

Penjadwalan Mata Kuliah dengan Mempertimbangkan Ketersediaan Waktu Pengajar dan Satuan Kredit Semester yang Tidak Terpisah Menggunakan *Integer Linear Programming*

Course Scheduling by Considering Lecturer Availability Time with Unseparated Credits Using Integer Linear Programming

Victor Suhandi^{1*}, Vivi Arisandhy², David Try Liputra³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Maranatha, Bandung, Indonesia

*Penulis korespondensi: Victor Suhandi, victor.suhandi@eng.maranatha.edu


Abstrak

Penjadwalan mata kuliah merupakan proses yang secara periodik dilakukan oleh manajemen suatu program studi. Faktor ketersediaan waktu para pengajar sangat mempengaruhi kemudahan penjadwalan. Jadwal atau slot waktu yang digunakan untuk suatu mata kuliah yang tidak sesuai dengan ketersediaan waktu dari pengajar yang mengumpunya, perlu dinegosiasikan oleh pihak manajemen. Efisiensi proses penyusunan jadwal dan negosiasi untuk meminimalkan jadwal yang tidak sesuai dengan ketersediaan waktu pengajar menjadi penting untuk pengurangan beban bagi pihak manajemen. Studi ini fokus pada penjadwalan mata kuliah untuk meminimasi ketidaksesuaian tersebut dengan mempertimbangkan satuan kredit semester yang tidak dapat dipisah. Kebaruan dalam studi ini terletak pada penggunaan ketersediaan waktu pengajar sebagai kendala soft dipadukan dengan perumusan kendala untuk bobot mata kuliah yang beragam dan tidak terpisah dengan menggunakan mathematical programming. Data semester genap tahun 2023 diperoleh dari sebuah program studi teknik industri di Indonesia. Integer linear programming digunakan untuk memodelkan masalah tersebut dan dipecahkan menggunakan CPLEX. Hasil optimal diperoleh dalam waktu yang singkat dan analisis sensitivitas jumlah ruangan juga dapat memberikan wawasan bagi pihak manajemen untuk meningkatkan efisiensi.

Kata kunci: optimisasi, penjadwalan mata kuliah, penjadwalan waktu, satuan kredit semester

How to Cite:

Suhandi, V., Arisandhy, V. and Liputra, D.T. (2023) 'Penjadwalan mata kuliah dengan mempertimbangkan ketersediaan waktu pengajar dan satuan kredit semester yang tidak terpisah menggunakan Integer Linear Programming', *Journal of Integrated System*, 6(1), pp. 73–86. Available at: <https://doi.org/10.28932/jis.v6i1.6459>.

© 2023 Journal of Integrated System. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. 

Abstract

Course scheduling is usually carried out periodically by the management of a university department. The availability time of the lecturers affects the ease of scheduling. The schedule or time slot used for a course that does not follow the time availability of the lecturer in charge needs to be negotiated by the management. Efficiency in scheduling and negotiations to achieve fewer unmatched schedules is essential to reduce the management burden. This study focuses on course scheduling to minimize incompatibility by considering courses with unseparated credits. The novelty in this study lies in the use of the time availability of the lecturers as a soft constraint combined with the formulation of constraints for various and inseparable subject credits using mathematical programming. Even semester data for 2023 are from an industrial engineering department in Indonesia. Integer linear programming is used to model the problem, then solved using CPLEX software. The optimal solution is obtained in a short computation time, and sensitivity analysis of the number of available rooms can provide insight for management to increase efficiency.

Keywords: optimization, course scheduling, timetabling, course credits

1. Pendahuluan

Penjadwalan mata kuliah atau mata pelajaran pada level perguruan tinggi berbeda dengan level sekolah dasar hingga sekolah menengah. Mahasiswa dapat memilih mata kuliah di semester yang lebih tinggi atau lebih rendah. Lebih dari itu, terdapat mata kuliah pilihan yang dapat dipilih sesuai minat. Pihak penjadwal memperkirakan jumlah mahasiswa yang akan mengambil mata kuliah berdasarkan data historis dan peminatan. Mahasiswa memilih mata kuliah yang akan diambil setelah jadwal diumumkan. Selain daripada itu, pihak manajemen juga perlu menugaskan pengajar yang biasanya memiliki ketersediaan waktu yang beragam. Sementara itu, untuk sekolah dasar hingga menengah biasanya siswa yang naik kelas sudah wajib mengambil mata pelajaran yang diperuntukkan sesuai kurikulum yang ada. Situasi ini mendorong faktor-faktor lainnya seperti keberadaan mata kuliah pilihan dan ketersediaan waktu pengajar menjadi hal penting yang perlu dipertimbangkan untuk penentuan jadwal.

Pada studi ini, yang menjadi objek pengamatan adalah bagian penjadwalan mata kuliah di program studi teknik industri pada sebuah universitas di Indonesia. Data yang digunakan adalah data semester genap tahun akademik 2022/2023. Pihak program studi tersebut melakukan proses penjadwalan dengan dua tahap. Tahap pertama adalah menetapkan para pengajar dari setiap mata kuliah yang akan dibuka untuk semester yang akan datang. Lalu pada tahap berikutnya dilakukan penjadwalan dengan memperhatikan ketersediaan waktu dari para pengajar.

Ketersediaan waktu pengajar menjadi faktor penting untuk dapat disesuaikan dengan jadwal yang dihasilkan. Setiap pengajar memberikan data ketersediaan waktu sesuai dengan ketentuan dari universitas, yaitu minimum 32 jam kerja dalam satu minggu. Pihak manajemen yang mampu mengakomodasi hal ini akan mendorong kepuasan untuk para pengajar. Namun demikian kompleksitas penjadwalan seringkali membuat jadwal kurang sesuai dengan ketersediaan waktu yang diberikan oleh para pengajar sehingga pihak manajemen perlu mengomunikasikan dan bernegosiasi dengan pengajar terkait. Hal ini tentunya memerlukan waktu dan menjadi beban bagi pihak manajemen.

