



TESIS - TI142307

**PENDEKATAN METODE METAHEURISTIK  
UNTUK MENYELESAIKAN PENJADWALAN  
PASIEN RUANG OPERASI BEDAH RUMAH SAKIT**

**YENI ROHA MAHARIANI  
NRP 02411650024042**

**DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER  
BIDANG MINAT OPTIMASI SISTEM INDUSTRI  
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**





THESIS - TI142307

# **METAHEURISTICS METHOD TO SOLVE PATIENT SURGERY SCHEDULING PROBLEM**

**YENI ROHA MAHARIANI**  
**NRP 02411650024042**

**SUPERVISOR**  
**Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D.**

**MAGISTER PROGRAM**  
**INDUSTRIAL SYSTEM OPTIMIZATION**  
**DEPARTEMEN OF INDUSTRIAL ENGINEERING**  
**FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY**  
**SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY**  
**SURABAYA**  
**2018**




# PENDEKATAN METODE METAHEURISTIK UNTUK MENYELESAIKAN PENJADWALAN PASIEN RUANG OPERASI BEDAH RUMAH SAKIT

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

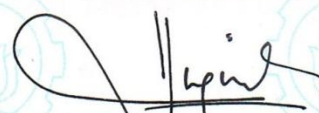
Oleh:  
**YENI ROHA MAHARIANI**  
NRP. 02411650024042

Tanggal Ujian: 9 Juli 2018  
Periode Wisuda: September 2018


Disetujui oleh:

  
1. **Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D.**  
NIP: 196905121994021001

(Pembimbing I)

  
2. **Dr. Ir. Sri Gunani Pratiwi, M.T.**  
NIP: 196605311990022001

(Penguji 1)

  
3. **Erwin Widodo, Dr.Eng.**  
NIP: 197405171999031002

(Penguji 2)



Dekan Fakultas Teknologi Industri,

  
**Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, ST., MT.**  
NIP: 196905071995121001



## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yeni Roha Mahariani  
NRP : 02411650024042  
Program Studi : Magister Teknik Industri - ITS

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

### “PENDEKATAN METODE METAHEURISTIK UNTUK MENYELESAIKAN PENJADWALAN PASIEN RUANG OPERASI BEDAH RUMAH SAKIT”

Adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Seluruh referensi yang dikutip dan dirujuk telah saya tulis secara lengkap di daftar pustaka. Apabila kemudian hari ternyata pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018

Yang membuat pernyataan

Yeni Roha Mahariani  
NRP. 02411650024042

(halaman ini sengaja dikosongkan)



## KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkat, rahmat, dan hidayah yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW, pemimpin sekaligus sebaik-baiknya suri tauladan bagi kehidupan umat manusia, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Pendekatan Metode Metaheuristik Untuk Menyelesaikan Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah Rumah Sakit”.

Dalam penyusunan tesis ini, penulis memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak dan dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah mengizinkan Penulis untuk melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Erwin Widodo, Dr.Eng. selaku Kepala Program Studi selama menjadi mahasiswa Magister Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah banyak memberikan arahan serta nasehat demi kesuksesan menjadi mahasiswa.
3. Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak informasi, inspirasi, arahan, serta masukan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis ini.
4. Nurhadi Siswanto, ST., M.Sc., Dr. Sri Gunani Partiwani dan Erwin Widodo, Dr.Eng sebagai dosen penguji pada saat seminar proposal tesis dan sidang tesis yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan arahan dalam pengerjaan penelitian tesis ini.
5. Seluruh dosen di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, khususnya di Program Magister Teknik Industri yang telah menyampaikan ilmunya tanpa pamrih dan turut berperan mencerdaskan dan memperbaiki moral anak bangsa.
6. Kedua orang tua tercinta, Asrori dan Umi Kulsum yang selalu mendoakan, memberi kasih sayang, nasehat, semangat, dan rela berkorban, serta menjadi sumber motivasi dalam penulisan tesis ini.
7. Ketiga kakak tersayang Firman, Kholis, dan Safiq yang selalu memberikan arahan, nasehat, kasih sayang, dan pengalaman berharganya.
8. Sahabat dan rekan seperjuangan tercinta Nisa, Dina, Septi, Delta, dan Diva yang selalu mendengarkan keluh kesah serta memberi motivasi, inspirasi, dan semangat tiada henti kepada penulis.

9. Teman-teman Magister Teknik Industri angkatan 2016 Ganjil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang selalu memberi motivasi, inspirasi, dan semangat kepada penulis.
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang turut memberi bantuan, semangat, dan saran dalam penyusunan tesis ini.

Penulis berharap semoga penelitian tesis ini dapat bermanfaat sebagai bahan pustaka dan penambah informasi khususnya bagi mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan penelitian tesis ini masih banyak terdapat kekurangan sehingga saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk menyempurnakan tesis ini. Semoga penelitian tesis ini bermanfaat bagi pembaca..

Surabaya, Juli 2018

Yeni Roha Mahariani

# PENDEKATAN METODE METAHEURISTIK UNTUK MENYELESAIKAN PENJADWALAN PASIEN OPERASI BEDAH RUMAH SAKIT

**Nama** : Yeni Roha Mahariani  
**NRP** : 02411650024042  
**Jurusan** : Teknik Industri, FTI, ITS Surabaya  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D.

## ABSTRAK

Sistem penjadwalan pasien ruang operasi bedah di rumah sakit merupakan salah satu pelayanan kesehatan yang memiliki permasalahan yang kompleks. Efisiensi dalam menjadwalkan pasien ruang operasi bedah dibutuhkan untuk mengurangi waktu tunggu pasien dan mencegah penundaan jadwal operasi bedah, sehingga dapat memaksimalkan penggunaan ruang operasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pasien ruang operasi bedah dengan menggunakan pendekatan metode metaheuristik.

Model penjadwalan pasien operasi bedah yang digunakan mempunyai tujuan untuk meminimalkan *makespan* dari pasien yang terjadwal dengan mempertimbangkan prioritas klinis dan bobot jenis operasi. Model ini memberikan gambaran kondisi dari sistem yang nyata. Hal ini ditunjukkan dengan batasan bahwa tidak ada dokter spesialis bedah yang sedang mengoperasi pasien dalam waktu yang sama. Dalam kasus penelitian ini menggunakan data dari Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan.

Penerapan metode metaheuristik, yaitu *Firefly Algorithm (FA)* yang diusulkan berhasil digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pasien ruang operasi bedah di rumah sakit. *Firefly* dapat memetakan pekerjaan yang diterima ke *resource* yang ada. Algoritma *firefly* yang diusulkan dapat mendukung proses penjadwalan dengan rangkaian komputasi secara efisien. Hasil algoritma yang diterapkan menghasilkan jadwal pasien ruang operasi bedah yang baru yang mempunyai waktu *makespan* minimum dengan berbagai asumsi dan batasan.

**Kata kunci** : penjadwalan pasien ruang operasi, metaheuristik, algoritma *firefly*.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

# METAHEURISTICS METHOD TO SOLVE PATIENT SURGERY SCHEDULING PROBLEM

**Student name** : Yeni Roha Mahariani  
**Student ID** : 02411650024042  
**Major** : Teknik Industri, FTI, ITS Surabaya  
**Supervisor** : Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D.

## ABSTRACT

The scheduling system for surgery room patients in a hospital is one of the health services that has complex problems. Efficiency in scheduling operating room patients is needed to reduce patient waiting times and prevent delayed surgery schedules. The purpose of this research is to solve the problem of scheduling surgery room patient in a certain period with metaheuristic method approach.

The model of surgical patient scheduling was used have a purpose to minimizing makespan of the scheduled patient taking into account the clinical priority and weight of the surgical type. This model provides an overview of the conditions of the existing system. This is indicated by the limitation that no surgeon is currently operating the patient at the same time. In the case of this study, real-life data from Muhammadiyah Lamongan Hospital were used.

The proposed Firefly Algorithm was successfully used to solve the problem of scheduling surgery patients in hospital. Firefly can map assignments received to existing resources. The proposed firefly algorithm can support scheduling processes with computational sequence efficiently. The results of the algorithm applied are new surgery patient schedule that has a minimum makespan with assumptions and boundary conditions.

**Keywords:** *surgery room patient scheduling, metaheuristic, firefly algorithm.*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan dan Asumsi.....	4
1.5.1 Batasan.....	4
1.5.2 Asumsi .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Klasifikasi Rumah Sakit .....	7
2.1.1 Klasifikasi Pelayanan Rumah Sakit.....	9
2.1.2 Klasifikasi Pasien.....	9
2.2 Sistem Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah .....	10
2.3 <i>Firefly Algorithm</i> (FA).....	13
2.4 Literature Mengenai Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah .....	14
2.5. GAP Penelitian dan Posisi Penelitian.....	19
BAB III .....	21
METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data .....	22
3.2 Formulasi Model .....	22
3.3 Algoritma <i>Firefly</i> Diskrit .....	25

3.4 Validasi Algoritma .....	27
3.5 Pembuatan Program dan Eksperimen.....	27
3.6 Pembahasan dan Analisis .....	27
BAB IV .....	29
DESKRIPSI MODEL .....	29
4.1 Hasil Pengumpulan Data .....	29
4.2 Sistem Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah .....	29
4.3 Pengembangan Model dan Algoritma .....	32
4.4 Model Matematis.....	34
BAB V.....	37
EKSPERIMEN DAN ANALISIS.....	37
5.1 <i>Firefly</i> Algorithm (FA).....	37
5.2 Validasi Model dan Algoritma .....	42
5.3 Hasil Eksperimen .....	47
BAB VI .....	63
KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
6.1 Kesimpulan.....	63
6.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA .....	65



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Flowchart</i> alur sistem penjadwalan pasien operasi di rumah sakit secara umum ..	13
Gambar 3. 1 Diagram alir metodologi pelaksanaan penelitian.....	21
Gambar 3. 2 <i>Flowchart Firefly Algorithm</i> untuk masalah penjadwalan pasien .....	26
Gambar 5. 1 Prosedur <i>Firefly Algorithm</i> .....	37
Gambar 5. 2 Prosedur inialisasi parameter.....	38
Gambar 5. 3 Prosedur pembangkitan populasi awal.....	38
Gambar 5. 4 Prosedur perhitungan nilai <i>makespan</i> .....	39
Gambar 5. 5 Prosedur menghitung intensitas cahaya untuk setiap <i>firefly</i> .....	39
Gambar 5. 6 Prosedur membandingkan intensitas cahaya tiap <i>firefly</i> .....	40
Gambar 5. 7 Prosedur menghitung jarak dan <i>attractiveness</i> .....	41
Gambar 5. 8 Prosedur menghitung persamaan <i>movement</i> .....	41
Gambar 5. 9 Prosedur menentukan <i>Global Best</i> .....	42
Gambar 5. 10 Prosedur melakukan <i>movement</i> pada <i>firefly</i> terbaik .....	42
Gambar 5. 11 Ganttchart hasil penjadwalan pasien untuk iterasi 1 .....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan Jurnal Penelitian Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah .....	16
Tabel 2.2 GAP Penelitian Penjadwalan Pasien Operasi Bedah .....	19
Tabel 4. 1 Hasil pengumpulan data.....	29
Tabel 4. 2 Perbedaan Model Penjadwalan pasien operasi bedah dengan penelitian sebelumnya	33
Tabel 4. 3 Perbedaan Algoritma <i>Firefly</i> dengan penelitian sebelumnya .....	33
Tabel 5. 1 Populasi awal <i>Firefly</i> .....	43
Tabel 5. 2 Hasil transformasi kedalam bentuk urutan .....	43
Tabel 5. 3 Nilai fungsi tujuan tiap <i>firefly</i> .....	44
Tabel 5. 4 Intensitas cahaya setiap <i>firefly</i> .....	44
Tabel 5. 5 Hasil proses <i>movement firefly</i> 1 .....	45
Tabel 5. 6 Perbandingan intensitas cahaya .....	45
Tabel 5. 7 Hasil <i>firefly</i> baru .....	45
Tabel 5. 8 Hasil transformasi kedalam urutan pasien .....	45
Tabel 5. 9 Urutan pasien untuk <i>gbest</i> .....	46
Tabel 5. 10 Hasil proses <i>movement</i> pada <i>firefly</i> terbaik .....	46
Tabel 5. 11 Hasil urutan pasien iterasi 1 .....	46
Tabel 5. 12 Perbandingan solusi terbaik pada periode 1 .....	47
Tabel 5. 13 Hasil urutan pasien periode 1 .....	48
Tabel 5. 14 Perbandingan solusi terbaik pada periode 2.....	49
Tabel 5. 15 Hasil urutan pasien untuk periode 2.....	50
Tabel 5. 16 Perbandingan solusi terbaik pada periode 3.....	51
Tabel 5. 17 Hasil urutan pasien untuk periode 3.....	52
Tabel 5. 18 Perbandingan solusi terbaik pada periode 4.....	52
Tabel 5. 19 Hasil urutan pasien untuk periode 4.....	53
Tabel 5. 20 Perbandingan solusi terbaik pada periode 5.....	54
Tabel 5. 21 Hasil urutan pasien periode 5.....	55
Tabel 5. 22 Perbandingan solusi terbaik pada periode 6.....	55
Tabel 5. 23 Hasil urutan pasien periode 6.....	57
Tabel 5. 24 Perbandingan solusi terbaik pada periode 7.....	57
Tabel 5. 25 Hasil urutan pasien periode 7.....	58
Tabel 5. 26 Perbandingan solusi terbaik pada periode 8.....	59
Tabel 5. 27 Hasil urutan pasien periode 8.....	60

Tabel 5. 28 Hasil urutan pasien ke delapan periode ..... 60

(halaman ini sengaja dikosongkan)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hal-hal yang mendasari dilakukannya dilakukannya penelitian, identifikasi permasalahan yang akan diteliti, tujuan dan manfaat dari diadakannya penelitian ini.

### **1.1 Latar Belakang**

Pelayanan kesehatan merupakan hak setiap orang yang dijamin dalam Undang Undang Dasar 1945 dan Negara bertanggung jawab atas penyediaan fasilitas pelayanan kesehatan secara umum yang layak. Rumah sakit adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan perorangan yang merupakan bagian dari sumber daya kesehatan. Pelayanan kesehatan yang bermutu diberikan sesuai dengan standard, memuaskan, tepat waktu, dengan risiko minimal, dan tercapai dengan tujuan yang diinginkan.

Berbagai jenis tenaga kesehatan dengan bidang keahlian yang beragam, berinteraksi satu sama lain. Teknologi kedokteran dan ilmu pengetahuan berkembang sangat pesat hingga saat ini dalam rangka pemberian pelayanan kesehatan yang memenuhi standar minimal, sehingga membuat permasalahan di rumah sakit semakin kompleks. Berbagai jenis layanan kesehatan yang ada di rumah sakit memakai sistem yang dapat membuat pelayanan kesehatan berjalan dengan baik. Salah satu pelayanan kesehatan yang memiliki permasalahan yang kompleks adalah sistem penjadwalan pasien operasi bedah di rumah sakit umum. Sistem yang buruk dapat mempengaruhi proses antrian pada pasien yang membutuhkan pelayanan kesehatan tersebut di rumah sakit umum.

Efisiensi dalam merencanakan dan menjadwalkan pasien operasi merupakan permasalahan yang sangat penting untuk mengoptimalkan beberapa faktor, yaitu waktu tunggu pasien, mengurangi jumlah pembatalan, mengurangi beban kerja staf, serta meningkatkan kinerja rumah sakit yang bersangkutan (Riise, Mannino and Burke, 2016). Ruang operasi bedah sentral merupakan salah satu fasilitas yang ada di rumah sakit dan termasuk sebagai fasilitas kesehatan yang mempunyai berbagai persyaratan di setiap proses. Fasilitas kesehatan ini dipergunakan untuk pasien yang membutuhkan tindakan operasi, terutama untuk tindakan operasi besar. Dalam permasalahan ini terdapat faktor yang perlu dipertimbangkan pada setiap proses terkait operasi pada pasien. Proses terkait tindakan operasi meliputi persiapan pasien sebelum tindakan operasi, persiapan peralatan yang akan digunakan, tindakan operasi, pembersihan ruang operasi dan peralatan setelah tindakan operasi, dan mengirimkan pasien ke ruang pemulihan.

Variasi kedatangan pasien pada layanan kesehatan ini akan mempengaruhi kinerja dan efisiensi dari tenaga medis yang ada, sehingga mempengaruhi kepuasan dan kenyamanan pasien. Pentingnya pengoptimalan pelayanan kesehatan yang diberikan kepada masyarakat dapat dilakukan salah satunya dengan mengetahui sistem penjadwalan yang tepat digunakan pada pelayanan kesehatan khususnya pada pasien operasi bedah.

Penjadwalan pasien operasi dimaksudkan untuk mengatur alur proses yang terjadi di kamar operasi. Beberapa operasi yang direncanakan atau dijadwalkan dapat terlaksana sesuai waktu yang telah ditentukan dimana bisa terjadi penundaan, percepatan maupun pembatalan operasi. Dalam mempelajari masalah penjadwalan pasien operasi bedah ditentukan pada departemen operasi di rumah sakit. Departemen operasi terdiri dari beberapa spesialisasi yang terbagi dalam sejumlah ruang operasi dan ruang pasca operasi (Aringhieri *et al.*, 2015).

Pada penelitian ini mendeskripsikan masalah penjadwalan pasien operasi pada satu periode tertentu. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk menggeneralisasi masalah penjadwalan pasien ruang operasi bedah dengan pendekatan metode metaheuristik tertentu. Kasus bedah di rumah sakit dapat diklasifikasikan sebagai operasi bedah elektif dan operasi darurat (*emergency*). Dalam departemen bedah tersusun dari berbagai spesialisasi yang terbagi lagi dalam set ruang operasi yang tersedia (Landa *et al.*, 2016). Penelitian yang akan dilakukan hanya pada kasus pasien ruang operasi bedah yang telah terjadwal.

Menurut Aringhieri *et al* (2015) dijelaskan bahwa masalah penjadwalan pasien operasi bedah ini menggunakan pendekatan *block schedule* yang terdiri dari tiga tahap sehingga sesuai dengan tiga tingkat keputusan (Testi, 2007). Tahap pertama, permasalahan dalam menentukan tingkat strategis, jumlah dan jenis ruang operasi yang tersedia, waktu operasi berlangsung dan keseluruhan kapasitas ruang operasi, termasuk ketersediaan spesialis bedah dan tenaga medis lainnya. Tahap selanjutnya, siklus jadwal operasi bedah dalam jangka waktu tertentu. Jumlah total waktu diperbarui setiap kali terdapat perubahan. Tahap terakhir, menentukan proses penjadwalan pasien operasi yang terdiri dari penjadwalan awal dan penjadwalan alokasi. Dengan demikian, untuk mengoptimalkan utilitas pasien yaitu dengan mengurangi waktu tunggu dan utilitas rumah sakit yaitu dengan mengurangi biaya produksi. Biaya produksi diukur dalam jumlah ruang operasi dan ruang pemulihan yang dibutuhkan dalam rangkaian tindakan operasi.

Pendekatan metode metaheuristik dilakukan untuk menyelesaikan masalah secara optimal. Banyak permasalahan termasuk optimasi telah berhasil dipecahkan menggunakan algoritma *firefly* dan variannya (Fister *et al.*, 2013). Salah satu metode metaheuristik yang digunakan dalam memecahkan masalah optimalisasi adalah *Firefly Algorithm (FA)*. Algoritma ini

merupakan salah satu metode yang dikembangkan oleh Xin-She Yang pada tahun 2008. Algoritma ini terinspirasi oleh perilaku pada kunang-kunang (Yang, 2014).

