

# PENJADWALAN RUANG OPERASI RUMAH SAKIT DENGAN METODE NON-DOMINATED SORTING GENETIC ALGORITHM II (NSGA-II)

Yeni Roha Mahariyani\*<sup>1)</sup>

1. Universitas Bhinneka PGRI, Indonesia

## Article Info

**Kata Kunci:** penjadwalan; pareto optimal; optimasi; NSGA-II

**Keywords:** scheduling problem; pareto optimal; optimization; NSGA-II

## Article history:

Received 15 January 2023

Revised 24 January 2023

Accepted 3 February 2023

Available online 1 March 2023

## DOI :

<https://doi.org/10.29100/jupi.v8i1.3989>

\* Corresponding author.

Corresponding Author

E-mail address:

[yeniroha@gmail.com](mailto:yeniroha@gmail.com)

## ABSTRAK

Penjadwalan operasi pasien merupakan aktifitas penting pada kegiatan operasional rumah sakit, karena menentukan waktu pasien-pasien tertangani dengan baik. Permasalahan ini dimodelkan sebagai masalah optimasi multi-obyektif yaitu meminimalkan waktu yang digunakan saat tindakan operasi. Masalah penjadwalan operasi dirumuskan sebagai masalah *mixed integer programming* (MIP), sehingga variabel merepresentasikan jadwal kasus operasi yang layak untuk ruangan tertentu dalam satu hari. Tahapan dalam merumuskan solusi heuristik, yaitu menentukan fungsi objektif sebagai solusi fraksional, menentukan solusi integer dengan mengubah solusi fraksional, dan meningkatkan kualitas solusi menggunakan *local branching*, formulasi MIP tersebut didasarkan pada variabel *time-index*. Model optimasi penjadwalan pasien dapat diselesaikan dengan metode berbasis global search. Metode tersebut dapat menghasilkan sejumlah jadwal operasi *non-dominated* yang mendekati pareto front dalam satu proses. Walaupun mampu mendekati pareto front, isu utama dari metode berbasis global search adalah bagaimana menjaga diversitas jadwal operasi. Penelitian ini menerapkan algoritma *Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II). Berdasarkan hasil uji coba, dalam hal isu *diversity* pada penjadwalan operasi, metode NSGA II mampu menghasilkan himpunan pareto optimal dengan tingkat diversitas terbaik sebesar 0.597. Hal ini menunjukkan bahwa metode usulan berbasis NSGA-II mampu menghasilkan jadwal operasi pasien yang beragam dengan berbagai kombinasi.

## ABSTRACT

Scheduling surgery is an important activity in hospital operational activities, because the patient must be handled properly with optimal time so that the surgery scheduling system is important. The problem modeled as a multi-objective optimization problem, are minimizing the time used for surgeries. The surgery scheduling problem is formulated as a mixed integer programming (MIP) problem, so that the variable represents a feasible operating case schedule for a surgery room in one day. The step of formulating a heuristic solution are determining the objective function as a fractional solution and improving the quality of the solution using local branching, the MIP formulation is based on the time-index variable. Patient scheduling optimization model can be solved using based on global search methods. This method can generate a number of non-dominated surgery schedules that are close to the Pareto front in one process. Even though able to approach the Pareto front, the main issue of the global search-based method is how to maintain the diversity of surgery schedules. This research applies the Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) algorithm. Based on the test results, in terms of the diversity issues in surgery scheduling, the NSGA II method is able to produce the optimal Pareto set with the best diversity level of 0.597. This shows that the proposed method based on NSGA-II is capable to producing various patient surgery schedules with various combinations.

## I. PENDAHULUAN

**P**ENJADWALAN operasi pasien merupakan aktifitas penting pada kegiatan operasional rumah sakit. Sistem penjadwalan operasi sangat penting karena menentukan waktu pasien-pasien tertangani dengan baik. Selain itu, hasil penjadwalan menjadi acuan untuk mengelola keterbatasan sumber daya rumah sakit, yaitu ruangan, alat medis dan dokter spesialis [1]. Diperlukan usaha untuk meningkatkan kualitas pelayanan melalui penjadwalan operasi yang efisien sehingga dapat memaksimalkan sumber daya yang ada. Optimalisasi penjadwalan ruang operasi dilakukan supaya dapat meningkatkan utilitas ruang operasi.