Faktor lain yang menambah kompleksitas permasalahan adalah bervariasinya satuan kredit semester (SKS). Besarnya kredit yang menjadi bobot suatu mata kuliah di dalam suatu kurikulum dinyatakan dengan SKS. Satu SKS biasanya terdapat 50 menit tatap muka setiap minggunya. Pada umumnya besaran kredit berkisar antara dua hingga tiga SKS dan penyampaian perkuliahan berlangsung 2 atau 3 kali 50 menit setiap minggunya. Selain itu

penyampaiannya seringkali tidak boleh dipisah sehingga dalam satu minggu terdapat satu kali perkuliahan selama 100 menit atau 150 menit untuk mata kuliah 2 atau 3 SKS.

Tatap muka 50 menit biasanya diwakili oleh slot waktu sebesar satu jam. Selisih waktu 10 menit dapat dijadikan sebagai kelonggaran bagi mahasiswa maupun pengajar. Kelonggaran ini dapat digunakan untuk waktu berpindah ruangan ataupun untuk beristirahat. Pratiwi *et al.* (2021) menggunakan 1 SKS sebesar 50 menit dengan jeda 5 menit sehingga dalam satu hari memiliki kapasitas 10 SKS. Pratiwi *et al.* (2021) membagi kapasitas tersebut menjadi 2 slot 2 SKS dan 2 slot 3 SKS.

Kebaruan dalam studi ini terletak pada penggunaan ketersediaan waktu pengajar sebagai kendala *soft* dipadukan dengan perumusan kendala untuk bobot mata kuliah yang beragam dan tidak terpisah dengan menggunakan *mathematical programming*. Penggunaan satu slot waktu yang setara dengan 1 SKS dapat lebih fleksibel untuk mengakomodasi mata kuliah 2 dan 3 SKS.

Studi ini bertujuan untuk mengoptimalkan penjadwalan mata kuliah dengan meminimasi ketidaksesuaian jadwal yang dihasilkan dengan ketersediaan waktu para pengajar serta mempertimbangkan sistem kredit yang tidak dapat dipisahkan dalam setiap minggunya menggunakan *integer linear programming* (ILP). Ketidaksesuaian jadwal yang dihasilkan diartikan sebagai jadwal suatu mata kuliah yang diampu oleh seorang pengajar dijadwalkan pada slot waktu yang tidak sesuai dengan ketersediaan waktu yang diberikan oleh pengajar tersebut. Apabila hal ini terjadi maka pihak manajemen perlu melakukan negosiasi dengan pengajar tersebut. Studi ini dapat berkontribusi dalam hal meminimalkan beban pihak manajemen dalam melakukan penjadwalan dapat berkontribusi terhadap peningkatan kinerja manajemen. Studi ini juga berkontribusi pada pengembangan model penjadwalan mata kuliah dengan perumusan model matematika yang baru dalam memodelkan bobot mata kuliah yang beragam yang tidak boleh dipisah.

2. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka membahas perkembangan metode pemecahan dalam permasalahan penjadwalan mata kuliah, penggunaan kendala terkait pada bobot mata kuliah dalam *mathematical programming*, penggunaan kendala *hard* dan kendala *soft*, dan kontribusi penelitian yang dilakukan dalam studi ini.

2.1 Perkembangan metode pemecahan masalah dalam penjadwalan mata kuliah

Penjadwalan mata kuliah atau *course scheduling* sudah dimulai cukup lama. Tripathy (1984) menyampaikan perkembangan penelitian tentang *timetabling*, tahun 1950-an hingga 1960-an terkait *manual timetabling*, kemudian 1960-an hingga 1970-an terkait pendekatan teori grafik. Breslaw (1976) menggunakan *linear programming* untuk memaksimalkan kesesuaian keinginan pengajar dalam memilih mata kuliah yang diampunya. McClure dan Wells (1984) memperhatikan beban pengajar di samping ketertarikan pengajar. Tripathy (1984) memperhatikan kesesuaian antara jadwal dengan kelompok-kelompok mahasiswa, dimana kelompok mahasiswa tertentu mengambil beberapa mata kuliah sehingga *subjects* tersebut tidak boleh mempunyai slot waktu yang sama.

Penjadwalan mata kuliah sepuluh tahun terakhir banyak menggunakan metode heuristik, *mathematical programming*, dan metaheuristik. Penggunaan *mathematical programming* sangat dibutuhkan untuk mendapatkan solusi optimal. Chen *et al.* (2021) melihat peranan ILP dalam penjadwalan mata kuliah, dimana metode ini dikategorikan ke dalam metode berbasis penelitian operasional. Kompleksitas permasalahan dapat membuat waktu pencarian solusi menjadi lama, dalam hal ini diperlukan pertimbangan terhadap kendala yang dapat

mempengaruhi waktu pencarian (Lindahl *et al.*, 2018). Komijan dan Koupaei (2015) melihat beberapa tipe pengajar dan memiliki nilai kualitas yang berbeda-beda ketika mengajar suatu mata kuliah dan solusi diperoleh menggunakan ILP. Avella *et al.* (2019) menggunakan *mixed-integer programming* (MIP) dengan *local branching strategies* untuk menangani masalah penjadwalan 80-an mata kuliah. Pratiwi *et al.* (2021) fokus pada pemaksimalan jumlah mata kuliah yang berhasil dijadwalkan dengan kendala-kendala yang ada dan solusi diperoleh menggunakan ILP. Rappos *et al.* (2022) menggunakan MIP untuk memodelkan permasalahan yang terlalu besar sehingga tidak dapat dipecahkan secara langsung, dimana dikembangkan dua algoritma untuk mencari solusi yang layak dilanjutkan meningkatkan kualitas solusi. Peningkatan kualitas solusi diperoleh dengan menggunakan algoritma *neighborhood search* skala sangat besar dengan input dari hasil optimisasi MIP dengan sebagian kendala saja. Apabila permasalahan membutuhkan pencarian solusi optimal yang sangat lama maka dapat beralih ke metode metaheuristik.

