p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

# PENJADWALAN RUANG OPERASI HEMAT ENERGI MENGGUNAKAN *SIMULATED ANNEALING*

**Nurmaya[1*], Kamaludin[2], Aan Kardiana[3], Sri Puji Utami Atmoko[4]**
Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas YARSI
JL. Let. Jend. Suprapto Kav. 13 RT.10/RW.05 Cempaka Putih, Jakarta Pusat
E-mail: *nurmaya@yarsi.ac.id[1], kamalmuara173@gmail.com[2], aan.kardiana@yarsi.ac.id[3], puji.atmoko@yarsi.ac.id[4]

**Abstrak** – Optimalisasi penjadwalan operasi diperlukan untuk optimalisasi anggaran operasional rumah sakit karena menghabiskan biaya yang cukup besar. Efisiensi pemakaian listrik, yang berimplikasi pada penurunan biaya listrik, merupakan variabel yang dapat dilakukan untuk mencapai optimalisasi anggaran operasional rumah sakit. Studi ini bertujuan untuk membuat jadwal operasi yang optimum berdasarkan biaya listrik minimum. Penggunaan metode *Simulated Annealing* dan pengimplementasian pembuatan jadwal pada *platform web* dilakukan agar dapat menghasilkan rekomendasi jadwal operasi dengan anggaran listrik yang minimum. Hasil studi menunjukkan bahwa sistem dapat menghasilkan rekomendasi jadwal dengan biaya listrik yang rendah dengan menggunakan model *Simulated Annealing* yang memiliki maksimum iterasi 50 dan maksimum temperatur 1000 dengan nilai penurun suhu sebesar 0.9. Hasil penilaian USEQ kuesioner pada 30 responden di bidang medis menunjukkan kepuasan dalam penggunaan sistem penjadwalan operasi dengan nilai USEQ sebesar 21.63 dari nilai maksimum 30.

**Kata Kunci:** jadwal operasi, *simulated annealing*, hemat energi, biaya listrik, *USEQ*

## I. PENDAHULUAN

Optimalisasi penggunaan anggaran berperan penting dalam menjaga keberlangsungan operasional rumah sakit serta menjaga kualitas layanan (Purwadhi et al., 2024). Hidayat & Suhron (2024) mengungkapkan bahwa 40% dari biaya operasional rumah sakit digunakan untuk mendukung aktivitas ruang operasi. Biaya listrik merupakan salah satu biaya yang dapat dikendalikan untuk mencapai efisiensi jangka pendek (Netsuite, 2024, dikutip oleh Dewi et al., 2025). Pengendalian ini dapat menghasilkan penghematan yang signifikan dan berdampak langsung pada margin keuangan rumah sakit (Dewi et al., 2025). Untuk kegiatan operasi, pengendalian biaya listrik dapat dilakukan dengan efisiensi penggunaan alat-alat di ruang operasi, misalnya penggunaan sistem pendingin udara yang hemat energi di ruang operasi (Chen, 2018) . Oleh karena itu, penelitian ini memfokuskan strategi penjadwalan operasi pada optimalisasi penggunaan ruang operasi, dengan pengukuran berbasis estimasi biaya listrik minimum dari setiap penggunaan ruang tersebut. Pendekatan ini berpotensi meningkatkan efisiensi anggaran rumah sakit, terutama pada sektor pelayanan bedah.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperoleh solusi dengan nilai energi minimum adalah *Simulated Annealing* (SA). Metode ini menerapkan pendekatan probabilistik yang memungkinkan proses pencarian solusi terhindar dari jebakan nilai minimum lokal (Kirkpatrick et al., 1983). Hasil studi sebelumnya menunjukkan SA dapat menghasilkan penjadwalan yang optimal di berbagai sektor, dengan tujuan meningkatkan efisiensi biaya operasional, mengurangi waktu produksi, serta memperoleh kualitas produk yang optimal (Anshari et al., 2024; Utomo & Setiafindari, 2021; Ziliwu & Prasetyo, 2025). Namun, studi mengenai penerapan SA dalam sektor kesehatan, khususnya pada penjadwalan operasi yang mempertimbangkan estimasi biaya listrik dari penggunaan ruang operasi untuk efisiensi biaya operasional, masih terbatas. Oleh karena itu, penting untuk menginvestigasi mengenai penerapan SA dalam mengoptimalkan penjadwalan operasi berdasarkan estimasi biaya listrik dari penggunaan ruang operasi.

Selain melalui efisiensi anggaran, keberlanjutan operasional rumah sakit dapat dicapai melalui pemanfaatan teknologi informasi, yang juga berdampak pada peningkatan kualitas layanan kesehatan kepada masyarakat. (Augustyana et al., 2025; Purwadhi et al., 2024). Secara spesifik, penerapan teknologi pada penjadwalan operasi dapat menghindari kesalahan seperti jadwal yang bentrok dan penugasan ahli medis di waktu bersamaan, yang sering terjadi pada pencatatan manual. Kesalahan tersebut dapat menyebabkan penundaan operasi, yang pada akhirnya merugikan pasien. Lebih lanjut, Purwadhi et al. (2024) mengemukakan bahwa teknologi informasi memungkinkan rumah sakit untuk merencanakan peralatan medis secara lebih terukur. Hal ini dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas layanan medis dengan biaya yang lebih efisien dan tepat sasaran. Implementasi penjadwalan operasi dalam *platform web* juga memungkinkan pihak manajerial rumah sakit untuk mengevaluasi jadwal, baik yang belum, sedang, maupun sudah terlaksana.