Masalah optimasi untuk penjadwalan operasi pasien telah diselesaikan menggunakan metode heuristik berbasis local search [2], [3], [4], [5], [6]. Keterbatasan metode-metode berbasis *local search* adalah kurangnya eksplorasi untuk berbagai berbagai variasi solusi. Keterbatasan ini diselesaikan dengan metode-metode berbasis global search [7], [8]. Metode-metode berbasis global search mampu menghasilkan kumpulan solusi dalam satu proses running. Metode-metode berbasis global search dapat menghasilkan sejumlah jadwal operasi non-dominated yang mendekati pareto front dalam satu proses. Walaupun mampu mendekati pareto front, isu utama dari metode berbasis global search adalah bagaimana menjaga diversitas jadwal operasi. Diversitas ini menentukan seberapa mirip suatu jadwal dengan jadwal lainnya. Diversitas harus dijaga karena jadwal-jadwal yang terlalu mirip satu sama lain tidak memberikan pengguna berbagai kemungkinan jadwal operasi pasien.

Pada penelitian ini akan digunakan metode *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA II) untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pasien di ruang operasi. Algoritma ini merupakan pengembangan dari algoritma genetika. Metode NSGA-II merupakan algoritma evolusioner multi-objective klasik, yaitu salah satu metode optimasi klasik dengan multikriteria dalam pengambilan keputusan. Metode ini dapat mengubah multi tujuan pada masalah optimasi menjadi tujuan tunggal secara optimal Pareto tertentu pada satu waktu. Keunggulan dari algoritma ini adalah mekanisme pemeringkatan non-dominasi yang cepat dan mekanisme pemilihan solusi berdasarkan crowding distance [1]. Algoritma ini diterapkan karena memiliki mekanisme untuk menghitung jarak antar anggota dalam populasi. Jarak tersebut digunakan sebagai acuan untuk menjaga diversitas sebuah populasi. Keunggulan dari mekanisme perhitungan jarak tersebut adalah tidak membutuhkan proses tuning untuk memilih parameter tambahan. Selain tidak membutuhkan proses tuning parameter tambahan, mekanisme perhitungan jarak tersebut memiliki kompleksitas dibawah  $O(N^2)$  karena perhitungan didasarkan pada estimasi cuboid perimeter.

Pada penelitian ini akan dibahas mengenai implementasi metode NSGA II untuk mengoptimalkan penjadwalan pasien ruang operasi rumah sakit. Sistem penjadwalan diasumsikan untuk operasi elektif dengan mempertimbangkan prioritas klinis pasien, jumlah tim dokter bedah, dan durasi operasi.

## II. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah dalam melaksanakan penelitian ini adalah pengumpulan data penjadwalan pasien ruang operasi rumah sakit kemudian dirumuskan usulan metode NSGA II untuk mengoptimalkan jadwal ruang operasi tersebut. Prosedur dalam menerapkan metode NSGA II pada permasalahan penjadwalan ruang operasi adalah sebagai berikut:

### A. Penjadwalan Ruang Operasi Rumah Sakit

Data uji yang digunakan pada penelitian ini diambil dari penjadwalan ruang operasi Rumah Sakit Muhammadiyah Lamongan (RSML) pada tahun 2018. Hasil dari pengumpulan data penjadwalan ruang operasi diperoleh beberapa informasi yang digunakan dalam merumuskan metode NSGA II, antara lain:

1. Jumlah tim bedah yang tersedia sebanyak 20 tim. Tim bedah ini diasumsikan sebagai sumber daya manusia yang melakukan tindakan operasi.
2. Jumlah ruang operasi yang disediakan rumah sakit sebanyak 4 ruang. Setiap ruang operasi ini hanya dapat digunakan untuk satu tim bedah dan pasien yang dioperasi pada periode waktu tertentu. Setiap ruang operasi dapat digunakan untuk semua jenis divisi operasi bedah.

