

MODEL *INTEGER LINEAR PROGRAMMING* UNTUK OPTIMASI PENJADWALAN SATUAN PENGAMAN DI KOMPLEKS PERUMAHAN

*Farida Hanum, Salas Abdussalam, Hidayatul Mayyani, Prapto T. Supriyo

Program Studi Matematika; Sekolah Sains Data, Matematika, dan Informatika
Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor.
ghanum@apps.ipb.ac.id *corresponding author, salasabdussalam@apps.ipb.ac.id,
mayyani_mat15@apps.ipb.ac.id, praptosu@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan model *Integer Linear Programming* (ILP) untuk menyusun jadwal kerja optimal bagi 12 regu satuan pengaman (satpam) di suatu kompleks perumahan selama periode 30 hari. Fungsi objektif model dirancang untuk meminimalkan total beban kerja dengan mempertimbangkan perbedaan tingkat kelelahan antar-*shift*. Model memuat beberapa kendala operasional, antara lain kebutuhan minimum regu pada setiap *shift*, pembatasan jumlah *shift* malam dan hari kerja berturut-turut, larangan penugasan *shift* pagi setelah *shift* malam pada hari sebelumnya, serta pembatasan jumlah hari libur selama periode penjadwalan. Selain model dasar, penelitian ini juga mengembangkan modifikasi model melalui penambahan kendala pembatasan *shift* malam berturut-turut dan larangan pola jadwal Libur–Masuk–Libur guna menghasilkan jadwal yang lebih realistis. Selanjutnya, dikembangkan pula skenario khusus pada periode libur Lebaran yang memerlukan peningkatan intensitas penjagaan dengan keterbatasan jumlah personel, sehingga dalam kondisi tertentu diperbolehkan penugasan dua *shift* dalam satu hari bagi regu satpam. Model matematis yang diusulkan kemudian diimplementasikan dan diuji untuk memastikan seluruh kendala terpenuhi secara konsisten. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ILP mampu menghasilkan jadwal kerja yang fisibel dan sesuai dengan kebutuhan operasional pada kondisi normal maupun kondisi khusus. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam pengelolaan sistem keamanan perumahan serta memperluas penerapan metode optimasi pada permasalahan penjadwalan tenaga kerja.

Kata kunci: beban kerja, keamanan, kompleks perumahan, penjadwalan, satpam

1 Pendahuluan

Keamanan lingkungan menjadi salah satu kebutuhan penting dalam kehidupan masyarakat modern, terutama pada kawasan hunian seperti perumahan. Tingginya mobilitas penduduk serta meningkatnya aktivitas sosial dan ekonomi dapat memicu bertambahnya potensi gangguan keamanan maupun tindak kriminal. Oleh karena itu, keberadaan satuan pengamanan (satpam) memiliki peranan yang sangat penting dalam menjaga ketertiban, kenyamanan, dan keamanan lingkungan perumahan.

Dalam praktiknya, efektivitas sistem keamanan tidak hanya ditentukan oleh jumlah personel, tetapi juga oleh bagaimana penjadwalan kerja satpam diatur. Penjadwalan yang tidak optimal dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban kerja, kelelahan fisik dan psikologis, serta penurunan kinerja petugas. Oleh karena itu, penyusunan jadwal kerja yang efisien dan adil menjadi permasalahan penting dalam manajemen keamanan.

2020 Mathematics Subject Classification: 90C10, 90B35.

Diajukan: 23/05/2026, diterima: 21/06/2026. DOI: <https://doi.org/10.29244/milang.22.1.1-13>

MILANG Journal of Mathematics and Its Applications, Vol.22, No.1, pp.1-13

ISSN: 2963-5233

Permasalahan penjadwalan satpam umumnya melibatkan berbagai kendala, seperti pembagian *shift* (pagi, sore, malam), jumlah minimal petugas pada setiap pos, aturan waktu istirahat, serta larangan pola kerja tertentu (misalnya *shift* malam diikuti *shift* pagi) [1]. Kompleksitas kendala tersebut menjadikan masalah penjadwalan sebagai bagian dari masalah optimasi kombinatorial yang sulit diselesaikan secara manual.

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan adalah *Integer Linear Programming* (ILP). Model ini memungkinkan formulasi masalah dalam bentuk fungsi objektif linear dengan variabel keputusan bilangan bulat serta kendala linear yang merepresentasikan aturan kerja. Dengan pendekatan ILP, solusi yang dihasilkan dapat menjamin optimalitas terhadap tujuan tertentu, seperti meminimalkan beban kerja tidak seimbang atau memaksimalkan pemerataan jadwal [1].

Selain pemenuhan kebutuhan jumlah personel pada setiap *shift*, kualitas pola penjadwalan juga menjadi aspek penting dalam manajemen tenaga kerja. Pola jadwal yang kurang konsisten, seperti pergantian *shift* yang tidak teratur atau pola Libur–Masuk–Libur, berpotensi meningkatkan kelelahan dan menurunkan efektivitas kerja petugas keamanan [2].