Pendekatan heuristik untuk penjadwalan mata kuliah memiliki keuntungan untuk dapat memberikan solusi yang baik dengan waktu yang layak tetapi metode ini tidak menjamin untuk mendapatkan nilai optimal. Mohmad Kahar dan Kendall (2014) fokus pada penugasan pengawas untuk penjadwalan ujian dan solusi diperoleh menggunakan metode heuristik. Nagata (2018) melakukan penjadwalan mata kuliah menggunakan *random partial neighborhood search*. Lewis (2012) menggunakan *simulated annealing* yang bergantung pada waktu. Goh *et al.* (2017) menggunakan *tabu search* yang dikombinasikan dengan *sampling* dan *perturbation*. Hossain *et al.* (2019) memperhatikan pengajar, mata kuliah, ruangan, dan slot waktu yang sesuai menggunakan *particle swarm optimization* (PSO) dikombinasikan dengan *selective search* dan dibandingkan dengan *genetic algorithm* (GA), *harmony search* (HS), *Producer-Scrounger method* (PSM), dan PSO.

2.2 Mathematical programming untuk bobot mata kuliah yang tidak dapat dipisah

Pemodelan dengan *mathematical programming* lebih sulit ketika merumuskan kendala-kendala yang dibutuhkan dibandingkan dengan metode heuristik atau metaheuristik. Salah satunya terkait dengan bobot mata kuliah yang beragam. Selain itu, terdapat juga kendala tentang waktu penyampaian yang dapat atau tidak dapat dipisah setiap minggunya. Perkembangan penelitian sebelumnya terkait hal-hal ini dengan menggunakan *mathematical programming* dimulai dari Breslaw (1976) yang tidak mempertimbangkan bobot mata kuliah dalam kendalanya. Beberapa studi berikutnya sudah mempertimbangkan bobot mata kuliah tetapi belum mempertimbangkan waktu penyampaian yang harus berurutan atau tidak boleh dipisah (McClure dan Wells, 1984, Tripathy, 1984).

Penelitian sebelumnya telah menggunakan sistem slot dengan variabel keputusan biner yang melihat suatu *course* dijadwalkan pada slot waktu tertentu. Komijan dan Koupaei (2015) menggunakan 5 slot waktu dalam satu hari dan setiap mata kuliah memiliki bobot 2 SKS yang akan dijadwalkan pada satu slot waktu saja. Lindahl *et al.* (2018) memodelkan dua slot waktu yang harus berurutan dengan kendala yang memastikan slot waktu sebelumnya harus digunakan apabila suatu slot waktu dipilih, dengan slot waktu satu jam maka bobot 2 SKS dapat diwakili oleh 2 slot waktu. Namun kendala ini sulit menentukan batas awal dan akhir slot waktu yang digunakan karena yang dianggap slot waktu sebelumnya juga dapat berperan sebagai suatu slot waktu yang lain dan memiliki slot waktu pendahulu yang berbeda. Selain itu, kendala ini juga tidak dapat memodelkan mata kuliah dengan 3 SKS atau dengan bobot bervariasi.

Pratiwi *et al.* (2021) menerapkan ILP dengan membedakan slot 3 jam dan 2 jam, dimana mata kuliah dengan 3 SKS tidak dapat dialokasikan pada slot 2 jam. Di sisi lain, mata kuliah 2 SKS dapat dialokasikan pada kedua jenis slot. Kelemahan utama penggunaan dua jenis slot yang

berbeda ini adalah efisiensi dapat berkurang ketika slot 3 jam digunakan untuk mata kuliah 2 jam. Maka dari itu, diperlukan pendekatan yang masih tetap mempertahankan fleksibilitas penggunaan waktu seperti penggunaan satu slot yang mewakili satu jam, sehingga untuk memodelkan mata kuliah 2 dan 3 SKS dapat menggunakan 2 dan 3 slot secara berurutan atau tidak boleh dipisahkan.

Pendekatan heuristik atau metaheuristik dapat dengan mudah mengakomodasi kendala variabilitas SKS hanya saja solusi yang diperoleh tidak dijamin memperoleh hasil optimal. Hossain *et al.* (2019) menggunakan metaheuristik dengan pembangkitan solusi baru dengan mekanisme pertukaran yang dikembangkan dari PSO sebelumnya. Penggunaan *forceful swap* dengan mekanisme perbaikan yang dapat mengubah solusi baru yang tidak layak menjadi layak dengan bantuan bilangan random. Solusi baru harus dapat memenuhi kendala untuk dapat digunakan dan diperbandingkan dengan solusi yang terbaik yang sudah didapatkan sebelumnya. Dalam hal ini, pendekatan metaheuristik tidak memformulasikan kendala seperti pada *mathematical programming*.

2.3 Kendala *hard* dan kendala *soft*

Terdapat kendala *hard* dan *soft* yang biasa diterapkan dalam penjadwalan mata kuliah. Kendala *hard* mutlak harus dipenuhi sedangkan kendala *soft* tidak mutlak untuk dipenuhi namun perlu dioptimalkan (Ahmed *et al.*, 2015). Kendala *hard* pada masalah penjadwalan terutama adalah seorang pengajar tidak dapat mengajar lebih dari satu mata kuliah di waktu sama. Di samping itu, kendala-kendala lain dapat menjadi kendala *hard* tergantung dari realita permasalahan yang dihadapi. Komijan dan Koupaei (2015) menerapkan kendala *hard* untuk jumlah mata kuliah yang ditugaskan kepada seorang pengajar, kendala jumlah ruangan yang digunakan di waktu yang sama, dan kendala terkait pengajar dari *research society members*.

Komijan dan Koupaei (2015) menggunakan kendala *soft* untuk mata kuliah wajib yang tidak bentrok dengan mata kuliah pilihan sehingga mahasiswa dari beberapa angkatan yang berbeda memiliki kesempatan untuk mengambil mata kuliah pilihan tersebut. Selain itu, Komijan dan Koupaei (2015) juga mencoba meminimasi jumlah hari kuliah bagi mahasiswa serta mempertimbangkan mata kuliah umum yang dapat diambil oleh mahasiswa dari mayor yang berbeda-beda. Terakhir, Komijan dan Koupaei (2015) mempertimbangkan untuk pengajar yang diundang terutama dari luar kota dapat mengajar lebih dari satu mata kuliah dalam sehari. Avella *et al.* (2019) menerapkan kendala *soft* dengan penalti diberikan apabila terdapat mata kuliah pada dua jam terakhir setiap harinya. Hossain *et al.* (2019) mengakomodasi preferensi pengajar dengan nilai negatif hingga positif sehingga dapat menghitung nilai kepuasan pengajar atas jadwal yang dihasilkan.