Sistem penjadwalan yang dipakai dalam merumuskan metode yang diusulkan menggunakan beberapa asumsi sebagai berikut:

1. Penugasan tim bedah sudah diketahui untuk setiap pasien yang akan dioperasi.
2. Periode penggunaan setiap ruang operasi digunakan untuk pasien elektif dan cito adalah 24 jam setiap harinya.
3. Waktu yang digunakan selama operasi dilakukan didefinisikan sebagai jumlah blok (time slot) pada periode tertentu. Durasi waktu operasi pasien sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan pada saat penjadwalan awal.
4. Semua *resource* atau tim bedah yang tersedia telah berpengalaman dalam operasi bedah.
5. *Setup time* yang digunakan untuk persiapan sebelum proses operasi dimulai dan selesai adalah selama 30

menit.

### B. Perancangan dan Implementasi Sistem

Dalam merancang sistem penjadwalan, penelitian ini memperhatikan beberapa kondisi nyata, yaitu penempatan sejumlah pasien ke dalam sejumlah ruang operasi dengan beberapa keterbatasan resource yang ada. Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan pasien adalah metode NSGA-II. Keunggulan utama NSGA-II adalah mekanisme pemeringkatan non-dominasi yang cepat dan mekanisme pemilihan solusi berdasarkan *crowding distance* [1]. Oleh karena itu, metode ini diharapkan dapat menyelesaikan masalah penjadwalan ruang operasi secara efektif.

Metode NSGA-II merupakan algoritma berbasis evolusioner [1]. Karakter yang menonjol dari algoritma berbasis evolusioner adalah algoritma ini bekerja dengan mengolah sebuah populasi yang berisi kumpulan beberapa individu. Pada masalah optimasi, masing-masing individu merepresentasikan solusi permasalahan. Dengan mengelola satu himpunan individu, algoritma berbasis evolusioner, termasuk NSGA-II, tidak terjebak pada lokal optima dan memungkinkan algoritma jenis ini untuk memperoleh solusi yang menjadi global optima. Metode NSGA-II memiliki keunggulan dibandingkan algoritma berbasis evolusioner seperti [8], [9], [10], [11]). Keunggulannya adalah NSGA-II berupaya untuk mencapai keseimbangan *convergency* dan *diversity* sebuah populasi. Algoritma yang hanya berfokus pada aspek konvergensi sangat tergantung pada inialisasi populasi dan berpotensi berhenti pada individu-individu yang suboptimal. Sedangkan algoritma yang berfokus pada aspek *diversity* memiliki proses yang lama untuk mendapatkan global optima karena terlalu banyak individu yang lemah.

Perbedaan mendasar antara NSGA-II dengan algoritma berbasis evolusioner [1], seperti Genetic Algorithm (GA), terletak pada fitur-fitur berikut ini:

1. Prinsip elitist, pada NSGA-II ini membawa sejumlah individu-individu elit (individu dengan fitness yang baik) untuk populasi pada generasi berikutnya.
2. Mekanisme *diversity*, pada NSGA-II memiliki mekanisme dalam menjaga *diversity* yang memanfaatkan pengukuran *Crowding distance*.
3. Solusi non-dominated, pada NSGA-II mencari solusi-solusi non-dominated dalam kasus masalah optimasi multi-objective.

Secara umum, prosedur NSGA-II dalam menyelesaikan masalah penjadwalan pasien, dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:

```
Procedure NSGA-II
begin
  inialisasi parameter();
  input data();
  membangkitkan populasi parent ( $P_0$ );
  membangkitkan populasi offspring ( $Q_0$ );
  input crowded distance optimal ( $\alpha_0$ );
  while not termination_condition( ) do
    for  $i \leftarrow 1$  to  $n$  do
      randVal  $\leftarrow$  rand()
      if randVal  $\leq \frac{1}{3}$  then
        parent  $\leftarrow$  selection1(P)
        offspring  $\leftarrow$  mutation(parent)
      else
        if randVal  $\leq \frac{2}{3}$  then
          parents  $\leftarrow$  selection2(P)
          offspring  $\leftarrow$  SBX(parents)
        else
          parents  $\leftarrow$  selection3(P)
          offspring  $\leftarrow$  DE(population[i], parents)
          evaluate_fitness(offspring)
      Q  $\leftarrow$  Q  $\cup$  offspring
      R  $\leftarrow$  P  $\cup$  Q
      ranking_crowding(R)
      P  $\leftarrow$  select_best_individual(R)
  return P
end
```

Gambar. 1. Procedure NSGA-II

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan sistem yang telah dirancang, selanjutnya dilakukan uji coba dan analisis pembahasan dengan

menggunakan data penjadwalan yang diperoleh.