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

Kemampuan evaluasi ini dapat membantu pengelolaan sumber daya yang terlibat dalam aktivitas operasi, termasuk ruang operasi dan alat yang tersedia. Pengelolaan sumber daya yang efektif berpotensi meningkatkan kualitas layanan kesehatan yang diberikan kepada masyarakat.

Dengan demikian, studi ini bertujuan untuk menginvestigasi kemampuan SA dalam menghasilkan jadwal operasi optimal, berdasarkan estimasi biaya listrik minimum dari penggunaan ruang operasi, yang diimplementasikan dalam sebuah sistem berbasis *web*. Kemampuan SA dievaluasi dengan membandingkan biaya listrik penggunaan ruang operasi sebelum dan sesudah proses optimalisasi. Selain itu, kepuasan pengguna terhadap sistem juga dievaluasi menggunakan instrumen *Usefulness*, *Satisfaction*, and *Ease of Use Questionnaire* (USEQ). Penjelasan lebih rinci mengenai metode evaluasi diuraikan pada bagian Metode Penelitian.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

*Simulated Annealing* (SA) sebuah metode pencarian nilai minimum dengan kompleksitas rendah (Blocho, 2020). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa SA dapat digunakan untuk menemukan penjadwalan optimal di berbagai bidang. Dalam bidang transportasi, Anshari et al. (2024) menerapkan SA untuk mengoptimalkan biaya operasional penerbangan melalui evaluasi total biaya dan waktu dari jadwal penerbangan. Demikian pula di bidang produksi barang, Utomo & Setiafindari (2021) menggunakan SA untuk menyusun jadwal produksi dengan waktu produksi yang rendah. Sementara itu, dalam ranah pertanian, Ziliwu & Prasetyo (2025) mengaplikasikan metode SA untuk membuat jadwal penanaman yang optimal, yaitu yang memberikan hasil panen terbaik dengan memperhitungkan beberapa variabel seperti kebutuhan air, sinar matahari, jenis tanah, dan musim.

Pada bidang kesehatan, penjadwalan operasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain ketersediaan ruang operasi, peralatan medis, serta keterlibatan tenaga ahli yang akan melaksanakan operasi. Konsekuensinya, biaya yang dikeluarkan cukup besar, salah satunya berasal dari konsumsi listrik akibat penggunaan ruang operasi. Penjadwalan operasi dapat dioptimalkan dengan mempertimbangkan konsumsi listrik ruang operasi, karena biaya listrik merupakan komponen anggaran yang dapat dikendalikan dalam upaya optimalisasi pembiayaan operasional rumah sakit. Oleh karena itu, penyusunan jadwal operasi berbasis konsumsi listrik minimum ruang operasi dapat dioptimalkan menggunakan SA.

Penerapan teknologi informasi untuk optimalisasi penjadwalan mempermudah pengguna dalam menemukan jadwal yang paling efisien (Ginting et al., 2023; Lukman & Hasibuan, 2021). Otomatisasi penyusunan jadwal optimal menghasilkan rekomendasi secara cepat serta mengurangi potensi kesalahan yang sering terjadi pada penjadwalan manual (Satryawati et al., 2025; Wiratna et al., 2023). Hal tersebut berpotensi meningkatkan kualitas layanan kesehatan bagi masyarakat. Oleh karena itu, pemanfaatan teknologi informasi menjadi penting dalam proses penyusunan jadwal operasi.

## III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi untuk mengevaluasi efektivitas metode SA dalam menghasilkan penjadwalan operasi rumah sakit yang efisien dari sisi biaya. Data berupa jadwal awal operasi diolah dengan algoritma SA, kemudian hasil optimasi dibandingkan dengan jadwal awal berdasarkan biaya energi listrik yang dikeluarkan.

Selain itu, metode SA diimplementasikan dalam sistem berbasis *web* yang dirancang untuk memfasilitasi proses penjadwalan. Dengan demikian, pengujian difokuskan pada dua aspek, yaitu kinerja metode SA dan kepuasan pengguna terhadap sistem.

A. Data Penelitian

Data pengujian metode SA yang digunakan dalam penelitian ini berupa data simulasi, dengan skenario kebutuhan ruang operasi dan estimasi konsumsi listrik sebagai dasar pengujian. Tabel 1 menampilkan data simulasi jadwal operasi yang digunakan untuk pengujian algoritma SA. Meskipun jam masuk, jam keluar, dan total biaya tidak sepenuhnya merepresentasikan kondisi sebenarnya di rumah sakit, karena durasi jam operasi relatif singkat dan total biaya listrik tergolong rendah, nama ruang dan jenis operasi tetap merujuk pada *Pedoman Teknis Sarana dan Prasarana Rumah Sakit Kelas B* yang diterbitkan oleh Kementerian Kesehatan RI (Kementrian Kesehatan RI, 2010).