Pada periode tertentu, seperti libur Lebaran, kebutuhan pengamanan di lingkungan perumahan cenderung meningkat akibat banyaknya rumah yang ditinggalkan oleh pemiliknya untuk mudik ke kampung halaman. Kondisi tersebut menyebabkan kebutuhan penjagaan menjadi lebih intensif, sementara jumlah personel yang tersedia tetap terbatas. Dalam situasi demikian, diperlukan penyesuaian aturan penjadwalan agar kebutuhan operasional tetap dapat terpenuhi tanpa mengabaikan efisiensi pengelolaan tenaga kerja.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan model penjadwalan satpam berbasis *Integer Linear Programming* yang mampu memenuhi kebutuhan operasional pada kondisi normal maupun kondisi khusus (misalkan libur Lebaran Idul Fitri) dengan mempertimbangkan kualitas pola jadwal kerja. Model penjadwalan satpam berbasis ILP ini digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan satpam di kompleks Perumahan Permata Puri Laguna Depok. Studi kasus ini relevan karena lingkungan perumahan memiliki karakteristik khusus, seperti jumlah pos jaga terbatas, kebutuhan pengawasan 24 jam, serta keterbatasan jumlah personel, sehingga memerlukan model penjadwalan yang efisien dan realistis.

2 Tinjauan Pustaka

Penjadwalan tenaga kerja (*workforce scheduling*) merupakan proses penentuan alokasi pekerja ke dalam slot waktu tertentu dengan mempertimbangkan berbagai kendala operasional. Dalam konteks keamanan, penjadwalan harus mampu menjamin ketersediaan personel pada setiap waktu sekaligus menjaga keseimbangan beban kerja. Penelitian menunjukkan bahwa penjadwalan tenaga kerja memiliki dampak signifikan terhadap kinerja, kesehatan, dan kesejahteraan pekerja. Sistem *shift* yang tidak teratur dapat menurunkan produktivitas dan meningkatkan kelelahan [2]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan sistematis dalam menyusun jadwal kerja.

Masalah penjadwalan satpam merupakan salah satu kasus khusus dari *workforce scheduling* yang memiliki karakteristik unik, seperti kebutuhan pengamanan 24 jam dan pembagian *shift* kerja. Penjadwalan yang baik diperlukan untuk menghindari kelelahan petugas serta meningkatkan efektivitas pengamanan.

Selain itu, sistem penjadwalan juga harus mempertimbangkan informasi detail seperti banyaknya satpam, jam kerja, serta distribusi pos penjagaan. Dalam praktiknya, penjadwalan manual sering menimbulkan konflik jadwal dan ketidakseimbangan beban kerja, sehingga diperlukan sistem atau model optimasi untuk mengatasinya. Beberapa metode optimasi yang telah digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan, antara lain (i) *Goal Programming*, yang digunakan untuk memenuhi beberapa tujuan sekaligus, seperti meminimumkan deviasi jam kerja dan jumlah hari libur; dan (ii) *Integer Linear Programming (ILP)*, yang banyak digunakan karena mampu menangani kendala diskret dan memberikan solusi optimal. Pada kasus penjadwalan satpam, ILP biasanya diformulasikan dengan:

- variabel keputusan berupa penugasan satpam ke *shift* tertentu,
- fungsi objektif, misalnya meminimumkan ketidakseimbangan beban kerja,
- kendala seperti jumlah minimum petugas per *shift*, aturan rotasi *shift*, dan waktu istirahat.

Tidak banyak penelitian tentang penjadwalan satpam terutama yang menggunakan model matematika; beberapa yang telah dilakukan antara lain: [3] yang membuat sistem penjadwalan kehadiran satpam berbasis *web* untuk perusahaan motor di Jakarta, sedangkan dalam [4] dibuat penjadwalan satpam jaga dengan algoritma genetika dan bahasa pemrograman Java. Beberapa penelitian mengenai penjadwalan satpam menggunakan *goal programming* antara lain dilakukan oleh [5] yang membuat sistem penjadwalan untuk 54 orang petugas satpam di PT. Mega Surya Eratama Mojokerto; dan [6] yang menjadwalkan penugasan satpam di kampus IPB. Penelitian penjadwalan satpam di kampus IPB juga dilakukan oleh [7] namun menggunakan ILP. Model penjadwalan satpam berbasis integer programming juga dapat dilihat di [8] yang menjadwalkan 55 orang staf keamanan di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM) dengan mempertimbangkan preferensi terhadap *shift* dan hari libur dalam satu pekan; selanjutnya [1] menjadwalkan 3 regu keamanan di kampus Universitas Negeri Gorontalo dengan 3 *shift*-jaga; sedangkan [9] menjadwalkan petugas keamanan di Olimpiade Vancouver 2010.

Meskipun telah ada beberapa penelitian terkait penjadwalan satpam menggunakan metode optimasi, sebagian besar studi dilakukan pada lingkungan institusi seperti kampus industri, atau *event* tertentu. Studi kasus pada lingkungan perumahan masih relatif terbatas, padahal karakteristiknya berbeda, terutama dalam hal:

- jumlah personel yang lebih sedikit,
- kebutuhan fleksibilitas jadwal,
- keterbatasan sumber daya.

Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi dengan mengembangkan model ILP yang disesuaikan dengan kebutuhan penjadwalan satpam di lingkungan perumahan, khususnya Perumahan Puri Laguna Depok.

3 Deskripsi dan Formulasi Masalah

3.1 Deskripsi Masalah

Permasalahan penjadwalan satuan pengaman (satpam) di Perumahan Permata Puri Laguna berkaitan dengan penyusunan jadwal kerja bagi 12 regu satpam selama periode 30 hari dengan tetap memenuhi kebutuhan operasional keamanan selama 24 jam. Setiap

hari, regu satpam yang terdiri atas 6 personel per regu ini harus dialokasikan ke dalam *shift* pagi, *shift* malam, atau jadwal libur sesuai dengan aturan yang berlaku. Waktu jaga di *shift* pagi adalah pukul 08.00–20.00 WIB sedangkan waktu jaga di *shift* malam dimulai pukul 20.00 WIB dan berakhir pada pukul 08.00 WIB pada hari berikutnya. Penjadwalan yang disusun harus mampu menjamin terpenuhinya jumlah minimum regu pada setiap *shift* sekaligus menjaga pemerataan beban kerja antar-regu.