Menurut Sayadi, Ramezani and Ghaffarinasab (2010), FA juga dapat menyelesaikan permasalahan *permutation flow shop scheduling* dengan hasil yang baik. Metode FA termasuk algoritma stokastik yaitu menggunakan unsur pengacakan untuk mencari solusi terbaik. Proses pencarian yang digunakan pada algoritma dipengaruhi oleh *trade-off* tertentu antara metode pengacakan dan pencarian lokal. FA berkonsentrasi pada pembangkitan solusi baru dalam ruang pencarian sehingga dapat memperoleh solusi terbaik. Unsur pengacakan berguna pada proses pencarian untuk menghindari solusi yang terjebak pada lokal optima, sehingga dapat meningkatkan kandidat solusi terbaik sampai mendapatkan solusi terbaik ada global optima. (Fister *et al.*, 2013)

Pada penerapan *Firefly Algorithm (FA)*, terdapat interaksi di seluruh ruang pencarian sehingga dapat mencatat solusi terbaik yang pernah dikunjungi. Dengan demikian, FA dapat mendukung proses penjadwalan pada rangkaian komputasi secara efisien sesuai dengan hasil solusi kandidat jadwal yang diperoleh. Proses penjadwalan untuk memetakan pekerjaan yang diterima sesuai dengan sumber daya yang ada, sehingga dapat menyelesaikan pekerjaan dalam waktu *makespan* minimum. (Yang, 2014)

Menurut data sistem penjadwalan pasien ruang operasi bedah Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan (RSML) dilakukan pada pukul 6.00 hingga 19.00, dengan pasien elektif yang terjadwal hingga pukul 00.00 WIB pada bulan Mei 2018 dan total pasien operasi bedah sebanyak 664 pasien. Dengan demikian, pada penelitian ini dilakukan untuk meminimumkan total waktu yang dibutuhkan untuk mengoperasi pasien yang ada di RSML supaya dapat memaksimalkan penggunaan ruang operasi, sehingga waktu tunggu pasien yang menunggu tindakan operasi dapat diminimalkan dan juga dapat menghindari tindakan operasi pasien yang dilakukan pada malam hari.

Pada penelitian ini, akan mengembangkan sebuah model untuk masalah penjadwalan pasien operasi bedah yang dapat digunakan untuk memaparkan masalah penjadwalan operasi bedah di Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan. Tujuan utama dari permasalahan ini adalah untuk meminimalkan *makespan* terkait jumlah sumber daya, serta kendala lain yang ada. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode metaheuristik untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pasien operasi bedah di RSML. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan data sebenarnya sehingga dapat menghasilkan jadwal yang optimal dengan algoritma yang diusulkan.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang ada, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan penjadwalan pasien ruang operasi bedah di rumah sakit?
2. Bagaimana mengembangkan algoritma *firefly* untuk menyelesaikan model penjadwalan pasien ruang operasi bedah di rumah sakit dengan minimasi *makespan*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan umum dalam penelitian yang telah dijelaskan di atas adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan algoritma *firefly* untuk masalah penjadwalan pasien ruang operasi bedah.
2. Menghasilkan jadwal pasien operasi bedah yang mempunyai waktu *makespan* minimum.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Dari pelaksanaan penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk meningkatkan kualitas sistem pelayanan kesehatan khususnya pada bagian instalasi ruang operasi bedah di rumah sakit umum.

## 1.5 Batasan dan Asumsi

Pada penelitian ini menggunakan batasan dan asumsi sebagai berikut:

### 1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Data yang digunakan merupakan data sekunder yang diperoleh dari bagian rekam medis khususnya bagian ruang operasi bedah Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan dan telah disesuaikan dengan permasalahan pada penelitian ini.
- b) Obyek penelitian ini adalah pasien tindakan operasi bedah yang telah terjadwal di rumah sakit yang menggunakan jaminan asuransi pemerintah dan asuransi swasta serta pasien dengan pembayaran pribadi.
- c) Penjadwalan pasien di RSML menggunakan periode waktu setiap minggu.

### 1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengembangkan model permasalahan yang digunakan pada penelitian Guido and Conforti (2017) .



## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam penelitian ini diuraikan menjadi beberapa bab sebagai berikut:

### **BAB I Pendahuluan**

Bab ini diawali dengan latar belakang dilakukannya penelitian, perumusan masalah dari latar belakang pelaksanaan penelitian, manfaat yang diharapkan dari penelitian, tujuan penelitian dan sistematika penulisan

### **BAB II Tinjauan Pustaka**

Bab tinjauan pustaka berisi mengenai GAP penelitian, posisi penelitian dan kajian pustaka yang didapat dari buku dan jurnal yang terkait mengenai teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan penelitian.

### **BAB III Metodologi Penelitian**

Bab metodologi penelitian berisi tentang alur penelitian yang digunakan termasuk didalamnya teknik pengumpulan data, metode yang digunakan disesuaikan dengan tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya.

### **BAB IV Deskripsi Model**

Bab ini berisi tentang deskripsi model yang menjelaskan detail model permasalahan yang akan diselesaikan dan penyelesaian dengan usulan algoritma yang dikembangkan pada penelitian ini.

### **BAB V Eksperimen dan Analisis**

Bab ini akan melakukan pembahasan dari hasil penelitian dan eksperimen dengan usulan algoritma pada permasalahan penjadwalan pasien operasi bedah serta analisis dan interpretasi dari hasil eksperimen yang dilakukan.

### **BAB VI Kesimpulan dan Saran**

Bab VI ini merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dan saran dari pelaksanaan penelitian dan memberikan saran untuk penelitian yang akan datang.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori dan referensi yang menjadi landasan dalam pelaksanaan penelitian ini.

#### **2.1 Klasifikasi Rumah Sakit**

Pengertian rumah sakit berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 56 tahun 2014, adalah institusi pelayanan kesehatan yang menyediakan pelayanan rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat. Rumah sakit merupakan salah satu sarana kesehatan tempat menyelenggarakan upaya kesehatan. Upaya kesehatan dilakukan bertujuan untuk mewujudkan derajat kesehatan yang optimal bagi masyarakat. Upaya kesehatan diselenggarakan dengan pendekatan pemeliharaan, peningkatan kesehatan (promotif), pencegahan penyakit (preventif), penyembuhan penyakit (kuratif), dan pemulihan kesehatan (rehabilitatif), yang dilaksanakan secara menyeluruh, terpadu, dan berkesinambungan.

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 44 Tahun 2009 tentang rumah sakit, rumah sakit bertugas memberikan pelayanan kesehatan perorangan secara paripurna, yaitu pelayanan kesehatan yang meliputi promotif, preventif, kuratif, dan rehabilitatif. Fungsi dari rumah sakit secara umum adalah sebagai berikut:

- a) Penyelenggaraan pelayanan pengobatan dan pemulihan kesehatan sesuai dengan standar pelayanan rumah sakit.
- b) Pemeliharaan dan peningkatan kesehatan perorangan melalui pelayanan kesehatan sesuai kebutuhan medis.
- c) Dalam rangka meningkatkan kemampuan untuk memberikan pelayanan kesehatan dilakukan penyelenggaraan pendidikan dan pelatihan sumber daya manusia.
- d) Penyelenggaraan penelitian dan pengembangan pada bidang teknologi kesehatan dalam rangka peningkatan pelayanan kesehatan dengan memperhatikan etika ilmu pengetahuan bidang kesehatan.

Klasifikasi rumah sakit menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 56 Tahun 2014 dibedakan menjadi beberapa golongan berdasarkan jenis pelayanan, kepemilikan, jangka waktu pelayanan, kapasitas tempat tidur dan fasilitas pelayanan, serta afiliasi pendidikan. Berdasarkan jenis pelayanannya rumah sakit dapat digolongkan menjadi dua yaitu rumah sakit umum dan rumah sakit khusus. Rumah sakit umum merupakan rumah sakit yang memberikan pelayanan kesehatan yang bersifat dasar, spesialisik dan subspecialistik. Rumah sakit umum memberi

pelayanan kepada berbagai penderita dengan berbagai jenis penyakit, memberi pelayanan diagnosis dan terapi untuk berbagai kondisi medis, seperti penyakit dalam, bedah, pediatrik, psikiatrik, ibu hamil, dan sebagainya. Sedangkan rumah sakit khusus adalah rumah sakit yang mempunyai fungsi primer, memberikan diagnosis dan pengobatan untuk penderita yang mempunyai kondisi medik khusus, baik bedah atau non bedah, misal: Rumah Sakit Ginjal, Rumah Sakit Kusta, Rumah Sakit Jantung, Rumah Sakit Bersalin dan Anak, dan lain sebagainya.

Dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 56 Tahun 2014, klasifikasi rumah sakit berdasarkan kepemilikan, rumah sakit dibagi menjadi 2 yaitu:

- a) Rumah sakit umum pemerintah merupakan rumah sakit umum milik pemerintah, baik pusat maupun daerah, Departemen Pertahanan dan Keamanan, maupun Badan Usaha Milik Negara. Rumah sakit umum pemerintah dapat dikelompokkan menjadi empat kelas berdasarkan unsur pelayanan, ketenagaan, fisik dan peralatan yaitu rumah sakit umum Kelas A, B, C, dan D.
- b) Rumah Sakit Umum Swasta, dapat dibedakan menjadi 3 macam yaitu rumah sakit umum swasta pratama, rumah sakit umum swasta madya, dan rumah sakit umum swasta utama. Masing-masing rumah sakit memiliki fungsi yang berbeda, antara lain: memberikan pelayanan medik bersifat umum, setara dengan rumah sakit pemerintah kelas D; memberikan pelayanan medik bersifat umum dan spesialisik dalam 4 cabang, setara dengan rumah sakit pemerintah kelas C; dan memberikan pelayanan medik bersifat umum, spesialisik dan subspecialistik, setara dengan rumah sakit pemerintah kelas B.

Klasifikasi rumah sakit berdasarkan Fasilitas Pelayanan dan Kapasitas Tempat Tidur menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 56 Tahun 2014 dapat dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu:

- a) Rumah Sakit Kelas A, yaitu rumah sakit umum yang mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medik spesialisik dan subspecialistik yang luas, dengan kapasitas lebih dari 1000 tempat tidur.
- b) Rumah Sakit Kelas B, dibagi menjadi 2 yaitu Rumah sakit B1 yaitu rumah sakit yang melaksanakan pelayanan medik minimal 11 (sebelas) spesialisik dan belum memiliki sub spesialisik luas dengan kapasitas 300-500 tempat tidur, dan Rumah sakit B2 yaitu RS yang melaksanakan pelayanan medik spesialisik dan sub spesialisik terbatas dengan kapasitas 500-1000 tempat tidur.
- c) Rumah Sakit Kelas C, yaitu rumah sakit umum yang mempunyai fasilitas dan kemampuan pelayanan medis spesialisik dasar, yaitu penyakit dalam, bedah, kebidanan atau kandungan, dan kesehatan anak, dengan kapasitas 100-500 tempat tidur.

- d) Rumah Sakit Kelas D merupakan rumah sakit umum yang mempunyai kapasitas tempat tidur kurang dari 100.

### **2.1.1 Klasifikasi Pelayanan Rumah Sakit**

Sesuai dengan klasifikasi rumah sakit, untuk mengarahkan dan mengendalikan perkembangan rumah sakit diperlukan klasifikasi dan subklasifikasi rumah sakit berdasarkan jenis pelayanan medik, penunjang medik dan perawatan yang dikemukakan oleh Departemen Kesehatan RI, sebagai berikut:

- a) Pelayanan medik umum.
- b) Pelayanan medik spesialistik dan subspecialistik, yang terdiri dari:
  - 1) Pelayanan medik spesialistik 4 dasar, yaitu penyakit dalam, penyakit bedah, kebidanan dan kandungan, dan kesehatan anak
  - 2) Pelayanan medik spesialistik dibagi menjadi 6, yaitu Mata, THT, Kulit dan kelamin, Syaraf, Kesehatan jiwa, serta Gigi dan mulut
  - 3) Pelayanan medik lainnya yaitu Jantung, Paru-paru, Bedah syaraf, dan Ortopaedi
  - 4) Pelayanan medik sub-spesialistik
  - 5) Pelayanan penunjang medis, yaitu Radiologi, Patologi (Patologi klinik, Patologi anatomi, Patologi forensik), Anestesi, Gizi, Farmasi, serta Rehabilitasi medis.
- c) Pelayanan Perawatan, meliputi pelayanan perawatan umum dasar, pelayanan perawatan spesialistik, dan pelayanan perawatan sub-spesialistik.

### **2.1.2 Klasifikasi Pasien**

Klasifikasi pasien merupakan metode pengelompokkan pasien menurut jumlah dan kompleksitas persyaratan perawatan mereka. Dalam sistem pengelompokan pasien, sesuai dengan ketergantungan mereka pada pemberi perawatan dan kemampuan yang diperlukan dalam pemberian perawatan. Tujuan klasifikasi pasien untuk mengkaji pasien dan pemberian nilai untuk mengukur jumlah usaha yang diperlukan untuk memenuhi perawatan yang dibutuhkan pasien (Gillies, 1994). Kategori keperawatan pasien menurut Swanburg (1999) terdiri dari :

- a) *Self-care*, pasien yang memerlukan bantuan minimal dalam tindak keperawatan dan pengobatan. Pasien melakukan aktivitas perawatan diri sendiri secara mandiri. Biasanya dibutuhkan waktu 1-2 jam dengan waktu rata-rata efektif 1,5 jam/24 jam.
- b) *Minimal-care*, pasien yang membutuhkan bantuan sebagian dalam pengobatan tertentu, misalnya pemberian obat intravena atau mengatur posisi. Biasanya dibutuhkan waktu 3-4 jam dengan waktu rata-rata efektif 3,5 jam/24 jam.

- c) *Intermediate care*, pasien biasanya membutuhkan waktu 5-6 jam dengan waktu rata-rata efektif 5,5 jam/24 jam.
- d) *Modified intensive care*, pasien biasanya membutuhkan waktu 7-8 jam dengan waktu rata-rata efektif 7,5 jam/24 jam.
- e) *Intensive care*, pasien biasanya membutuhkan 10-14 jam dengan waktu rata-rata efektif 12 jam/24 jam.

## 2.2 Sistem Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah

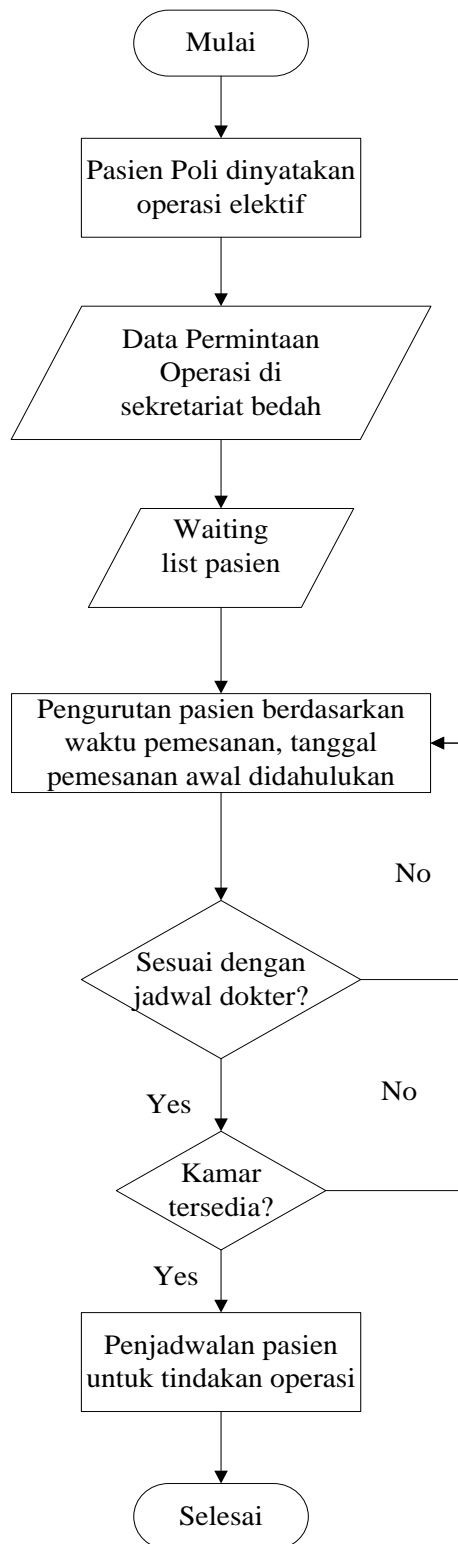
Ruang operasi adalah salah satu fasilitas yang ada di rumah sakit dan termasuk sebagai fasilitas yang mempunyai banyak persyaratan. Fasilitas ini dipergunakan untuk pasien pasien yang membutuhkan tindakan operasi, terutama untuk tindakan operasi besar. Pada proses tindakan operasi, terbagi menjadi 3 periode yaitu *Prior Surgery*, *During Surgery*, dan *After Surgery*. Kegiatan pada periode *prior surgery* dapat dilakukan di ruang perawatan atau di ruang persiapan operasi untuk kasus kasus *One Day Care Surgery*. Kegiatan pada periode *During Surgery* tentu saja berada di Ruang Operasi. Sedangkan kegiatan pada periode *After Surgery*, pasien yangtelah selesai dilakukan tindakan operasi akan dipindahkan ke ruang pemulihan tahap 1 selama 1 atau 2 jam. Selanjutnya pasien dapat dipindahkan ke ruang perawatan. Hal ini tergantung pada kondisi pasien, jika pasien dalam keadaan baik maka akan dipindahkan ke bangsal perawatan biasa, apabila pasien perlu mendapatkan perawatan intensif maka akan di relokasi ke ICU. Sedangkan pasien operasi dengan kasus *system one day care* maka akan dipindahkan ke ruang pemulihan tahap 2 sebelum pasien ini pulang ke rumah. Dalam menentukan jumlah ruang operasi yang dibutuhkan bergantung pada historis jumlah pasien sehingga dapat memprediksi pasien yang akan datang ke rumah sakit untuk melakukan operasi.

Kasus bedah di rumah sakit dapat diklasifikasikan sebagai operasi bedah elektif dan operasi darurat (*emergency*). Dalam departemen bedah tersusun dari berbagai spesialisasi yang terbagi lagi dalam set ruang operasi yang tersedia. (Landa *et al.*, 2016) Penelitian yang akan dilakukan hanya pada kasus pasien operasi bedah yang telah terjadwal.

Kasus operasi elektif dimulai dari pasien yang diambil dari rawat inap (*Inpatient Ward*) dan rawat jalan (*Ambulatory Surgery Unit*). Prosedur operasi elektif yang lengkap terdiri dari tiga tahap: persiapan (*pre-operative*), tindakan operasi (*peri-operative*), dan pemulihan (*recovery/post-operative*). Pada tahap persiapan, informasi awal akan diverifikasi dan jika diperlukan, tindakan medis yang lain akan diberikan. Jika ruang operasi yang akan digunakan telah siap, pasien akan langsung dikirim ke ruang operasi bedah untuk melakukan tahap persiapan. Tahap kedua adalah tindakan operasi bedah di ruang operasi. Jenis operasi yang

berbeda berpengaruh pada tenaga medis dan waktu operasi yang akan dibutuhkan. Tindakan operasi bedah dapat dimulai ketika semua sumber daya yang dibutuhkan dan pasien telah siap. Tahap pemulihan akan mengikuti segera setelah tahap tindakan operasi selesai, pasien akan dikirim ke ruang pemulihan dan terdapat kemungkinan pengobatan tambahan, misalkan di ICU. Selanjutnya, ruang operasi dapat dibersihkan oleh pekerja medis lain untuk persiapan operasi selanjutnya. (Xiang, Yin and Lim, 2015)

Pada sistem penjadwalan bagian ruang operasi bedah sentral di rumah sakit secara umum, pasien yang akan menjalani tindakan operasi rumah sakit akan melalui beberapa tahapan. Tindakan operasi yang akan dilakukan merupakan operasi elektif. Pasien yang datang dari poli rumah sakit dinyatakan operasi elektif, kemudian menuju sekretariat bedah sesuai dengan diagnosa dokter yang berwenang. Misalkan untuk operasi batu empedu ke bagian digestif. Pasien yang telah mendaftar akan masuk di daftar tunggu pasien yang akan menjalani operasi. Dalam tahap ini, pasien secara berkala, proaktif menanyakan kemajuan jadwal operasi. Selain itu, petugas juga sekretariat juga akan menghubungi pasien jika sudah masuk dalam jadwal tindakan operasi serta memastikan kamar tersedia. Apabila pasien yang telah masuk dalam jadwal operasi maka pasien menuju sekretariat bedah untuk mendapat kitir MRS. Kemudian pasien menuju ke bagian Sentral Admisi untuk proses rawat inap pasien sebelum menjalani operasi. Prosedur sistem penjadwalan pasien operasi di rumah sakit umum dijelaskan dalam Gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Flowchart alur sistem penjadwalan pasien operasi di rumah sakit secara umum**

Dalam sistem penjadwalan pasien ruang operasi bedah terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan antrian pasien. Faktor tersebut antara lain kapasitas ruang operasi, ruang *intensive care unit* (ICU) apabila dibutuhkan pasien, ruang pemulihan (*recovery room*), dan ruang perawatan.(Xiang, Yin and Lim, 2015) Faktor lain yang mempengaruhi sistem antrian



yaitu ketersediaan dokter bedah serta tenaga medis pendukung lainnya yaitu dokter anestesi dan perawat.