#### A. Skenario Uji Coba

Data untuk uji coba meliputi himpunan ruang operasi di RSML dan himpunan jadwal operasi. Himpunan ruang operasi tersebut berisi nama ruangan yang akan dialokasikan untuk semua jadwal operasi dalam sehari. Setiap jadwal operasi memuat nama pasien, nama spesialis bedah yang menangani operasi (tim bedah), prioritas operasi (cito/elektif), jenis operasi (operasi besar, sedang, dan kecil), dan estimasi waktu pelaksanaan dalam satuan menit. Metode usulan diimplementasikan dalam penjadwalan harian. Pengujian metode usulan dilakukan pada sampel data harian penjadwalan ruang operasi pada tanggal 01-08 Mei 2018.

Algoritma NSGA-II memerlukan sejumlah parameter. Parameter-parameter tersebut perlu ditentukan nilainya sedemikian hingga menghasilkan performa yang maksimal. Penelitian ini tidak berupaya untuk menentukan parameter genetic operator yang terbaik, akan tetapi mengikuti hasil uji coba pada [12] dan [13] yaitu probabilitas crossover sebesar 0.9. Selain itu, parameter yang perlu dipertimbangkan pada algoritma usulan adalah jumlah populasi dan jumlah generasi. Pada penelitian ini, jumlah populasi yang diujicobakan antara lain 100, 150 dan 200. Nilai-nilai tersebut dipilih mengikuti penelitian pada [1], [12], dan [13]. Jumlah populasi diatas 200 tidak diujicobakan karena populasi akan berpotensi terisi dengan banyak chromosome yang tidak valid (melanggar constraint). Jumlah populasi dibawah 100 tidak diujicobakan karena populasi akan berpotensi kehilangan tingkat diversity chromosome. Jumlah generasi yang diujicobakan merujuk pada penelitian [12], antara lain 50, 100, dan 150. Untuk jumlah generasi diatas 150 tidak diujicobakan karena jumlah generasi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap performa jika dibandingkan dengan jumlah populasi [7].

Pada penelitian ini, jika dibandingkan dengan permasalahan optimasi dengan satu fungsi obyektif, masalah optimasi multi-obyektif memiliki dua tujuan yaitu *pertama*, berupaya untuk mencapai konvergen ke himpunan pareto optimal dan *kedua*, berupaya menjaga diversitas solusi-solusi di himpunan pareto optimal. Terkait kedua tujuan tersebut, penelitian ini menggunakan dua buah metric pengukuran kualitas. Penelitian ini menggunakan metric hypervolume untuk mengukur tingkat konvergensi himpunan pareto optimal. Metric ini dipilih karena pareto optimal acuan belum diketahui sebelumnya. Metric ini menunjukkan tingkat konvergensi yang semakin baik ketika nilai metric semakin besar. Karena metode usulan berupaya untuk menghasilkan pareto optimal dengan nilai hypervolume yang besar, semua fungsi obyektif perlu dikonversi ke fungsi minimum. Karena fungsi obyektif pertama ( $f_1$ ) dan kedua ( $f_2$ ) pada penelitian adalah fungsi maksimum, maka kedua fungsi tersebut dikalikan dengan konstanta  $-1$  sehingga menjadi fungsi minimum. Setelah pengubahan fungsi maksimum menjadi minimum, masing-masing nilai fungsi obyektif untuk keseluruhan solusi pada himpunan pareto optimal dinormalisasi menggunakan *Min-Max scaling*. Proses normalisasi ini mengubah nilai fungsi obyektif sehingga berada pada rentang nilai 0 hingga 1.