Dalam praktiknya, penyusunan jadwal tidak hanya mempertimbangkan pemenuhan kebutuhan personel, tetapi juga berbagai kendala operasional lainnya. Kendala tersebut meliputi larangan penugasan *shift* pagi setelah *shift* malam pada hari sebelumnya, pembatasan jumlah *shift* malam dan hari kerja berturut-turut, pengaturan jumlah hari libur, serta penghindaran pola jadwal tertentu yang dinilai kurang efektif. Selain itu, pada kondisi khusus seperti periode Lebaran Idul Fitri, kebutuhan pengamanan cenderung meningkat sehingga diperlukan penyesuaian aturan penjadwalan untuk menjaga stabilitas sistem keamanan.

Banyaknya kombinasi penugasan yang mungkin terjadi menyebabkan proses penjadwalan menjadi kompleks dan sulit diselesaikan secara manual. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan optimasi yang mampu menghasilkan jadwal kerja yang feasible, efisien, dan sesuai dengan seluruh aturan operasional. Dalam penelitian ini, permasalahan penjadwalan dimodelkan menggunakan *Integer Linear Programming* karena variabel keputusan yang digunakan bersifat diskret dan dinyatakan dalam bentuk bilangan biner.

Pihak Unit Keamanan Perumahan menggunakan aturan-aturan penjadwalan satpam dalam kondisi normal (bukan periode libur Lebaran Idul Fitri) sebagai berikut.

1. Dalam satu hari, regu satpam hanya mendapat satu *shift* kerja atau libur.
2. Kebutuhan regu satpam pada *shift* pagi dan *shift* malam terpenuhi setiap hari.
3. Regu satpam yang bertugas pada *shift* malam di suatu hari, tidak boleh mendapat *shift* pagi di hari berikutnya.
4. Regu satpam tidak mendapat *shift* pagi lebih dari 2 hari berturut-turut.
5. Regu satpam mendapat maksimum sebanyak 10 hari *shift* malam pada satu periode penjadwalan.
6. Regu satpam bertugas maksimal 5 hari kerja berturut-turut.
7. Regu satpam mendapatkan maksimal 10 hari libur dalam 1 periode penjadwalan.

Permasalahan yang harus diselesaikan pada penelitian ini adalah memformulasikan masalah penjadwalan satpam dalam bentuk pembuatan jadwal 30 hari kerja untuk 12 regu satpam dengan memperhatikan aturan atau batasan yang berlaku yang meminimumkan total beban kerja.

3.2 Formulasi Masalah

Berdasarkan deskripsi masalah yang telah diuraikan, permasalahan penjadwalan petugas satuan pengamanan di Perumahan Permata Puri Laguna diformulasikan ke dalam model *Integer Linear Programming*. Model ini dibangun dengan mendefinisikan terlebih dahulu indeks, parameter, dan variabel keputusan yang digunakan dalam model penjadwalan satpam ini.

- Indeks:
 - i = menyatakan regu ($i = 1, 2, \dots, k$),
 - j = menyatakan hari ($j = 1, 2, \dots, h$).

- Parameter:

- k = banyaknya regu satpam yang tersedia di perumahan,
- h = banyaknya hari yang digunakan dalam satu periode penjadwalan,
- P_j = banyaknya regu satpam yang dibutuhkan pada *shift* pagi di hari j ,
- M_j = banyaknya regu satpam yang dibutuhkan pada *shift* malam di hari j ,
- M = jumlah hari maksimal regu satpam mendapat jadwal *shift* malam dalam satu periode penjadwalan,
- H = jumlah hari maksimal regu satpam mendapat jadwal *shift* pagi berturut-turut,
- G = jumlah hari maksimal regu satpam mendapat jadwal kerja berturut-turut,
- F = jumlah hari maksimal regu satpam mendapat jadwal libur,
- W = bobot yang diberikan pada *shift* kerja regu satpam.

- Variabel Keputusan:

$$XP_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{jika regu } i \text{ bekerja pada } \textit{shift} \text{ pagi pada hari } j \\ 0, & \text{lainnya,} \end{cases}$$

$$XM_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{jika regu } i \text{ bekerja pada } \textit{shift} \text{ malam pada hari } j \\ 0, & \text{lainnya,} \end{cases}$$

$$XL_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{jika regu } i \text{ libur pada hari } j \\ 0, & \text{lainnya,} \end{cases}$$

dengan $i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, h$.

- Fungsi Objektif

Fungsi objektif yang digunakan dalam model ini dirancang untuk meminimalkan total beban kerja seluruh regu satpam selama periode penjadwalan dengan mempertimbangkan perbedaan tingkat kelelahan antar-*shift*. Dalam model ini, *shift* malam diberikan bobot lebih besar dibandingkan dengan *shift* pagi karena secara operasional dianggap lebih berat dan memiliki tingkat risiko serta kelelahan yang lebih tinggi ($W_2 > W_1$). Secara matematis, fungsi objektif ini dinyatakan sebagai berikut:

$$\min z = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^h (W_1 \cdot XP_{i,j} + W_2 \cdot XM_{i,j})$$

Dengan formulasi ini, model tidak hanya berusaha memenuhi seluruh kendala yang ada, tetapi juga memastikan distribusi beban kerja yang lebih seimbang dan adil antar regu, khususnya dengan membatasi dominasi penugasan pada *shift* malam.

