aspirasi. Sisihan ini boleh mewakili lebih pencapaian dan kurang pencapaian bagi gol.

3.1.3. Langkah 3: Mengenal pasti kekangan keras dan kekangan liut

Pengaturcaraan gol mempunyai dua jenis kekangan iaitu kekangan keras dan kekangan liut. Kekangan keras bermaksud kekangan yang wajib dipenuhi untuk mencapai penyelesaian tersaur (Aziz & Aizam 2018). Dalam kajian ini, kesemua polisi yang digariskan oleh pihak jabatan akan dijadikan sebagai kekangan keras. Sungguhpun begitu, terdapat juga kekangan bukan polisi yang akan dijadikan sebagai kekangan keras. Kekangan yang akan dijadikan kekangan keras tersebut merupakan kekangan yang mengambil kira kapasiti bilik kuliah yang ditetapkan bagi sesuatu kursus adalah selari dengan bilangan pelajar yang mengambil kursus berkenaan (Tamiz *et al.* 1998).

Manakala kekangan liut pula adalah suatu set kekangan yang tidak wajib dipenuhi (Aziz & Aizam 2018). Walau bagaimanapun, sekiranya semakin banyak kekangan liut yang dipenuhi maka model tersebut dikatakan lebih berkualiti (Causmaecker *et al.* 2009). Matlamat yang ingin dicapai dalam sesebuah kajian akan diletakkan dibawah kekangan liut. Kekangan-kekangan liut ini akan digabungkan dengan sisihan pemboleh ubah positif dan sisihan pemboleh ubah negatif untuk dijadikan gol kajian.

3.1.4. Langkah 4: Memberi pangkat setiap fungsi matlamat berdasarkan aras keutamaan

Pertimbangkan fungsi matlamat yang diungkapkan dalam sebutan am sebagai $f_i(x)$. Kemudian kita mengandaikan:

$$\begin{aligned} f_i(x) &= \text{perwakilan matematik bagi matlamat ke-}i \text{ sebagai fungsi pemboleh ubah} \\ &\quad \text{keputusan } x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}. \\ k_i &= \text{nilai aras aspirasi berkaitan dengan matlamat ke-}i. \end{aligned}$$

Justeru, terdapat tiga kemungkinan bentuk gol yang boleh dihasilkan iaitu:

- $f_i(x) \leq k_i$
- $f_i(x) \geq k_i$
- $f_i(x) = k_i$

Kemudian, kita akan menukarkan hubungan ini kepada format pengaturcaraan gol dengan menambahkan pemboleh ubah sisihan negatif (d^-) dan menolakkan pemboleh ubah sisihan positif (d^+). Oleh itu, fungsi matlamat bagi pengaturcaraan gol boleh dibentuk melalui ringkasan yang dinyatakan dalam Jadual 1. Gol akan dikatakan tercapai apabila nilai pemboleh ubah yang diminimumkan bernilai sifar.

Jadual 1: Perumusan gol

Jenis Gol	Bentuk Pengaturcaraan Gol	Pemboleh Ubah Sisihan yang akan Diminimumkan
$f_i(x) \leq k_i$	$f_i(x) + d^- - d^+ = k_i$	d^+
$f_i(x) \geq k_i$	$f_i(x) + d^- - d^+ = k_i$	d^-
$f_i(x) = k_i$	$f_i(x) + d^- - d^+ = k_i$	$d^- + d^+$

Akhir sekali, kaedah penyelesaian mengikut aras keutamaan akan digunakan. Kesemua gol akan disusun mengikut tertib bermula daripada yang mempunyai aras keutamaan yang paling

tinggi dan diikuti oleh gol yang rendah aras keutamaannya. Perkara ini boleh ditulis seperti berikut:

$$G_1 \ggg G_2 \ggg G_3 \ggg \dots \ggg G_n$$

3.1.5. Langkah 5: Menetapkan fungsi objektif

Langkah terakhir dalam pembinaan suatu model pengaturcaraan gol ialah pembentukan fungsi objektif. Perkara ini dihasilkan dengan menggabungkan kesemua gol yang telah disusun berdasarkan aras keutamaan tadi.

