

IMPLEMENTASI *FIREFLY ALGORITHM* PADA PENJADWALAN PASIEN OPERASI

Yeni Roha Mahariani

Teknik Industri, Universitas Bhinneka PGRI
 Jalan Mayor Sujadi Timur No 7, Tulungagung
 e-mail: yeniroha@gmail.com

ABSTRAK

Kedua jenis ilmu kesehatan dan ilmu lainnya dalam bidang yang berbeda, saling berinteraksi. Teknologi dan ilmu kedokteran berkembang sangat pesat dalam konteks pelayanan kesehatan yang memiliki standar minimal. Sistem penjadwalan pasien operasi di rumah sakit merupakan salah satu pelayanan kesehatan yang memiliki permasalahan yang kompleks. Efisiensi dalam penjadwalan pasien operasi diperlukan untuk mencegah keterlambatan atau pembatalan operasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memecahkan masalah penjadwalan pasien operasi pada suatu periode perencanaan dengan pendekatan metode Firefly Algorithm (FA). FA dapat mendukung proses penjadwalan dalam komputasi secara efisien sesuai dengan hasil solusi sebagai kandidat penjadwalan. FA dapat menetapkan pekerjaan yang diterima ke sumber daya yang ada seperti dokter, perawat, ruang operasi, maupun peralatan yang digunakan selama tindakan operasi berlangsung, sehingga pekerjaan dapat diselesaikan dengan waktu makespan yang minimum. Hasil dari implementasi algoritma yang diusulkan dapat menyelesaikan masalah penjadwalan pasien operasi di rumah sakit. Implementasi tersebut menghasilkan jadwal pasien yang memiliki waktu makespan minimal dalam berbagai kondisi serta dapat meningkatkan utilitas ruang operasi di rumah sakit sebesar 50,6%.

Kata Kunci: *Firefly Algorithm, penjadwalan pasien, optimasi,*

ABSTRACT

The two types of health sciences and other sciences in different fields interact with each other. Technology and medical science are developing very rapidly in the context of health services that have minimal standards. The operating patient scheduling system in the hospital is one of the health services that has complex problems. Efficiency in patient scheduling surgery is needed to prevent delays or cancellations of surgery. The purpose of this study was to solve the problem of scheduling surgery patients in a planning period with the Firefly Algorithm (FA) method approach. FA can support the scheduling process in computing efficiently according to the results of the solution as a scheduling candidate. FA can assign work received to existing resources such as doctors, nurses, operating theaters, as well as equipment used during surgery, so that work can be completed with minimum makespan time. The results of the implementation of the proposed algorithm can solve the problem of scheduling surgery patients in hospitals. This implementation produces a patient schedule that has a minimum makespan time in various conditions and can increase the utility of the operating room in the hospital by 50.6%.

Keywords: *Firefly Algorithm, patient scheduling, optimization.*

I. PENDAHULUAN

RUMAH sakit sebagai salah satu institusi pelayanan kesehatan yang dapat memberikan pelayanan dengan standar mutu yang ditetapkan. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini dapat membantu dalam memecahkan berbagai permasalahan yang kompleks salah satunya dalam sistem pelayanan kesehatan. Dalam sistem pelayanan kesehatan, adalah sistem penjadwalan pasien operasi yang memiliki sistem yang buruk dapat mempengaruhi proses antrian pada pasien termasuk kepuasan *customer* yang menggunakan pelayanan rumah sakit. [1] Pengoptimalan faktor-faktor yang mempengaruhi perencanaan dan penjadwalan pasien dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi pelayanan kesehatan. Proses pasien yang menjalani operasi memiliki berbagai persyaratan. [2] Banyak faktor yang perlu dipertimbangkan dalam setiap proses. Prosedur pasien menuju ruang operasi meliputi persiapan pasien sebelum pembedahan, peralatan yang akan digunakan, proses pembedahan, pembersihan kamar operasi dan peralatan setelah pembedahan, dan pengiriman pasien ke ruang pemulihan.[3] 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.[4]

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.[5] FA merupakan teknik berbasis populasi dengan pencarian global yang efektif dan efisien untuk masalah kombinatorial.