- Kendala-Kendala

Berikut merupakan kendala yang wajib dipenuhi

1. Kebutuhan minimal regu satpam pada *shift* pagi di setiap harinya
 $\sum_{i=1}^k XP_{i,j} \geq P_j; \quad j = 1, 2, \dots, h$
2. Kebutuhan minimal regu satpam pada *shift* malam di setiap harinya
 $\sum_{i=1}^k XM_{i,j} \geq M_j; \quad j = 1, 2, \dots, h$
3. Dalam satu hari, regu satpam hanya mendapat satu *shift* kerja atau libur kerja
 $XP_{i,j} + XM_{i,j} + XL_{i,j} = 1; \quad i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, h$
4. Regu satpam mendapat maksimum sebanyak A hari *shift* malam pada satu periode penjadwalan
 $\sum_{j=1}^h XM_{i,j} \leq A \quad j = 1, 2, \dots, h$
5. Regu satpam tidak ditugaskan pada *shift* pagi lebih dari B hari berturut-turut
 $XP_{i,j} + XP_{i,j+1} + \dots + XP_{i,j+B} \leq B; \quad i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, h - B$

6. Regu satpam yang bertugas pada *shift* malam di suatu hari, tidak boleh mendapat *shift* pagi di hari berikutnya

$$XM_{i,j} + XP_{i,j+1} \leq 1; \quad i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, h - 1$$
7. Regu satpam bertugas maksimal C hari kerja berturut-turut yang dapat dinyatakan sebagai: regu satpam mendapat minimal 1 hari libur dalam $C + 1$ hari kerja berturut-turut

$$XL_{i,j} + XL_{i,j+1} + \dots + XL_{i,j+C} \geq 1; \quad i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, h - C$$
8. Regu satpam mendapatkan maksimal D hari libur dalam 1 periode

$$\sum_{j=1}^h XL_{i,j} \leq D; \quad i = 1, 2, \dots, k.$$
9. Variabel keputusan $XP_{i,j}$, $XM_{i,j}$ dan $XL_{i,j}$ merupakan variabel biner

$$XP_{i,j}, XM_{i,j}, XL_{i,j} \in \{0,1\}.$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Implementasi Model (Kondisi Normal)

Model matematika berbasis *integer linear programming* (ILP) yang telah disusun diimplementasikan pada kasus/kondisi normal (bukan libur Lebaran) masalah penjadwalan satpam di kompleks perumahan PPL. Nilai parameter yang digunakan pada studi kasus penjadwalan ini dapat dilihat di Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai parameter dalam kondisi normal.

Parameter	Keterangan	Nilai
k	Banyaknya regu satpam yang tersedia	12 regu
h	Banyaknya hari dalam satu periode penjadwalan	30 hari
P_j	Banyaknya regu satpam yang dibutuhkan pada <i>shift</i> pagi di hari j , $\forall j = 1, 2, \dots, 30$	4 regu
M_j	Banyaknya regu satpam yang dibutuhkan pada <i>shift</i> malam di hari j , $\forall j = 1, 2, \dots, 30$	4 regu
A	Banyaknya hari maksimal regu satpam bekerja pada <i>shift</i> malam dalam satu periode penjadwalan	10 hari
B	Banyaknya hari maksimal regu satpam bekerja pada <i>shift</i> pagi berurutan	2 hari
C	Banyaknya hari maksimal regu satpam bekerja berturut-turut	5 hari
D	Banyaknya hari libur maksimal regu satpam	10 hari
W_1	Bobot untuk <i>shift</i> pagi	1
W_2	Bobot untuk <i>shift</i> malam	2

Model *Integer Linear Programming* yang diselesaikan menggunakan *software* LINGO 21.0 menghasilkan jadwal untuk 12 regu satpam selama 30 hari yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil penjadwalan ILP (kondisi normal).

Hari (<i>i</i>)	Regu (<i>j</i>)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	M	L	L	M	M	M	L	P	P	L	P	P
2	M	L	P	M	L	M	L	M	L	P	P	P
3	L	P	M	L	P	L	P	M	M	P	L	M
4	P	P	L	P	M	P	L	M	M	L	M	L
5	P	M	P	L	M	P	L	L	M	P	L	M
6	L	M	L	P	M	M	P	P	M	L	P	L
7	M	L	M	P	M	L	P	M	L	P	L	P
8	M	L	M	L	L	P	M	L	M	P	P	P
9	M	P	L	P	P	M	L	L	M	M	P	L
10	L	P	P	M	M	L	P	P	M	L	L	M
11	P	L	M	M	L	L	M	P	L	P	P	M
12	P	P	L	L	M	P	M	M	P	M	L	L
13	M	P	L	P	L	M	L	L	P	M	M	P
14	L	L	P	M	P	L	P	M	L	M	M	P
15	P	P	M	L	L	P	P	L	M	M	M	L
16	M	M	L	P	P	P	M	P	L	L	L	M
17	L	M	P	L	P	L	M	M	P	L	P	M
18	P	M	P	M	L	P	L	M	P	L	L	M
19	M	L	L	M	P	P	M	L	L	P	P	M
20	M	M	P	L	P	L	L	P	M	L	P	M
21	L	M	P	P	L	M	P	L	M	P	M	L
22	L	L	M	P	P	M	M	P	L	M	L	P
23	L	P	M	M	P	M	L	P	P	L	M	L
24	P	P	L	L	M	L	P	M	L	M	M	P
25	L	M	P	L	L	M	P	L	P	M	M	P
26	P	L	M	P	M	M	L	P	P	L	L	M
27	M	P	L	P	M	L	P	M	L	P	M	L
28	L	M	P	M	L	P	M	L	L	P	M	P
29	P	M	M	L	P	L	M	P	P	M	L	L
30	P	L	M	M	L	P	M	L	P	M	P	L