3.2. Data kajian

Model yang dibangunkan dalam kajian ini akan mematuhi kesemua polisi yang telah ditetapkan oleh pihak UIAM. Polisi dalam penjadualan waktu kursus ini adalah seperti berikut:

- (1) Pertindihan adalah tidak dibenarkan sama sekali. Pertindihan ini dikatakan berlaku apabila terdapat dua atau lebih kursus diumpukkan pada slot masa dan bilik kuliah yang sama.
- (2) Jadual waktu yang dihasilkan mestilah lengkap. Jadual waktu yang ditakrifkan sebagai lengkap apabila kesemua kursus yang terlibat diumpukkan ke slot masa dan bilik kuliah.
- (3) Kesemua kursus yang ditawarkan wajib diumpukkan dua kali seminggu. Walau bagaimanapun, kedua-dua kursus tersebut tidak boleh diumpukkan pada hari yang sama.
- (4) Tiada kursus yang akan diumpukkan pada hari Rabu di antara jam 10 pagi hingga ke 11.30 pagi (Slot 12).
- (5) Waktu rehat perlu dijadualkan pada pukul 1.00 petang sehingga ke 2.00 petang.

Jadual 2 pula menyenaraikan kursus-kursus wajib yang ditawarkan oleh pihak UIAM kepada para pelajarnya.

Jadual 2: Senarai kursus-kursus wajib

Kod Kursus	Nama Kursus	Tatatanda
KOS 1000	Islam and Science	S1
SMS 1101	Analytic Geometry	S2
SMS 1102	Calculus I	S3
SMS 1103	Number Theory	S4
SMS1204	Calculus II	S5
SMS 1205	Linear Algebra	S6
SMS 1206	Algebra	S7
SMS 2307	Advanced Calculus	S8
SMS 2308	Mathematical Method	S9
SMS 2309	Introduction to Statistics	S10
SMS 2410	Mathematical Analysis	S11
SMS 2411	Advanced Mathematical Method	S12
SMS 2412	Theory Probability	S13

Jadual 2 (Sambungan)

SMS 3513	Vector Analysis	S14
SMS 3514	Computational Mathematics	S15
SMS 3515	Scientific Computing	S16
SMS 3516	Advanced Analysis	S17
SMS 4528	Introduction to Functional Analysis	S18
SMS 4651	Statistical Data Analysis	S19
SMS 4653	Introduction to Financial Mathematics	S20
SMS 4674	Operational Research	S21
SMS 4410	Numerical Analysis	S22
SMS 4420	Matter and Waves	S23
SMS 4422	Optics I	S24
SMS 4430	Financial Mathematics I	S25
SMS 4431	Financial Mathematics II	S26
SMS 4432	Financial Mathematics III	S27
SMS 4450	Probability & Statistical Inference I	S28
SMS 4451	Probability & Statistical Inference II	S29
SMS 4452	Stochastic Processes	S30
SMS 4460	Ergodic Theory I	S31
SMS 4462	Ergodic Theory II	S32

Sistem penjadualan waktu kursus di UIAM diumpukkan pada slot masa 1 sehingga slot masa 22 seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3. Berikut dinyatakan slot-slot masa pengajian berkenaan dan tatatanda yang diberikan bagi mewakili slot masa tersebut. Tatatanda ini bertujuan untuk memudahkan proses pemodelan dijalankan.

Jadual 3: Pembahagian slot masa dan tatatanda

Masa Hari	8.30 – 10.00	10.00 – 11.30	11.30 – 1.00	1.00 – 2.00	2.00 – 3.30	3.30 – 5.00
Isnin	T1	T2	T3		T4	T5
Selasa	T6	T7	T8		T9	T10
Rabu	T11	T12	T13		T14	T15
Khamis	T16	T17	T18		T19	T20
Jumaat	T21	T22				

Sebanyak 5 bilik kuliah di jabatan berkenaan yang digunakan untuk proses pembelajaran kursus-kursus wajib. Bilik-bilik ini berada di tingkat 2 dan 3 bangunan jabatan. Senarai bilik-bilik kuliah mengikut tingkat berserta kapasiti bilik berkenaan ditunjukkan di Jadual 4.