Sumber daya yang termasuk dalam alur operasi bedah elektif mempunyai karakteristik tertentu. Jika suatu sumberdaya pada salah satu tahapan operasi bedah tidak tersedia pada waktunya, maka akan terjadi keterlambatan pada proses operasi. Menurut Guido dan Conforti (2017) dijelaskan bahwa sumber daya yang dibutuhkan termasuk dokter bedah, perawat bedah, dokter anestesi dan tenaga medis lain terkait operasi bedah. Selain itu, fasilitas yang digunakan dalam proses operasi bedah elektif antara lain ruang operasi, peralatan tertentu sesuai dengan kasus operasi, dan ruang pemulihan. Dalam hal ini dapat diasumsikan bahwa fasilitas digunakan ruang dan peralatan yang multifungsi, sehingga dapat digunakan di berbagai kasus operasi yang berbeda-beda. Namun dalam setiap tim bedah memiliki sumber daya yang non-homogen di setiap departemen operasi, bidang keahlian, dan pengalaman. (Xiang, Yin and Lim, 2015) Pada penelitian yang akan dilakukan, hanya membahas ahli bedah yang non-homogen ketika *resource* yang lain seperti dokter anestesi, perawat bedah, dan tenaga medis lain dianggap multifungsi dan dapat melakukan operasi apapun.

### 2.3 Firefly Algorithm (FA)

Algoritma *Firefly* merupakan suatu algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari alam, yaitu pada perilaku berkerdip kunang-kunang untuk mencari makanan dan untuk berkomunikasi antar kunang-kunang (Yang, 2009). FA merupakan teknik berbasis populasi dengan pencarian global yang efektif dan efisien untuk masalah kombinatorial (Yang, 2008).

Mekanisme optimasi *firefly* dijelaskan dalam oleh Yang (2008) sebagai berikut:

- a) Semua *firefly* unisex, dimana setiap *firefly* dapat tertarik antar setiap kunang-kunang.
- b) Daya tarik setiap *firefly* relatif terhadap intensitas cahaya.
- c) Daya tarik setiap *firefly* ditentukan oleh posisi masing-masing dalam ruang pencarian.
- d) Kunang-kunang yang kurang menarik akan tertarik oleh kunang-kunang yang lebih terang.
- e) Nilai fitness yang lebih baik pada posisi tertentu menghasilkan *firefly* yang menarik.
- f) Kunang-kunang yang paling terang bergerak secara acak.

Populasi awal kunang-kunang dihasilkan secara acak dan menggunakan fungsi fitness dari masalah optimasi terkait, daya tarik kunang-kunang didefinisikan sebagai  $\beta_0$ , bertujuan untuk menentukan posisi setiap *firefly* dalam populasi. Semua kunang-kunang bergerak diseluruh ruang pencarian solusi untuk sejumlah iterasi tertentu. Untuk setiap iterasi, membandingkan daya tarik antar setiap dua kunang-kunang  $f_i$  dan  $f_j$ . Jika  $f_i$  lebih menarik daripada  $f_j$  maka kunang-kunang  $f_j$  akan bergerak menuju kunang-kunang  $f_i$ . Dalam hal intensitas cahaya atau

nilai daya tarik ( $\beta$ ) bergantung pada jarak ( $r$ ) antar kunang-kunang dan koefisien penyerapan cahaya ( $\gamma$ ). Daya tarik setiap kunang-kunang ditentukan oleh persamaan:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2}$$

Dimana  $\beta_0$  menunjukkan daya tarik *firefly* ketika  $r = 0$ .

Pergerakan *firefly*  $f_j$  pada posisi  $x_j$ , tertarik pada *firefly* yang lebih terang  $f_i$  pada posisi yang ditentukan oleh persamaan:

$$x_j = x_j + \beta_0 e^{-\gamma r^{2ij}} (x_j - x_i) + \alpha_i$$

Pada *Firefly Algorithm* (FA), kunang-kunang dianggap sebagai agen sederhana yang bergerak dan berinteraksi di seluruh ruang pencarian dan mencatat solusi terbaik yang pernah dikunjungi. Sehingga untuk mendapatkan kandidat solusi jadwal yang efisien pada kasus penjadwalan pada permasalahan komputasi dapat menggunakan FA tersebut. Selain itu FA juga dapat memetakan pekerjaan yang diterima ke *resource* yang ada sehingga pekerjaan dapat diselesaikan dengan waktu *makespan* yang minimum. Oleh sebab itu, dalam menggunakan *Discrete Firefly Algorithm* (DFA), langkah utama yang dilakukan adalah menentukan posisi kunang-kunang menggunakan gerakan algoritma *firefly* dan selanjutnya menggunakan posisi terkecil untuk menemukan permutasi dari nilai posisi. Sehingga langkah terakhir adalah menghitung fungsi fitness dengan menggunakan permutasi yang dihasilkan oleh *Smallest Position Value* (SPV) dan menentukan gerakan baru (Yousif *et al.*, 2014).

## 2.4 Literature Mengenai Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah

Teknologi bidang kesehatan dan ilmu pengetahuan berkembang sangat pesat hingga saat ini dalam rangka pemberian pelayanan kesehatan yang memenuhi standar minimal, sehingga membuat permasalahan di rumah sakit semakin kompleks. Salah satu pelayanan kesehatan yang memiliki permasalahan yang kompleks adalah sistem penjadwalan pasien operasi bedah di rumah sakit umum. Sistem yang buruk dapat mempengaruhi proses antrian pada pasien yang membutuhkan pelayanan kesehatan tersebut di rumah sakit umum.

Saat ini, banyak peneliti yang mengembangkan berbagai metode metaheuristik untuk menyelesaikan berbagai permasalahan di bidang kesehatan. Efisiensi dalam merencanakan dan menjadwalkan pasien operasi merupakan permasalahan yang sangat penting untuk mengoptimalkan beberapa faktor, yaitu waktu tunggu pasien, mengurangi jumlah pembatalan, mengurangi beban kerja staf, serta meningkatkan kinerja rumah sakit yang bersangkutan. (Riise, Mannino and Burke, 2016) Penjadwalan pasien operasi dimaksudkan untuk mengatur alur proses yang terjadi di kamar operasi. Beberapa operasi yang direncanakan atau dijadwalkan dapat

terlaksana sesuai waktu yang telah ditentukan dimana bisa terjadi penundaan, percepatan maupun pembatalan operasi.

Berikut merupakan ringkasan beberapa jurnal penelitian tentang masalah penjadwalan pasien ruang operasi yang dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ringkasan Jurnal Penelitian Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah

No.	Judul	Tujuan	Metodologi	Hasil
1.	<i>The planning and scheduling of operating rooms: A simulation approach</i> (M'Hallah and Al-Roomi, 2014)	Meningkatkan penggunaan dan utilitas meja operasi dengan mempertahankan jumlah rata-rata kasus pembedahan secara umum dan pada kasus tertentu.	Merancang model simulasi untuk setiap strategi, dan membandingkan hasil model dengan yang kondisi sebenarnya. Hal ini bertujuan untuk menilai dari setiap strategi berdasarkan teknik statistik inferensial.	Model simulasi yang diusulkan dengan mudah dapat diimplementasikan pada rumah sakit lain dan/atau ke tingkat manajerial strategis dan taktis. Model ini dapat menjelaskan berbagai kendala dan/atau prosedur manajerial. Model simulasi yang ditawarkan sederhana, user friendly, interaktif, sistem pendukung keputusan yang dapat digunakan dengan mengkoordinasikan ahli bedah dan manajemen.
2.	<i>A hybrid optimization algorithm for surgeries scheduling</i> (Landa et al., 2016)	Membandingkan penetapan keputusan tanggal operasi dan blok ruang operasi pada pasien untuk periode tertentu, serta menentukan urutan pasien yang akan menjalani operasi di setiap ruang operasi setiap harinya.	Metode yang digunakan algoritma optimasi hybrid dua fase, menggunakan teknik pencarian yang dikombinasikan dengan simulasi montecarlo untuk memecahkan keseluruhan masalah..	Menghasilkan kerangka algoritma yang efisien untuk menyelesaikan masalah <i>advance scheduling</i> dan penjadwalan alokasi dengan mempertimbangkan ketidakpastian yang ada pada waktu durasi operasi. Hasil evaluasi efisiensi dengan pendekatan algoritma yang diusulkan, dalam hal kualitas solusi dan waktu penyelesaian memberikan analisis komputasi berdasarkan data nyata.
3.	<i>An ant colony optimization approach for solving an operating room surgery scheduling problem</i> (Xiang, Yin and Lim, 2015)	Penjadwalan ruang operasi bedah dengan menentukan waktu mulai operasi dan mengalokasikan <i>resource</i> yang dibutuhkan pada operasi yang terjadwal.	Metode pendekatan <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO) untuk menyelesaikan masalah penjadwalan operasi dengan efisien berdasarkan kendala <i>multiresource</i> penjadwalan job shop fleksibel.	Hasil percobaan numerik dilakukan pada lima uji kasus operasi dengan perbedaan ukuran masalah dan ketersediaan sumber daya. Hasil penerapan algoritma ACO dibandingkan dengan jadwal yang dihasilkan oleh model simulasi sistem diskrit yang dibangun di SIMIO pada lima kasus uji. Hasil penelitian menunjukkan kinerja ACO yang superior pada <i>makespan</i> , <i>overtime</i> , dan variasi koefisien waktu kerja.

Lanjutan Tabel 2.1 Ringkasan Jurnal Penelitian Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Beda

No.	Judul	Tujuan	Metodologi	Hasil
4.	<i>Scheduling elective surgeries with sequence-dependent setup times to multiple operating rooms using constraint programming</i> (Zhao and Li, 2014)	Menjadwalkan operasi elektif ke beberapa ruang operasi untuk pasien rawat jalan. Berfokus keputusan penjadwalan harian, termasuk jumlah ruang operasi yang terbuka, alokasi operasi ke ruang operasi, dan urutan operasi di setiap ruang operasi.	Mengusulkan algoritma hybrid model Mixed Integer Nonlinier Programming (MINLP) dan model Kendala ( <i>Constraint Programming</i> )	Hasil model diuji pada contoh numerik menunjukkan bahwa model CP lebih efisien daripada model MINLP dalam hal waktu komputasi dan kualitas solusinya. Peneliti juga melakukan analisis sensitivitas solusi terhadap variasi durasi operasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa total biaya tidak banyak berubah bila variasi durasi operasi kecil.
5.	<i>A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem</i> (Guido and Conforti, 2017)	Mengusulkan model integer linier programming multi-tujuan yang bertujuan untuk merencanakan dan mengelola kamar operasi rumah sakit secara efisien.	Pendekatan solusi hybrid algoritma genetika. Model pengoptimalan yang dirancang dapat menentukan waktu operasi yang ditugaskan untuk setiap spesialisasi operasi, ruang operasi yang ditugaskan ke setiap tim bedah, perencanaan masuk operasi dan penjadwalan operasi.	Hasil eksperimen menunjukkan serangkaian solusi optimal yang dapat mendukung manajer rumah sakit secara efisien serta mengatur sumber daya yang terlibat dan merencanakan ahli bedah dan ruang operasi. Kerangka solusi yang diusulkan dapat mewakili alat yang sesuai untuk pengembangan sistem pendukung keputusan perawatan kesehatan yang canggih dan efektif.
6.	<i>An Adaptive hybrid evolutionary firefly algorithm for shape and size optimization of truss structures with frequency constraints</i> (Lieu, Do and Lee, 2018)	Merancang metode <i>hybrid</i> algoritma <i>firefly</i> untuk menangani masalah optimasi bentuk dan ukuran struktur rangka dengan berbagai kendala frekuensi.	Algoritma ini merupakan gabungan antara algoritma differential evolution (DE) dan algoritma <i>firefly</i> (FA). Parameter yang ada berguna untuk memilih skema mutasi yang sesuai untuk trade-off yang efektif antara kemampuan pencarian global dan lokal.	Hasil menunjukkan kecepatan konvergensi metode yang diusulkan meningkat secara signifikan dibandingkan dengan metode DE dan FA serta berbagai pendekatan dalam literatur lain. Tingkat akurasi hasil solusi masih lebih baik daripada yang lain. Metode diimplementasikan dengan cukup sederhana karena tidak ada perubahan substansial dalam struktur kode yang diamati dibandingkan dengan DE dan FA.

Lanjutan Tabel 2.1 Ringkasan Jurnal Penelitian Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah

No.	Judul	Tujuan	Metodologi	Hasil
7.	<i>New heuristics for planning operating rooms</i> (Molina-pariente <i>et al.</i> , 2015)	Menetapkan tanggal intervensi dan ruang operasi pada antrian pasien bedah, serta meminimalkan waktu akses untuk pasien dengan beberapa prioritas. Hasil yang diperoleh dari metode yang diusulkan dibandingkan dengan hasil dari metode heuristik literatur sebelumnya untuk menyelesaikan masalah perencanaan ruang operasi bedah.	Menggunakan 17 metode heuristik dari literatur sebelumnya yang telah dimodifikasi. Metode heuristik yang digunakan disesuaikan dengan permasalahan yang ada, yaitu dengan mempertimbangkan semua kendala dan fungsi objektif yang baru, sehingga dapat diimplementasikan dengan metode yang diusulkan penulis.	Hasil metode heuristik yang diusulkan yang diuji dengan data dari Bedah Plastik dan Spesialis Major Burns di Spanyol. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa terdapat peningkatan yang signifikan pada beberapa indikator kinerja utama yaitu jumlah operasi terjadwal, kualitas rencana bedah, utilitas sumber daya, dan lain sebagainya. Rumah sakit tersebut menerapkan metode heuristik yang telah diusulkan oleh peneliti.
Pene-litian Sela-njutan	<i>Pendekatan Metode Metaheuristik untuk Menyelesaikan Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah Rumah Sakit</i>	Tujuan utama dari permasalahan ini adalah untuk meminimalkan <i>makespan</i> terkait keragaman jenis dan jumlah sumber daya, serta kendala waktu yang ada	Metode metaheuristik yang digunakan adalah <i>Firefly Algorithm</i> (FA) untuk permasalahan diskrit.	Menghasilkan jadwal pasien operasi bedah dengan waktu <i>makespan</i> yang minimum.

## 2.5. GAP Penelitian dan Posisi Penelitian

Berdasarkan tabel ringkasan jurnal yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan perbedaan dari kesembilan jurnal tersebut untuk melihat GAP penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2.2 GAP Penelitian Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah

No	Judul Paper	Metode				Penjelasan
		Model Simulasi	Hybrid search techniques	Metaheuristic	Model Integer non-Linear Programming	
1.	<i>The planning and scheduling of operating rooms: A simulation approach</i>	✓				Merancang model simulasi
2.	<i>A hybrid optimization algorithm for surgeries scheduling</i>	✓	✓			Metode hybrid teknik pencarian, kemudian hasil dibandingkan dengan simulasi <i>montecarlo</i>
3.	<i>An ant colony optimization approach for solving an operating room surgery scheduling problem</i>			✓		Metode pendekatan <i>Ant Colony Optimization (ACO)</i> untuk masalah penjadwalan operasi dengan kendala <i>multiresource</i>
4.	<i>Scheduling elective surgeries with sequence-dependent setup times to multiple operating rooms using constraint programming</i>				✓	Mengusulkan algoritma hybrid model Mixed Integer Nonlinier Programming (MINLP) dan model Kendala ( <i>Constraint Programming</i> )
5.	<i>A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem</i>			✓		Metode <i>hybrid genetic algorithm</i>

Lanjutan Tabel 2.2 GAP Penelitian Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah

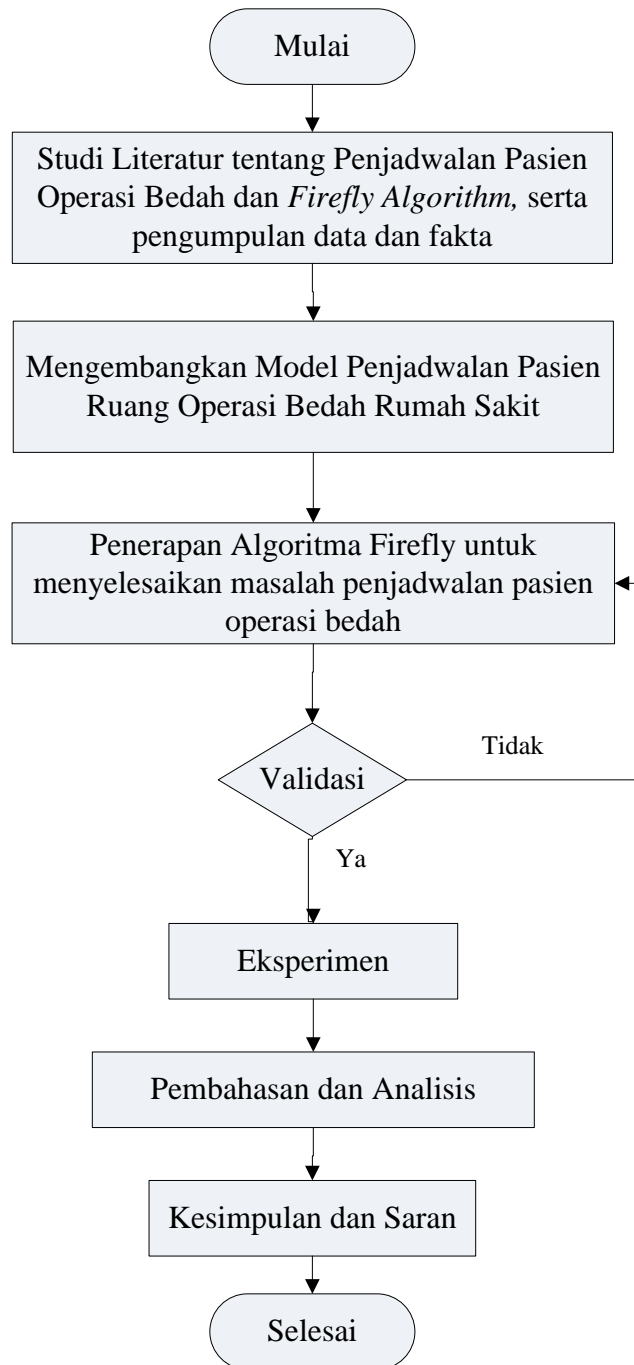
No	Judul Paper	Metode				Penjelasan
		Model Simulasi	Hybrid search techniques	Metaheuristic	Model Integer non-Linear Programming	
6.	<i>An Adaptive hybrid evolutionary firefly algorithm for shape and size optimization of truss structures with frequency constraints</i>			✓		Merancang metode <i>hybrid evolutionary firefly algorithm</i> untuk masalah optimasi bentuk dan ukuran struktur rangka dengan kendala frekuensi.
7.	<i>New heuristics for planning operating rooms</i>		✓	✓		Merancang metode heuristic baru kemudian hasil dibandingkan dengan 17 metode heuristic dari literatur sebelumnya.
Pene-litian Selanjutnya	Pendekatan Metode Metaheuristic untuk Menyelesaikan Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah Rumah Sakit			✓	✓	Merancang metode <i>firefly algorithm</i> untuk meminimumkan waktu <i>makespan</i> .



### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi penjelasan tentang langkah-langkah dalam melakukan penelitian untuk menyelesaikan masalah secara sistematis. Tahapan dalam penelitian ini dapat disajikan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.1 berikut:



**Gambar 3. 1 Diagram alir metodologi pelaksanaan penelitian**

### 3.1 Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan studi literatur yang dapat digunakan sebagai pedoman dan membantu memudahkan penulis dalam melakukan penelitian. Dalam studi literature terdapat pendekatan teoritis berupa penjelasan tentang bagian operasi bedah rumah sakit umum khususnya dalam sistem penjadwalan pasien. Selain itu, penjelasan tentang konsep metaheuristik diperlukan untuk mengetahui metode yang sesuai untuk menyelesaikan permasalahan pada sistem yang ada saat ini.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa jumlah tenaga medis terkait tim operasi bedah, serta jumlah pasien yang mendaftar pada bagian instalasi operasi bedah sentral di rumah sakit umum pada periode tertentu. Selain itu, data lain yang akan digunakan adalah data rata-rata waktu pelayanan pasien, dimana data yang diperoleh dalam satuan waktu tertentu. Hasil data yang diperoleh digunakan untuk menguji kesesuaian sistem yang telah dikembangkan sehingga dapat diimplementasikan pada sistem yang telah ada saat ini.

### 3.2 Formulasi Model

Tujuan utama dari permasalahan ini adalah untuk meminimalkan *makespan* terkait keragaman jenis dan jumlah sumber daya, serta kendala waktu yang ada. Model yang akan digunakan mengacu pada literatur Guido and Conforti (2017). Berikut merupakan definisi notasi yang akan digunakan dalam merumuskan model matematik untuk set, parameter dan variabel keputusan.

Definisi untuk block ruang operasi:

$B$  : set semua blok ruang operasi yang tersedia

$\tilde{B}$  : set blok *overlapping*

$d_b$  : durasi dari blok ruang operasi  $b \in B$

$c_{ov}$  : biaya penalty *overtime*

$d_{ov}^b$  : durasi *overtime* dari blok ruang operasi  $b \in B$

Definisi untuk tim bedah:

$L_t^s$  : pasien waiting list yang diserahkan pada tim bedah  $t \in T_s, s \in S$

$Tmax_t^s$  : maksimum waktu ruang operasi yang ditentukan untuk tim bedah  $t \in T_s, s \in S$  dalam menit.

Definisi untuk spesialis bedah:

$S$  : set spesialis bedah

$Tmin$  : waktu minimum yang tersedia pada ruang operasi

$Tmax$  : waktu maksimal yang tersedia pada ruang operasi

Untuk setiap  $s \in S$ , maka  $T_s$  adalah set tim bedah yang tersedia.

Definisi untuk jenis operasi bedah:

Misal diberikan  $p$  adalah pasien yang menjadi  $L_t^s$ ,  $s \in S, t \in T_s$ , maka  $sd_{pt}^s$  adalah durasi operasi bedah yang diharapkan.

$pr_{pt}^s$  : nilai prioritas klinis

$et_{pt}^s$  : waktu tunggu yang terlewat (dalam hari) dari tanggal rujukan

$mt_{pt}^s$  : maksimum waktu tunggu yang ditentukan (hari)

$l_{pt}^s = et_{pt}^s - mt_{pt}^s$  merupakan parameter *lateness* (dalam hari)

$\tilde{L}_t^s = \{p \in L_t^s : l_{pt}^s \geq -h\}$  merupakan set pasien yang harus dijadwalkan selama periode perencanaan.

Definisi untuk variabel keputusan biner:

$$y_{tpb}^s = \begin{cases} 1, & \text{jika tim } t \in T_s \text{ mengoperasikan pasien } p \in L_t^s \text{ pada blok ruang operasi } b \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

$$x_{tb}^s = \begin{cases} 1, & \text{jika tim } t \in T_s \text{ bekerja pada blok ruang operasi } b \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

$$o_{tb}^s = \begin{cases} 1, & \text{jika tim } t \in T_s \text{ memiliki overtime blok ruang operasi } b \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

$h$  : merupakan lama hari dalam periode perencanaan  $H$

Didefinisikan bahwa  $f(x) = [f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x)]$  merupakan set *overlapping block* selama 5 hari kerja dalam seminggu. Tujuan pertama dari penjadwalan ini adalah memaksimalkan jumlah pasien operasi bedah yang ada di rumah sakit, sehingga pada persamaan fungsi tujuan kedua menjelaskan tentang memaksimalkan pasien dengan prioritas, ketiga bertujuan untuk memaksimalkan prioritas keseluruhan pasien yang harus dijadwalkan selama periode perencanaan. Fungsi tujuan keempat meminimalkan underutilisasi dari penugasan blok ruang operasi. Pada proses minimasi didefinisikan sebagai perbedaan antara keseluruhan durasi ruang operasi yang sedang digunakan tim bedah dan durasi keseluruhan operasi yang terjadwal. Fungsi tujuan terakhir, meminimasi biaya overcos secara keseluruhan.

Formulasi matematis fungsi tujuan sebagai berikut:

$$F = \max \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s} \sum_{p \in \tilde{L}_t^s} \sum_{b \in B} y_{tpb}^s$$

$$\max \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s} \sum_{p \in \tilde{L}_t^s} \sum_{b \in B} pr_{pt}^s y_{tpb}^s$$

$$\max \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s} \sum_{p \in \tilde{L}_t^s} \sum_{b \in B} w_{pt}^s y_{tpb}^s$$

$$\min \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s} \sum_{b \in B} (d_b x_{tb}^s + d_{ov}^b o_{tb}^s) - \sum_{s \in S} \sum_{t \in T_s} \sum_{p \in L_t^s} \sum_{b \in B} s d_{pt}^s y_{tpb}^s \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{b \in B} y_{tpb}^s \leq 1, \quad \forall s \in S, t \in T_s, p \in L_t^s \quad (2)$$

$$\sum_{b \in \tilde{B}} x_{tb}^s \leq 1, \quad \forall s \in S, t \in T_s, b \in \tilde{B} \quad (3)$$

$$\sum_{t \in T_s} \sum_{b \in B} (d_b x_{tb}^s + d_{ov}^b o_{tb}^s) \geq T_{min}^s, \quad \forall s \in S \quad (4)$$

$$\sum_{t \in T_s} \sum_{b \in B} (d_b x_{tb}^s + d_{ov}^b o_{tb}^s) \leq T_{max}^s, \quad \forall s \in S \quad (5)$$

$$\sum_{b \in B} (d_b x_{tb}^s + d_{ov}^b o_{tb}^s) \leq T_{max}^s, \quad \forall s \in S, t \in T_s \quad (6)$$

$$\sum_{p \in L_t^s} s d_{pt}^s y_{tpb}^s \leq d_b x_{tb}^s + d_{ov}^b o_{tb}^s, \quad \forall s \in S, t \in T_s, b \in B \quad (7)$$

$$o_{tb}^s \leq x_{tb}^s, \quad \forall s \in S, t \in T_s, b \in B \quad (8)$$

$$y_{tpb}^s \in \{0, 1\}, \quad \forall s \in S, t \in T_s, p \in L_t^s, b \in B \quad (9)$$

$$x_{tb}^s \in \{0, 1\}, \quad \forall s \in S, t \in T_s, b \in B \quad (10)$$

$$o_{tb}^s \in \{0, 1\}, \quad \forall s \in S, t \in T_s, b \in B \quad (11)$$

Untuk konstrain (2) menjelaskan bahwa setiap pasien yang menjalani operasi mempunyai maksimal satu blok ruang operasi yang terjadwal. Untuk konstrain (3) menjelaskan bahwa setiap tim bedah diberikan maksimal satu blok ruang operasi. Untuk konstrain (4) dan (5) menjelaskan bahwa terdapat jumlah waktu minimum dan maksimum ketika ahli bedah menggunakan ruang operasi. Untuk konstrain (6) menentukan waktu operasi yang digunakan untuk setiap tim bedah tidak dapat melebihi waktu maksimal yang tersedia pada ruang operasi. Untuk konstrain (7) menunjukkan bahwa waktu operasi secara keseluruhan di setiap blok ruang operasi tidak melebihi kapasitas blok ruang operasi termasuk *overtime* yang diperbolehkan. Untuk konstrain (8) menjelaskan bahwa *overtime* pada blok ruang operasi hanya ada ketika blok ruang operasi yang telah terjadwal. Untuk konstrain (9), (10), dan (11) batasan variabel keputusan pada bilangan biner,  $\{0, 1\}$ .

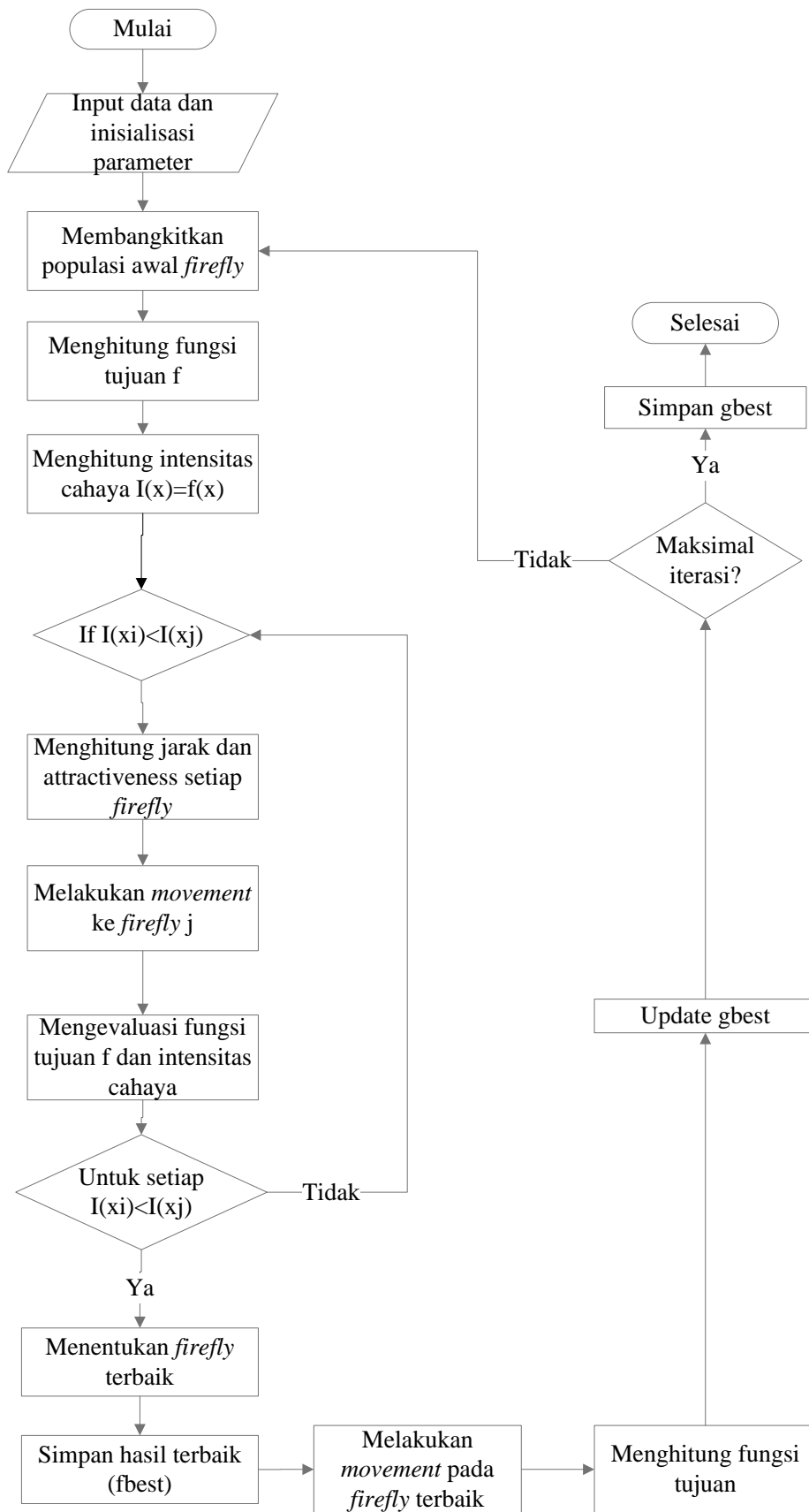
### 3.3 Algoritma *Firefly* Diskrit

Menurut Yousif *et al* (2014) dalam penelitiannya, waktu *makespan* digunakan dalam menyelesaikan pekerjaan terakhir menunjukkan daya tarik kunang-kunang. FA yang diusulkan menganggap setiap kunang-kunang sebagai vektor angka. Jumlah setiap elemen pada setiap vektor kunang-kunang mewakili setiap individu *resource* yang menjadi jumlah pekerjaan yang akan dipetakan.

Dalam penelitian ini, sejumlah pasien akan ditempatkan kedalam sejumlah ruang operasi dengan beberapa kendala keterbatasan *resource* yang ada. Langkah-langkah algoritma *firefly* untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pasien ruang operasi bedah adalah sebagai berikut:

- a) Menentukan inisialisasi parameter dalam FA yaitu  $m$  (jumlah *firefly*),  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\beta_0$ , dan jumlah iterasi.
- b) Membangkitkan populasi awal *firefly* yang terdiri dari  $n$  solusi dengan membangkitkan elemen bilangan real antara  $[0, 1]$  secara random.
- c) Mengevaluasi fungsi tujuan dan mentransformasikan dalam bentuk intensitas cahaya masing-masing *firefly* yang didefinisikan  $I(x)$ .
- d) Membandingkan intensitas cahaya antar setiap *firefly*.
- e) Menghitung jarak dan *attractiveness* setiap *firefly* dengan menggunakan persamaan *movement*, sehingga dapat diperoleh intensitas cahaya *firefly* yang lebih besar.
- f) Melakukan proses *movement* pada *firefly* terbaik, yaitu *firefly* yang memiliki intensitas cahaya yang paling besar.
- g) Menghitung fungsi tujuan dan intensitas cahaya setelah pergerakan pada *firefly* terbaik.
- h) Menggabungkan hasil yang telah diperoleh untuk menjadi populasi awal pada iterasi selanjutnya.
- i) Menentukan *global best* dengan membandingkan *firefly* terbaik pada setiap iterasi.
- j) Mengulangi langkah d) sampai g) hingga *stopping criteria* terpenuhi.

Algoritma *Firefly* untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pasien ruang operasi bedah secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Flowchart Firefly Algorithm untuk masalah penjadwalan pasien

### **3.4 Validasi Algoritma**

Melakukan validasi pada algoritma usulan yang digunakan dengan mengimplementasikan pada contoh kasus. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menemukan solusi yang sesuai dengan permasalahan yang akan diselesaikan. Jika pada proses validasi hasil algoritma usulan belum menemukan solusi yang sesuai, maka dilakukan proses pengembangan algoritma sehingga diperoleh solusi yang diharapkan.

### **3.5 Pembuatan Program dan Eksperimen**

Hasil algoritma usulan yang diperoleh selanjutnya dilakukan eksperimen dengan beberapa data untuk permasalahan penjadwalan pasien ruang operasi bedah. Proses eksperimen dilakukan pada running program komputer yang akan dibuat. Penentuan parameter dan variabel input dilakukan sebelum pembuatan program, sehingga didapatkan kombinasi variabel dan parameter terbaik untuk proses eksperimen pada data yang ada.

### **3.6 Pembahasan dan Analisis**

Melakukan pembahasan dari hasil penelitian dan eksperimen dengan algoritma usulan pada permasalahan penjadwalan pasien ruang operasi bedah serta analisis dan interpretasi dari hasil eksperimen yang dilakukan. Hasil yang diperoleh selanjutnya akan dilakukan perbandingan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan algoritma yang berbeda, sehingga dapat diketahui kelebihan dan kekurangan dari algoritma usulan.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



## **BAB IV**

### **DESKRIPSI MODEL**

Pada penelitian ini permasalahan dalam penjadwalan pasien ruang operasi bedah di Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan (RSML) mengembangkan model yang digunakan oleh Guido and Conforti (2017). Dalam fungsi tujuan utama meminimumkan total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh penugasan pasien operasi bedah yang terjadwal. Output yang dihasilkan dalam penelitian ini meliputi jadwal pasien operasi bedah untuk setiap proporsi penggunaan ruang operasi untuk semua divisi bedah.

#### **4.1 Hasil Pengumpulan Data**

Penelitian ini menggunakan data yang diambil dari Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. data secara lengkap terdapat pada Lampiran 1.

Tabel 4. 1 Hasil pengumpulan data

Faktor	Tingkat
Jumlah tim bedah	24 tim
Jumlah ruang operasi	4 ruang
Jumlah divisi bedah	6 divisi
Jumlah total pasien dalam satu bulan Mei 2018	664 pasien

Dari data yang diperoleh pada Lampiran 1 diketahui bahwa masing-masing pasien telah ditentukan penempatan dari keempat ruang operasi. Untuk setiap pasien memiliki durasi operasi dengan jenis tindakan dan dokter spesialis yang tersedia.

#### **4.2 Sistem Penjadwalan Pasien Ruang Operasi Bedah**

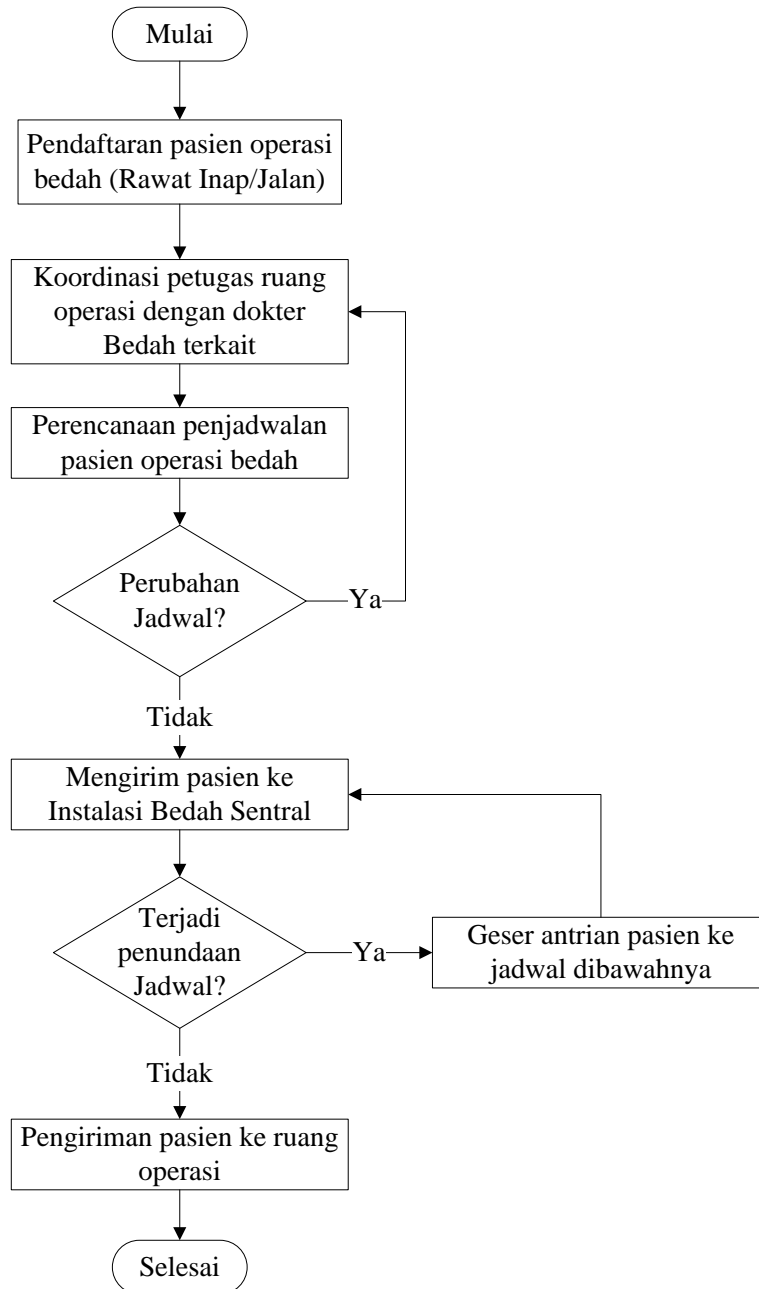
Sistem penjadwalan pasien untuk operasi menurut Standar Prosedur Operasional di RSML merupakan kegiatan tentang cara menjadwalkan operasi baik elektif maupun cyto di Instalasi Bedah Sentral Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan. Tujuan dari penjadwalan adalah sebagai acuan penerapan langkah untuk mengatur jam operasi yang sesuai dengan kapasitas kamar operasi dan pasien yang akan dioperasi, sehingga operasi dapat berjalan urut dan rapi serta membantu kelancaran tindakan pembedahan. Menurut SK Direktur RSML (2015)

tentang Kebijakan Manajemen Operasional RSML, pasien pelayanan bedah telah diidentifikasi melalui skrining dan asesmen termasuk kebutuhan khusus lainnya.