Tabel 1. Data Simulasi Jadwal Operasi

| Ruang | Nama Operasi | Tanggal | Jam Masuk | Jam Keluar | Total Harga (Rp.) |
|---|---|---|---|---|---|
| Kateterisasi Jantung | Operasi Jantung | 22/8/18 | 10:51 | 10:52 | 102.13 |
| Operasi Mayor | Operasi Sesar | 22/8/18 | 10:51 | 10:52 | 1.49 |
| Tindakan Bedah | Operasi Katarak | 24/8/18 | 9:48 | 9:52 | 2.16 |
| Operasi Minor | Operasi Usus | 24/8/18 | 9:50 | 10:00 | 6.02 |
| Resusitasi Bedah | Operasi Usus besar | 9/2/18 | 12:16 | 12:18 | 1.22 |
| **Total Harga** | | | | | **113.02** |

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

Penggunaan data simulasi dipilih untuk memudahkan pengendalian variabel-variabel yang memengaruhi hasil penjadwalan, sehingga dapat diperoleh jadwal dengan biaya penggunaan listrik yang lebih efisien. Selain itu, pendekatan ini memastikan konsistensi dalam pengukuran kinerja algoritma SA.

Pengujian kepuasan pengguna terhadap sistem melibatkan 30 responden yang memiliki keterkaitan erat dengan bidang medis. Responden terdiri atas 1 petugas puskesmas di wilayah Jakarta Pusat serta 29 mahasiswa kedokteran dari salah satu universitas swasta di Jakarta Pusat.

B. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini mengadaptasi Mauricio et al. (2024) yang terdiri atas tiga tahapan. Pertama, perancangan model konseptual sistem yang menggambarkan hubungan antar modul dalam mendukung proses bisnis sistem. Kedua, implementasi model konseptual yang mencakup aliran data setiap modul yang terhubung dengan basis data sebagai tempat penyimpanan, serta rancangan arsitektur sistem. Ketiga, pengujian untuk menilai keefektifan algoritma dalam menghasilkan rekomendasi penjadwalan operasi yang hemat energi, serta evaluasi tingkat kepuasan pengguna terhadap sistem penjadwalan operasi yang menerapkan algoritma SA.

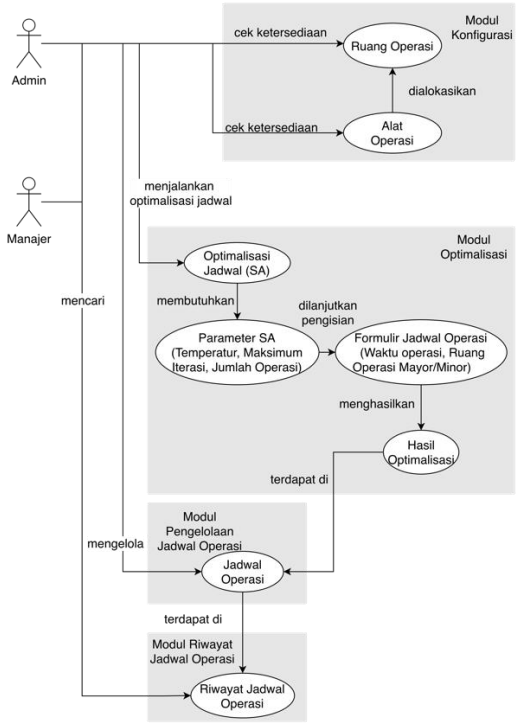
**Model Konseptual Sistem Penjadwalan Operasi**

Model konseptual sistem penjadwalan operasi ini dirancang untuk memfasilitasi penyusunan jadwal operasi yang optimal dengan mempertimbangkan efisiensi penggunaan energi listrik, sehingga dapat berkontribusi pada penurunan biaya operasional. Model ini melibatkan dua aktor utama. Pertama, petugas admin yang berperan dalam keseluruhan alur interaksi dengan sistem, mulai dari konfigurasi data hingga menghasilkan laporan jadwal operasi. Kedua, pihak manajemen rumah sakit yang berperan sebagai penerima informasi, yaitu laporan operasi yang telah dilaksanakan. Model konseptual ini terdiri dari beberapa tahapan yang saling terkait, dimulai dari konfigurasi data hingga menghasilkan laporan operasi yang telah dilaksanakan. Berikut penjelasan setiap tahapannya:

Tahap pertama adalah Modul Konfigurasi, di mana petugas memasukkan data dasar yang diperlukan untuk menjalankan sistem. Data tersebut meliputi informasi ruang operasi, peralatan medis beserta daya listriknya, serta tarif listrik yang berlaku. Data konfigurasi ini menjadi fondasi utama yang digunakan pada tahap selanjutnya dalam proses penjadwalan. Jika tidak diperlukan data tambahan di bagian konfigurasi, maka petugas dapat langsung melakukan penjadwalan.

Setelah konfigurasi dilakukan, sistem berlanjut ke Modul Optimalisasi, dimana SA digunakan sebagai inti proses penjadwalan. Selanjutnya, Modul Pengelolaan Jadwal Operasi memungkinkan petugas melakukan perubahan jadwal jika terjadi penyesuaian, baik dengan pembaruan manual maupun dengan menjalankan kembali proses optimalisasi menggunakan SA. Hal ini memberikan fleksibilitas dalam menangani dinamika kebutuhan di lapangan.

Tahap terakhir adalah Modul Laporan, yang merekam hasil akhir dari penjadwalan operasi. Laporan ini mencakup jadwal operasi yang telah ditetapkan, ruang operasi yang digunakan, serta informasi biaya dan total konsumsi listrik. Dengan demikian, laporan dapat digunakan sebagai acuan efisiensi penggunaan sumber daya. Gambar 1 menggambarkan diagram konseptual sistem.