Keterangan: P = *shift* pagi, M = *shift* malam, L = libur

Dari hasil penjadwalan tersebut dapat dilihat bahwa jadwal yang diperoleh memenuhi kendala/aturan yang diinginkan oleh pihak pengelola perumahan:

- (i). di setiap hari terdapat 4 regu satpam yang bertugas di *shift* pagi dan 4 regu satpam di *shift* malam,
- (ii). dalam satu hari setiap regu satpam hanya mendapat satu *shift* kerja (*shift* pagi atukah *shift* malam) atau libur,
- (iii). setiap regu mendapatkan maksimum 10 *shift* malam dalam satu periode,
- (iv). setiap regu maksimum mendapatkan 2 *shift* pagi berurutan,
- (v). tidak ada *shift* pagi sesudah *shift* malam, dan
- (vi). setiap regu mendapatkan maksimum 5 hari kerja berturutan.

Dari Tabel 2 juga dapat diperoleh rangkuman data total *shift* pagi, total *shift* malam, total *shift* libur, maksimum *shift* pagi, malam, dan libur berturutan, maksimum hari kerja berurutan, serta pola Libur-Masuk-Libur (L-Msk-L) dalam tiga hari berurutan yang diberikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 1. Rangkuman jadwal satpam model ILP dalam 30 hari.

Regu	Total P	Total M	Total L	Max P berurut	Max M berurut	Max L berurut	Max kerja berurut	Pola L-Msk-L
1	10	10	10	2	3	3	3	1
2	10	10	10	2	3	2	4	0
3	10	10	10	2	2	2	4	1
4	10	10	10	2	2	2	3	2
5	10	10	10	2	4	1	5	2
6	10	10	10	2	3	2	3	1
7	10	10	10	2	3	2	4	2
8	10	10	10	2	3	2	4	3
9	10	10	10	2	4	2	4	2
10	10	10	10	2	4	3	5	2
11	10	10	10	2	3	1	3	4
12	10	10	10	2	5	2	5	3

Berdasarkan Tabel 3 dapat diketahui bahwa meskipun jadwal yang dihasilkan memenuhi setiap aturan yang diinginkan, namun terlihat ada beberapa hal yang tidak merata di antara 12 regu satpam ini, terutama dalam hal maksimum *shift* malam berurutan (rentang 2-5 dan rata-rata 3,25) serta jadwal dengan pola Libur-Masuk-Libur (rentang 0-4 dan rata-rata 1,99). *Shift* malam berturutan yang terlalu lama dipandang lebih memberatkan bagi petugas keamanan; demikian pula jadwal dengan pola Libur-Masuk-Libur dalam tiga hari berurutan yang terlalu banyak dapat menjadikan jadwal (terutama jadwal libur) kurang efisien. Pola Libur-Masuk-Libur ini juga memengaruhi maksimum jadwal libur yang berturutan, sehingga maksimum jadwal libur berturutannya juga masih belum merata untuk semua regu satpam. Untuk itu, dalam penelitian ini diusulkan modifikasi model ILP dengan menambahkan kendala maksimum 3 (tiga) *shift* malam berurutan dan kendala yang menghindari pola Libur-Masuk-Libur dalam tiga hari berurutan.

4.1.1 Modifikasi Model ILP (Kasus Normal)

Model ILP yang kedua sama dengan model ILP pertama, (fungsi objektif dan Kendala (1) s.d. Kendala (9)), namun ditambahkan dengan dua kendala baru, yaitu Kendala (10) maksimum *shift* malam berurutan dan Kendala (11) yang tidak memperbolehkan pola Libur-Masuk-Libur berikut.

(10) Setiap regu satpam tidak mendapat *shift* malam lebih dari 3 hari berurutan:

$$XM_{i,j} + XM_{i,j+1} + XM_{i,j+2} + XM_{i,j+3} \leq 3; \quad i = 1,2, \dots, 12; j = 1,2, \dots, 27$$

(11) Setiap regu satpam tidak mendapatkan jadwal dengan pola Libur-Masuk-Libur:

$$XL_{i,j} + XM_{i,j+1} + XP_{i,j+1} + XL_{i,j+2} \leq 2; \quad i = 1,2, \dots, 12; j = 1,2, \dots, 28$$

Setelah ditambah dua kendala ini, model ILP kembali diselesaikan menggunakan *software* LINGO 21.0 dan diperoleh jadwal penugasan setiap regu satpam selama 30 hari seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Penjadwalan hasil modifikasi model ILP (kondisi normal).