Jadual 4: Senarai bilik-bilik di bangunan Jabatan Sains Pengkomputeran dan Teori, UIAM

Tingkat	Bilik	Kapasiti	Tatatanda
1	C – 1 – 01	40	B1
	C – 1 – 02	62	B2
	C – 1 – 03	40	B3
	C – 1 – 04	120	B4
2	C – 2 – 01	130	B5

4. Hasil Kajian dan Perbincangan

4.1. Model penjadualan waktu kursus universiti di Jabatan Sains Pengkomputeran dan Teori, UIAM.

4.1.1. Tatatanda

Tatatanda yang digunakan dalam kajian dengan menggunakan kaedah pengaturcaraan gol ini adalah seperti yang dinyatakan dalam Jadual 5.

4.1.2. Pemboleh ubah

Pemboleh ubah yang digunakan dalam kajian ini merupakan pemboleh ubah binari 0 atau 1. Berikut dinyatakan pemboleh ubah berkenaan:

$$x_{stb} = \begin{cases} 1, & \text{Jika kursus } s \text{ dijadualkan pada slot masa } t \text{ di bilik kuliah } b \\ 0, & \text{Jika sebaliknya.} \end{cases}$$

Jadual 5: Tatatanda model pengaturcaraan gol

Tatatanda	Penerangan
S	Bilangan kursus ($S = 32$)
T	Bilangan slot masa ($T = 22$)
B	Bilangan bilik kuliah ($B = 5$)
s	Indeks bagi kursus, $s = 1, 2, \dots, S$
t	Indeks bagi slot masa, $t = 1, 2, \dots, T$
b	Indeks bagi bilik kuliah, $b = 1, 2, \dots, B$
F_b	Jumlah kapasiti bagi bilik kuliah b
E_s	Bilangan pelajar yang mengambil kursus s

4.1.3. Model pengaturcaraan gol bagi penjadualan waktu kursus universiti

Minimum

$$\left\{ \left[\sum_{s=1}^S Ro1_s + Eta1_s \right], \left[\sum_{s=1}^S \sum_{b=1}^B Ro2_{s,b} + Eta2_{s,b} \right] \right\} \quad (1)$$

Tertakluk kepada;

$$\sum_{t=1}^T \sum_{b=1}^B x_{s,t,b} = 2, \quad s = \{1, 2, 3 \dots 32\} \quad (2)$$

$$\sum_{s=1}^S x_{s,t,b} \leq 1, \quad t = \{1, 2, 3 \dots 22\} \quad b = \{1, 2, 3, 4, 5, \} \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^5 \sum_{b=1}^B x_{s,t,b} \leq 1, \quad s = \{1, 2, 3 \dots 32\} \quad (4)$$

$$\sum_{t=6}^{10} \sum_{b=1}^B x_{s,t,b} \leq 1, \quad s = \{1, 2, 3 \dots 32\} \quad (5)$$

$$\sum_{t=11}^{15} \sum_{b=1}^B x_{s,t,b} \leq 1, \quad s = \{1, 2, 3 \dots 32\} \quad (6)$$

$$\sum_{t=16}^{20} \sum_{b=1}^B x_{s,t,b} \leq 1, \quad s = \{1, 2, 3 \dots 32\} \quad (7)$$

$$\sum_{t=21}^{22} \sum_{b=1}^B x_{s,t,b} \leq 1, \quad s = \{1, 2, 3 \dots 32\} \quad (8)$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{b=1}^B x_{s,t,b} = 0, \quad t = \{12\} \quad (9)$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \sum_{b=1}^B E_s x_{s,t,b} \leq F_b \quad (10)$$

$$\sum_{b=1}^B x_{s,t,b} - Ro1_s + Eta1_s = 0 \quad \begin{matrix} t = \{4, 5, 9, 10, 14, 15, 19, 20\} \\ s = \{21, 23, 24, 26, 27, 29, 30, 31, 32\} \end{matrix} \quad (11)$$

$$\sum_{t=1}^{11} x_{s,t,b} + x_{s,t+10,b} - Ro2_{s,b} + Eta2_{s,b} = 2 \quad \begin{matrix} s = \{1, 2, 3 \dots 32\} \\ b = \{1, 2, 3, 4, 5, \} \end{matrix} \quad (12)$$

Persamaan (1) hingga (12) di atas merupakan set kekangan dalam model pengaturcaraan gol bagi penjadualan waktu kursus universiti. Kekangan (1) merupakan fungsi matlamat kajian. Fungsi matlamat yang pertama diperoleh dengan meminimumkan kedua-dua pemboleh ubah sisihan positif dan negatif bagi kekangan liut manakala fungsi matlamat kedua pula diperoleh dengan meminimumkan pemboleh ubah sisihan positif dan pemboleh ubah sisihan negatif kekangan liut.