Gambar 1. Konseptual Model Sistem Penjadwalan Operasi

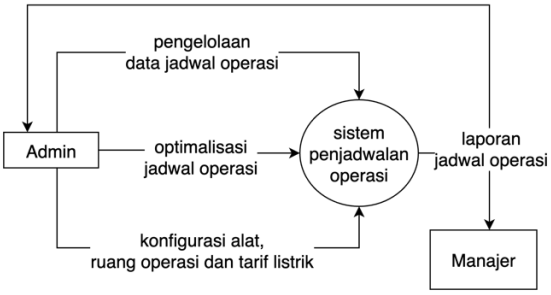
**Implementasi model**

*Data Flow Diagram*

Untuk memodelkan alur data yang terjadi di dalam sistem penjadwalan operasi, digunakan *Data Flow Diagram* (DFD). Diagram ini menggambarkan arus data antar proses, penyimpanan data dan interaksi dengan pengguna.

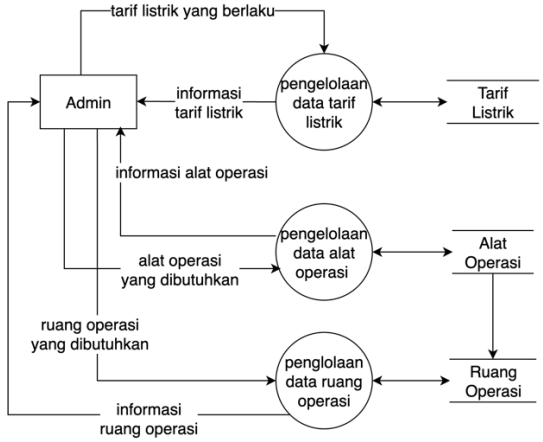
Pada studi ini, DFD digambarkan dari level 0 sampai dengan level 3. Gambar 2 menunjukkan DFD level 0 yang menggambarkan gambaran umum sistem secara keseluruhan, yang terdiri dari empat proses utama yaitu konfigurasi alat, ruang operasi dan tarif listrik, optimalisasi penjadwalan operasi dengan metode SA, pengelolaan data jadwal operasi dan riwayat jadwal operasi.

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922



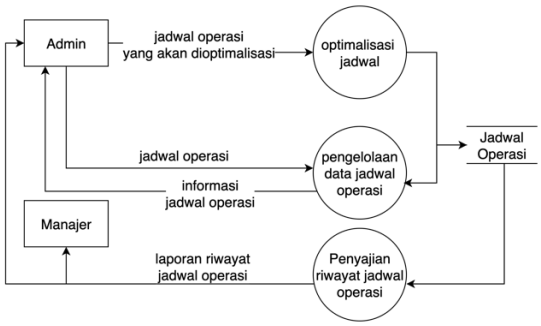

Gambar 2. DFD level 0 – Gambaran umum sistem penjadwalan operasi

DFD level 1 menggambarkan masing-masing empat proses utama menjadi subproses. Pada subproses konfigurasi data, yang mencakup alat operasi, ruang operasi, dan tarif listrik, admin dapat langsung memasukkan data ke dalam sistem, atau terlebih dahulu melakukan pengecekan ketersediaan ruang, dokter, dan peralatan operasi sebelum data dimasukkan. Alur ini tergambar pada DFD Level 1 modul konfigurasi di Gambar 3.

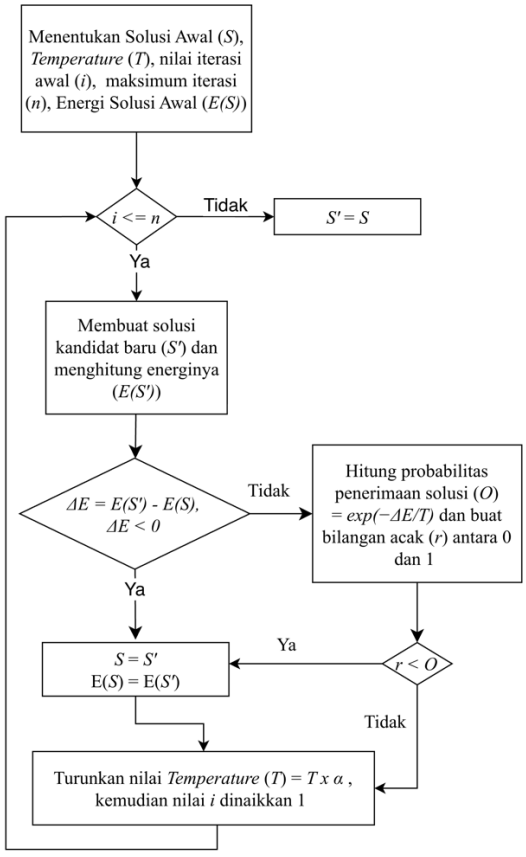



Gambar 3. DFD level 1 – modul konfigurasi

Pada subproses modul optimalisasi, admin memasukkan data jadwal operasi yang akan dioptimalkan. Selanjutnya, data tersebut dapat disimpan pada tabel *Jadwal Operasi* di basis data sesuai kebutuhan pengguna. Hasil optimalisasi ditampilkan kembali kepada admin melalui proses pengelolaan data jadwal operasi pada modul pengelolaan jadwal. Pada modul ini, admin dapat menambahkan jadwal baru, serta mengubah atau menghapus jadwal yang sudah ada. Penambahan jadwal dapat dilakukan dengan atau tanpa optimalisasi. Jika penambahan jadwal dilakukan dengan optimalisasi, admin akan diarahkan ke menu *Simulated Annealing*. Selain itu, riwayat jadwal operasi dapat diakses admin melalui proses penyajian riwayat jadwal operasi pada modul laporan. Gambar 4 memperlihatkan DFD level 1 yang menggambarkan alur keseluruhan proses, meliputi modul optimalisasi, pengelolaan jadwal operasi, dan laporan.