Langkah-langkah penjadwalan pasien ruang operasi di RSML sebagai berikut:

- a. Pendaftaran pasien dari unit Rawat Inap atau Rawat Jalan yang memerlukan tindakan pembedahan melalui komputer online kamar operasi yang mencantumkan nama, umur, diagnosa, dan nama dokter yang akan melakukan tindakan pembedahan serta durasi jam pembedahan dengan mengisi blanko permintaan operasi, dan dijadwalkan maksimal jam 19.00, kecuali yang bersifat cito/emergensi.
- b. Mengkoordinasikan (Karu/PJ Shif kamar operasi) dengan dokter Bedah terkait dan krew kamar operasi apabila sudah ada kesepakatan tertulis mengenai jadwal kegiatan kamar operasi tentang nama pasien, diagnosa, jenis operasi, dan nama Operator serta rencana jam yang sudah ditentukan.
- c. Petugas Kamar Operasi menghubungi ruang rawat inap untuk jam yang telah disepakati.
- d. Apabila terdapat perubahan jam yang telah direncanakan oleh unit Rawat Inap atau Jalan, maka segera melaporkan ke Instalasi Bedah Sentral dan petugas segera menghubungi dokter anasthesi dan Operator yang bersangkutan.
- e. Mengirim pasien ke Instalasi Bedah Sentral maksimal 15 menit sebelum jam penjadwalan.
- f. Apabila terjadi penundaan di Kamar Operasi dari jadwal operasi yang telah ditentukan, maka Admin Kamar Operasi akan konfirmasi kepada unit terkait bahwa operasi akan digeser ke jadwal di bawahnya dengan memberitahu terlebih dahulu operator dan Anastesi, serta unit terkait.
- g. Operator, Anastesi, atau Karu/PJ shif ruang bersangkutan memberi tahu pasien atau keluarganya.
- h. Untuk kasus operasi cito, setelah Instalasi Bedah Sentral menerima laporan dari IGD atau ICU serta unit rawat inap, operasi dapat dilaksanakan pada saat itu juga dengan menggeser (mengundur) jadwal operasi elektif yang sudah ada dan keluarga pasien diinformasikan tentang rencana operasi tersebut

Prosedur alur penjadwalan pasien operasi bedah ditunjukkan pada Gambar 4.1.



**Gambar 4. 1 Flowchart alur penjadwalan pasien ruang operasi bedah di RSML**

Pada tahap persiapan ruang operasi meliputi persiapan ruang dan fasilitas yang ada di dalam ruang operasi. ruang operasi dipastikan dapat digunakan untuk tindakan operasi sesuai dengan standar kualitas yang telah ditetapkan di RSML. Proses persiapan ruang operasi meliputi pemeriksaan ruang operasi sebelum pembedahan dan meyakinkan ruang operasi sudah siap untuk melakukan prosedur selanjutnya.

Pada tahap pengiriman pasien ke kamar operasi terdapat prosedur yang harus dilakukan sesuai dengan Standar Prosedur Operasional di RSML. Prosedur pertama memastikan persiapan pasien sudah dilengkapi serta mengkonfirmasi ulang tentang jadwal operasi. Proses selanjutnya

sesuai dengan SOP komunikasi interpersonal serta prosedur teknis mengenai persiapan pasien sebelum dilakukan tindakan pembedahan.

### 4.3 Pengembangan Model dan Algoritma

Pada pengembangan model penjadwalan pasien operasi bedah di RSML terdapat asumsi-asumsi yang diperlukan meliputi:

1. Periode penjadwalan dan pelaksanaan pasien operasi bedah elektif dan cito adalah satu minggu (hari Senin sampai Minggu) dengan waktu 24 jam setiap harinya.
2. Setiap ruang operasi didefinisikan sebagai jumlah blok ruang operasi selama periode tersebut. Pola pelaksanaan operasi pada minggu berikutnya sama dengan pola pada minggu sebelumnya
3. Ruang operasi digunakan untuk semua divisi bedah untuk operasi.
4. Proporsi waktu operasi yang disediakan oleh pihak rumah sakit sama dari jadwal induk operasi sama dengan proporsi waktu operasi pada jadwal yang telah dialokasi ulang.
5. Semua peralatan di ruang operasi selalu tersedia dan dapat digunakan untuk semua spesialisasi divisi bedah.
6. Penugasan dokter bedah sudah diketahui untuk setiap pasien.
7. Semua *resource* atau tim bedah yang tersedia telah berpengalaman dalam operasi bedah.
8. Durasi tindakan operasi bedah sudah termasuk durasi persiapan pasien maupun persiapan ruang operasi sebelum tindakan pembedahan dimulai.

Fungsi objektif pada model menjelaskan tentang minimasi *makespan* dengan mempertimbangkan prioritas klinis serta bobot masing-masing pasien operasi. Batasan kendala yang diambil meliputi:

- a. Untuk setiap pasien yang menjalani operasi mempunyai maksimal satu blok ruang operasi yang terjadwal.
- b. Penugasan setiap tim bedah  $s$  mempunyai maksimal satu blok ruang operasi. Hal ini untuk menghindari penugasan yang tidak konsisten.
- c. Terdapat jumlah waktu minimum dan maksimum ketika spesialis bedah menggunakan ruang operasi.
- d. Waktu operasi yang digunakan untuk setiap tim bedah tidak dapat melebihi waktu maksimal yang tersedia pada ruang operasi.
- e. Waktu operasi secara keseluruhan di setiap blok ruang operasi tidak melebihi kapasitas blok ruang operasi .

f. Tindakan operasi seorang pasien tidak akan dimulai sebelum proses operasi sebelumnya selesai pada ruang operasi yang sama oleh dokter bedah yang sama. Pada satu blok operasi dokter bedah tidak dapat mengoperasi pasien dalam waktu yang sama.

Pengembangan model ditunjukkan pada Tabel. 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Perbedaan Model Penjadwalan pasien operasi bedah dengan penelitian sebelumnya

Model Sebelumnya	Pengembangan Model
1) Meminimalkan total durasi tindakan operasi di setiap divisi bedah.[1]	1) Meminimalkan total durasi tindakan operasi di setiap ruang operasi yang tersedia pada setiap periode.
2) Tim Bedah (Dokter Spesialis Bedah) untuk setiap ruang operasi selalu tersedia.[1]	2) Tim Bedah (Dokter Spesialis Bedah) telah ditentukan pada jadwal, sehingga pasien hanya akan dioperasi oleh tim bedah tertentu.
3) Ada biaya <i>overtime</i> , karena proses tindakan operasi menggunakan periode waktu untuk 5 hari dalam seminggu dengan 8 jam setiap harinya.[1]	3) Tidak ada biaya <i>overtime</i> , karena proses tindakan operasi menggunakan periode 7 hari dalam seminggu dengan 24 jam setiap harinya.
4) Meminimalkan total durasi tindakan operasi pasien di setiap periode.[2]	4) Meminimalkan total durasi tindakan operasi pasien di setiap ruang operasi untuk setiap periode, dengan mempertimbangkan nilai prioritas klinis dan bobot jenis operasi.

[1] Guido and Conforti (2017)

[2] Molina-pariente *et al.* (2015)

Pengembangan algoritma ditunjukkan pada Tabel. 4.3 berikut.

Tabel 4. 3 Perbedaan Algoritma *Firefly* dengan penelitian sebelumnya

Algoritma Sebelumnya	Pengembangan Algoritma
Algoritma <i>firefly</i> mempunyai waktu komputasi yang lebih panjang. Hal ini ditunjukkan ketika evaluasi intensitas cahaya ( $I$ ), proses <i>movement</i> dilakukan untuk setiap <i>firefly</i> yang bergerak maupun yang tidak bergerak.[3]	Algoritma mempunyai waktu komputasi yang lebih pendek. Hal ini ditunjukkan ketika evaluasi intensitas cahaya ( $I$ ) dilakukan sebelum proses <i>movement</i> , sehingga proses <i>movement</i> dilakukan hanya pada <i>firefly</i> yang bergerak.

[3] Yousif, *et al.* (2014)

#### 4.4 Model Matematis

Dalam model penjadwalan pasien operasi bedah ini digunakan beberapa himpunan meliputi:

$s \in S$  : set tim bedah (dokter spesialis bedah) yang tersedia dalam satu bulan

$i \in I$  : set daftar pasien yang dijadwalkan pada tim bedah  $s \in S$

$j \in J$  : set ruang operasi yang tersedia

$h \in H$  : periode perencanaan

Parameter yang digunakan dalam model penjadwalan pasien operasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$d_i$  : durasi operasi pasien  $i$  yang terjadwal pada ruang operasi  $j \in J$  (dalam menit)

$w$  : bobot jenis operasi setiap pasien yang menjalani operasi,

$$\text{dengan } w = \begin{cases} 1, & \text{untuk jenis operasi Kecil} \\ 2, & \text{untuk jenis operasi Sedang} \\ 3, & \text{untuk jenis operasi Besar} \end{cases}$$

$p$  : nilai prioritas klinis (pasien elektif dan cito)

$$\text{dengan } p = \begin{cases} 1, & \text{untuk kategori operasi elektif} \\ 2, & \text{untuk kategori operasi cito} \end{cases}$$

$T_{min}$  : waktu minimum yang tersedia pada ruang operasi

$T_{max}$  : waktu maksimal yang tersedia pada ruang operasi

Variabel yang digunakan dalam model penjadwalan pasien operasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$X_{ijh} = \begin{cases} 1, & \text{jika pasien } i \text{ yang dioperasi pada ruang operasi } j \text{ oleh tim bedah } s \text{ pada hari } h \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

$$Y_{sjh} = \begin{cases} 1, & \text{jika tim bedah } s \text{ yang mengoperasi pada ruang operasi } j \text{ pada hari } h \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

Tujuan utama dari penjadwalan ini adalah memaksimalkan jumlah pasien operasi bedah yang ada di rumah sakit, sehingga pada persamaan fungsi tujuan, pertama menjelaskan tentang memaksimalkan bobot dari jenis operasi pasien terjadwal. Fungsi tujuan kedua menjelaskan tentang memaksimalkan prioritas semua pasien yang telah terjadwal. Fungsi tujuan ketiga meminimalkan *makespan* yaitu keseluruhan durasi pasien yang menjalani operasi oleh spesialis bedah  $s$  di ruang operasi  $j$ . Formulasi matematis fungsi tujuan sebagai berikut:

$$f_1 = \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} w_i X_{ijh}$$

$$f_2 = \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} p_i X_{ijh}$$

$$f_3 = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} \sum_{s \in S} d_{ij} X_{ijsh} \quad (1)$$

Untuk mengevaluasi ketiga fungsi  $f_1$ ,  $f_2$ , dan  $f_3$  menggunakan persamaan berikut.

$$F_1 = \max \left\{ \frac{f_1 \cdot f_2}{f_3} \right\} \text{ dan } F_2 = \max \{f_1 + f_2 - f_3\}$$

*Subject to:*

1. Konstrain (2) menjelaskan bahwa setiap pasien yang menjalani operasi mempunyai maksimal satu blok ruang operasi yang terjadwal.

$$\sum_{j \in J} X_{ijhs} \leq 1, \quad \forall i \in I, s \in S, h \in H \quad (2)$$

2. Konstrain (3) menunjukkan bahwa penugasan setiap tim bedah  $s$  mempunyai maksimal satu blok ruang operasi. Hal ini untuk menghindari penugasan yang tidak konsisten.

$$\sum_{j \in J} Y_{sjh} \leq 1, \quad \forall s \in S, h \in H \quad (3)$$

3. Konstrain (4) dan (5) menjelaskan bahwa terdapat jumlah waktu minimum dan maksimum ketika spesialis bedah menggunakan ruang operasi.

$$\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} d_j Y_{sjh} \geq T_{min}^s, \quad \forall s \in S, h \in H \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} (d_j Y_{sjh}) \leq T_{max}^s, \quad \forall h \in H \quad (5)$$

4. Konstrain (6) menentukan waktu operasi yang digunakan untuk setiap tim bedah tidak dapat melebihi waktu maksimal yang tersedia pada ruang operasi.

$$\sum_{s \in S} (d_j Y_{sjh}) \leq T_{max}_t^s, \quad \forall i \in I, j \in J, h \in H \quad (6)$$

5. Konstrain (7) menunjukkan bahwa waktu operasi secara keseluruhan di setiap blok ruang operasi tidak melebihi kapasitas blok ruang operasi .

$$\sum_{i \in I} d_{ij} Y_{sjh} \leq d_i X_{ijhs}, \quad \forall s \in S, j \in J, h \in H \quad (7)$$

6. Konstrain (8) menyatakan bahwa seorang pasien  $i$  tidak akan dimulai operasi pada ruang operasi  $j$  oleh spesialis  $s$  sampai selesai proses operasi sebelumnya (pasien  $(i - 1)$ ) yang dioperasi oleh spesialis  $s$  telah diselesaikan pada ruang operasi  $j$  tersebut. Pada satu blok operasi spesialis  $s$  tidak dapat mengoperasi pasien  $i$  dalam waktu yang sama.

$$\sum_{i \in I} \sum_{s \in S} d_{ijh} X_{sjh} \geq \sum_{i \in I} \sum_{s \in S} d_{(i-1)jh} X_{sjh}, \quad \forall j \in J \quad \forall s \in S, Y_{is} \neq Y_{(i-1)s} \quad (8)$$

7. Konstrain (9), dan (10) batasan variabel keputusan pada bilangan biner,  $\{0, 1\}$ .

$$X_{ijh} \in \{0, 1\}, \quad (9)$$

$$Y_{sjh} \in \{0, 1\}, \quad (10)$$



## BAB V

### EKSPERIMEN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan membahas tentang penyelesaian penjadwalan pasien operasi bedah dengan *makespan* yang minimum menggunakan *firefly algorithm*.

#### 5.1 Firefly Algorithm (FA)

Algoritma *Firefly* merupakan suatu algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari alam, yaitu pada perilaku berkedip kunang-kunang untuk mencari makanan dan untuk berkomunikasi antar kunang-kunang (Yang, 2009). FA merupakan teknik berbasis populasi dengan pencarian global yang efektif dan efisien untuk masalah kombinatorial (Yang, 2008). Proses penyelesaian masalah penjadwalan pasien operasi bedah menggunakan FA diawali dengan inisialisasi parameter. Kemudian dilanjutkan dengan menjalankan prosedur yang sesuai dengan proses FA. Prosedur FA secara ringkas dapat dilihat pada Gambar 5.1.

```
Prosedur Firefly Algorithm
begin
  inisialisasi parameter();
  input data();
  membangkitkan populasi awal  $x_i (i = 1, 2, 3, \dots, m)$ ;
  menghitung fungsi tujuan  $f(x)$ ;
  menghitung intensitas cahaya  $I_i$  pada  $x_i$  berdasarkan  $f(x)$ ;
  while ( $t < \text{maks\_iterasi}$ )
    for  $i = 1$  to  $m$  untuk setiap firefly
      for  $j = 1$  to  $m$  untuk setiap firefly
        if ( $I_i < I_j$ ) firefly  $i$  bergerak menuju  $j$ ;
        menghitung jarak  $r$ ;
        menghitung attractiveness  $\beta$ ;
        movement firefly [ $i$ ];
        menghitung solusi baru dan mengupdate intensitas cahaya;
      end
    end for  $j$ 
    end for  $i$ 
    menentukan  $x_i$  dengan intensitas paling tinggi;
    melakukan movement pada firefly terbaik dengan  $\beta = 0$ ;
  end while
end
```

Gambar 5. 1 Prosedur *Firefly Algorithm*

#### Langkah 1: Inisialisasi Parameter

Pada prosedur ini melakukan penentuan informasi awal yang dibutuhkan dalam *Firefly Algorithm*. Data yang dibutuhkan adalah *input* waktu durasi operasi bedah pasien yang dioperasi

dokter spesialis pada setiap ruang operasi yang disajikan dalam bentuk tabel. Parameter yang diperlukan dalam proses *Firefly Algorithm* adalah sebagai berikut: jumlah populasi awal *firefly* yang disimbolkan dengan  $m$ , banyak *pasien* yang disimbolkan dengan  $n$ , *maks\_iterasi* yang merupakan iteraksi maksimum, dan koefisien parameter random yang umumnya menggunakan nilai  $\alpha = 0.1$ , serta koefisien penyerapan cahaya menggunakan nilai  $\gamma = 1$ .

Prosedurnya inialisasi paramater ditunjukkan pada Gambar 5.2.

```

Prosedur inialisasi parameter
begin
    jumlah populasi awal firefly ( $m$ );
    jumlah iterasi (maks_iterasi);
    koefisien parameter random ( $\alpha$ );
    koefisien penyerapan cahaya ( $\gamma$ );
end

```

Gambar 5. 2 Prosedur inialisasi parameter

### Langkah 2: Pembangkitan Populasi Awal

Pada proses ini dilakukan pembangkitan populasi awal *firefly* secara acak sebanyak  $m$  *firefly* dengan setiap *firefly* terdiri dari  $n$  elemen yang berupa bilangan real antara  $[0,1]$ . Selanjutnya untuk setiap elemen dari *firefly* ditransformasikan ke bilangan bulat. Bilangan bulat ini merepresentasikan daftar tunggu pasien yang ada. Hasil transformasi disimpan pada *array* yang berbeda.