2.4 Kontribusi penelitian

Berbagai penelitian terdahulu tentang penjadwalan mata kuliah, sudah memperhatikan ketertarikan dan beban pengajar. Namun situasi permasalahan penjadwalan mata kuliah perlu juga memperhatikan ketersediaan waktu para pengajar yang bervariasi. Di samping itu, perlu juga memaksimalkan pemanfaatan slot yang ada untuk menangani mata kuliah dengan nilai kredit yang bervariasi dan tidak dapat dipisah dengan *mathematical programming*. Maka dari itu, studi yang menggabungkan hal-hal tersebut diperlukan untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan wawasan bagi pihak manajemen.

Penelitian ini memperhatikan ketersediaan waktu para pengajar sebagai kendala *soft* dan mempertimbangkan slot waktu yang harus berurutan atau tidak boleh terpisah untuk setiap mata kuliah. Penelitian ini menggunakan ILP dan CPLEX untuk mencari solusi optimal. Penggunaan ILP dan CPLEX didukung oleh perkembangan teknologi komputer sehingga memiliki kemampuan komputasi yang lebih cepat. Penggunaan metode ini dapat memberikan solusi optimal dalam waktu yang layak

untuk masalah penjadwalan mata kuliah pada kasus nyata yang tidak terlalu kompleks. Kasus yang digunakan menggunakan kurikulum yang terdiri dari empat tingkat dan empat mata kuliah pilihan serta setiap mata kuliah sebagian besar hanya memiliki satu kelas saja. Lingkup permasalahan seperti ini lebih cocok menggunakan ILP yang menjamin diperolehnya solusi optimal daripada metode metaheuristik.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini membahas proses pemodelan matematis berupa daftar notasi yang berisi simbol-simbol yang digunakan pada formula model. Formulasi model menggunakan ILP sehingga beberapa kendala dasar akan mengacu pada studi sebelumnya yang juga menggunakan ILP ditambah dengan pengembangan kendala-kendala dan fungsi tujuan sesuai dengan kebaruan pada studi ini, kemudian dilanjutkan dengan pencarian solusi menggunakan CPLEX. Selanjutnya diakhiri dengan pembahasan berupa analisis *output* dan diskusi kemanfaatan bagi pihak manajemen.

3.1 Notasi

Pemodelan masalah penjadwalan mata kuliah menggunakan ILP memiliki notasi sebagai berikut:

i	mata kuliah
k	pengajar ($k=0$ pengajar tidak dipertimbangkan, yang dipertimbangkan $1 \leq k \leq K$)
K	jumlah pengajar
m	hari
M	jumlah hari yang digunakan untuk penjadwalan
n	slot waktu
n'	alias dari n yang digunakan bersamaan dengan n dalam satu formula
N	jumlah slot dalam satu hari
X_{imn}	mata kuliah i dijadwalkan pada hari m dan slot waktu n
Y_{im}	mata kuliah i dijadwalkan pada hari m
V_{ik}	mata kuliah i diajar oleh pengajar k
W_{kmn}	ketersediaan waktu pengajar k pada hari m dan slot waktu n
L_i	pengajar mata kuliah i
c_i	nilai SKS atau jumlah slot waktu yang dibutuhkan suatu mata kuliah i
NC	jumlah ruang kelas
$S1$	himpunan mata kuliah tingkat 1
$S2$	himpunan mata kuliah tingkat 2
$S3$	himpunan mata kuliah tingkat 3
$S4$	himpunan mata kuliah tingkat 4
$S5$	himpunan mata kuliah pilihan
$S6$	himpunan mata kuliah dengan jadwal tetap (<i>fixed</i>)
$M6_i$	himpunan hari terkait mata kuliah <i>fixed</i> i
$N6_i$	himpunan slot waktu terkait mata kuliah <i>fixed</i> i
MB	sebuah bilangan yang sangat besar relatif terhadap konstanta fungsi objektif

Variabel keputusan yang digunakan adalah variabel biner bernilai satu ketika mata kuliah i dijadwalkan pada hari m slot waktu n (X_{imn}) dan bernilai nol selain daripada itu. Variabel lain yaitu Y_{im} juga merupakan variabel biner bernilai satu apabila mata kuliah i dijadwalkan pada hari m dan bernilai nol selain daripada itu.

Parameter V_{ik} bernilai satu apabila mata kuliah i diajuri oleh pengajar k , selain daripada itu parameter ini bernilai nol. Parameter L_i bernilai *integer* yang mewakili identitas pengajar yang mengajar mata kuliah i . Parameter W_{kmn} bernilai satu apabila pengajar k bersedia mengajar pada hari m dan slot waktu n , selain daripada itu parameter ini bernilai nol.

3.2 Formulasi Model

Fungsi tujuan dari permasalahan ini adalah ingin meminimasi ketidaksesuaian jadwal dengan ketersediaan waktu pengajar, dirumuskan dalam persamaan (1). Persamaan ini mengakomodasi preferensi waktu pengajar yang dianggap sebagai kendala *soft*. Apabila jadwal yang dibuat tidak sesuai dengan preferensi pengajar maka pihak manajemen perlu melakukan negosiasi dengan pengajar terkait. Semakin banyak ketidaksesuaian maka semakin besar usaha dan waktu yang diperlukan pihak manajemen untuk melakukan negosiasi.

$$\text{Minimasi } Z = \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{imn} (1 - W_{kmn}); k = L_i \quad (1)$$