Gambar 4. DFD level 1 - modul optimalisasi, modul pengelolaan jadwal operasi, dan modul riwayat jadwal operasi




Gambar 5. Alur kerja algoritma SA pada Sistem Penjadwalan Operasi

Proses rinci pengoptimalan jadwal operasi dengan metode SA serta pengelolaan jadwal operasi ditunjukkan di DFD level 2. Admin memasukkan nilai *temperature*, jumlah maksimum iterasi, dan data jadwal operasi untuk dilakukan optimalisasi melalui proses optimalisasi dengan metode SA. Algoritma SA berkerja dengan prinsip mencari solusi terbaik melalui proses iteratif yang meniru mekanisme pendinginan logam (*annealing*). Secara garis besar, prosesnya terdiri atas inisialisasi solusi awal, perhitungan energi, penentuan parameter

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

algoritma, pembangkitan kandidat solusi baru, evaluasi solusi, hingga pemilihan solusi terbaik. Gambar 5 menunjukkan alur kerja algoritma SA. Berikut adalah detail pelaksanaan algoritma SA pada sistem:

1. Langkah pertama adalah menentukan solusi awal (*S*), yaitu jadwal yang disusun secara manual oleh petugas beserta jumlah energi yang dikonsumsi, yang pada tahap ini dianggap sebagai solusi terbaik sementara (*E(S)*). Selanjutnya, ditentukan parameter algoritma yang meliputi temperatur awal (*T*), konstanta penurun suhu ($\alpha$), jumlah iterasi maksimum (*n*), dan iterasi awal (*i*). Dalam penelitian ini, nilai *T* ditetapkan sebesar 1000 dan $\alpha$ sebesar 0,9.
2. Jika jumlah iterasi belum melebihi batas maksimum, buat kandidat solusi baru (*S'*) secara acak dan hitung nilai energinya (*E(S')*), kemudian lanjut ke langkah 3. Namun, jika jumlah iterasi telah melampaui batas maksimum, maka solusi saat ini dianggap sebagai solusi terbaik (*S' = S*).
3. Pada langkah ini dilakukan perhitungan perbedaan energi ($\Delta E$), yaitu selisih antara energi kandidat solusi baru (*E(S')*) dan energi solusi terbaik saat ini (*E(S)*). Jika $\Delta E < 0$, maka kandidat solusi baru diterima sebagai solusi saat ini beserta nilai energinya, kemudian dilakukan penurunan suhu pada langkah 5. Sebaliknya, jika $\Delta E > 0$, maka dilakukan perhitungan nilai probabilitas penerimaan solusi ($O$) = $exp(-\Delta E/T)$, yang dilanjutkan dengan penentuan bilangan acak (*r*) dengan rentang nilai antara 0 dan 1.
4. Jika nilai $r < O$, maka kandidat solusi baru ditetapkan sebagai solusi saat ini beserta nilai energinya, kemudian dilanjutkan ke langkah 5. Namun, jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka dilakukan penurunan suhu pada langkah 5.
5. Penurun suhu dilakukan dengan mereduksi suhu saat ini menggunakan faktor pereduksi ($T = T \times \alpha$). Nilai iterasi (*i*) kemudian dinaikkan 1, dan proses diulangi kembali dari langkah 2.

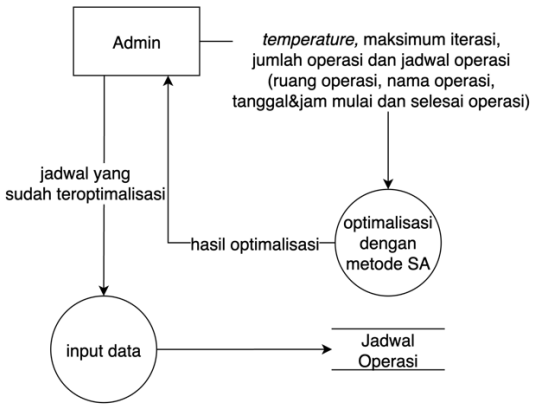
Perhitungan nilai energi didasarkan pada total konsumsi listrik yang dikalikan dengan tarif listrik yang berlaku. Sebagai ilustrasi, terdapat dua ruang operasi yang akan digunakan, masing-masing dengan konsumsi energi sebesar 3000 kWh selama 3 jam, dengan tarif listrik Rp. 900 per kWh. Perhitungan energinya adalah sebagai berikut:

$$(3000 \times 900) + (3000 \times 900) = 2.700.000 + 2.700.000 = 5.400.000.$$

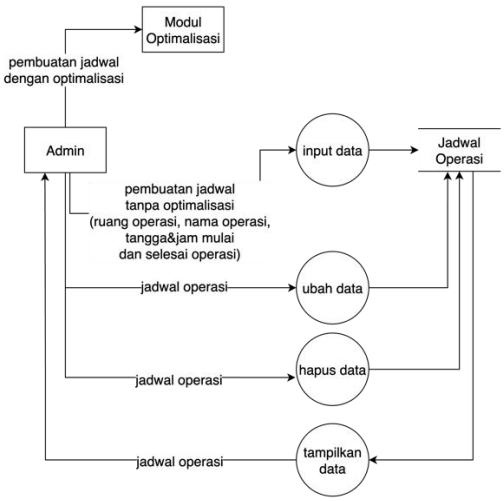
Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, biaya listrik yang dikeluarkan sebesar Rp. 5.400.000. Hasil optimalisasi jadwal dapat dilihat oleh admin sebelum diputuskan untuk disimpan ke basis data di tabel Jadwal Operasi berdasarkan kebutuhan admin.

Gambar 6 menggambarkan DFD level 2 modul optimalisasi yang menggambarkan proses pengoptimalan jadwal operasi menggunakan metode SA.

Jadwal operasi hasil optimalisasi ditampilkan kepada admin melalui proses tampilkan data operasi pada modul pengelolaan jadwal operasi. Admin juga dapat menambahkan jadwal tanpa menggunakan optimalisasi melalui proses input data yang kemudian disimpan di tabel Jadwal Operasi. Selain itu, admin dapat melakukan pengubahan maupun penghapusan jadwal melalui proses ubah data dan hapus data. Penambahan jadwal juga dapat dilakukan melalui proses optimalisasi dimana pengguna diarahkan ke Modul optimalisasi. Proses rinci modul pengelolaan jadwal operasi tergambarkan pada DFD level 2 yang ditampilkan pada Gambar 7.




Gambar 6. DFD level 2 - modul optimalisasi



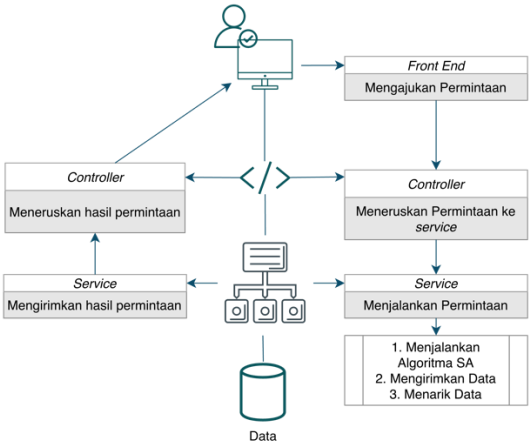

Gambar 7. DFD level 2 – modul pengelolaan jadwal operasi

*Arsitektur Sistem*

Arsitektur sistem dirancang berbasis *client-server* dengan tiga komponen utama, yaitu, *frontend, backend*, dan *database*. Pada sisi *frontend*, pengguna melakukan input data, melihat hasil

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

optimasi, serta mengakses laporan. Permintaan dari pengguna diatur oleh *Controller* dan diteruskan ke *Service Layer* untuk menjalankan logika bisnis. Selanjutnya, *Service Layer* memanggil *Optimization Engine* berbasis algoritma SA guna menghasilkan jadwal operasi yang optimal. Seluruh proses ini berlangsung di sisi *backend*. Data kemudian diolah dan disimpan dalam basis data, yang dapat diakses kembali untuk kebutuhan penjadwalan maupun pelaporan. Gambar 8 memperlihatkan diagram arsitektur sistem.




Gambar 8. Arsitektur Sistem

**Pengujian**

Pengujian dilakukan pada dua aspek, yaitu pengujian metode SA yang bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat menghasilkan jadwal operasi yang optimal berdasarkan estimasi biaya listrik minimum, serta pengujian kepuasan pengguna yang dilakukan untuk menilai tingkat kepuasan terhadap sistem.

*Pengujian metode SA*

Pengujian algoritma SA dilakukan dengan membandingkan biaya listrik yang dihasilkan oleh jadwal yang didefinisikan secara manual dengan biaya listrik dari jadwal yang direkomendasikan berdasarkan maksimum iterasi yang dipilih oleh pengguna. Iterasi merupakan salah satu parameter pada algoritma SA yang memberikan fungsi pada algoritma untuk tetap bekerja mencari solusi yang terbaik sampai batas waktu yang ditentukan.

*Pengujian Kepuasan Pengguna*

*User Satisfaction Evaluation Questionnaire* (USEQ) (Gil-Gómez et al., 2017) digunakan untuk mengetahui kepuasan pengguna terhadap pemakaian sistem jadwal operasi ini, mengikuti para peneliti sebelumnya dalam mengevaluasi kepuasan penggunaan sistem (Takano et al., 2023). Kuesioner terdiri dari enam pertanyaan. Pada studi ini, pertanyaan nomor 6 (Q6) dimodifikasi dengan menghilangkan kata "*rehabilitation (rehabilitasi)*" karena sistem diujicobakan kepada calon pengguna yang bekerja atau akan bekerja di bidang medis, namun belum terlibat langsung dalam proses bisnis di bidang pembedahan.