Dalam membangkitkan populasi awal, dibuat matriks dengan ukuran  $m \times n$  dengan baris ke- $i$  dalam matriks menyatakan *firefly* ke- $i$ , sedangkan kolom ke- $j$  menyatakan daftar tunggu pasien operasi bedah sesuai dengan urutannya. Proses membangkitkan populasi awal *firefly* ditunjukkan pada Gambar 5.3.

```

Prosedur meembangkitkan populasi awal
begin
    for  $i = 1:m$ 
        for  $j = 1:n$ 
            populasi firefly = random( $m, n$ );
        end
    end
    [nilai, index] = sort(populasi firefly);
end

```

Gambar 5. 3 Prosedur pembangkitan populasi awal

### Langkah 3: Evaluasi Fungsi Tujuan

Dalam permasalahan ini mempunyai fungsi tujuan untuk meminimalkan *makespan*. Prosedur perhitungan nilai *makespan* ditunjukkan pada Gambar 5.3.

```

Prosedur mengevaluasi fungsi tujuan
begin
  m = jumlah_resource;
  n = jumlah_pasien;
  for i = 0 sampai firefly_2(i, j)
    for j = 0 sampai n - 1
      if j = 0
        for k = 0 sampai m - 1
          if k = 0
            maksk = waktuk(hasil Iij - 1);
          end
          else
            maksk = maksk-1 + waktuk(hasil Iij - 1);
          end
        end
      else
        for k = 0 sampai m - 1;
          if k = 0
            maksk = maksk-1 + waktuk(hasil Iij - 1);
          end
          else if (maksk-1 ≥ maksk)
            maksk = maksk-1 + waktuk(hasil Iij - 1);
          end
          else
            maksk = maksk + waktuk(hasil Iij - 1);
          end
        end
      end
    end
  end
end
end

```

Gambar 5. 4 Prosedur perhitungan nilai *makespan*

#### Langkah 4: Menghitung Intensitas Cahaya

Untuk menghitung intensitas cahaya setiap *firefly* bergantung pada nilai dari fungsi tujuan. Dalam kasus memaksimalkan, intensitas cahaya dapat dikatakan sama atau sebanding dengan nilai dari fungsi tujuan. Sedangkan dalam kasus meminimalkan, intensitas cahaya berbanding terbalik dengan fungsi tujuan. Setelah menghitung intensitas cahaya untuk setiap *firefly*, selanjutnya membandingkan intensitas cahaya tiap *firefly* dengan intensitas cahaya *firefly* lainnya. Prosedur dalam menghitung intensitas cahaya ditunjukkan pada Gambar 5.5.

```

Prosedur menghitung intensitas cahaya
begin
  for i = 1 to m
    intensitascahaya(i) = fungsitujuan(i);
  end
end
end

```

Gambar 5. 5 Prosedur menghitung intensitas cahaya untuk setiap *firefly*

### Langkah 5: Membandingkan Intensitas Cahaya Setiap *Firefly*

Pada proses membandingkan intensitas cahaya untuk setiap *firefly*, untuk *firefly* yang memiliki intensitas cahaya paling besar menunjukkan bahwa *firefly* tersebut memiliki solusi yang terbaik. Sehingga *firefly* dengan intensitas cahaya rendah akan bergerak menuju *firefly* dengan intensitas cahaya lebih besar. Prosedur dalam membandingkan intensitas cahaya untuk setiap *firefly* ditunjukkan pada Gambar 5.6.

```
Prosedur membandingkan intensitas cahaya  
  
begin  
for  $i = 1$  to  $m$   
  for  $j = 1$  to  $n$   
    if  $\text{intensitascahaya}(i) \leq \text{fungsitujuan}(i)$ ;  
      firefly  $i$  bergerak menuju  $j$ ;  
    end  
  end  
end  
end
```

Gambar 5. 6 Prosedur membandingkan intensitas cahaya tiap *firefly*

Jika terdapat *firefly*  $i$  yang bergerak menuju *firefly*  $j$ , maka akan terjadi perubahan pada posisi dari *firefly*  $i$ , sehingga terjadi perubahan solusi baru yang diperoleh dari *firefly*  $i$ . Selanjutnya menghitung *distance* (jarak) antara *firefly*  $i$  dengan *firefly*  $j$  menggunakan persamaan  $r_{ij}$ , untuk mengetahui posisi baru dari *firefly*  $i$ . Persamaan  $r_{ij}$  yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$r_{ij} = \left\| x_i - x_j \right\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_i^k - x_j^k)^2}$$

Sedangkan *attractiveness* ( $\beta$ ) *firefly*  $i$  menggunakan persamaan berikut:

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m}$$

dimana  $m \geq 1$ , dengan

$r$  : jarak antar dua *firefly*,

$\beta_0$  : *attractiveness* ketika  $r = 0$ , dan

$\gamma$  : koefisien penyerapan cahaya

Prosedur dalam menghitung jarak dan *attractiveness* ditunjukkan pada Gambar 5.7.

**Prosedur menghitung jarak dan *attractiveness***

```
begin
jumlah = 0
for k = 1 to n
    a = firefly_1[i,j];
    b = firefly_2[i,j];
    c = (a - b)^2;
    jumlah = jumlah + c;
end
jarak = jumlah;
 $\beta = \beta_0 * \exp(-\gamma * jarak)$ ;
end
```

Gambar 5. 7 Prosedur menghitung jarak dan *attractiveness*

Setelah menghitung jarak dan *attractiveness* firefly *i* ke *j*, maka terdapat perubahan posisi firefly *i* karena bergerak menuju firefly *j*. Untuk menghitung pergerakan firefly menggunakan persamaan *movement* seperti berikut:

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha (\text{rand} - \frac{1}{2})$$

Setelah menghitung *movement*, maka solusi baru yang diperoleh dari hasil evaluasi fungsi tujuan yang baru. Prosedur untuk menghitung persamaan *movement* ditunjukkan pada Gambar 5.8.

**Prosedur menghitung *movement***

```
begin
for i = 1 to m
    random = rand(0,1);
    for k = 1 to n
        w = firefly_1[i][k] +  $\beta * (firefly_{2[i,k]} - firefly_{1[i,k]}) + \alpha * (random - 0.5)$ 
        firefly_1[i,k] = w;
    end
end
end
```

Gambar 5. 8 Prosedur menghitung persamaan *movement*

**Langkah 6: Menentukan *Global Best* ( $g^*$ )**

Setelah diperoleh firefly dengan intensitas cahaya tertinggi sebagai firefly terbaik (*local best*), selanjutnya akan dibandingkan dengan *global best* ( $g^*$ ) yang telah diperoleh sebelumnya. Apabila firefly terbaik saat itu mempunyai intensitas cahayanya lebih besar daripada  $g^*$ , maka firefly tersebut menjadi  $g^*$ . Hal ini bertujuan agar solusi terbaik yang pernah didapatkan tidak hilang. Prosedur dalam menentukan *global best* ditunjukkan pada Gambar 5.9.

**Prosedur menentukan *global best***

```
begin
best = intensitascahaya;
for i = 1:n
    if best < intensitascahaya(i)
        best = intensitascahaya(i);
    end
end
g* = best
if (iterasi > 1)
    if g* < best
        g* = best;
    end
end
end
```

Gambar 5. 9 Prosedur menentukan *Global Best***Langkah 7: Melakukan *Movement* Pada *Firefly* Terbaik**

Setelah menentukan *global best* ( $g^*$ ), langkah berikutnya adalah melakukan *movement* pada *firefly* terbaik. Pada *firefly* terbaik untuk setiap iterasi akan bergerak secara acak sesuai dengan persamaan *movement* dengan memasukkan nilai  $\beta = 0$ , sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$x_i = x_i + \alpha * (random - \frac{1}{2})$$

Prosedur untuk melakukan *movement* pada *firefly* terbaik dapat ditunjukkan pada Gambar 5.10.

**Prosedur melakukan *movement* pada *firefly* terbaik**

```
begin
random = rand();
for k = 1:n
    w = firefly_1[best,k] + \alpha * (random - 0.5);
    firefly_1[best,k] = w;
end
end
```

Gambar 5. 10 Prosedur melakukan *movement* pada *firefly* terbaik**5.2 Validasi Model dan Algoritma**

Penyelesaian secara manual dengan contoh kasus penjadwalan pasien operasi bedah rumah sakit menggunakan data 12 pasien dan 4 ruang operasi. Parameter dari FA yang akan digunakan dalam menyelesaikan contoh kasus penjadwalan pasien operasi bedah rumah sakit sebagai berikut:

Banyaknya *firefly* ( $m$ ) = 3

Koefisien parameter random ( $\alpha$ ) = 0.1

Koefisien penyerapan cahaya ( $\gamma$ ) = 1

Banyak pasien ( $n$ ) = 12

Banyaknya iterasi ( $maks\_iter$ ) = 1

### Langkah 1: Membangkitkan Populasi Awal

Populasi awal yang dibangkitkan adalah sebanyak  $m$  yaitu 3 *firefly*. Untuk setiap *firefly*( $x_i$ ) terdiri dari  $n$  elemen yaitu sebanyak jumlah pasien terjadwal, berisi bilangan yang dibangkitkan secara acak antara [0,1]. Nilai pembangkitan populasi terkecil menunjukkan urutan pasien yang terlebih dahulu dioperasi, sehingga angka terbesar menunjukkan urutan terakhir pasien yang dioperasi. Hasil pembangkitan populasi awal *firefly* ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Populasi awal *Firefly*

Pasien\ <i>Firefly</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_1$	0.01 71	0.17 68	0.96 75	0.19 46	0.08 46	0.74 49	0.91 39	0.73 03	0.45 41	0.80 73	0.81 26	0.58 25
$x_2$	0.71 58	0.09 95	0.79 69	0.63 69	0.42 00	0.67 99	0.35 28	0.48 37	0.40 10	0.34 50	0.14 14	0.21 42
$x_3$	0.63 97	0.49 99	0.86 90	0.61 81	0.54 56	0.01 39	0.41 23	0.77 97	0.94 07	0.91 84	0.06 87	0.20 31

Dengan  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $x_3$  merupakan *firefly* dalam populasi. Langkah selanjutnya adalah evaluasi nilai fungsi tujuan untuk setiap *firefly*.

### Langkah 2: Evaluasi Fungsi Tujuan

Sebelum menghitung nilai fungsi tujuan, elemen dari masing-masing *firefly* ditransformasikan ke dalam bilangan bulat dengan mengurutkan bilangan acak pada setiap *firefly*. Hasil transformasi ditunjukkan dalam tabel 5.2

Tabel 5. 2 Hasil transformasi kedalam bentuk urutan

<i>Firefly</i>	Urutan Pasien											
$x_1$	1	3	12	4	2	8	11	7	5	9	10	6
$x_2$	11	1	12	9	7	10	5	6	8	4	2	3
$x_3$	8	5	10	7	6	1	4	9	12	11	2	3

Selanjutnya mengevaluasi masing-masing *firefly* dengan menghitung nilai fungsi tujuan masing-masing *firefly*. Dari tabel 5.2 diketahui bahwa *firefly* ke 1 mempunyai urutan pasien yang akan dioperasi yaitu pasien 1, pasien 3, pasien 6, pasien 4, pasien 2, dan pasien 5. Pada *firefly* ke 2 urutan pasien adalah pasien 5, pasien 1, pasien 6, pasien 3, pasien 2, dan pasien 4. Sedangkan

*firefly* ke 3 yang akan dioperasi adalah pasien 5, pasien 2, pasien 6, pasien 4, pasien 3, dan pasien 1. Hasil perhitungan *makespan* setiap *firefly* ditunjukkan pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Nilai fungsi tujuan tiap *firefly*

<i>Firefly</i>	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f$
$x_1$	30	15	420	1.0714
$x_2$	30	15	260	1.7307
$x_3$	30	15	275	1.6363

Setelah menghitung nilai fungsi tujuan setiap *firefly*, selanjutnya menghitung intensitas cahaya setiap *firefly* berdasarkan nilai fungsi tujuan. Jika nilai fungsi tujuan yang dihasilkan suatu *firefly* semakin kecil, maka semakin besar intensitas cahaya *firefly* tersebut.

### Langkah 3: Menghitung Intensitas Cahaya Setiap *Firefly*

Untuk memaksimalkan fungsi tujuan maka menghitung intensitas cahaya setiap *firefly* menggunakan rumus:  $I_i = f(x_i)$ . Hasil perhitungan intensitas cahaya untuk setiap *firefly* ditunjukkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Intensitas cahaya setiap *firefly*

<i>Firefly</i>	$I(x_i)$
$x_1$	1.0714
$x_2$	1.7307
$x_3$	1.6363

Setelah menghitung intensitas cahaya setiap *firefly*, selanjutnya membandingkan intensitas cahaya untuk masing-masing *firefly*.

### Langkah 4: Membandingkan Intensitas Cahaya Setiap *Firefly*

Dari hasil intensitas cahaya yang telah diperoleh untuk setiap *firefly* selanjutnya dibandingkan antar *firefly*. Jika terdapat *firefly* yang mempunyai intensitas cahaya lebih besar maka *firefly* yang mempunyai intensitas cahaya yang lebih kecil akan bergerak menuju *firefly* yang mempunyai intensitas cahaya yang lebih besar menggunakan persamaan movement sehingga diperoleh solusi baru dari setiap pergerakan *firefly*.

Dari Tabel 5.4 diketahui bahwa  $I(x_1) < I(x_2)$  sehingga *firefly* 1 bergerak menuju *firefly* 2. Untuk  $I(x_1) < I(x_3)$ , *firefly* 1 bergerak menuju *firefly* 3. Sedangkan untuk  $I(x_2) > I(x_3)$ , *firefly* 2 tidak bergerak menuju *firefly* 3.

Langkah untuk menghitung jarak antara *firefly* 1 dan 2 menggunakan rumus berikut:

$$r_{ij} = ||x_i - x_j|| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_i^k - x_j^k)^2}$$



diperoleh hasil  $r_{2,1} = 1.41913$ . Selanjutnya menghitung *attractiveness* menggunakan rumus:  $\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m}$ , dengan nilai  $\beta_0 = 1, \gamma = 1, r = 1.41913$  diperoleh nilai  $\beta = e^{1.41913^2} = 7.49285$ .

Langkah selanjutnya dilakukan proses *movement* terhadap *firefly*  $i$  menggunakan rumus:  $x_i = x_i + \beta(x_j - x_i) + \alpha(\text{rand} - \frac{1}{2})$ , sehingga diperoleh hasil *firefly* 1 baru sebagai berikut:

Tabel 5. 5 Hasil proses *movement* *firefly* 1

<i>firefly</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_1$	5.25 76	- 0.35 3	- 0.33 8	3.497 1	2.639 4	0.270 7	3.312 5	1.118 6	0.095 3	2.644 3	4.244 3	2.157 0

Hasil proses membandingkan intensitas cahaya setiap *firefly* ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 6 Perbandingan intensitas cahaya

Hasil perbandingan intensitas cahaya setiap <i>firefly</i>		
$I(x_i)$	$I(x_j)$	Hasil
$x_1$	$x_2$	bergerak
$x_1$	$x_3$	bergerak
$x_2$	$x_1$	tidak bergerak
$x_2$	$x_3$	tidak bergerak
$x_3$	$x_1$	tidak bergerak
$x_3$	$x_2$	bergerak

Tabel 5. 7 Hasil *firefly* baru

Hasil <i>firefly</i> baru												
$x_1^{baru}$	5.257 6	- 0.353 1	- 0.338 8	3.497 1	2.639 4	0.270 7	- 3.312 5	1.118 6	0.095 3	- 2.644 3	- 4.244 3	- 2.157
$x_1^{baru}$	8.603 4	4.623 8	- 0.403 6	6.071 1	6.447 0	- 9.411 8	- 6.049 2	1.382 8	7.234 7	2.396 2	- 9.500 4	- 4.704 1
$x_3^{baru}$	0.948 2	- 1.029 7	0.562 8	0.711 9	0.029 1	2.566 1	0.212 6	- 0.384 8	- 1.111 8	- 1.270 5	0.365 2	0.233 4

Tabel 5. 8 Hasil transformasi kedalam urutan pasien

<i>Firefly</i> baru	Urutan pasien												$f_1$	$f_3$	$f_3$	$f$
$x_1^{baru}$	11	7	10	12	8	2	3	9	6	5	4	1	30	15	305	1.4754
$x_1^{baru}$	11	6	7	12	3	8	10	2	4	5	9	1	30	15	400	1.125
$x_3^{baru}$	10	9	2	8	5	7	12	11	3	4	1	6	30	15	330	1.3636

*Firefly* bergerak secara terus menerus menuju *firefly* lain yang mempunyai intensitas lebih tinggi.

**Langkah 5: Menentukan Global Best Sementara**

*Global best* merupakan solusi terbaik didapatkan ketika mencapai *maks\_iterasi*. Untuk iterasi pertama, *firefly* terbaik merupakan *global best*, sedangkan untuk iterasi berikutnya, *global best* diperoleh dengan membandingkan *firefly* terbaik setiap iterasinya. Untuk contoh kasus, *global best* yang didapatkan adalah  $x_1$ . Dengan demikian solusi terbaik yang diperoleh adalah:

Tabel 5. 9 Urutan pasien untuk *gbest*

<i>Firefly baru</i>	Urutan pasien											
$x_1$	11	7	10	12	8	2	3	9	6	5	4	1

Pasien 11 akan dioperasi terlebih dahulu pada ruang operasi 7, kemudian pasien 10, pasien 12, pasien 8, pasien 2, pasien 3, pasien 9, pasien 6, pasien 5, pasien 4, dan terakhir pasien 1 yang dioperasi.

**Langkah 6: Melakukan Movement pada *firefly* terbaik**

Langkah terakhir adalah melakukan proses movement dengan persamaan:

$$x_i = x_i + \alpha * \left( random - \frac{1}{2} \right)$$

pada *firefly* terbaik saat itu dengan memasukkan nilai  $\beta = 0$ , sehingga diperoleh:

Tabel 5. 10 Hasil proses *movement* pada *firefly* terbaik

<i>firefly</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x$	5.29 183	- 0.34 11	- 0.38 56	3.53 7	2.59 76	0.26 04	3.31 04	- 1.10 88	0.14 25	- 2.68 75	- 4.23 01	- 2.12 12

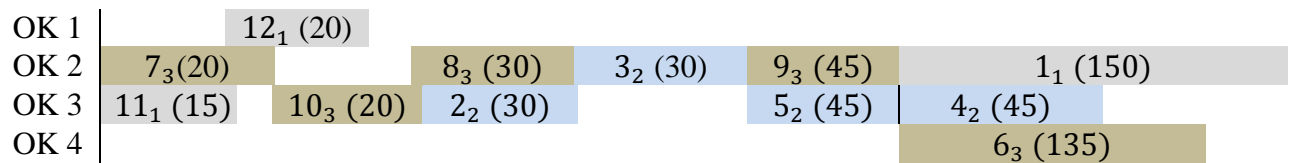
Setelah melakukan pergerakan pada *firefly* terbaik dilakukan transformasi dari bilangan real ke bilangan bulat dengan mengurutkan bilangan random pada *firefly* tersebut. Hasil transformasi ditunjukkan pada tabel berikut dengan nilai  $f$  sebesar 1.4754 dengan *makespan* 305 menit.

Tabel 5. 11 Hasil urutan pasien iterasi 1

Urutan pasien	11	7	10	12	8	3	2	9	6	5	4	1
---------------	----	---	----	----	---	---	---	---	---	---	---	---

Penyimpanan solusi terbaik dilakukan dengan cara menyimpan solusi dengan nilai *makespan* terkecil pada iterasi yang dilakukan. Dari hasil perhitungan pada contoh kasus, penerapan FA yang dilakukan sebanyak satu iterasi diperoleh penjadwalan pasien operasi bedah rumah sakit dengan waktu tercepat dalam menyelesaikan seluruh operasi yaitu pasien 11, pasien 7, pasien 10, pasien 12, pasien 8, pasien 3, pasien 2, pasien 9, pasien 6, pasien 5, pasien 4, dan

pasien 1 dengan total *makespan* 245 menit. Hasil penjadwalan yang diperoleh ditunjukkan pada ganttchart Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5. 11 Ganttchart hasil penjadwalan pasien untuk iterasi 1.