Proses perhitungan hypervolume memerlukan sebuah reference point, dalam hal ini digunakan untuk penjadwalan ruang operasi dengan model matematis yang memiliki 3 fungsi objektif. *Reference point* yang digunakan merupakan sebuah vector berdimensi 3, yaitu [1.0,1.0,1.0]. Masing-masing elemen pada vector tersebut bernilai 1 karena nilai tersebut adalah nilai maksimum. *Reference point* berisi nilai maksimum karena semua fungsi obyektif sudah dikonversi ke fungsi minimum.

Selain hypervolume, penelitian ini menggunakan diversity metric  $\Delta$  merujuk pada penelitian [1]. Metric ini digunakan untuk menghitung spread atau tingkat diversitas pareto optimal. Metric ini digunakan karena penelitian ini berfokus untuk isu diversity. Metric ini menunjukkan tingkat diversity yang semakin baik ketika nilai metric semakin kecil. Pada penelitian ini, diversity metric  $\Delta$  dihitung dengan mempertimbangkan jarak Euclidean dua buah solusi yang berurutan di himpunan Pareto optimal. Terkait perhitungan tersebut, dua solusi extreme ditentukan terlebih dahulu. Perhitungan diversity metric ditunjukkan pada persamaan (1) berikut:

$$\Delta = \frac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{N-1} |d_i - \bar{d}|}{d_f - d_l + (N-1)\bar{d}} \quad (1)$$

yang mana parameter  $d_f$  dan  $d_l$  adalah dua buah solusi extreme. Parameter  $\bar{d}$  adalah rata-rata jarak Euclidean keseluruhan pasangan solusi berurutan,  $d_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, (N - 1)$ .  $N$  adalah jumlah elemen pada himpunan Pareto optimal. Sama halnya dengan perhitungan hypervolume, *diversity metric* ( $\Delta$ ) dihitung menggunakan hasil normalisasi nilai fungsi obyektif. Karena penelitian ini melibatkan 3 fungsi obyektif, jarak Euclidean antar dua solusi merupakan jarak vektor 3 dimensi.

## B. Analisa Hasil

Performa metode usulan dipengaruhi oleh parameter jumlah populasi dan generasi. Untuk mengetahui berapa jumlah populasi dan generasi terbaik, sejumlah uji coba akan dilakukan. Setelah mengetahui jumlah populasi dan generasi terbaik, performa metode usulan berbasis NSGA-II akan dibandingkan dengan algoritma genetika untuk model optimasi yang sama. Dalam hal ini, dilakukan uji coba dengan dua skenario untuk menentukan populasi dan generasi terbaik.

### 1) Skenario Uji Coba Untuk Menentukan Jumlah Populasi dan Generasi Terbaik

Ada dua skenario ujicoba untuk menentukan jumlah populasi dan generasi terbaik. Skenario uji coba pertama berupaya untuk mengetahui berapa jumlah populasi terbaik diantara nilai 100, 150 dan 200. Pada skenario ini, jumlah generasi ditetapkan ke nilai maksimum, yaitu sebesar 150. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, metode usulan dijalankan sebanyak 10 percobaan. Kemudian keseluruhan hasil akan dihitung nilai rata-rata  $\mu$  dan varian.

Pada uji coba pertama dilakukan skenario dengan berbagai macam rata-rata dan varian. Hasil pengukuran hypervolume untuk jumlah populasi 100, 150 dan 200 dengan jumlah generasi sebesar 150 ditunjukkan pada Tabel I berikut.

TABEL I  
 HASIL PENGUKURAN METRIC HYPERVOLUME SKENARIO PERTAMA

Jumlah Populasi	100		150		200	
Operasi Hari ke-	$\mu$ -hypervolume	varian	$\mu$ -hypervolume	varian	$\mu$ -hypervolume	varian
1	0,827133	0,000124	0,865611	0,000134	0,915233	0,000056
2	0,827878	0,000200	0,880544	0,000053	0,923011	0,000095
3	0,821044	0,000219	0,879800	0,000211	0,921800	0,000156
4	0,831567	0,000241	0,876422	0,000188	0,923189	0,000154
5	0,828711	0,000135	0,877678	0,000203	0,923078	0,000142
6	0,823844	0,000248	0,877656	0,000260	0,923100	0,000067
7	0,818811	0,000266	0,869133	0,000181	0,921367	0,000082
8	0,822089	0,000103	0,874522	0,000161	0,924800	0,000077

Berdasarkan Tabel I, untuk semua hari, jumlah populasi 200 dapat menghasilkan hypervolume maksimal diantara 100, 150 dan 200. Nilai hypervolume minimal didapatkan untuk jumlah populasi 100. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah populasi sebesar 200 dapat menghasilkan hypervolume terbaik.