Set kekangan keras bagi kajian adalah diwakili oleh kekangan (2) hingga (10). Kekangan (2) memberi maksud semua kursus wajib dijadualkan dua kali seminggu. Kekangan (3) pula memberi maksud hanya satu kursus sahaja boleh diumpukkan kepada sesebuah slot masa di sesebuah bilik kuliah. Kekangan (4) sehingga (8) menerangkan bahawa kesemua kursus yang

ditawarkan mestilah dijadualkan sekali sahaja sehari. Kekangan (9) menunjukkan bahawa tiada subjek yang akan dijadualkan pada hari Rabu (slot masa 10 – 11.30 pagi) manakala kekangan (10) pula dibina bagi memastikan bilangan pelajar yang ditempatkan di sesebuah bilik kuliah tidak melebihi kapasiti bilik kuliah berkenaan.

Selain itu, set kekangan liut adalah dinyatakan dalam kekangan (11) dan (12). Kekangan (11) adalah berkaitan dengan tiada pengumpulan kursus Tahun 4 ke slot masa petang. Kursus-kursus wajib untuk pelajar Tahun 4 adalah terdiri daripada S21, S23, S24, S26, S27, S29, S30, S31 dan S32. Kekangan (12) pula mewakili pengumpulan kursus kepada 2 slot masa yang mempunyai waktu yang sama tetapi pada hari yang berbeza. Sebagai contoh, mengumpukkan Kursus 1 (S1) kepada slot masa 8.30 – 10.00 pagi pada hari Isnin dan Rabu atau kepada slot masa 2.00 – 3.30 petang pada hari Selasa dan Khamis.

4.2. Keputusan kajian dan pembincangan

Keputusan yang diperoleh dengan menggunakan perisian LINGO 12.0 telah diterjemahkan dalam Jadual 6. Berdasarkan Jadual 6, dapat dirumuskan bahawa jadual waktu yang dihasilkan adalah lengkap. Hal ini demikian kerana kesemua 32 kursus wajib telah berjaya diumpukkan kepada 19 slot masa dengan memastikan tiada sebarang pertindihan wujud. Setiap kursus juga telah diumpukkan dua kali seminggu pada hari yang berbeza. Selain itu, seperti yang telah dikehendaki oleh pihak jabatan, tiada kursus wajib yang diumpukkan pada slot masa ke-12 kerana ianya merupakan slot masa bagi mesyuarat penyelidikan pihak tenaga pengajar. Dalam pada itu, kursus-kursus yang dijadualkan pada sesebuah bilik kuliah juga mempunyai bilangan pelajar yang tidak melebihi kapasiti bilik kuliah berkenaan.

Matlamat pertama kajian adalah untuk mempertimbangkan kehendak para pensyarah bagi memastikan kesemua kursus-kursus wajib Tahun 4 diumpukkan ke slot masa pagi sahaja. Pemboleh ubah sisihan positif dan negatif yang digunakan dalam atur cara model ini bagi aras keutamaan pertama masing-masing diwakili oleh *Ro1* dan *Eta1*. Pada aras keutamaan pertama, model ini cuba meminimumkan pemboleh ubah sisihan positif dan negatif dalam kekangan gol bagi memastikan tiada kursus wajib pelajar tahun 4 diumpukkan ke slot masa petang. Berdasarkan keputusan LINGO, didapati semua nilai pemboleh ubah sisihan positif dan negatif yang cuba diminimumkan bernilai sifar. Ini menunjukkan kekangan gol aras keutamaan pertama telah tercapai sepenuhnya. Oleh hal yang demikian, kehendak para pensyarah di jabatan ini telah berjaya dipenuhi.

Bagi matlamat kedua pula, matlamat ini adalah untuk mengumpukkan kursus-kursus wajib pelajar pada masa yang sama tetapi pada hari dan di bilik kuliah yang berbeza. Pemboleh ubah sisihan positif dan negatif yang digunakan dalam atur cara model ini bagi aras keutamaan kedua masing-masing diwakili oleh *Ro2* dan *Eta2*. Pada aras keutamaan kedua, model ini cuba meminimumkan pemboleh ubah sisihan positif dan negatif dalam kekangan gol. Berdasarkan keputusan LINGO, pemboleh ubah sisihan positif dan negatif yang cuba diminimumkan adalah bernilai 22.82. Hal ini menerangkan bahawa kekangan gol aras keutamaan kedua tidak tercapai sepenuhnya. Justeru, kehendak bagi menjadualkan kursus-kursus tersebut pada masa yang sama tetapi hari yang berlainan tidak tercapai sepenuhnya.