Penilaian setiap pertanyaan menggunakan skala *Likert* dengan rentang nilai 1 (Sangat Tidak Puas/*Not at All*) hingga 5 (Sangat Puas/*Very Much*). Untuk pertanyaan negatif (Q5), skor dihitung sebagai selisih antara nilai 6 dan nilai jawaban yang dipilih. Sebagai contoh, jika seorang pengguna memilih nilai 2 pada Q5, maka nilai yang diberikan adalah 6-2 = 4, dan skor tersebut ditambahkan ke dalam total nilai. Total nilai kepuasan kuesioner USEQ berada di rentang 6 yaitu sangat tidak puas sampai 30 yaitu sangat puas. Tabel 2 menyajikan item-item pertanyaan pada instrumen USEQ.

Tabel 2. Item-item pertanyaan USEQ

| *Question* | *Response* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Not at All - Very Much* | | | | |
| *Q1. Did you enjoy your experience with the system?* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Q2. Were you successful using the system?* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Q3. Were you able to control the system?* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Q4. Is the information provided by the system clear?* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Q5. Did you feel discomfort during your experience with the system?* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Q6. Do you think that this system will be helpful* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Metode SA

Tabel 3 menyajikan hasil simulasi biaya energi listrik setelah penerapan metode SA pada data jadwal di Tabel 1 dengan parameter $T = 1000$ dan $\alpha = 0.9$ dalam beberapa variasi jumlah maksimum iterasi. Rata-rata penurunan biaya energi mencapai 90%, dengan biaya energi sebelum optimalisasi sebesar Rp113.02. Nilai biaya energi sebelum optimalisasi relatif kecil karena data yang digunakan berasal dari jadwal lima operasi dengan durasi singkat, yang diperuntukkan untuk menguji efektivitas metode SA. Hasil paling optimal ditunjukkan pada percobaan dengan jumlah iterasi 50. Gambar 9 mengilustrasikan perbedaan jadwal sebelum dan sesudah optimalisasi. Salah satu perubahan terjadi pada operasi katarak yang, sebelum optimalisasi, dijadwalkan di ruang operasi umum. Setelah dilakukan optimalisasi, operasi tersebut disarankan untuk dilaksanakan di ruang operasi minor.

Walaupun hasil dari SA pada studi ini adalah adalah hasil simulasi penjadwalan operasi, temuan ini mengindikasikan bahwa metode SA berpotensi

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

digunakan sebagai pendekatan dalam menghasilkan rekomendasi penjadwalan operasi rumah sakit dengan konsumsi energi listrik yang rendah, sehingga berdampak pada biaya listrik yang rendah. Efisiensi biaya penggunaan listrik berpotensi mendukung optimalisasi biaya operasional (Hidayat & Suhron, 2024), yang berimplikasi pada peningkatan kualitas layanan kepada masyarakat (Purwadhi et al., 2024). Selain itu, hasil penelitian ini mendukung temuan sebelumnya yang menunjukkan bahwa metode SA merupakan solusi yang efektif dalam pembuatan jadwal berorientasi efisiensi biaya (Anshari et al., 2024).

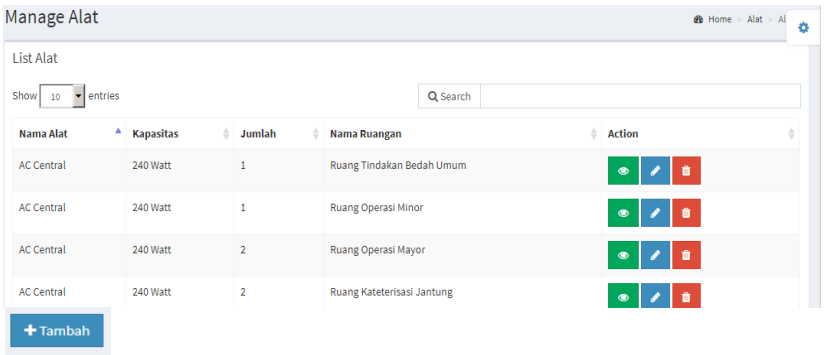
Temuan studi ini juga menunjukkan bahwa metode SA tidak berhenti pada solusi awal yang dianggap terbaik, sejalan dengan gagasan yang diusulkan oleh Kirkpatrick et al. (1983). Hal ini terlihat dari variasi harga terendah yang direkomendasikan oleh SA pada setiap maksimum iterasi yang diujicobakan. Nilai suhu ($T$), konstanta penurun suhu ($\alpha$), dan maksimum iterasi ($n$) menjadi faktor penentu dalam pemilihan solusi, sehingga metode tidak berhenti pada satu kandidat solusi. Variasi solusi yang dihasilkan memberikan kebebasan dalam pengambilan keputusan untuk menentukan solusi terbaik sesuai kebutuhan. Namun, untuk memperoleh hasil yang optimal, pengguna tidak mengetahui secara pasti parameter yang paling tepat tanpa melakukan serangkaian percobaan. Kondisi ini menimbulkan beban tambahan bagi pengguna dan berpotensi menghasilkan pengalaman yang kurang memuaskan. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme penentuan parameter secara otomatis berdasarkan target efisiensi yang diharapkan di penelitian selanjutnya.