Hasil pengukuran diversity  $\Delta$  untuk jumlah populasi sebesar 100, 150 dan 200 serta dengan jumlah generasi sebesar 150, ditunjukkan pada Tabel II berikut.

TABEL II  
 HASIL PENGUKURAN METRIC DIVERSITY SKENARIO PERTAMA

Jumlah Populasi	100		150		200	
Operasi Hari ke-	$\mu$ -diversity	varian	$\mu$ -diversity	varian	$\mu$ -diversity	varian
1	0,773889	0,000595	0,677000	0,000156	0,595444	0,000566
2	0,743556	0,000779	0,661444	0,001363	0,605333	0,000790
3	0,757000	0,001044	0,655889	0,000869	0,609778	0,000598
4	0,745444	0,001162	0,641778	0,000808	0,597889	0,000807
5	0,728889	0,000326	0,655333	0,000962	0,583778	0,000984
6	0,736889	0,000585	0,644222	0,000903	0,603111	0,000303
7	0,745889	0,001230	0,671333	0,000756	0,588000	0,000768
8	0,735778	0,000925	0,636556	0,000660	0,594444	0,000826

Berdasarkan Tabel II, untuk semua hari, jumlah populasi 200 dapat menghasilkan tingkat diversity terkecil diantara 100, 150 dan 200. Nilai diversity terbesar didapatkan untuk jumlah populasi 100. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah populasi sebesar 200 dapat menghasilkan tingkat diversity terbaik.

Skenario uji coba kedua berupaya untuk mengetahui berapa jumlah generasi terbaik diantara nilai 50, 100 dan 150. Pada skenario ini, jumlah populasi ditetapkan ke nilai yang terbaik pada skenario pertama, yaitu sebesar 200. Sama halnya dengan skenario pertama, metode usulan dijalankan sebanyak 10 percobaan. Kemudian keseluruhan hasil akan dihitung nilai rata-rata  $\mu$  dan varian.

Pada skenario kedua, dilakukan dengan berbagai macam rata-rata dan varian tertentu. Hasil pengukuran metric hypervolume untuk jumlah generasi sebesar 50, 100 dan 150 serta dengan jumlah populasi sebesar 200 ditunjukkan pada Tabel III berikut.

TABEL III  
 HASIL PENGUKURAN METRIC HYPERVOLUME SKENARIO KEDUA

Jumlah Populasi	50		100		150	
Operasi Hari ke-	$\mu$ -Hypervolume	Varian	$\mu$ -Hypervolume	Varian	$\mu$ -Hyper-volume	Varian
1	0,898789	0,000058	0,899700	0,000044	0,899644	0,000085
2	0,907589	0,000064	0,908322	0,000089	0,905478	0,000082
3	0,908111	0,000147	0,904533	0,000160	0,905744	0,000159
4	0,907778	0,000146	0,908178	0,000174	0,909000*	0,000146
5	0,906178	0,000129	0,908600*	0,000138	0,905978	0,000151
6	0,909100	0,000063	0,909478	0,000075	0,909200	0,000061
7	0,906067	0,000081	0,906344	0,000093	0,907289	0,000062
8	0,909411	0,000056	0,909300	0,000099	0,910311	0,000100

Berdasarkan Tabel III jumlah generasi yang menghasilkan hypervolume maksimal adalah 150 untuk operasi-operasi per tanggal 04 Mei 2018. Namun, untuk operasi-operasi di tanggal yang sama, perbedaan antara jumlah generasi 50, 100 dan 150 tidak terlalu lebar. Untuk operasi di tanggal 05 Mei 2018, jumlah generasi 100 menghasilkan hypervolume terbesar diantara 50, 100 dan 150. Namun perbedaannya tidak terlalu lebar. Hasil dari skenario kedua untuk parameter jumlah generasi menunjukkan bahwa jumlah generasi tidak terlalu berpengaruh terhadap performa metode usulan untuk metric hypervolume.