Kendala:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_{imn} V_{ik} = c_i; \forall i \quad (2)$$

$$X_{imn} + X_{imn'} \leq 1; \forall i, \forall m, c_i + 1 \leq n \leq N - c_i, 1 \leq n' \leq n - c_i \quad (3)$$

$$X_{imn} + X_{imn'} \leq 1; \forall i, \forall m, c_i + 1 \leq n \leq N - c_i, n + c_i \leq n' \leq N \quad (4)$$

$$X_{imn} + X_{imn'} \leq 1; \forall i, \forall m, 1 \leq n \leq c_i, n + c_i \leq n' \leq N \quad (5)$$

$$X_{imn} + X_{imn'} \leq 1; \forall i, \forall m, N - c_i + 1 \leq n \leq N, 1 \leq n' \leq n - c_i \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^N X_{imn} + MB(1 - Y_{im}) \geq c_i; \forall i, \forall m \quad (7)$$

$$\sum_{m=1}^M Y_{im} = 1; \forall i \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{imn} \leq NC; \forall m, \forall n \quad (9)$$

$$\sum_{i \in S1} X_{imn} \leq 1; \forall m, \forall n \quad (10)$$

$$\sum_{i \in S2} X_{imn} \leq 1; \forall m, \forall n \quad (11)$$

$$\sum_{i \in S3} X_{imn} + \sum_{i \in S5} X_{imn} \leq 1; \forall m, \forall n \quad (12)$$

$$\sum_{i \in S4} X_{imn} + \sum_{i \in S5} X_{imn} \leq 1; \forall m, \forall n \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{im6} = 0; \forall m \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{i55} = 0 \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{imn} V_{ik} \leq 1; 1 \leq k \leq K, \forall m, \forall n \quad (16)$$

$$X_{imn} = 1; i \in S6, m \in M6_i, n \in N6_i \quad (17)$$

Kendala-kendala yang dibutuhkan untuk membatasi daerah *feasible*. Kendala (2) memastikan jumlah slot waktu yang dijadwalkan untuk suatu mata kuliah sesuai dengan bobot SKS mata kuliah tersebut. Kendala (3), (4), (5), (6), (7), dan (8) memastikan suatu mata kuliah diberikan satu kali setiap minggunya, dimana nilai kredit tidak dipisahkan dalam penyampaian tiap minggunya. Misalnya, mata kuliah dengan bobot 2 SKS dijadwalkan dalam satu kali pertemuan setiap minggunya dan setiap pertemuan berlangsung selama 100 menit. Kendala (3), (4), (5), dan (6) mengatur slot waktu untuk suatu mata kuliah harus berurutan. Di samping itu, kendala (7) dan (8) mengatur jadwal suatu mata kuliah harus berada dalam satu hari yang sama.

Kendala (9) menunjukkan jumlah ruangan yang dapat digunakan secara bersamaan tidak melebihi jumlah ruangan yang telah ditentukan. Kendala (10), (11), (12), dan (13) memastikan

mata kuliah pada tingkat yang sama tidak dijadwalkan pada waktu yang sama karena mahasiswa pada tingkat tersebut harus diizinkan apabila ingin mengambil seluruh mata kuliah tersebut. Khusus pada Kendala (12) dan (13) terdapat tambahan mata kuliah pilihan yang diharapkan dapat diambil oleh mahasiswa tingkat tiga dan empat.

Waktu istirahat siang diwujudkan oleh Kendala (14), dimana istirahat dialokasikan pada pukul 12:00 hingga 13:00 WIB (slot waktu ke-6). Namun khusus untuk hari Jumat, waktu istirahat ditambahkan menjadi dari pukul 11:00 hingga 12:00 WIB (slot waktu ke-5) menggunakan Kendala (15), dimana hal ini terkait dengan ibadah keagamaan. Kendala (16) membatasi pengajar tidak dapat mengajar lebih dari satu mata kuliah secara bersamaan. Kendala (17) mempertimbangkan mata kuliah dengan jadwal yang sudah ditetapkan sebelumnya dan tidak dapat dipindahkan (*fixed*).

3.3 Pencarian Solusi

Proses pencarian solusi menggunakan perangkat lunak *mathematical programming*. Pada studi ini digunakan CPLEX untuk menemukan solusi dari permasalahan ILP. Data input terdiri dari data mata kuliah dan data pengajar. Tabel 1 berisi daftar mata kuliah disertai keterangan tingkat, kelas, slot per minggu, pengajar, dan status jadwal *fixed*. Mata kuliah tingkat 1 hingga 4 dan mata kuliah pilihan mengacu pada kurikulum yang berlaku. Kelas pada umumnya hanya satu kelas tetapi terdapat beberapa mata kuliah yang terdiri dari dua atau tiga kelas. Seluruh mata kuliah memiliki 2 hingga 3 slot waktu per minggu. Pengajar dapat mengajar lebih dari satu mata kuliah dan pengajar 1 hingga 15 memberikan ketersediaan waktu yang menjadi salah satu pertimbangan dalam penjadwalan, sedangkan pengajar 0 tidak menjadi pertimbangan untuk dioptimalkan. Terdapat beberapa mata kuliah yang sudah memiliki jadwal yang tidak dapat diubah dan ditandai dengan kolom *fixed* bernilai 1.

Tabel 2 merupakan daftar ketersediaan waktu pengajar 1 hingga 15. Jumlah hari untuk mengajar dialokasikan dari hari Senin hingga Jumat mulai pukul 07:00 hingga 18:00 WIB. Setiap pengajar memberikan ketersediaan waktunya sesuai dengan kewajiban minimum masing-masing (sebagian besar 32 jam per minggu). Khusus untuk pengajar Praktikum Perancangan Tata Letak Fasilitas dijadwalkan pada hari Sabtu sehingga dalam studi ini tidak dimasukkan dalam proses penjadwalan.

Solusi optimal diperoleh dari menjalankan model menggunakan CPLEX dengan waktu komputasi selama 3,14 detik. Komputer yang digunakan memiliki prosesor AMD Ryzen 7 5700U dengan 16 CPUs pada frekuensi 1,8 GHz. Gambar 1 merangkum proses yang telah dilakukan CPLEX dalam menemukan solusi optimal. Solusi optimal memiliki nilai objektif sebesar 2 yang menunjukkan terdapat 2 slot waktu yang tidak sesuai dengan ketersediaan waktu para pengajar. Jumlah kendala yang dibangkitkan sebanyak 24.161 kendala, sehingga dalam hal ini peranan *software* mutlak dibutuhkan untuk mendapatkan solusi.

Output variabel keputusan X_{imn} yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 2. Variabel ini bernilai 1 menyatakan jadwal mata kuliah i pada hari m dan slot waktu n . Terdapat mata kuliah dengan 2 atau 3 slot waktu sehingga terdapat 2 atau 3 slot waktu yang berurutan pada hari yang sama. Slot waktu 6 tidak terdapat jadwal mata kuliah karena dikhususkan untuk istirahat. Selanjutnya diterjemahkan menjadi jadwal seperti pada Gambar 3 hingga Gambar 7. Mata kuliah sudah terpisah sesuai tingkat mata kuliah dan juga mata kuliah pilihan. Terlihat jadwal pada tingkat 1 dan 2 sangat padat dan tingkat 3 dan 4 cukup longgar. Mata kuliah pilihan tidak boleh bentrok dengan mata kuliah tingkat 3 dan 4 sehingga mahasiswa dapat memilih dengan leluasa. Waktu istirahat di hari Jumat melibatkan slot 5 dan 6 terkait ibadah keagamaan. Setiap mata kuliah dijadwalkan untuk satu kali pertemuan per minggu dengan durasi bervariasi antara dua atau tiga slot waktu.