Hari (<i>i</i>)	Regu (<i>j</i>)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	M	L	P	L	M	M	P	P	P	M	L	L
2	M	L	P	L	M	M	M	L	P	L	P	P
3	L	P	L	L	M	M	M	L	M	P	P	P
4	P	P	M	P	L	L	L	P	M	M	M	L
5	M	M	M	P	L	L	P	P	L	L	M	P
6	L	L	L	M	P	L	M	M	P	P	M	P
7	P	L	L	L	M	P	M	M	P	P	L	M
8	P	P	L	P	M	P	M	M	L	L	M	L
9	L	M	P	P	M	M	L	L	P	L	M	P
10	P	M	M	M	L	L	L	P	M	P	L	P
11	M	L	L	L	L	P	P	M	M	P	P	M
12	L	P	P	M	L	P	P	M	L	M	M	L
13	L	P	P	M	P	M	L	M	P	M	L	L
14	P	L	L	M	M	L	P	L	P	M	P	M
15	M	M	P	L	L	P	P	L	M	L	P	M
16	L	M	P	P	L	P	L	P	M	L	M	M
17	P	M	M	P	P	M	L	M	L	P	L	L
18	P	L	M	M	P	M	L	L	L	M	P	P
19	M	P	M	L	M	L	P	L	P	L	M	P
20	M	P	L	L	M	P	P	P	M	L	M	L
21	L	M	M	P	L	P	L	P	L	P	M	M
22	P	M	M	P	P	L	P	L	L	M	L	M
23	M	L	L	M	P	M	P	P	P	L	L	M
24	L	P	L	M	L	M	M	M	P	P	P	L
25	L	P	P	L	P	L	M	M	M	M	P	L
26	P	M	P	L	P	L	M	L	M	M	L	P
27	P	M	M	P	M	L	L	P	M	L	L	P
28	M	L	M	P	L	P	M	P	L	P	L	M
29	L	L	L	M	P	P	M	M	L	P	P	M
30	M	P	P	M	P	M	L	L	L	M	P	L

Keterangan: P = *shift* pagi, M = *shift* malam, L = libur

Berdasarkan Tabel 4 terlihat bahwa penjadwalan yang diperoleh dari modifikasi model ILP menghasilkan jadwal yang memenuhi semua aturan pengelolaan keamanan kompleks perumahan. Selanjutnya, perbandingan data dari model awal dan model baru hasil penambahan dua kendala-baru dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Perbandingan hasil model awal dan model baru.

Regu	Max M berurutan		Max L berurutan		Max kerja berurutan		Pola Libur-Masuk-Libur	
	awal	baru	awal	baru	awal	baru	awal	baru
	1	3	2	3	2	3	4	1
2	3	3	2	2	4	4	0	0
3	2	3	2	3	4	5	1	0
4	2	3	2	3	3	4	2	0
5	4	3	1	3	4	4	2	0
6	3	3	2	3	3	4	1	0
7	3	3	2	3	4	5	2	0
8	3	3	2	2	4	5	3	0
9	4	3	2	3	4	5	2	0
10	4	3	3	2	5	5	2	0
11	3	3	1	3	3	5	4	0
12	5	3	2	2	5	4	3	0

Dari Tabel 5 terlihat bahwa solusi masalah penjadwalan dari model baru (modifikasi) lebih baik dibandingkan dengan solusi dari model awal karena beban kerja lebih merata antar regu satpamnya dan lebih efektif distribusi waktu liburinya.

4.2 Model ILP Kondisi Libur Lebaran dan Implementasinya

Dalam periode waktu libur Lebaran (Hari Raya Idul Fitri) pihak Unit Keamanan Perumahan menggunakan aturan-aturan penjadwalan satpam yang agak berbeda dibandingkan dengan kondisi normal sebagai berikut.

1. Periode penjadwalan adalah 21 hari (10 hari sebelum hari-H, pada hari-H, dan 10 hari sesudah hari-H).
2. Dalam satu hari, regu satpam hanya mendapat satu *shift* kerja atau libur.
3. Kebutuhan regu satpam pada *shift* pagi (minimum 4 regu) dan *shift* malam (minimum 6 regu) setiap hari terpenuhi.
4. Regu satpam yang bertugas pada *shift* malam di suatu hari, tidak boleh mendapat *shift* pagi di hari berikutnya.
5. Regu satpam tidak boleh mendapat libur lebih dari satu hari berturutan.

Berkaca dari model penjadwalan dalam kondisi normal sebelumnya, maka untuk model penjadwalan kasus libur lebaran ini juga diusulkan untuk ditambahkan kendala yang bisa membuat distribusi beban kerja setiap regu satpam lebih merata.

6. Setiap regu satpam tidak mendapat *shift* malam lebih dari 4 hari berurutan.
7. Setiap regu satpam tidak mendapat *shift* pagi lebih dari 3 hari berurutan.
8. Setiap regu satpam mendapat maksimum sebanyak 7 hari *shift* pagi pada satu periode penjadwalan.
9. Setiap regu satpam mendapat maksimum sebanyak 5 hari kerja berturutan pada satu periode penjadwalan.
10. Setiap regu satpam mendapat minimum 3 hari libur dalam satu periode penjadwalan.