Hasil pengukuran diversity  $\Delta$  untuk jumlah generasi sebesar 50, 100 dan 150 serta dengan jumlah populasi sebesar 200 ditunjukkan pada Tabel IV berikut.

TABEL IV  
 HASIL PENGUKURAN METRIC DIVERSITY SKENARIO KEDUA

Jumlah Populasi	50		100		150	
Operasi Hari ke-	$\mu$ -diversity	varian	$\mu$ -diversity	varian	$\mu$ -diversity	varian
1	0,574300*	0,000707	0,577778	0,000634	0,595444	0,000566
2	0,584700	0,000706	0,584700	0,000919	0,605333	0,000790
3	0,587411	0,000700	0,589900	0,000667	0,609778	0,000598
4	0,578244	0,000900	0,576922*	0,000813	0,597889	0,000807
5	0,562000	0,001085	0,561800	0,000847	0,583778	0,000984
6	0,581500	0,000365	0,581267	0,000410	0,603111	0,000303
7	0,568833	0,000793	0,563000	0,000810	0,588000	0,000768
8	0,576689	0,000798	0,575733	0,000930	0,594444	0,000826

Berdasarkan Tabel IV jumlah generasi yang menghasilkan diversity terkecil adalah 100 untuk operasi-operasi per tanggal 04 dan 05 Mei 2018. Namun, untuk operasi-operasi di tanggal yang sama, perbedaan antara jumlah generasi 50, 100 dan 150 tidak terlalu lebar. Untuk operasi di tanggal 01 Mei 2018, jumlah generasi 50 menghasilkan diversity terkecil diantara 50, 100 dan 150. Namun perbedaannya tidak terlalu lebar. Hasil dari skenario kedua untuk parameter jumlah generasi menunjukkan bahwa jumlah generasi tidak terlalu berpengaruh terhadap performa metode usulan untuk metric diversity.

## 2) Hasil Uji Coba Untuk Membandingkan Metode Usulan Dengan Algoritma Genetika (GA)

Uji coba ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar performa metode usulan dibandingkan algoritma genetika. Penelitian ini menggunakan baseline algoritma genetika karena baik NSGA-II dan genetika sama-sama bersifat pencarian global. Karena penelitian ini berupaya menyelesaikan isu terkait diversity, perbandingan performa menggunakan metric diversity  $\Delta$ .

Skenario untuk uji coba ini dimulai dengan menetapkan nilai parameter jumlah generasi dan populasi NSGA-II. Jumlah generasi dan populasi akan menggunakan nilai terbaik dari hasil uji coba sebelumnya, yaitu jumlah populasi 200 dan jumlah generasi 50. Jumlah generasi menggunakan 50 karena antara 50, 100 dan 150 tidak menghasilkan perbedaan yang lebar dan jumlah generasi 50 lebih menghemat komputasi. Sedangkan untuk algoritma genetika, parameter yang digunakan mengacu pada [9] [10], [14].

Sama halnya dengan dua skenario sebelumnya yang telah dilakukan, metode usulan dijalankan sebanyak 10 kali untuk setiap tanggal. Hasil uji coba untuk skenario ketiga ditunjukkan pada Tabel V berikut.

TABEL V  
 HASIL PERBANDINGAN METRIC DIVERSITY ANTARA METODE USULAN BERBASIS NSGA-II DENGAN GA

Operasi Hari ke-	Metode Usulan Berbasis NSGA-II		Algoritma Genetika	
	$\mu$ -diversity	varian	$\mu$ -diversity	varian
1	0,583422	0,000553	0,714200	0,000542
2	0,593033	0,000806	0,711478	0,000544
3	0,597178	0,000598	0,725844	0,000599
4	0,585633	0,000783	0,705633	0,000916
5	0,571633	0,000953	0,699633	0,000863
6	0,591244	0,000294	0,712689	0,000274
7	0,575378	0,000710	0,697156	0,001187
8	0,582522	0,000864	0,703856	0,000885