Saat ini, banyak peneliti yang mengembangkan berbagai metode metaheuristik untuk menyelesaikan berbagai permasalahan di bidang kesehatan. [6] 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, serta meningkatkan kinerja rumah sakit yang bersangkutan. [3] Penjadwalan pasien operasi dimaksudkan untuk mengatur alur proses yang terjadi di kamar operasi. [7] Beberapa operasi yang direncanakan atau dijadwalkan dapat terlaksana sesuai waktu yang telah ditentukan dimana bisa terjadi penundaan, percepatan maupun pembatalan operasi. [8]

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan FA yang telah dimodifikasi sehingga dapat menyelesaikan masalah penjadwalan pasien operasi. Kemudian hasil algoritma yang diusulkan diimplementasikan untuk meminimumkan *makespan* penjadwalan pasien pada kasus nyata. Pada pengembangan algoritma FA untuk menyelesaikan penjadwalan pasien operasi terdapat batasan dan asumsi yang diperlukan seperti yang tertera pada tabel 1.

TABEL I
BATASAN DAN ASUMSI

No	Deskripsi
1	Periode penjadwalan dan pelaksanaan pasien operasi bedah elektif dan cito adalah satu hari
2	Setiap ruang operasi didefinisikan sebagai jumlah blok ruang operasi selama periode tersebut
3	Semua <i>resource</i> selalu tersedia setiap periode
4	Durasi maksimal setiap pasien telah ditentukan sebelumnya
5	Data yang diperoleh merupakan data sekunder dari bagian rekam dan telah disesuaikan dengan permasalahan pada penelitian ini
6	Objek penelitian ini adalah pasien tindakan operasi bedah elektif di rumah sakit
7	Waktu operasi secara keseluruhan di setiap blok ruang operasi tidak melebihi kapasitas blok ruang operasi
8	Tindakan operasi seorang pasien tidak dapat dimulai sebelum proses operasi sebelumnya selesai pada ruang operasi yang sama oleh dokter yang sama

II. METODE

A. Formulasi Model Matematis

Tujuan utama dari permasalahan ini adalah untuk meminimalkan *makespan* terkait keragaman jenis dan jumlah sumber daya, serta kendala waktu yang ada. Pengembangan model yang akan digunakan mengacu pada literatur sebelumnya. [10][11] Berikut tabel 2 merupakan definisi notasi yang akan digunakan dalam merumuskan model matematis untuk parameter dan variabel keputusan.

TABEL II
PARAMETER DAN VARIABEL

Simbol	Deskripsi
$s \in S$	himpunan tim bedah (dokter spesialis bedah) yang tersedia
$i \in I$	himpunan pasien yang dijadwalkan pada tim bedah
$j \in J$	himpunan ruang operasi
d_i	durasi operasi pasien yang terjadwal pada ruang operasi (dalam menit)
w	bobot jenis operasi setiap pasien yang menjalani operasi
p	nilai prioritas klinis (pasien elektif dan cito)
$Tmin$	waktu minimum yang tersedia pada ruang operasi
$Tmax$	waktu maksimal yang tersedia pada ruang operasi
X_{ijh}	pasien yang dioperasi pada ruang operasi oleh tim bedah tertentu
Y_{sjh}	tim bedah yang mengoperasi pada ruang operasi tertentu

Tujuan utama dari penjadwalan ini adalah memaksimalkan jumlah pasien operasi 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 serta batasan dan asumsi yang dideskripsikan sebelumnya meliputi:

$$f_1 = \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} w_i X_{ijh}, \quad f_2 = \max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} p_i X_{ijh}, \quad f_3 = \min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{h \in H} \sum_{s \in S} d_{ij} X_{ijsh} \quad (1)$$