Jadual waktu kursus yang dihasilkan ini turut dibandingkan dengan jadual waktu kursus yang sebenar yang telah dihasilkan oleh kakitangan jabatan secara manual. Terdapat beberapa perbezaan di antara jadual yang dibina menggunakan model ini berbanding jadual yang dihasilkan oleh pihak jabatan. Dari segi umpukan kursus-kursus ke slot masa, didapati jadual waktu yang dibuat oleh pihak jabatan masih lagi mengumpukkan sebilangan besar kursus pelajar Tahun 4 ke slot masa petang. Sebagai contoh, Kursus 27 dijadualkan pada slot ke-4 iaitu pada jam 2.00 – 3.30 petang, Kursus 32 pada slot 5 iaitu pada jam 3.30 – 5.00 petang manakala Kursus 29 pula ditempatkan pada slot 9 iaitu pada jam 2.00 – 3.30 petang. Selain

itu, terdapat juga sebilangan kursus yang diumpukkan kepada bilik kuliah yang mempunyai bilangan pelajar yang melebihi kapasiti kelas misalnya Kursus 5 yang mempunyai bilangan pelajar sebanyak 95 orang dijadualkan di Bilik 2 yang berkapasiti 62. Di samping itu, jadual waktu ini juga menunjukkan kursus-kursus yang diumpukkan tertabur secara padat pada setiap slot pagi dan petang dengan hanya melibatkan umpukan bermula pada slot masa 1 sehingga slot masa 20.

Berbeza dengan jadual waktu yang dicadangkan oleh kajian ini, kesemua 9 buah kursus pelajar Tahun 4 telah diumpukkan pada slot masa pagi sahaja. Misalnya, Kursus 27 telah dijadualkan pada slot masa ke-11 (8.30 – 10.00 pagi) dan slot masa ke-18 (11.30 pagi – 1.00 petang). Oleh itu, kehendak pihak tenaga pengajar di jabatan ini telah berjaya dipenuhi. Kursus-kursus yang diumpukkan di sesebuah bilik kuliah juga telah mematuhi had kapasiti bilik kuliah berkenaan dengan memastikan tiada lebihan pelajar berlaku. Selain itu, jadual waktu yang dicadangkan ini juga menunjukkan sebilangan besar kursus yang diumpukkan tertabur secara padat pada slot masa pagi sahaja. Hanya sebilangan kecil sahaja yang diumpukkan ke slot masa petang. Hal ini melibatkan umpukan kursus bermula pada slot masa 1 sehingga slot masa ke-22. Justeru, ini dapat membantu menambah kelancaran dan kerancangan proses pembelajaran memandangkan pembelajaran pada waktu pagi dapat memberi lebih kesegaran dan mampu meningkatkan daya ingatan. Minda manusia pada ketika ini dikatakan masih berada pada tahap kesegaran maksimum kesan dari rehat yang cukup pada waktu malam (Nonis & Hudson 2010; Renau *et al.* 2019).

Berdasarkan hasil kajian yang diperolehi juga, terdapat bilik-bilik kuliah yang tidak digunakan dengan sepenuhnya pada setiap hari. Dengan adanya lebihan bilik kuliah tersebut, aktiviti-aktiviti lain seperti kelas tutorial atau kursus-kursus luar boleh memanfaatkan bilik-bilik berkenaan.

Berpandukan situasi tersebut, ini menunjukkan bahawa model yang dicadangkan mampu memberikan beberapa penambahbaikan kepada jadual yang telah sedia ada. Model yang dicadangkan ini turut mampu memenuhi segala polisi dan kehendak yang digariskan oleh pihak jabatan di UIAM.

5. Kesimpulan

Sebuah model penjadualan waktu kursus universiti yang cekap telah berjaya dihasilkan dalam kajian ini. Keberkesanan model yang dibangunkan ini telah dikenal pasti dengan menggunakan data sebenar dari Jabatan Sains Pengkomputeran dan Teori, UIAM. Keputusan yang diperolehi hasil daripada kajian ini turut dibandingkan dengan jadual waktu kursus yang telah dihasilkan oleh kakitangan jabatan secara manual.