### 5.3 Hasil Eksperimen

Model yang dibuat program pada *software* Matlab R2014a digunakan untuk mempermudah dalam menyelesaikan masalah penjadwalan pasien ruang operasi bedah menggunakan metode *firefly algorithm*, output dari model software adalah urutan pasien yang akan dioperasi dan nilai *makespan* dengan mempertimbangkan nilai bobot dan prioritas klinis. Penerapan program pada contoh kasus penjadwalan pasien operasi bedah rumah sakit dilakukan dengan mengimplementasikan pada data penjadwalan pasien operasi bedah rumah sakit dengan setiap periode sebanyak 8 periode. Dengan data yang terdapat pada Lampiran 1, dari 13 spesialis bedah (tim bedah) akan mengoperasi 164 pasien yang dilakukan pada 4 ruang operasi, dengan setiap periode terdapat 12 pasien, 25 pasien, 20 pasien, 18 pasien, 20 pasien, 21 pasien, 20 pasien, dan 28 pasien.

a) Hasil untuk data periode 1, 12 pasien

Untuk menyelesaikan kasus penjadwalan dengan 12 pasien, berikut beberapa skenario untuk membandingkan solusi terbaik dari data tersebut yang dihasilkan dengan mengganti nilai parameter jumlah populasi *firefly*, nilai  $\alpha$ , dan maksimal iterasi. Hasil perhitungan *makespan* dengan parameter populasi, alpha, dan *maks\_iterasi* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Perbandingan solusi terbaik pada periode 1

Parameter		Nilai $F_1 = \max\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 = \max\{f_1 + f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	0.8257	39.7179	245	-500	22.0273	245
		$\alpha = 0.5$	1.0465	45.1623	245	-385	23.8994	245
		$\alpha = 0.9$	1.1842	46.8471	320	-335	25.0226	320

Lanjutan Tabel 5.12 Perbandingan solusi terbaik pada periode 1

Parameter			Nilai $F_1 = \max\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 = \max\{f_1 + f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	1.0112	49.2963	445	-400	27.4406	445
		$\alpha = 0.5$	1.1392	51.5115	245	-350	28.985	245
		$\alpha = 0.9$	1.1538	53.8671	245	-345	30.6542	245
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.0112	57.1276	380	-400	32.7914	380
		$\alpha = 0.5$	1.125	59.6236	245	-355	34.3982	245
		$\alpha = 0.9$	1.0112	62.3848	245	-400	36.4574	245
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	1.125	65.5048	275	-355	39.0159	275
		$\alpha = 0.5$	1.1842	68.578	305	-335	41.7927	305
		$\alpha = 0.9$	0.8911	71.8853	260	-460	44.4291	260
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	0.9783	86.0658	245	-425	50.5599	320
		$\alpha = 0.5$	0.9	93.5538	290	-370	52.3227	290
		$\alpha = 0.9$	0.989	102.055	340	-340	59.2336	340
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.0112	115.409	325	-430	71.9633	325
		$\alpha = 0.5$	0.8911	128.310	365	-410	87.1422	365
		$\alpha = 0.9$	1.0976	142.070	245	-410	98.811	245
Iterasi = 1000	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	1.1842	88.7022	365	-370	117.546	365
		$\alpha = 0.5$	1.0843	107.905	305	-395	138.747	305
		$\alpha = 0.9$	1.125	126.688	245	-340	157.155	245
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	1.0112	187.045	380	-335	214.423	380
		$\alpha = 0.5$	0.8411	245.92	455	-385	270.443	455
		$\alpha = 0.9$	1.0112	304.217	245	-400	333.155	245
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	0.7759	422.450	475	-340	447.488	475
		$\alpha = 0.5$	0.9474	543.382	270	-350	562.648	270
		$\alpha = 0.9$	0.9184	669.790	245	-395	678.385	245

Pada Tabel 5.12 dapat diketahui bahwa semua solusi terbaik *makespan* dengan mempertimbangkan bobot dan prioritas yaitu  $F_1 = 1.1842$  dan  $F_2 = -335$ , dengan *makespan* sebesar 305 menit. Hasil jadwal terbaik ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. 13 Hasil urutan pasien periode 1

Urutan pasien	11	3	6	9	5	12	7	8	10	2	1	4
---------------	----	---	---	---	---	----	---	---	----	---	---	---

Jika dibandingkan dengan total durasi operasi pada periode 1 yaitu 675 menit, hasil eksperimen lebih kecil dari pada data nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari algoritma usulan dapat meminimalkan total durasi operasi bedah di ruang operasi. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa terdapat perbedaan *running time* ketika memperoleh fungsi tujuan dengan nilai yang sama, yaitu  $F_2$  lebih cepat diperoleh dibandingkan  $F_1$ . Namun tidak ada perbedaan yang signifikan untuk *running time* dengan banyak iterasi.

b) Hasil untuk data periode 2, 25 pasien

Pada periode 2 untuk menyelesaikan kasus penjadwalan dengan 25 pasien, berikut beberapa skenario untuk membandingkan solusi terbaik dari data tersebut yang dihasilkan dengan mengganti nilai parameter jumlah populasi *firefly*, nilai  $\alpha$ , dan maksimal iterasi. Hasil perhitungan *makespan* dengan parameter populasi, alpha, dan *maks\_iterasi* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5.14.

Tabel 5. 14 Perbandingan solusi terbaik pada periode 2

Parameter		Nilai $F_1 = \max\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 = \max\{f_1 + f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	1.882	26.177	495	-798	22.4329	495
		$\alpha = 0.5$	1.8108	28.4234	475	-833	25.2098	475
		$\alpha = 0.9$	2.006	30.5294	490	-743	26.4578	490
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.006	32.9474	475	-743	28.0958	475
		$\alpha = 0.5$	1.7539	35.1002	835	-863	29.5934	835
		$\alpha = 0.9$	2.2185	37.409	595	-663	31.481	595
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.8407	40.5291	715	-818	34.2734	715
		$\alpha = 0.5$	1.8715	43.8675	475	-803	36.9566	475
		$\alpha = 0.9$	2.1474	46.9251	505	-688	39.7335	505
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	2.3929	51.3243	475	-608	43.4619	475
		$\alpha = 0.5$	1.7725	56.2696	780	-853	47.2371	780
		$\alpha = 0.9$	1.9477	60.466	475	-768	50.9343	475
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.1474	71.5265	535	-688	60.6376	535
		$\alpha = 0.5$	2.2483	82.6493	630	-653	70.3877	630
		$\alpha = 0.9$	1.9143	93.5694	635	-783	79.8569	635

Lanjutan Tabel 5.14 Perbandingan solusi terbaik pada periode 2

Parameter			Nilai $F_1 =$ $\max\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 =$ $\max\{f_1 +$ $f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.9364	114.676	565	-773	98.5614	565
		$\alpha = 0.5$	1.9706	141.305	475	-758	116.766	475
		$\alpha = 0.9$	2.0807	162.771	490	-713	136.110	490
Iterasi = 1000	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	2.3427	195.750	670	-623	166.733	670
		$\alpha = 0.5$	1.6919	228.182	695	-898	199.104	695
		$\alpha = 0.9$	2.2945	260.958	655	-638	229.415	655
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.0303	362.296	625	-733	319.958	625
		$\alpha = 0.5$	1.9034	460.343	495	-788	412.154	495
		$\alpha = 0.9$	1.9706	570.963	640	-758	499.686	640
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	2.3592	773.359	565	-618	690.741	565
		$\alpha = 0.5$	2.0303	969.951	615	-733	872.981	615
		$\alpha = 0.9$	1.8207	1173.1	920	-828	1058.5	920

Pada Tabel 5.14 dapat diketahui bahwa semua solusi terbaik *makespan* dengan mempertimbangkan bobot dan prioritas yaitu  $F_1 = 2.3929$  dan  $F_2 = -608$ , dengan *makespan* sebesar 475 menit. Hasil jadwal terbaik ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. 15 Hasil urutan pasien untuk periode 2

Urutan pasien	11	18	22	20	14	13	10	21	24	9	7	12	15
	16	1	5	6	17	3	4	2	23	8	19	25	

Jika dibandingkan dengan total durasi operasi pada periode 2 yaitu 1110 menit, hasil eksperimen lebih kecil dari pada data nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari algoritma usulan dapat meminimalkan total durasi operasi bedah di ruang operasi. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa terdapat perbedaan *running time* ketika memperoleh fungsi tujuan dengan nilai yang sama, yaitu  $F_2$  lebih cepat diperoleh dibandingkan  $F_1$ . Namun tidak ada perbedaan yang signifikan untuk *running time* dengan maksimal iterasi yang berbeda.

c) Hasil untuk data periode 3, 20 pasien

Untuk menyelesaikan kasus penjadwalan dengan 20 pasien, berikut beberapa skenario untuk membandingkan solusi terbaik dari data tersebut yang dihasilkan dengan mengganti nilai

parameter jumlah populasi *firefly*, nilai  $\alpha$ , dan maksimal iterasi. Hasil perhitungan *makespan* dengan parameter populasi, alpha, dan *maks\_iterasi* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 16 Perbandingan solusi terbaik padaperiode 3

Parameter			Nilai $F_1 =$ $\max\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 =$ $\max\{f_1 +$ $f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	2.3908	22.289	390	-363	26.145	390
		$\alpha = 0.5$	2.1667	26.1302	390	-408	27.300	390
		$\alpha = 0.9$	2.3908	28.3142	420	-423	30.825	420
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.101	39.7335	435	-438	32.604	435
		$\alpha = 0.5$	2.0392	41.6211	510	-393	34.055	510
		$\alpha = 0.9$	2.101	44.3979	390	-363	35.583	390
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.9259	46.7535	540	-393	37.830	540
		$\alpha = 0.5$	2.0392	49.8891	390	-438	40.123	390
		$\alpha = 0.9$	1.9259	44.3979	390	-423	42.416	390
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	2.2366	55.9576	390	-333	45.786	390
		$\alpha = 0.5$	2.1667	59.8108	390	-453	48.812	390
		$\alpha = 0.9$	2.6667	40.8567	390	-323	51.870	390
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.2366	50.8095	390	-438	61.136	390
		$\alpha = 0.5$	2.3111	59.3116	390	-498	69.576	390
		$\alpha = 0.9$	2.2366	68.8744	390	-393	78.577	390
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	2.0392	84.5369	390	-363	98.826	390
		$\alpha = 0.5$	1.9259	100.729	390	-423	115.84	390
		$\alpha = 0.9$	2.0392	118.997	510	-468	133.08	510
Iterasi = 1000	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	2.2366	143.052	405	-378	159.02	405
		$\alpha = 0.5$	2.3908	165.454	420	-393	184.36	420
		$\alpha = 0.9$	2.0392	190.820	510	-393	210.02	510
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.3111	565.238	390	-468	294.34	390
		$\alpha = 0.5$	2.101	451.278	435	-378	387.01	435
		$\alpha = 0.9$	2.3111	416.709	435	-363	476.86	435
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	2.2366	713.080	435	-438	626.22	435
		$\alpha = 0.5$	2.2366	859.627	465	-498	769.72	465
		$\alpha = 0.9$	2.2366	999.685	405	-433	913.31	405

Pada Tabel 5.16 dapat diketahui bahwa semua solusi terbaik *makespan* dengan mempertimbangkan bobot dan prioritas yaitu  $F_1 = 2.6667$  dan  $F_2 = -323$ , dengan *makespan* sebesar 390 menit. Hasil jadwal terbaik ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. 17 Hasil urutan pasien untuk periode 3

Urutan pasien	19	18	6	8	17	14	4	12	13	7
	5	11	2	9	16	20	10	15	3	1

Jika dibandingkan dengan total durasi operasi pada periode 3 yaitu 960 menit, hasil eksperimen lebih kecil dari pada data nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari algoritma usulan dapat meminimalkan *makespan* operasi bedah di ruang operasi. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa terdapat perbedaan *running time* ketika memperoleh fungsi tujuan dengan nilai yang sama, yaitu  $F_2$  lebih cepat diperoleh dibandingkan  $F_1$ . Namun tidak ada perbedaan yang signifikan untuk *running time* dengan banyak iterasi.

d) Hasil untuk data periode 4, 20 pasien

Untuk menyelesaikan kasus penjadwalan dengan 20 pasien, berikut beberapa skenario untuk membandingkan solusi terbaik dari data tersebut yang dihasilkan dengan mengganti nilai parameter jumlah populasi *firefly*, nilai  $\alpha$ , dan maksimal iterasi. Hasil perhitungan *makespan* dengan parameter populasi, alpha, dan *maks\_iterasi* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5.18.

Tabel 5. 18 Perbandingan solusi terbaik pada periode 4

Parameter		Nilai $F_1 = \max\{\frac{f_1-f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 = \max\{f_1 + f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	2.445	25.8494	435	-473	21.5749	435
		$\alpha = 0.5$	2.3807	27.4718	435	-488	22.9321	435
		$\alpha = 0.9$	2.445	29.0942	315	-473	24.2582	315
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	3.1195	30.7634	435	-313	25.787	435
		$\alpha = 0.5$	2.8271	33.275	390	-383	27.4094	390
		$\alpha = 0.9$	2.7414	35.303	315	-443	29.1722	315
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	2.6608	38.9534	315	-498	31.4654	315
		$\alpha = 0.5$	2.7414	41.8707	315	-438	33.7274	315
		$\alpha = 0.9$	2.8271	44.6787	315	-398	36.0674	315
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	2.445	48.8907	330	-413	39.2343	330
		$\alpha = 0.5$	2.7414	52.8687	435	-518	42.0735	390
		$\alpha = 0.9$	2.8271	56.5972	330	-353	45.4743	360



Lanjutan Tabel 5.18 Perbandingan solusi terbaik pada periode 4

Parameter			Nilai $F_1 =$ $\max\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 =$ $\max\{f_1 +$ $f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.5848	65.7856	330	-368	54.4443	360
		$\alpha = 0.5$	2.9183	74.9897	315	-458	62.9932	315
		$\alpha = 0.9$	2.445	84.3653	435	-558	71.7605	315
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	2.5848	102.664	525	-398	88.515	315
		$\alpha = 0.5$	2.3807	121.79	330	-413	105.378	330
		$\alpha = 0.9$	2.4018	140.307	315	-438	122.226	345
Iterasi = 1000	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	2.513	171.507	475	-488	148.388	570
		$\alpha = 0.5$	2.7414	202.692	405	-453	173.457	435
		$\alpha = 0.9$	2.8271	234.235	480	-488	198.277	570
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.6871	319.022	480	-458	278.617	420
		$\alpha = 0.5$	2.6608	405.758	435	-473	357.335	360
		$\alpha = 0.9$	2.4673	490.654	405	-368	444.868	435
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	2.8271	669.603	345	-393	627.046	315
		$\alpha = 0.5$	2.6608	852.795	405	-443	797.211	315
		$\alpha = 0.9$	2.2065	1025.3	420	-428	976.160	315

Pada Tabel 5.18 dapat diketahui bahwa semua solusi terbaik *makespan* dengan mempertimbangkan bobot dan prioritas yaitu  $F_1 = 3.1195$  dan  $F_2 = -313$ , dengan *makespan* sebesar 435 menit. Hasil jadwal terbaik ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. 19 Hasil urutan pasien untuk periode 4

Urutan pasien	16	4	5	8	1	10	18	20	15	6
	9	14	19	17	3	11	2	7	12	13

Jika dibandingkan dengan total durasi operasi pada periode 4 yaitu 960 menit, hasil eksperimen lebih kecil dari pada data nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari algoritma usulan dapat meminimalkan total durasi operasi bedah di ruang operasi. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa terdapat perbedaan *running time* ketika memperoleh fungsi tujuan dengan nilai yang sama, yaitu  $F_2$  lebih cepat diperoleh dibandingkan  $F_1$ . Namun tidak ada perbedaan yang signifikan untuk *running time* dengan banyak iterasi.

e) Hasil untuk data periode 5, 18 pasien

Untuk menyelesaikan kasus penjadwalan dengan 18 pasien, berikut beberapa skenario untuk membandingkan solusi terbaik dari data tersebut yang dihasilkan dengan mengganti nilai parameter jumlah populasi *firefly*, nilai  $\alpha$ , dan maksimal iterasi. Hasil perhitungan *makespan* dengan parameter populasi, alpha, dan *maks\_iterasi* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5.20.

Tabel 5. 20 Perbandingan solusi terbaik pada periode 5

Parameter			Nilai $F_1 = \max\{\frac{f_1-f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 = \max\{f_1 + f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	1.7333	24.9134	600	-528	25.256	600
		$\alpha = 0.5$	1.5758	26.957	540	-588	27.019	540
		$\alpha = 0.9$	1.6124	28.6418	540	-573	27.924	540
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	1.6911	30.5762	600	-543	29.702	600
		$\alpha = 0.5$	1.5758	32.5418	540	-588	31.122	540
		$\alpha = 0.9$	1.6911	34.3514	540	-543	32.619	540
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.6124	37.2062	540	-573	34.788	540
		$\alpha = 0.5$	1.4444	39.7491	555	-648	36.831	555
		$\alpha = 0.9$	1.5758	42.2919	540	-588	38.750	540
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	1.6911	45.6147	540	-543	41.527	540
		$\alpha = 0.5$	1.6911	49.0467	615	-543	44.241	615
		$\alpha = 0.9$	1.5407	52.2759	540	-603	47.237	540
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	1.4444	61.2928	540	-648	55.084	540
		$\alpha = 0.5$	1.4444	69.8104	540	-648	63.242	540
		$\alpha = 0.9$	1.6911	77.7197	555	-543	70.652	555
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.4444	93.351	535	-648	84.614	535
		$\alpha = 0.5$	1.5758	108.483	560	-588	98.717	560
		$\alpha = 0.9$	1.4444	124.083	575	-648	113.39	575
Iterasi = 1000	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	1.5758	146.172	540	-588	135.908	540
		$\alpha = 0.5$	1.4444	167.623	720	-648	157.139	720
		$\alpha = 0.9$	1.6911	189.245	540	-543	180.196	540
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	1.5758	263.033	610	-588	264.250	610
		$\alpha = 0.5$	1.4444	335.246	555	-648	346.525	555
		$\alpha = 0.9$	1.5758	409.783	560	-588	430.375	560

Lanjutan Tabel 5.20 Perbandingan solusi terbaik pada periode 5

Parameter			Nilai $F_1 =$ $\max\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 =$ $\max\{f_1 +$ $f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
Iterasi = 1000	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.6911	624.503	600	-543	588.498 2	600
		$\alpha = 0.5$	1.5407	771.909	540	-588	736.823 9	540
		$\alpha = 0.9$	1.5758	914.509	550	-588	880.079 6	540

Pada Tabel 5.20 dapat diketahui bahwa semua solusi terbaik *makespan* dengan mempertimbangkan bobot dan prioritas yaitu  $F_1 = 1.7333$  dan  $F_2 = -528$ , dengan *makespan* sebesar 600 menit. Hasil jadwal terbaik ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. 21 Hasil urutan pasien periode 5

Urutan pasien	14	17	5	11	3	9	6	1	15
	12	2	7	18	16	13	10	8	4

Jika dibandingkan dengan total *makespan* operasi pada periode 5 yaitu 1000 menit, hasil eksperimen lebih kecil dari pada data nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari algoritma usulan dapat meminimalkan *makespan* operasi bedah di ruang operasi. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa terdapat perbedaan *running time* ketika memperoleh fungsi tujuan dengan nilai yang sama, yaitu  $F_2$  lebih cepat diperoleh dibandingkan  $F_1$ . Namun tidak ada perbedaan yang cukup signifikan untuk *running time* dengan banyak iterasi.

f) Hasil untuk data periode 6, 21 pasien

Untuk menyelesaikan kasus penjadwalan dengan 21 pasien, berikut beberapa skenario untuk membandingkan solusi terbaik dari data tersebut yang dihasilkan dengan mengganti nilai parameter jumlah populasi *firefly*, nilai  $\alpha$ , dan maksimal iterasi. Hasil perhitungan *makespan* dengan parameter populasi, alpha, dan *maks\_iterasi* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5.22.