Tabel 1. Tabel mata kuliah dan keterangannya

No	Nama Mata Kuliah	Tingkat/Pilihan	Kelas	Slot/minggu	Pengajar	Fixed
1	Analisis Perancangan Kerja dan Ergonomi 1	1	A	2	11	
2	Matematika Dasar 2	1	A	3	1	1
3	Tutorial Matematika Dasar 2	1	A	3	1	
4	Sistem Lingkungan Industri	1	A	2	0	1
5	Statistika Industri 2	1	A	3	6	
6	Tutorial Statistik Industri 2	1	A	3	10	
7	Praktikum Statistika Industri	1	A	3	0	
8	Praktikum Statistika Industri	1	B	3	0	
9	Manajemen Pemasaran	1	A	2	3	
10	Fisika 2	1	A	3	0	1
11	Tutorial Fisika 2	1	A	3	0	1
12	Praktikum Fisika	1	A	2	0	1
13	Praktikum Menggambar Teknik	1	A	2	14	
14	Praktikum Menggambar Teknik	1	B	2	14	
15	Praktikum Menggambar Teknik	1	C	2	14	
16	Matriks dan Vektor	1	A	2	1	1
17	Tutorial Matriks dan Vektor	1	A	2	1	
18	Penelitian Operasional 2	2	A	3	13	
19	Tutorial Penelitian Operasional 2	2	A	3	13	
20	Praktikum Penelitian Operasional	2	A	2	2	
21	Praktikum Penelitian Operasional	2	B	2	2	
22	Analisis Biaya	2	A	2	11	
23	Tutorial Analisis Biaya	2	A	2	11	
24	Ekonomi Teknik	2	A	3	12	1
25	Tutorial Ekonomi Teknik	2	A	3	12	
26	Pemodelan Sistem	2	A	2	8	
27	Perencanaan dan Pengendalian Produksi 2	2	A	2	8	
28	Tutorial Perencanaan dan Pengendalian Produksi 2	2	A	2	8	
29	Pemrograman Komputer	2	A	3	0	1
30	Pemrograman Komputer	2	B	3	0	1
31	Psikologi Industri	2	A	3	3	
32	Praktikum Terintegrasi Teknik Industri 2	2	A	2	0	
33	Praktikum Terintegrasi Teknik Industri 2	2	B	2	0	
34	Praktikum Proses Manufaktur	2	A	2	0	
35	Tata Tulis dan Komunikasi Ilmiah	3	A	2	0	1
36	Perancangan Tata Letak Fasilitas	3	A	3	4	
37	Praktikum Perancangan Tata Letak Fasilitas	3	A	0 (Sabtu)	0	
38	Praktikum Perancangan Tata Letak Fasilitas	3	B	0 (Sabtu)	0	
39	Sistem Lingkungan Industri	3	A	2	0	1
40	Perancangan Produk	3	A	3	10	
41	Manajemen Rantai Pasok	3	A	3	4	
42	ERP dan CRM	3	A	2	15	
43	Data Science/Analisis Data Statistik	3	A	2	9	
44	Data Science/Analisis Data Statistik	3	B	2	9	
45	Pancasila	4	A	2	0	1
46	Pendidikan Kewarganegaraan	4	A	2	0	1
47	Fenomenologi Agama	4	A	2	0	1
48	Etika	4	A	2	7	1
49	Kewirausahaan	4	A	2	12	
50	Ergonomi Makro	5	A	2	5	
51	Rekayasa Sistem Kerja	5	A	2	5	
52	Perancangan Eksperimen	5	A	2	7	
53	Sistem Transportasi	5	A	2	4	

Tabel 2. Ketersediaan waktu pengajar

Pengajar	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
1	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-13.00
2	10.00-15.00	08.00-10.00 & 14.00-17.00	08.00-17.00	08.00-13.00	08.00-16.00
3	10.00-14.00	07.00-14.00	07.00-14.00	07.00-14.00	07.00-14.00
4	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00
5	08.00-17.00	08.00-17.00	08.00-17.00	08.00-10.00	08.00-11.00
6	08.00-14.00	08.00-15.00	08.00-15.00	08.00-14.00	08.00-14.00
7	09.00-12.00	9.00-12.00	14.00-17.00	12.00-15.00	14.00-17.00
8	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-15.00
9	08.00-14.00	08.00-15.00	08.00-15.00	08.00-14.00	08.00-14.00
10	08.00-16.00	08.00-16.00	08.00-16.00	08.00-16.00	08.00-12.00
11	08.00-14.00	07.30-14.00	07.30-14.00	07.30-14.00	07.30-14.00
12	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-13.00
13	09.00-17.00	07.00-18.00	07.00-17.00	07.00-18.00	09.00-14.00
14	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00	09.00-16.00
15	08.00-14.00	08.00-15.00	08.00-14.00	08.00-15.00	08.00-14.00

Tingkat 1	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
07 - 08	SLI	Fisika 2		ManPemasaran	
08 - 09	SLI	Fisika 2	APK&E 1	ManPemasaran	StatIn 2
09 - 10	TutStatIn 2	Fisika 2	APK&E 1	TutFisika 2	StatIn 2
10 - 11	TutStatIn 2	TutMatVek	PrakGarTek B	TutFisika 2	StatIn 2
11 - 12	TutStatIn 2	TutMatVek	PrakGarTek B	TutFisika 2	
12 - 13					
13 - 14	MatVek	MatDas 2	PrakGarTek A	TutMatDas 2	PrakGarTek C
14 - 15	MatVek	MatDas 2	PrakGarTek A	TutMatDas 2	PrakGarTek C
15 - 16		MatDas 2	PrakStatIn B	TutMatDas 2	PrakStatIn A
16 - 17		PrakFisika	PrakStatIn B		PrakStatIn A
17 - 18		PrakFisika	PrakStatIn B		PrakStatIn A