Berdasarkan Tabel V, hasil uji coba yang dilakukan pada semua hari menunjukkan metode usulan berbasis NSGA-II memiliki nilai rata-rata yang lebih rendah daripada algoritma genetika. Hal ini menunjukkan bahwa pareto optimal dari NSGA-II lebih baik daripada algoritma genetika.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji coba dengan beberapa skenario, metode NSGA-II untuk penjadwalan ruang operasi mampu menghasilkan himpunan pareto optimal dengan tingkat diversity terbaik sebesar 0.597 dengan jumlah populasi sebesar 200 dan jumlah generasi sebesar 50. Perbandingan metode usulan dengan baseline (Algoritma Genetika) dapat disimpulkan bahwa tingkat diversity metode usulan lebih rendah daripada algoritma baseline. Hal ini menunjukkan bahwa metode usulan berbasis NSGA-II mampu menghasilkan jadwal-jadwal operasi pasien yang beragam dengan berbagai kombinasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Deb, A. Pratap, S. Agarwal, and T. Meyarivan, "A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II," 2002.
- [2] Z. Abdelrasol, N. Harraz, and A. Eltawil, "Operating room scheduling problems: A survey and a proposed solution framework," in *Transactions on Engineering Technologies: Special Issue of the World Congress on Engineering and Computer Science 2013*, Springer Netherlands, 2014, pp. 717–731. doi: 10.1007/978-94-017-9115-1\_52.
- [3] R. Aringhieri, P. Landa, P. Soriano, E. Tãnfani, and A. Testi, "A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem," *Comput Oper Res*, vol. 54, pp. 21–34, 2015. doi: 10.1016/j.cor.2014.08.014.
- [4] R. M'Hallah and A. H. Al-Roomi, "The planning and scheduling of operating rooms: A simulation approach," *Comput Ind Eng*, vol. 78, pp. 235–248, 2014. doi: 10.1016/j.cie.2014.07.022.
- [5] J. M. Molina-Pariente, E. W. Hans, J. M. Framinan, and T. Gomez-Cia, "New heuristics for planning operating rooms," *Comput Ind Eng*, vol. 90, pp. 429–443, Dec. 2015. doi: 10.1016/j.cie.2015.10.002.
- [6] A. Riise, C. Mannino, and E. K. Burke, "Modelling and solving generalised operational surgery scheduling problems," *Comput Oper Res*, vol. 66, pp. 1–11, Feb. 2016. doi: 10.1016/j.cor.2015.07.003.
- [7] R. Guido and D. Conforti, "A hybrid genetic approach for solving an integrated multi-objective operating room planning and scheduling problem," *Comput Oper Res*, vol. 87, pp. 270–282, Nov. 2017. doi: 10.1016/j.cor.2016.11.009.
- [8] A. Brezulianu, L. Fira, and M. Fira, "A genetic algorithm approach for scheduling of resources in well-services companies," 2012. [Online]. Available: [www.ijacsa.thesai.org](http://www.ijacsa.thesai.org)
- [9] A. Konak, D. W. Coit, and A. E. Smith, "Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial," *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 91, no. 9, pp. 992–1007, Sep. 2006. doi: 10.1016/j.res.2005.11.018.
- [10] J. A. Vasconcelos, J. A. Ramirez, R. H. C. Takahashi, and R. R. Saldanha, "Improvements in genetic algorithms," *IEEE Trans Magn*, vol. 37, no. 5 I, pp. 3414–3417, 2001. doi: 10.1109/20.952626.
- [11] Y. Li and Z. Chen, "The distributed permutation flowshop scheduling problem: A genetic algorithm approach," 2015. [Online]. Available: <http://soa.iti.es>.
- [12] H. Li and Q. Zhang, "Multiobjective optimization problems with complicated pareto sets, MOEA/ D and NSGA-II," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 13, no. 2, pp. 284–302, 2009. doi: 10.1109/TEVC.2008.925798.
- [13] P. Murugan, S. Kannan, and S. Baskar, "Application of NSGA-II algorithm to single-objective transmission constrained generation expansion planning," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 24, no. 4, 2009. doi: 10.1109/TPWRS.2009.2030428.
- [14] A. H. Wright, "Genetic Algorithms for Real Parameter Optimization," 1991, pp. 205–218. doi: 10.1016/b978-0-08-050684-5.50016-1.