Model ILP untuk kasus libur lebaran dapat dituliskan sebagai berikut:

Fungsi objektif:

$$\min z = \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=1}^{21} (XP_{i,j} + 2 XM_{i,j})$$

dengan kendala:

1. Dalam satu hari, regu satpam hanya mendapat satu *shift* kerja atau libur kerja.
 $XP_{i,j} + XM_{i,j} + XL_{i,j} = 1; \quad i = 1,2, \dots, 12; j = 1,2, \dots, 21$
2. Kebutuhan minimum regu satpam pada *shift* pagi di setiap hari terpenuhi.
 $\sum_{i=1}^{12} XP_{i,j} \geq 4; \quad j = 1,2, \dots, 21$
3. Kebutuhan minimum regu satpam pada *shift* malam di setiap hari terpenuhi.
 $\sum_{i=1}^{12} XM_{i,j} \geq 6; \quad j = 1,2, \dots, 21$
4. Regu satpam yang bertugas pada *shift* malam di suatu hari, tidak boleh mendapat *shift* pagi di hari berikutnya.
 $XM_{i,j} + XP_{i,j+1} \leq 1; \quad i = 1,2, \dots, 12; j = 1,2, \dots, 20$
5. Regu satpam tidak boleh mendapat libur lebih dari satu hari berturutan.
 $XL_{i,j} + XL_{i,j+1} \leq 1; \quad i = 1,2, \dots, 12; j = 1,2, \dots, 20$
6. Setiap regu satpam tidak mendapat *shift* malam lebih dari 4 hari berturut-turut.

$$XM_{i,j} + XM_{i,j+1} + XM_{i,j+2} + XM_{i,j+3} + XM_{i,j+4} \leq 4;$$

$$i = 1, 2, \dots, 12; j = 1, 2, \dots, 17$$

7. Regu satpam tidak ditugaskan pada *shift* pagi lebih dari 3 hari berturut-turut.
 $XP_{i,j} + XP_{i,j+1} + XP_{i,j+2} + XP_{i,j+3} \leq 3; \quad i = 1, 2, \dots, 12; j = 1, 2, \dots, 18$
8. Regu satpam mendapat maksimal sebanyak 7 hari *shift* pagi pada satu periode.
 $\sum_{j=1}^{21} XM_{i,j} \leq 7; \quad i = 1, 2, \dots, 12.$
9. Regu satpam bertugas maksimal 5 hari kerja berturut-turut yang dapat dinyatakan sebagai regu satpam mendapatkan minimal 1 hari libur dalam 6 hari kerja berturut-turut.
 $XL_{i,j} + XL_{i,j+1} + \dots + XL_{i,j+5} \geq 1; \quad i = 1, 2, \dots, 21; j = 1, 2, \dots, 16$
10. Regu satpam mendapatkan minimal 3 hari libur dalam satu periode.
 $\sum_{j=1}^{21} XL_{i,j} \geq 3; \quad i = 1, 2, \dots, 12.$
11. Variabel keputusan $XP_{i,j}, XM_{i,j}$ dan $XL_{i,j}$ merupakan variabel biner
 $XP_{i,j}, XM_{i,j}, XL_{i,j} \in \{0,1\}.$

Penentuan nilai parameter pada kendala tambahan (Kendala 6 s.d. 10) sudah berdasarkan uji coba beberapa nilai. Misalnya pada Kendala 8, diberikan syarat maksimum 7 hari *shift* pagi, karena jika maksimum dibuat 8 hari, diperoleh hasil jadwal dengan total *shift* pagi yang tidak merata (4-8 hari); sedangkan nilai 3 pada Kendala 10 (minimum hari libur), adalah nilai terkecil yang menghasilkan solusi fisibel. Jika dipaksakan setiap regu satpam mendapatkan libur minimum 4 hari atau lebih banyak, maka model ILP tidak memiliki solusi fisibel. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan regu satpam sedangkan kebutuhan jaga (antara lain minimum regu pada *shift* malam) lebih banyak dibandingkan dengan kondisi normal. Solusi optimal dari model ILP-Lebaran yang diselesaikan menggunakan *software* LINGO 21.0 dapat dilihat di Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Penjadwalan satpam dalam kasus libur lebaran.

Hari (<i>i</i>)	Regu (<i>j</i>)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	M	M	M	M	L	M	L	M	P	P	P	P
2	M	M	M	M	P	L	P	M	P	P	M	L
3	M	M	M	M	P	P	M	L	P	L	M	P
4	M	M	L	L	P	M	M	P	M	P	M	P
5	L	L	P	P	M	M	M	P	M	P	M	M
6	P	P	P	P	M	M	M	M	L	M	L	M
7	M	M	P	P	L	M	L	M	P	M	P	M
8	M	M	M	M	P	L	P	M	P	M	P	L
9	M	M	M	M	P	P	M	L	P	L	M	P
10	M	M	L	L	M	P	M	P	M	P	M	P
11	L	L	P	P	M	M	M	P	M	P	M	M
12	P	P	M	P	M	M	M	P	L	M	L	M
13	P	P	M	M	L	M	L	M	P	M	P	M
14	P	P	M	M	P	L	P	M	M	M	M	L
15	M	M	M	M	P	P	P	L	M	L	M	P
16	M	M	L	L	M	P	P	P	M	P	M	M
17	L	L	P	P	M	P	M	P	M	M	M	M
18	P	P	P	P	M	M	M	M	L	M	L	M
19	P	P	P	M	L	M	L	M	M	M	P	M
20	P	P	M	M	M	L	P	M	M	M	P	L
21	M	M	M	M	M	P	P	L	M	L	P	P

Keterangan: P = *shift* pagi, M = *shift* malam, L = libur

Dari Tabel 6 terlihat bahwa jadwal yang diperoleh memenuhi semua kendala. Selanjutnya, data mengenai total *shift* setiap regu dalam 21 hari libur lebaran diberikan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Rangkuman jadwal satpam model ILP kasus libur lebaran.