Kaedah Pengaturcaraan Gol (PG) telah digunakan dalam kajian ini dan ianya berjaya melakukan beberapa penambahbaikan terhadap jadual asal jabatan. Jadual baru ini telah berjaya mengumpukkan kesemua kursus wajib pelajar Tahun 4 ke slot masa pagi dan memastikan kehendak pihak tenaga pengajar berjaya dipatuhi. Hasil kajian turut menunjukkan kursus-kursus hanya diumpukkan di sesebuah bilik kuliah yang mempunyai kapasiti yang sama atau lebih besar daripada bilangan pelajar yang mendaftar kursus berkenaan. Ini dapat memastikan supaya masalah lebihan pelajar dapat dielakkan. Selain itu, sebilangan besar kursus juga diumpukkan pada slot masa pagi berbanding pada slot masa petang.

Jadual 6. Jadual umpukan kursus kepada slot masa dan bilik kuliah

WAKTU	8.30 – 10.00		10.00 – 11.30		11.30 – 1.00		1.00 – 2.00		2.00 – 3.30		3.30 – 5.00	
Isnin	S6 (B5)	S11 (B4)	S31 (B1)	S8 (B4)	S9 (B5)	S16 (B1)	S2 (B5)	S7(B4)	S15 (B1)	S4 (B4)	S22 (B5)	
				S28 (B3)	S29 (B2)		S20 (B3)					
Selasa	S10 (B5)	S11 (B2)	S21 (B4)	S3 (B4)	S7 (B5)	S17 (B3)	S9 (B5)	S13 (B4)		S5 (B4)	S12 (B5)	S1 (B5)
	S31 (B1)	S32 (B3)		S29 (B2)								S4 (B4)
Rabu	S12 (B2)	S15 (B4)	S24 (B5)				S16 (B1)	S21 (B4)	S23 (B5)	S8 (B4)	S10 (B5)	S14 (B2)
	S26 (B1)	S27 (B3)					S30 (B2)					S13 (B4)
Khamis	S5 (B5)	S25 (B4)		S2 (B5)	S23 (B4)	S30 (B2)	S6 (B5)	S18 (B2)	S24 (B3)	S19 (B5)	S28 (B3)	S1 (B5)
				S32 (B3)			S26 (B4)	S27 (B1)				S17 (B3)
Jumaat	S18 (B4)	S20 (B3)	S25 (B2)									

Kesimpulannya, diharapkan segala pencapaian matlamat dapat memberi kepuasan dan kemudahan kepada semua pihak khususnya pelajar. Kajian ini juga diharap dapat membantu pihak jabatan melakukan penambahbaikan terhadap jadual waktu yang sedia agar lebih efektif dan selari dengan kondisi semasa. Ini dapat menyediakan ruang masa pembelajaran yang lebih efisien di samping memberi keselesaan bukan sahaja kepada para pensyarah bahkan juga kepada pelajar.

Pada masa akan datang, cadangan untuk meneruskan kajian ini adalah dengan menggunakan set data yang lebih besar. Sebagai contoh, dengan mengambil kira bukan sahaja umpukan subjek wajib terhadap slot masa dan bilik kuliah malahan juga umpukan kursus-kursus pilihan, kursus-kursus universiti dan para pensyarah. Selain itu, kajian lain juga disarankan dengan menambah kekangan-kekangan lain yang bersesuaian dengan kehendak dan keperluan semasa institusi yang terlibat.