Gambar 3. Jadwal usulan untuk mata kuliah tingkat 1

Tingkat 2	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
07 - 08			OR 2		Psikologi
08 - 09		EkTek	OR 2	TutAnaBi	Psikologi
09 - 10	ProKom A	EkTek	OR 2	TutAnaBi	Psikologi
10 - 11	ProKom A	EkTek	TutP3 2	AnaBi	
11 - 12	ProKom A		TutP3 2	AnaBi	
12 - 13					
13 - 14	TutOR 2	Prokom B	P3 2	TutEkTek	Pemodelan
14 - 15	TutOR 2	Prokom B	P3 2	TutEkTek	Pemodelan
15 - 16	TutOR 2	Prokom B	PrakOR A	TutEkTek	PrakOR B
16 - 17	PrakProsMan	PrakInteg2 B	PrakOR A	PrakInteg2 A	PrakOR B
17 - 18	PrakProsMan	PrakInteg2 B		PrakInteg2 A	

Gambar 4. Jadwal usulan untuk mata kuliah tingkat 2

Tingkat 3	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
07 - 08	SLI				
08 - 09	SLI			PerancProduk	
09 - 10	ERP&CRM	PTLF	ADS A	PerancProduk	ADS B
10 - 11	ERP&CRM	PTLF	ADS A	PerancProduk	ADS B
11 - 12		PTLF			
12 - 13					
13 - 14		TataTulis		SCM	
14 - 15		TataTulis		SCM	
15 - 16				SCM	
16 - 17					
17 - 18					

Gambar 5. Jadwal usulan untuk mata kuliah tingkat 3

Tingkat 4	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
07 - 08					
08 - 09					
09 - 10	Etika				
10 - 11	Etika	Pancasila	Kewirausahaan		
11 - 12		Pancasila	Kewirausahaan		
12 - 13					
13 - 14				FenoAgama	DikWar
14 - 15				FenoAgama	DikWar
15 - 16					
16 - 17					
17 - 18					

Gambar 6. Jadwal usulan untuk mata kuliah tingkat 4

Proses verifikasi dan validasi dilakukan dengan melihat *output* yang dihasilkan. Jadwal pada Gambar 3 hingga Gambar 7 menunjukkan tidak terdapat pelanggaran terhadap kendala *hard*. Jadwal setiap mata kuliah tidak ada yang terpisah dan sesuai bobot jumlah slot waktu yang dibutuhkan setiap minggunya. Jadwal mata kuliah dalam tingkat yang sama tidak ada yang bentrok. Jadwal mata kuliah pilihan tidak

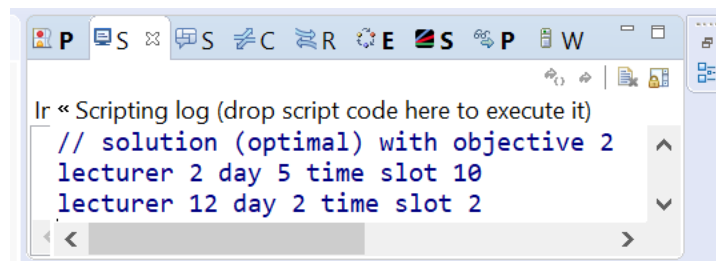
bentrok dengan mata kuliah tingkat 3 dan 4. Jadwal mata kuliah yang *fixed* juga sudah sesuai. Istirahat siang untuk hari Senin hingga Jumat sudah sesuai. Setiap pengajar hanya mengajar satu mata kuliah di slot waktu yang sama. *Output* penalti yang dihasilkan telah sesuai dengan ketersediaan waktu pengajar dengan melihat nilai fungsi objektif pada Gambar 1 yang menunjukkan 2 slot waktu yang tidak sesuai dengan ketersediaan waktu dari pengajar pada Tabel 2.

Pilihan	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat
07 - 08					
08 - 09					
09 - 10					
10 - 11					
11 - 12					
12 - 13					
13 - 14	SisTrans		ErgoMak		
14 - 15	SisTrans		ErgoMak		
15 - 16		RSK	PerancEksperimen		
16 - 17		RSK	PerancEksperimen		
17 - 18					

Gambar 7. Jadwal usulan untuk mata kuliah pilihan

3.4 Analisis Sensitivitas

Gambar 8 merupakan salah satu *output* yang ditampilkan oleh ILOG CPLEX. Hasilnya menunjukkan pengajar nomor 2 yang ketersediaan waktunya tidak terpenuhi di hari 5 (Jumat) pada slot waktu 10 (pukul 16:00 – 17:00 WIB) dan pengajar nomor 12 di hari 2 (Selasa) pada slot waktu 2 (pukul 08:00 – 09:00 WIB). Informasi ini membantu pihak manajemen untuk segera menghubungi pengajar terkait dan menegosiasikan waktu tersebut. Selain itu, model yang diusulkan juga dapat membantu pihak manajemen untuk meminimalkan jumlah ketidaksesuaian antara jadwal yang akan diumumkan dengan ketersediaan waktu pengajar terkait.



Gambar 8. CPLEX *scripting log*

Terdapat 2 slot waktu yang tidak sesuai dapat dipicu oleh berbagai faktor, salah satunya adalah faktor ruangan. Kondisi awal pada studi ini menggunakan 5 ruangan. Analisis sensitivitas jumlah ruangan yang tersedia dapat menganalisis utilisasi atau efisiensi dari penggunaan ruangan. Jumlah ketersediaan ruangan juga dapat berperan dalam meningkatkan kesesuaian waktu pengajar. Eksperimen awal dengan menambah ketersediaan ruangan menjadi 6 ruangan. Namun nilai objektif yang diperoleh tetap sama. Hal ini membuktikan 2 slot waktu yang tidak sesuai bukan disebabkan oleh faktor ruangan sehingga negosiasi dengan pengajar terkait sangat diperlukan untuk mengatasi hal ini. Sebaliknya pengurangan jumlah ruangan dapat dilakukan untuk peningkatan utilisasi dan efisiensi. Pengurangan ruangan hingga menggunakan 3 ruangan diperoleh nilai objektif yang sama sehingga menjadi sangat efisien dan utilisasi ruangan yang tinggi. Pengurangan lebih jauh menjadi 2 ruangan menyebabkan permasalahan menjadi tidak *feasible*. Dalam hal ini, terjadi ketidaksesuaian terhadap kendala *hard* maupun kendala *soft*.