Regu	Total P	Total M	Total L	Max P berurutan	Max M berurutan	Max L berurutan	Max kerja berurutan	Pola L-Msk-L
1	7	11	3	3	4	1	5	0
2	7	11	3	3	4	1	5	0
3	7	11	3	3	4	1	5	0
4	7	11	3	3	3	1	5	0
5	7	10	4	3	3	1	5	0
6	7	10	4	3	4	1	5	0
7	7	10	4	3	4	1	5	0
8	7	10	4	3	3	1	5	0
9	7	11	3	3	4	1	5	0
10	7	10	4	2	4	1	5	0
11	7	11	3	3	4	1	5	0
12	7	10	4	2	4	1	5	0

Dari Tabel 7 terlihat bahwa jadwal tugas regu satpam selama 21 hari sudah terlihat memeratakan beban kerja setiap regu satpam. Namun demikian, dalam 21 hari setiap regu hanya mendapatkan 3-4 hari libur. Jika hari libur ingin diperbanyak, tentu saja banyaknya regu satpam yang tersedia juga harus lebih banyak.

5 Simpulan dan Saran

5.1 Simpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan model *Integer Linear Programming* (ILP) untuk menyusun jadwal kerja satpam di Perumahan Permata Puri Laguna Depok selama periode penjadwalan tertentu. Model yang dibangun mampu menghasilkan jadwal yang memenuhi seluruh kendala operasional, seperti kebutuhan minimum regu pada setiap *shift*, pembatasan jumlah *shift* malam dan hari kerja berturut-turut, pengaturan hari libur, serta larangan pola perpindahan *shift* tertentu. Selain itu, modifikasi model dengan penambahan aturan penjadwalan tertentu menghasilkan distribusi jadwal yang lebih konsisten dan realistis dari sisi operasional.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ILP efektif digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan tenaga kerja yang bersifat kompleks dan melibatkan banyak variabel keputusan. Model yang dihasilkan tidak hanya membantu proses penyusunan jadwal menjadi lebih sistematis dan efisien, tetapi juga berpotensi meningkatkan pemerataan beban kerja antar-regu satpam. Pada kondisi khusus, seperti periode libur Lebaran/Hari Raya Idul Fitri, model juga dapat disesuaikan untuk mengakomodasi peningkatan kebutuhan pengamanan dengan tetap mempertimbangkan keterbatasan jumlah personel yang tersedia.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya dapat mengembangkan model penjadwalan dengan mempertimbangkan alokasi regu satpam pada setiap pos jaga secara lebih detail, sehingga tidak hanya menentukan jadwal *shift*, tetapi juga menempatkan personel pada lokasi pengamanan tertentu. Pengembangan tersebut dapat membantu meningkatkan efektivitas pengawasan pada area-area yang memiliki tingkat kerawanan berbeda.

Selain itu, model dapat diperluas dengan memasukkan preferensi personel, tingkat pengalaman anggota satpam, maupun tingkat risiko keamanan pada waktu tertentu agar jadwal yang dihasilkan menjadi lebih adaptif dan realistis. Penelitian berikutnya juga dapat mempertimbangkan pendekatan optimasi lain, seperti *Goal Programming*, algoritma metaheuristik, atau model multiobjektif untuk memperoleh solusi yang lebih fleksibel pada permasalahan penjadwalan berskala besar dan dinamis.

Daftar Pustaka

- [1] S.M. Mohungo, L. Yahya, dan Resmawan, "Penerapan model Integer Linear Programming pada penjadwalan petugas satuan pengamanan," *Euclid*, vol. 8, no. 1, pp. 6-15, 2021.
- [2] N. Musliu, J. Gärtner, dan W. Slany, "Efficient generation of rotating workforce schedules," *Discrete Applied Mathematics*, vol. 118, no. 1–2, Apr., pp. 85-98, 2002.
- [3] M.Y. Rinaldy dan T. Widiartin, "Sistem penjadwalan kehadiran satpam berbasis web di perusahaan motor Jakarta," *MelekIT*, vol. 8, no. 2, Dec., pp. 201-212, 2022.
- [4] R. Loekito dan H. Leong, "Penjadwalan satpam jaga dengan menggunakan algoritma genetika," *PROXIES*, vol. 2, no. 1, pp. 12-18, 2018.
- [5] A. Pradjaningsih, IR Aulia, dan A. Riski, "Penerapan goal programming untuk optimalisasi penjadwalan jam kerja satuan pengamanan," *Journal of Applied Informatics and Computing (JAIC)*, vol.7, no.1, Jul., pp. 28-33, 2023.
- [6] F.R. Mardiah, "Penjadwalan petugas satuan pengamanan menggunakan nonpreemptive goal programming dan implementasinya di Institut Pertanian Bogor," Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, 2017.
- [7] R.G. Soniwan, "Penjadwalan petugas keamanan menggunakan integer linear programming: studi kasus di IPB," Skripsi, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, 2014.
- [8] S.Y. Ang, S.N.A.M. Razali, dan S. L Kek., "Optimized preference of security staff scheduling using integer linear programming approach," *COMPUSOFT: An International Journal of Advanced Computer Technology*, vol. 8. no. 4, pp. 3103-3111, 2019.
- [9] B. L Kaluzny dan A. Hill, "Scheduling security personnel for the Vancouver 2010 Winter Olympic Games," *INFOR: Information Systems and Operational Research*, vol. 49, no. 3, pp. 221–231, 2011.