Tabel 5. 22 Perbandingan solusi terbaik pada periode 6

Parameter			Nilai $F_1 =$ $\max\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 =$ $\max\{f_1 +$ $f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	3.4296	24.6638	410	-483	24.3674	410
		$\alpha = 0.5$	2.9433	26.723	590	-578	25.8338	590
		$\alpha = 0.9$	3.3424	28.1426	410	-498	26.7386	410

Lanjutan Tabel 5.22 Perbandingan solusi terbaik pada periode 6

Parameter			Nilai $F_1 =$ $\max\left\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\right\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 =$ $\max\{f_1 +$ $f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	3.2328	30.3734	530	-518	28.517	530
		$\alpha = 0.5$	2.7972	32.729	410	-613	30.3422	410
		$\alpha = 0.9$	2.858	34.5854	540	-598	31.9022	540
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	2.9879	37.4402	440	-568	34.211	440
		$\alpha = 0.5$	2.9	40.3575	440	-588	36.941	440
		$\alpha = 0.9$	2.2798	43.0719	455	-773	39.4995	455
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	3.1302	46.9251	410	-538	43.1499	410
		$\alpha = 0.5$	2.9	50.9031	670	-588	46.5663	670
		$\alpha = 0.9$	3.1302	54.5691	590	-538	49.9515	590
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.7972	64.444	435	-613	58.7032	435
		$\alpha = 0.5$	3.0107	74.1317	410	-563	67.9696	410
		$\alpha = 0.9$	2.9879	83.6789	410	-568	77.0957	410
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	2.9433	102.383	545	-578	94.0218	545
		$\alpha = 0.5$	2.6649	121.634	500	-648	111.696	500
		$\alpha = 0.9$	3.0338	141.508	590	-558	129.558	590
Iterasi = 1000	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	2.9215	170.961	415	-583	159.323	415
		$\alpha = 0.5$	2.9654	199.650	410	-573	187.529	410
		$\alpha = 0.9$	3.4296	228.167	545	-483	215.64	545
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.561	314.576	445	-678	299.537	445
		$\alpha = 0.5$	3.1806	400.033	590	-528	384.449	590
		$\alpha = 0.9$	2.8374	486.161	605	-603	468.439	605
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	3.2595	664.127	515	-513	638.792	515
		$\alpha = 0.5$	2.6119	889.673	410	-663	810.050	410
		$\alpha = 0.9$	2.9879	1076.3	470	-568	977.939	470

Pada Tabel 5.22 dapat diketahui bahwa semua solusi terbaik *makespan* dengan mempertimbangkan bobot dan prioritas yaitu  $F_1 = 3.4296$  dan  $F_2 = -483$ , dengan *makespan* sebesar 545 menit. Hasil jadwal terbaik ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. 23 Hasil urutan pasien periode 6

Urutan pasien	2	11	10	18	21	9	12	1	5	15	7
	8	3	20	6	19	4	13	17	14	16	

Jika dibandingkan dengan total durasi operasi pada periode 6 yaitu 995 menit, hasil eksperimen lebih kecil dari pada data nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari algoritma usulan dapat meminimalkan total durasi operasi bedah di ruang operasi. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa terdapat perbedaan *running time* ketika memperoleh fungsi tujuan dengan nilai yang sama, yaitu  $F_2$  lebih cepat diperoleh dibandingkan  $F_1$ . Namun tidak ada perbedaan yang signifikan untuk *running time* dengan banyak iterasi.

g) Hasil untuk data periode 7, 20 pasien

Untuk menyelesaikan kasus penjadwalan dengan 20 pasien, berikut beberapa skenario untuk membandingkan solusi terbaik dari data tersebut yang dihasilkan dengan mengganti nilai parameter jumlah populasi *firefly*, nilai  $\alpha$ , dan maksimal iterasi. Hasil perhitungan *makespan* dengan parameter populasi, alpha, dan *maks\_iterasi* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5.24.

Tabel 5. 24 Perbandingan solusi terbaik pada periode 7

Parameter		Nilai $F_1 = \max\left\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\right\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 = \max\{f_1 + f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	1.6071	26.0366	675	-761	27.425	675
		$\alpha = 0.5$	1.5517	28.5482	705	-791	29.1098	705
		$\alpha = 0.9$	1.4516	30.6854	930	-851	30.3734	930
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	1.5254	32.9942	795	-806	32.105	795
		$\alpha = 0.5$	1.5789	35.1626	675	-776	33.6494	675
		$\alpha = 0.9$	1.3846	37.2686	675	-896	35.2718	675
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.3235	40.1235	675	-941	37.4246	675
		$\alpha = 0.5$	1.5254	43.0875	695	-806	39.6555	695
		$\alpha = 0.9$	1.5254	46.0671	675	-806	41.9175	675
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	1.5789	49.5303	675	-776	45.0531	675
		$\alpha = 0.5$	1.6364	52.9779	675	-746	48.2355	675
		$\alpha = 0.9$	1.5254	56.4568	675	-806	51.2463	675
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	1.3846	64.9276	675	-896	59.4676	675
		$\alpha = 0.5$	1.6071	73.0865	750	-761	67.4704	750
		$\alpha = 0.9$	1.5254	82.1657	675	-806	75.8789	675

Lanjutan Tabel 5.14 Perbandingan solusi terbaik pada periode 7

Parameter			Nilai $F_1 =$ $\max\left\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\right\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 =$ $\max\{f_1 +$ $f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.4286	98.0934	705	-866	92.0718	705
		$\alpha = 0.5$	1.25	113.802	795	-1001	108.061	795
		$\alpha = 0.9$	1.4754	130.947	675	-836	123.833	675
Iterasi = 1000	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	1.4439	154.909	675	-856	148.107	675
		$\alpha = 0.5$	1.5517	178.948	675	-791	172.895	675
		$\alpha = 0.9$	1.5789	202.036	675	-776	197.372	675
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	1.4917	276.667	675	-826	273.157	675
		$\alpha = 0.5$	1.3846	350.471	975	-896	349.988	975
		$\alpha = 0.9$	1.4674	425.508	675	-841	427.224	675
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	1.3433	576.642	1005	-926	579.091	1005
		$\alpha = 0.5$	1.2329	724.265	675	-1016	737.619	675
		$\alpha = 0.9$	1.3636	872.903	675	-911	901.030	675

Pada Tabel 5.24 dapat diketahui bahwa semua solusi terbaik *makespan* dengan mempertimbangkan bobot dan prioritas yaitu  $F_1 = 1.6364$  dan  $F_2 = -746$ , dengan *makespan* sebesar 675 menit. Hasil jadwal terbaik ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. 25 Hasil urutan pasien periode 7

Urutan pasien	6	11	9	10	15	1	14	17	3	13
	5	20	16	19	8	12	4	18	2	7

Jika dibandingkan dengan total durasi operasi pada periode 7 yaitu 1080 menit, hasil eksperimen lebih kecil dari pada data nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari algoritma usulan dapat meminimalkan total durasi operasi bedah di ruang operasi. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa terdapat perbedaan *running time* ketika memperoleh fungsi tujuan dengan nilai yang sama, yaitu  $F_2$  lebih cepat diperoleh dibandingkan  $F_1$ . Namun tidak ada perbedaan yang signifikan untuk *running time* dengan banyak iterasi.

h) Hasil untuk data periode 8, 28 pasien

Untuk menyelesaikan kasus penjadwalan dengan 28 pasien, berikut beberapa skenario untuk membandingkan solusi terbaik dari data tersebut yang dihasilkan dengan mengganti nilai

parameter jumlah populasi *firefly*, nilai  $\alpha$ , dan maksimal iterasi. Hasil perhitungan *makespan* dengan parameter populasi, alpha, dan *maks\_iterasi* yang berbeda ditunjukkan pada Tabel 5.26.

Tabel 5. 26 Perbandingan solusi terbaik pada periode 8

Parameter			Nilai $F_1 =$ $\max\left\{\frac{f_1 \cdot f_2}{f_3}\right\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>	Nilai $F_2 =$ $\max\{f_1 +$ $f_2 - f_3\}$	$t$	Nilai <i>makespan</i>
Iterasi = 10	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	3.097	51.0747	630	-559	21.3877	630
		$\alpha = 0.5$	3.2444	58.0012	630	-529	23.3689	630
		$\alpha = 0.9$	3.2444	62.0884	630	-529	23.603	630
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.781	74.1317	630	-634	25.2566	630
		$\alpha = 0.5$	3.0281	86.4246	630	-574	26.8478	630
		$\alpha = 0.9$	2.92	99.591	630	-599	28.3454	630
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	3.097	126.392	630	-559	31.2158	630
		$\alpha = 0.5$	3.2444	157.061	630	-529	33.8054	630
		$\alpha = 0.9$	2.92	191.288	630	-599	36.7694	630
Iterasi = 100	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	3.2444	51.0747	630	-529	40.7787	630
		$\alpha = 0.5$	3.1938	58.0012	630	-539	45.2247	630
		$\alpha = 0.9$	3.2444	62.0884	630	-529	48.9843	630
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	3.2444	74.1317	630	-529	61.0432	630
		$\alpha = 0.5$	3.0281	86.4246	630	-574	72.8525	630
		$\alpha = 0.9$	3.0059	99.591	630	-579	84.3029	630
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	2.8993	126.392	630	-604	109.278	630
		$\alpha = 0.5$	3.2444	157.061	630	-529	132.819	630
		$\alpha = 0.9$	2.781	191.288	630	-634	155.455	630
Iterasi = 1000	Populasi <i>firefly</i> = 10	$\alpha = 0.1$	3.2444	226.123	630	-529	188.714	630
		$\alpha = 0.5$	3.2444	261.722	630	-529	220.569	630
		$\alpha = 0.9$	2.9623	296.932	630	-589	252.175	630
	Populasi <i>firefly</i> = 20	$\alpha = 0.1$	2.8993	419.767	630	-604	366.118	630
		$\alpha = 0.5$	2.6719	537.579	630	-664	477.394	630
		$\alpha = 0.9$	3.0507	654.798	630	-569	588.623	630
	Populasi <i>firefly</i> = 30	$\alpha = 0.1$	3.097	895.102	630	-559	821.329	630
		$\alpha = 0.5$	2.8389	1136.7	630	-619	1071.3	630
		$\alpha = 0.9$	3.1938	1378.2	630	-539	1315.7	630

Pada Tabel 5.26 dapat diketahui bahwa semua solusi terbaik *makespan* dengan mempertimbangkan bobot dan prioritas yaitu  $F_1 = 3.2444$  dan  $F_2 = -529$ , dengan *makespan* sebesar 630 menit. Hasil jadwal terbaik ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 5. 27 Hasil urutan pasien periode 8

Urutan pasien	10	4	13	11	25	18	21	15	14	19	27	9	26	1
	5	24	7	23	28	12	22	6	3	16	17	20	2	8

Jika dibandingkan dengan total durasi operasi pada periode 8 yaitu 1095 menit, hasil eksperimen lebih kecil dari pada data nyata. Hal ini menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari algoritma usulan dapat meminimalkan total durasi operasi bedah di ruang operasi. Dari hasil eksperimen diketahui bahwa terdapat perbedaan *running time* ketika memperoleh fungsi tujuan dengan nilai yang sama, yaitu  $F_2$  lebih cepat diperoleh dibandingkan  $F_1$ . Namun tidak ada perbedaan yang signifikan untuk *running time* dengan banyak iterasi.

Dari beberapa hasil skenario eksperimen yang dilakukan untuk delapan periode penjadwalan pasien ruang operasi bedah menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan hasil nilai fungsi tujuan yang diperoleh dengan perubahan parameter-parameter yang ada. Selain itu, algoritma *firefly* usulan memiliki konsep dan implementasi yang lebih sederhana, ditunjukkan dengan waktu komputasi yang cukup cepat. Algoritma *firefly* usulan sangat efisien, dan dapat mengungguli algoritma konvensional lainnya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan jadwal pasien operasi bedah yang mempunyai waktu *makespan* minimum. Berikut merupakan urutan daftar pasien terjadwal yang akan menjalani operasi di empat ruang operasi dengan *makespan* minimum.

Tabel 5. 28 Hasil urutan pasien ke delapan periode

Periode	Urutan Pasien													
1	11	3	6	9	5	12	7	8	10	2	1	4		
2	11	18	22	20	14	13	10	21	24	9	7	12	15	16
	1	5	6	17	3	4	2	23	8	19	25			
3	19	18	6	8	17	14	4	12	13	7	5	11	2	9
	16	20	10	15	3	1								
4	16	4	5	8	1	10	18	20	15	6	9	14	19	17
	3	11	2	7	12	13								
5	14	17	5	11	3	9	6	1	15	12	2	7	18	16
	13	10	8	4										
6	2	11	10	18	21	9	12	1	5	15	7	8	3	20
	6	19	4	13	17	14	16							
7	6	11	9	10	15	1	14	17	3	13	5	20	16	19
	8	12	4	18	2	7								
8	10	4	13	11	25	18	21	15	14	19	27	9	26	1
	5	24	7	23	28	12	22	6	3	16	17	20	2	8



Dari hasil penerapan program pada contoh kasus dapat diketahui bahwa algoritma *firefly* berhasil digunakan untuk menentukan jadwal urutan pasien yang akan dioperasi oleh tim bedah di empat ruang operasi yang tersedia. Jika dilihat dari total durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh pasien dibandingkan dengan data yang ada, maka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh pasien dalam satu periode mempunyai hasil yang lebih optimal. Hal ini menunjukkan bahwa utilitas ruang operasi di RSML dapat ditingkatkan dengan menggunakan algoritma usulan. Selain itu, hasil dari algoritma *firefly* tersebut baik digunakan untuk penjadwalan pasien ruang operasi bedah yang telah terjadwal sebelumnya.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang kesimpulan hasil penelitian dan saran yang berkaitan dengan penelitian selanjutnya.

#### **6.1 Kesimpulan**

Hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Firefly Algorithm* yang diusulkan berhasil digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pasien ruang operasi bedah di Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan dan dapat menghasilkan jadwal urutan pasien ruang operasi bedah yang dioperasi oleh setiap tim bedah di 4 ruang operasi mempunyai waktu *makespan* minimum.
2. Hasil eksperimen pada contoh kasus menunjukkan bahwa total durasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh pasien dalam setiap periode mempunyai waktu *makespan* minimum. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma *firefly* meminimalkan waktu tunggu pasien ruang operasi di setiap periode dan dapat meningkatkan utilitas ruang operasi di rumah sakit.
3. Hasil penjadwalan pasien operasi menggunakan algoritma *firefly* baik digunakan untuk pasien ruang operasi bedah yang telah terjadwal.

#### **6.2 Saran**

Selanjutnya algoritma ini dapat dibangun dalam sistem penjadwalan pasien ruang operasi secara online yang ada di Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan terkait sehingga dapat meningkatkan sistem pelayanan kesehatan yang lebih efektif.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- Aringhieri, R., Landa, P., Soriano, P., Tànfani, E. and Testi, A. (2015) ‘A Two Level Metaheuristic for The Operating Room Scheduling and Assignment Problem’, *Computers & Operations Research*, 54, pp. 21–34.
- Fister, I., Fister, I., Yang, X. and Brest, J. (2013) ‘A Comprehensive Review of Firefly Algorithms’, *Swarm and Evolutionary Computation*, 13, pp. 34–46.
- Gillies, D.A. (1994). *Nursing management: A system approach*. (3<sup>rd</sup> ed) Philadelphia: WB Saunders co.
- Guido, R. and Conforti, D. (2017) ‘A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem’, *Computers & Operations Research*, 87, pp. 270–282.
- Landa, P., Aringhieri, R., Soriano, P., Tànfani, E. and Testi, A. (2016) ‘A Hybrid Optimization algorithm for surgeries scheduling’, *Operations Research for Health Care*. Elsevier Ltd, 8, pp. 103–114. doi: 10.1016/j.orhc.2016.01.001.
- Lieu, Q. X., Do, D. T. T. and Lee, J. (2018) ‘An adaptive hybrid evolutionary firefly algorithm for shape and size optimization of truss structures with frequency constraints’, *Computers and Structures*, 195, pp. 99–112.
- M’Hallah, R. and Al-Roomi, A. . (2014) ‘The planning and scheduling of operating rooms : A simulation approach’, *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 78, pp. 235–248. doi: 10.1016/j.cie.2014.07.022.
- Marques, I., Captivo, M. E. and Vaz, M. (2014) ‘Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic’, *Operations Research for Health Care*, 3, pp. 59–72.
- Menteri Kesehatan RI, 2014. *Peraturan Menteri Kesehatan RI nomor 56 tahun 2014 tentang Klasifikasi dan Perizinan Rumah Sakit*. Jakarta: Departemen Kesehatan .
- Molina-pariente, J. M., Hans, E. W., Framinan, J. M. and Gomez-cia, T. (2015) ‘New heuristics for planning operating rooms’, *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 90, pp. 429–443. doi: 10.1016/j.cie.2015.10.002.
- Republik Indonesia. 2009. Undang-Undang nomor 44 tahun 2009 tentang Rumah Sakit. Lembaran Negara RI Tahun 2009, No. 153. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Riise, A., Mannino, C. and Burke, E. K. (2016) ‘Modelling and Solving Generalised Operational Surgery Scheduling Problems’, *Computers and Operation Research*, 66, pp. 1–11.

- Santosa, Budi and Willy, Paul. (2011) *Metoda Metaheuristik Konsep Dan Implementasi*. Surabaya, Guna Widya.
- Sayadi, M. K., Ramezani, R. and Ghaffarinasab, N. (2010) ‘A discrete firefly meta-heuristic with local search for makespan minimization in permutation flow shop scheduling problems’, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, (July). doi: 10.5267/j.ijiec.2010.01.001.
- Swansburg, R.C. & Swansburg, R.J. (1999). *Introductory management and leadership for nurses: an interactive text*. Second edition. Boston: Jones & Burlett Publishers.
- Xiang, W., Yin, J. and Lim, G. (2015) ‘An Ant Colony Optimization Approach for Solving an Operating Room Surgery Scheduling Problem’, *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 85, pp. 335–345. doi: 10.1016/j.cie.2015.04.010.
- Yang, X. (2014) *Cuckoo Search and Firefly Algorithm Theory and Applications*. Edited by X. Yang. London, UK: Springer.
- Yousif, Adil, Nor, Sulaiman M., Abdullah, Abdul H., and Bashir, Mohammed B., (2014). ‘A Discrete Firefly Algorithm for Scheduling Jobs on Computational Grid’. Springer International Publishing Switzerland. Pp.271-290.
- Zhao, Z. and Li, X. (2014) ‘Operations Research for Health Care Scheduling elective surgeries with sequence-dependent setup times to multiple operating rooms using constraint programming’, *Operations Research for Health Care*. Elsevier Ltd, 3(3), pp. 160–167. doi: 10.1016/j.orhc.2014.05.003.

## BIOGRAFI PENULIS



Yeni Roha Mahariani atau biasa dipanggil Yeni oleh orang-orang disekitarnya. Penulis lahir di kota Kediri pada tanggal 02 Juni 1992. Penulis merupakan anak terakhir dari empat bersaudara. Penulis pertama kali masuk sekolah pada tahun 1996 di TK Dharmawanita Bendosari yang kemudian pada tahun 1998 melanjutkan ke jenjang sekolah dasar di SDN Bendosari II. Kemudian setelah lulus melanjutkannya ke MTsN Kanigoro dari tahun 2004-2007. Penulis melanjutkan sekolah lagi ke SMA Negeri 4 Kediri dari tahun 2007 hingga 2010.

Semasa sekolah penulis menghabiskan waktunya di kota Kediri hingga memutuskan untuk melanjutkan ke jenjang pendidikan tinggi S1 pada tahun 2010 di Surabaya yaitu Universitas Airlangga, fakultas Sains dan Teknologi, program studi Matematika. Pada masa kuliah di Universitas Airlangga, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan organisasi kampus. Pada tahun 2016, penulis memutuskan untuk melanjutkan ke jenjang pendidikan lebih tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember program studi Magister Teknik Industri. Dengan memegang prinsip bahwa hasil tidak akan mengkhianati usaha, penulis berhasil menyelesaikan studinya di jenjang Magister Teknik Industri bidang konsentrasi Optimasi Sistem Industri.