Penggunaan Kendala (3) hingga (8) untuk memodelkan mata kuliah yang diajarkan satu kali pertemuan per minggu sehingga slot waktu harus berurutan di hari yang sama dan tidak boleh terpotong waktu istirahat. Hal ini membuat penjadwalan lebih efisien dalam memanfaatkan slot waktu yang tersedia

dibandingkan dengan Pratiwi *et al.* (2021) yang menggunakan dua jenis slot waktu (2 dan 3 SKS), dimana slot 3 SKS dapat digunakan oleh mata kuliah 2 SKS sehingga terdapat 1 slot waktu yang tidak termanfaatkan.

4. Kesimpulan

Penggunaan kendala *soft* untuk mengakomodasi ketersediaan waktu pengajar sangat membantu pihak manajemen untuk lebih efisien dalam melakukan penjadwalan. Perangkat lunak *mathematical programming* dapat membantu memberikan informasi secara mendetail terkait pengajar, hari, dan slot waktu yang tidak sesuai keinginan, di samping menjadwalkan mengikuti kendala *hard* yang tidak boleh dilanggar. Hal ini sangat bermanfaat bagi pihak manajemen untuk dapat segera melakukan negosiasi apabila terjadi penalti dan tidak perlu mencari-cari pengajar mana yang perlu ditindaklanjuti.

Studi ini mengusulkan perumusan kendala yang lebih efisien untuk menangani nilai kredit yang beragam dan tidak boleh dipisah. Perumusan ini dimodelkan menggunakan Kendala (3) hingga Kendala (8) agar lebih efisien dibandingkan penggunaan dua jenis slot yang berbeda seperti pada penelitian sebelumnya. Selain itu peningkatan efisiensi juga dapat dilakukan dengan penggunaan ruangan yang lebih sedikit dengan tetap memperhatikan nilai objektif yang diperoleh.

Penjadwalan mata kuliah memiliki keunikan ketika diterapkan pada tempat yang berbeda. Keberagaman ketersediaan waktu pengajar menjadi keunikan dalam permasalahan di tempat yang menjadi objek pada penelitian ini. Namun keunikan lain dapat muncul untuk tempat yang berbeda. Sebagai contoh mata kuliah yang ingin diselesaikan dalam waktu yang lebih cepat dikarenakan alasan khusus, misalnya saja pengajar berasal dari luar negeri sehingga mata kuliah tersebut harus diselesaikan dalam dua bulan. Penelitian dalam bidang ini masih sangat terbuka walaupun sudah berkembang sangat lama.

5. Daftar Pustaka

Ahmed, L.N., Özcan, E. and Kheiri, A. (2015) 'Solving high school timetabling problems worldwide using selection hyper-heuristics', *Expert Systems with Applications*, 42(13), pp. 5463-5471. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.02.059>.

Avella, P. *et al.* (2019) 'A local branching MIP heuristic for a real-world curriculum-based course timetabling problem', in Bykadorov, I., Strusevich, V. and Tchemisova, T. (eds.) *Mathematical optimization theory and operations research: Vol. 1090 Communications in computer and information science*: Springer International Publishing, pp. 438–451.

Breslaw, J.A. (1976) 'A linear programming solution to the faculty assignment problem', *Socio-Economic Planning Sciences*, 10(6), pp. 227-230. Available at: [https://doi.org/10.1016/0038-0121\(76\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0038-0121(76)90008-2).

Chen, M.C. *et al.* (2021) 'A survey of university course timetabling problem: Perspectives, trends and opportunities', *IEEE Access*, 9, pp. 106515-106529. Available at: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3100613>.

Goh, S. L., Kendall, G. and Sabar, N. R. (2017) 'Improved local search approaches to solve the post enrolment course timetabling problem', *European Journal of Operational Research*, 261(1), pp. 17-29. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.01.040>.

Hossain, S.I. *et al.* (2019) 'Optimization of university course scheduling problem using particle swarm optimization with selective search', *Expert Systems with Applications*, 127, pp. 9-24. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.02.026>.

Komijan, A.R. and Koupaei, M.N. (2015) 'A mathematical model for university course scheduling: A case study', *International Journal of Technical Research and Applications*, 19, pp. 20-25.

Lewis, R. (2012) 'A time-dependent metaheuristic algorithm for post enrolment-based course timetabling', *Annals of Operations Research*, 194(1), pp. 273-289. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10479-010-0696-z>.

Lindahl, M. *et al.* (2018) 'A strategic view of university timetabling', *European Journal of Operational Research*, 266(1), pp. 35-45. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.09.022>.

McClure, R.H. and Wells, C.E. (1984) 'A mathematical programming model for faculty course assignments', *Decision Sciences*, 15(3), pp. 409-420. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1984.tb01226.x>.

Mohmad Kahar, M.N. and Kendall, G. (2014) 'Universiti Malaysia Pahang examination timetabling problem: Scheduling invigilators', *Journal of the Operational Research Society*, 65(2), pp. 214-226. Available at: <https://doi.org/10.1057/jors.2012.6>.

Nagata, Y. (2018) 'Random partial neighborhood search for the post-enrollment course timetabling problem', *Computers & Operations Research*, 90, pp. 84-96. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.09.014>.

Pratiwi, M., Rosyidi, C.N. and Yuniaristanto (2021) 'An optimization model for course scheduling in Undergraduate Industrial Engineering Program of Universitas Sebelas Maret', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1072(1), pp. 012008. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1072/1/012008>.

Rappos, E. *et al.* (2022) 'A mixed-integer programming approach for solving university course timetabling problems', *Journal of Scheduling*, 25(4), pp. 391-404. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10951-021-00715-5>.

Tripathy, A. (1984) 'School timetabling—A case in large binary integer linear programming', *Management Science*, 30(12), pp. 1473-1489. Available at: <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.12.1473>.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Maranatha yang telah memberi dukungan dana untuk penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada pihak-pihak lain yang membantu terlaksananya penelitian ini.