Rujukan

- Akkoyunlu E. 1973. A linear algorithm for computing the optimum university timetable. *The Computer Journal* **16**(4): 347-350.
- Algethami H. & Laesanklang W. 2021. A mathematical model for course timetabling problem with faculty-course assignment constraints. *IEEE Access* **9**: 111666-111682.
- Aziz N.L.A. & Aizam N.A.H. 2018. A brief review on the features of university course timetabling problem. *Proceedings of the 3rd International Conference on Applied Science and Technology (ICAST'18)*, hlm. 020001-020007.
- Badri M.A. 1996. A two-stage multiobjective scheduling model for faculty-course-time assignments. *European Journal of Operational Research* **94**: 16-28.
- Badri M.A., Davis D.L. & Hollingsworth J. 1998. A multi-objective course scheduling model: Combining faculty preferences for courses and times. *Computer Operational Research* **25**(4): 303-316.
- Borgers M. 2018. What is the Best Time for Studying?. <https://www.improvestudyhabits.com/what-is-the-best-time-for-studying/> (19 September 2022).
- Burke E.K., Petrovic S. & Qu R. 2006. Case-based heuristic selection for timetabling problems. *Journal of Scheduling* **9**(2): 115-132.
- Causmaecker P.D., Demeester P. & Berghe G.V. 2009. A decomposed metaheuristic approach for a real-world university timetabling problem. *European Journal of Operational Research* **195**: 307-318.
- Chen M.C., Sze S.N., Goh S.L., Sabar N.R. & Kendall G. 2021. A survey of university course timetabling problem: perspectives, trends and opportunities. *IEEE Access* **9**: 106515-106529.
- Daskalaki S., Birbas T. & Houses E. 2004. An integer programming formulation for a case study in university timetabling. *European Journal of Operational Research* **153**: 117-135.
- Datta D., Deb K. & Fonseca C.M. 2006. Solving class timetabling problem of IIT Kanpur using Multi-objective Evolutionary Algorithm. <http://wenku.baidu.com/view/ee727c6b7e21af45b307a83d.html> (8 Mac 2022).
- Dewan Bahasa dan Pustaka. 2017. Pusat rujukan persuratan melayu. <https://prpm.dbp.gov.my/> (18 Ogos 2022).
- Gotlieb C.C. 1962. The construction of class-teacher timetables. *IFIP Congress*, hlm. 73-77.
- Jamili A., Hamid M., Gharoun H. & Khoshnoudi R. 2018. Developing a comprehensive and multi-objective mathematical model for university course timetabling problem: a real case study. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, hlm. 2018-2119.
- Martinez N.M.A., Pardon C.M. & Torres P.A.A. 2021. University course timetabling problem with professor assignment. *Mathematical Problems in Engineering* **2021**:1-9.
- MirHassani S.A. 2006. A computational approach to enhancing course timetabling with integer programming. *Applied Mathematics and Computation* **175**: 814-822.
- Mokhtari M., Srashk M.V., Asadpour M., Saeidi N. & Boyer O. 2021. Developing a model for the university course timetabling problem: A case study. *Complexity* **2021**: 1-12.
- Nakasuwan J., Srithip P. & Komolavanij S. 1999. Class scheduling optimization. *Thammasat Int. J. Sc. Tech* **4**(2): 88-98.
- Nguyen K., Nguyen P. & Trans N. 2012. A hybrid algorithm of Harmony Search and Bees Algorithm for a University Course Timetabling Problem. *IJCSI International Journal of Computer Science* **9**(1).
- Nonis S.A. & Hudson G.I. 2010. Performance of college students: Impact of study time and study habits. *Journal of Education for Business* **85**(4): 229-238.
- Rappos E., Thiemard E., Robert S. & Heche J.F. 2022. A mixed-integer programming approach for solving university course timetabling problems. *Journal of Scheduling* **25**: 391-404.

- Renau M.A., Fernandez A.D., Valls M.R.B., Maldonado A.S. & Urdiales D.M. 2019. The effect of sleep quality on academic performance is mediated by Internet use time: DADOS study. *Jornal de Pediatria* **95**(4): 410-418.
- Schimmelpfeng K. & Helber S. 2007. Application of a real-world university-course timetabling model solved by integer programming. *OR Spectrum* **29**(4): 783-803.
- Tamiz M., Jones D. & Romero C. 1998. Goal programming for decision making: An overview of the current state-of-the-art. *European Journal of Operational Research* **111**(3): 569-581.
- Wren A. 1996. Scheduling, timetabling and rostering -A special relationship?. *International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*, hlm. 46-75.

*Department of Computational and Theoretical Sciences
Kulliyah of Science
International Islamic University Malaysia
Bandar Indera Mahkota
25200 Kuantan
Pahang, MALAYSIA
E-mail: wanmalissa@iium.edu.my*, norfaieqah@iium.edu.my*

*Department of Mathematical Sciences
Faculty of Science and Technology
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi
Selangor, MALAYSIA
E-mail: wrismail@ukm.edu.my*

Received: 3 October 2022
Accepted: 30 October 2022

*Corresponding author