Subject to:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

B. Firefly Algorithm

Waktu makespan digunakan dalam menyelesaikan pekerjaan terakhir menunjukkan daya tarik kunang-kunang.[12] FA yang diusulkan menganggap setiap kunang-kunang sebagai vektor angka. Pada setiap vektor kunang-kunang mewakili setiap individu *resource* mempunyai jumlah setiap elemen yang menjadi jumlah pekerjaan yang akan dipetakan. [13] Dalam penelitian ini, sejumlah pasien akan ditempatkan kedalam sejumlah ruang operasi dengan beberapa kendala keterbatasan resource yang ada. [14] Proses penyelesaian masalah penjadwalan pasien operasi menggunakan FA diawali dengan inisialisasi parameter. Kemudian dilanjutkan dengan menjalankan prosedur yang sesuai dengan proses FA. Prosedur FA secara ringkas dapat dilihat pada Gambar.1 berikut:

```

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. 1. Prosedur *Firefly Algorithm*

Kelebihan algoritma yang dimodifikasi dibandingkan algoritma FA sebelumnya adalah mempunyai waktu komputasi yang lebih pendek. Hal ini ditunjukkan ketika evaluasi intensitas cahaya (I) dilakukan sebelum proses *movement*, sehingga proses *movement* dilakukan hanya pada *firefly* yang bergerak. Nilai fungsi tujuan dari model matematis dipengaruhi oleh proses perhitungan intensitas cahaya setiap *firefly*. [15] 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. [16] Langkah selanjutnya adalah membandingkan intensitas cahaya tiap *firefly* dengan intensitas cahaya *firefly* lainnya. Prosedur dalam menghitung intensitas cahaya ditunjukkan pada Gambar. 2.

```

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

```

Gambar. 2. Prosedur menghitung intensitas cahaya untuk setiap *firefly*

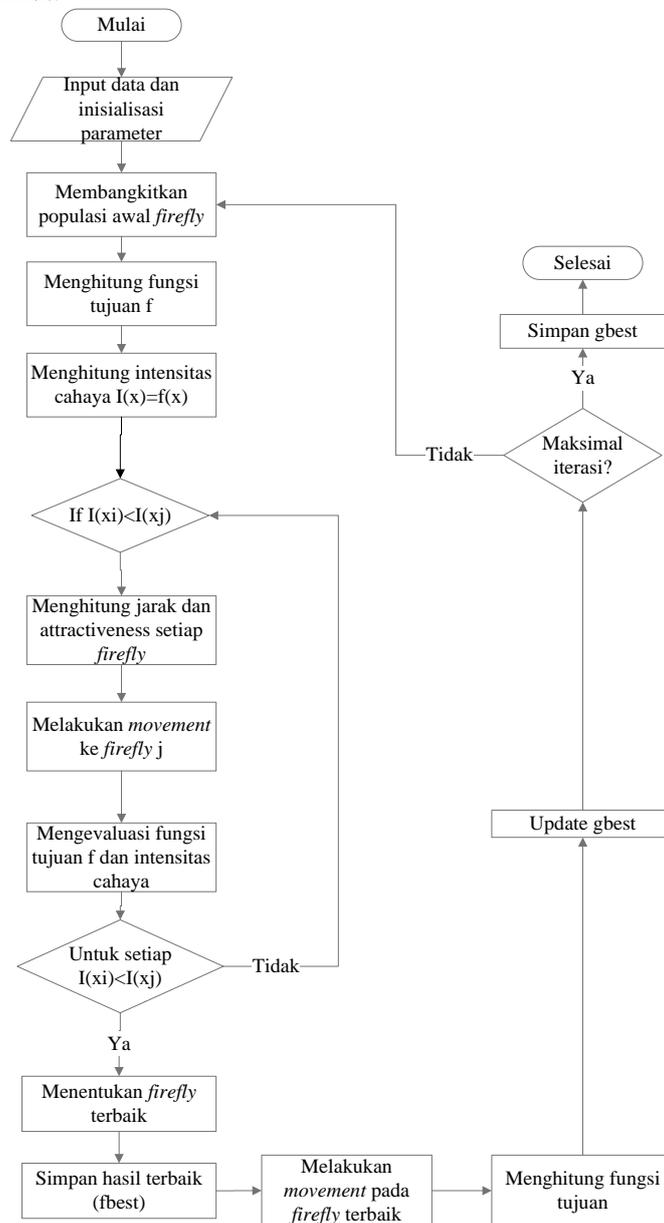
Pada proses membandingkan intensitas cahaya untuk setiap *firefly*, untuk *firefly* yang memiliki intensitas cahaya paling besar menunjukkan bahwa *firefly* tersebut memiliki solusi yang terbaik. [17] Sehingga *firefly* dengan intensitas cahaya rendah akan bergerak menuju *firefly* dengan intensitas cahaya lebih besar. Prosedur dalam membandingkan intensitas cahaya untuk setiap *firefly* ditunjukkan pada Gambar.3 berikut:

```

Prosedur membandingkan intensitas cahaya
begin
for i = 1 to m
  for j = 1 to n
    if intensitascahaya(i) ≤ fungsitujuan(i);
      firefly i bergerak menuju j;
    end
  end
end
end
end
    
```

Gambar. 3. Prosedur membandingkan intensitas cahaya tiap *firefly*

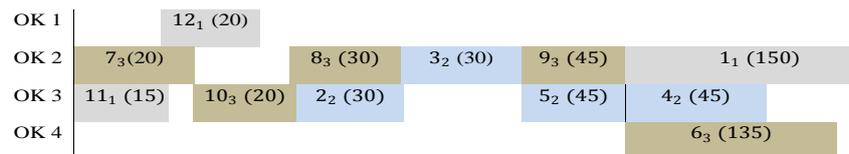
Implementasi algoritma *Firefly* dalam menyelesaikan masalah penjadwalan pasien operasi secara lengkap ditunjukkan pada Gambar.4 berikut.



Gambar. 4. Flowchart *Firefly Algorithm* untuk masalah penjadwalan pasien

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Algoritma yang diusulkan dibuat program pada software Matlab R2014a untuk mempermudah dalam menyelesaikan masalah penjadwalan pasien operasi, output dari implementasi adalah urutan pasien yang akan dioperasi dan nilai *makespan* dengan mempertimbangkan asumsi dan Batasan pada fungsi tujuan model matematis. Proses penyelesaian dengan contoh kasus penjadwalan pasien operasi menggunakan data n pasien dan 4 ruang operasi (OK). Inisialisasi parameter dari FA yang akan digunakan dalam menyelesaikan contoh kasus penjadwalan pasien operasi meliputi banyaknya firefly (m) = 3, koefisien parameter random (α) = 0.1, koefisien penyerapan cahaya (γ) = 1, banyak pasien (n) = 12, dan banyaknya iterasi (maks_iter) = 1. Dari hasil percobaan dengan inisialisasi tersebut diperoleh hasil penjadwalan yang ditunjukkan pada ganttchart berikut:



Gambar. 3. Ganttchart hasil penjadwalan pasien untuk iterasi 1

Penerapan program pada contoh kasus penjadwalan pasien operasi rumah sakit dilakukan dengan mengimplementasikan pada data penjadwalan pasien operasi rumah sakit dengan setiap periode sebanyak 8 periode. Dengan data yang diperoleh, 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.

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

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan jadwal pasien operasi yang mempunyai waktu *makespan* minimum. Berikut merupakan perbandingan waktu *makespan* yang dihasilkan dari data penjadwalan pasien operasi sebelumnya menggunakan manual operator dengan hasil implementasi metode FA *makespan* minimum.

TABEL III
PERBANDINGAN HASIL IMPLEMENTASI DENGAN DATA SEBENARNYA

Periode	Data (menit)	Hasil Implementasi FA (menit)	Efektifitas
1	675	305	45%
2	1110	475	42%
3	960	390	40%
4	960	435	45%
5	1000	600	60%
6	995	545	54%
7	1080	675	62%
8	1095	630	57%
Rata-rata efektifitas			50,6%

Dari hasil penerapan program pada contoh kasus dapat diketahui bahwa FA 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 dengan rata-rata efektifitas sebesar 50,6%. Hal ini menunjukkan bahwa utilitas ruang operasi di RSML dapat ditingkatkan dengan menggunakan algoritma usulan. Selain itu, hasil dari FA tersebut baik digunakan untuk penjadwalan pasien operasi yang telah terjadwal sebelumnya.

IV. KESIMPULAN

Hasil pembahasan dan analisis yang telah dilakukan peneliti dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa FA yang diusulkan berhasil digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pasien operasi di RSML serta

menghasilkan jadwal urutan pasien operasi di 4 ruang operasi mempunyai waktu *makespan* minimum. Hasil eksperimen pada implementasi 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 serta dapat meningkatkan utilitas ruang operasi di rumah sakit sebesar 50,6%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Seematter-Bagnoud *et al.*, “Comparison of different methods to forecast hospital bed needs,” *European Geriatric Medicine*, vol. 6, no. 3, pp. 262–266, Jun. 2015, doi: 10.1016/j.eurger.2014.09.004.
- [2] A. Abedini, H. Ye, and W. Li, “Operating Room Planning under Surgery Type and Priority Constraints,” in *Procedia Manufacturing*, 2016, vol. 5, pp. 15–25. doi: 10.1016/j.promfg.2016.08.005.
- [3] A. Riise, C. Mannino, and E. K. Burke, “Modelling and solving generalised operational surgery scheduling problems,” *Computers and Operations Research*, vol. 66, pp. 1–11, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.cor.2015.07.003.
- [4] D. Min and Y. Yih, “An elective surgery scheduling problem considering patient priority,” *Computers and Operations Research*, vol. 37, no. 6, pp. 1091–1099, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.cor.2009.09.016.
- [5] I. Fister, X. S. Yang, and J. Brest, “A comprehensive review of firefly algorithms,” *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 13, pp. 34–46, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.swevo.2013.06.001.
- [6] R. Aringhieri, P. Landa, P. Soriano, E. Tànfani, and A. Testi, “A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem,” *Computers and Operations Research*, vol. 54, pp. 21–34, 2015, doi: 10.1016/j.cor.2014.08.014.
- [7] R. M’Hallah and A. H. Al-Roomi, “The planning and scheduling of operating rooms: A simulation approach,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 78, pp. 235–248, 2014, doi: 10.1016/j.cie.2014.07.022.
- [8] J. A. Giroto, P. F. Koltz, and G. Drugas, “Optimizing your operating room: Or, why large, traditional hospitals don’t work,” *International Journal of Surgery*, vol. 8, no. 5, pp. 359–367, 2010, doi: 10.1016/j.ijssu.2010.05.002.
- [9] B. Cardoen, E. Demeulemeester, and J. Beliën, “Operating room planning and scheduling: A literature review,” *European Journal of Operational Research*, vol. 201, no. 3, pp. 921–932, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.ejor.2009.04.011.
- [10] P. Landa, R. Aringhieri, P. Soriano, E. Tànfani, and A. Testi, “A hybrid optimization algorithm for surgeries scheduling,” *Operations Research for Health Care*, vol. 8, pp. 103–114, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.orhc.2016.01.001.
- [11] R. Guido and D. Conforti, “A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem,” *Computers and Operations Research*, vol. 87, pp. 270–282, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.cor.2016.11.009.
- [12] M. K. Sayadi, R. Ramezani, and N. Ghaffari-Nasab, “A discrete firefly meta-heuristic with local search for makespan minimization in permutation flow shop scheduling problems,” *International Journal of Industrial Engineering Computations*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, Jun. 2010, doi: 10.5267/j.ijiec.2010.01.001.
- [13] J. Wang, H. Guo, M. Bakker, and K. L. Tsui, “An integrated approach for surgery scheduling under uncertainty,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 118, pp. 1–8, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.cie.2018.02.017.
- [14] H. Wang *et al.*, “Firefly algorithm with neighborhood attraction,” *Information Sciences*, vol. 382–383, pp. 374–387, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.ins.2016.12.024.
- [15] R. K. Sahu, S. Panda, and S. Padhan, “A hybrid firefly algorithm and pattern search technique for automatic generation control of multi area power systems,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 64, pp. 9–23, 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.07.013.
- [16] A. Yelghi and C. Köse, “A modified firefly algorithm for global minimum optimization,” *Applied Soft Computing Journal*, vol. 62, pp. 29–44, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.asoc.2017.10.032.
- [17] K. C. Udaiyakumar and M. Chandrasekaran, “Application of firefly algorithm in job shop scheduling problem for minimization of Makespan,” in *Procedia Engineering*, 2014, vol. 97, pp. 1798–1807. doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.333.