Tabel 3. Biaya Energi Listrik Hasil Penjadwalan Operasi Menggunakan Metode *SA*

| Maksimum Iterasi | Biaya energi listrik yang dihabiskan |
|---|---|
| 10 | Rp. 11.49 |
| 20 | Rp. 11.35 |
| 30 | Rp. 14.41 |
| 40 | Rp. 19.50 |
| 50 | Rp. 11.01 |



Gambar 9. Jadwal operasi sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi



Gambar 10. Antarmuka Modul Konfigurasi untuk pengelolaan alat operasi

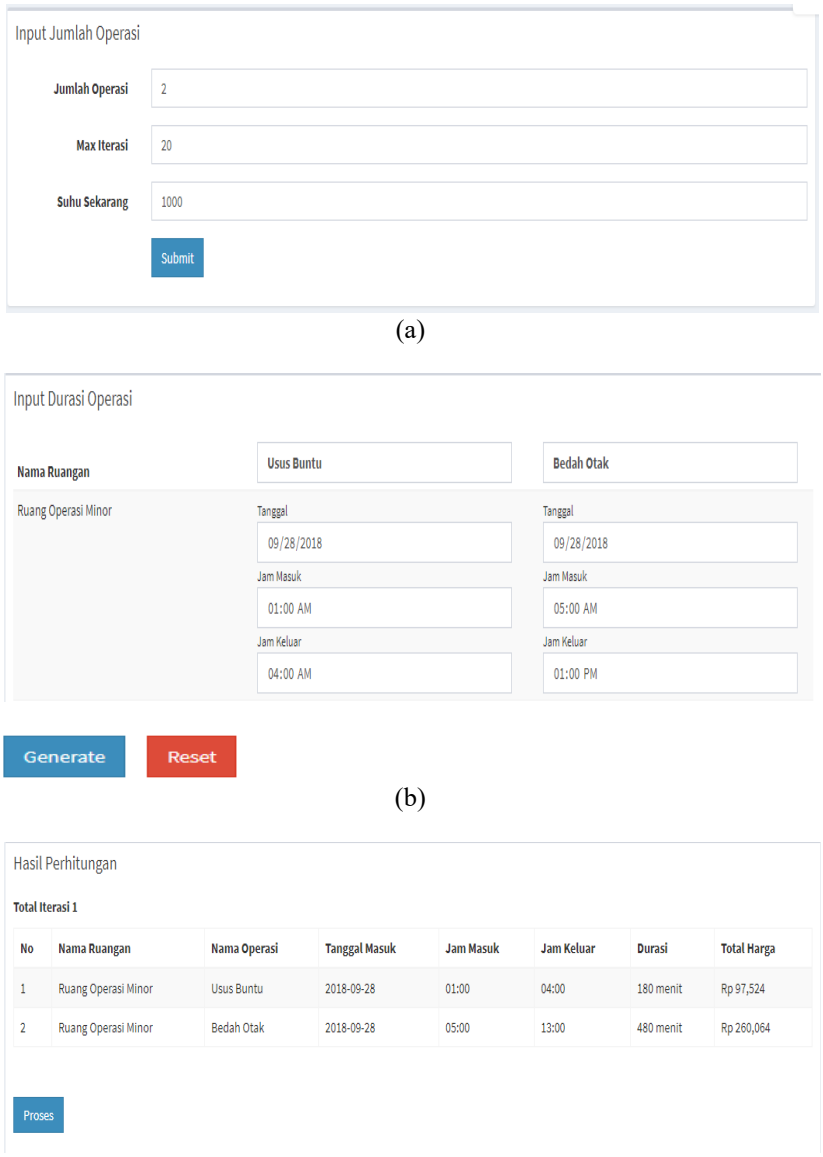
B. Hasil implementasi Antarmuka Sistem

Modul konfigurasi diimplementasikan dalam bentuk menu *Konfigurasi* pada Sistem Penjadwalan

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

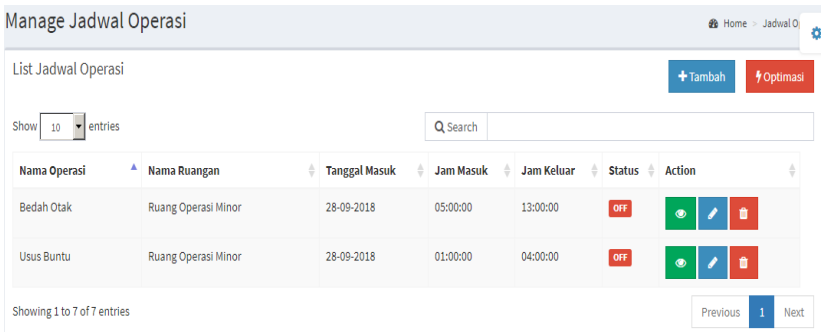
Operasi. Menu ini terdiri dari tiga submenu, yaitu *Ruangan* untuk pengelolaan ruang operasi, *Alat* untuk pengelolaan alat operasi, dan *Harga* untuk pengelolaan tarif listrik. Admin dapat memasukkan, mengubah dan menghapus data di tiga submenu tersebut. Gambar 10 menampilkan salah satu antarmuka modul konfigurasi untuk pengelolaan alat operasi.

Modul Optimalisasi Jadwal diimplementasikan melalui menu *Simulated Annealing* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11. Pada tahap awal, admin diminta memasukkan jumlah operasi yang akan dioptimalisasi beserta nilai *temperature* dan jumlah maksimum iterasi sebagai inputan parameter untuk menjalankan algoritma SA, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 11(a). Selanjutnya, admin diarahkan ke halaman pembuatan jadwal operasi yang akan dioptimalkan, seperti ditunjukkan pada Gambar 11(b). Admin diminta memasukkan data ruang operasi yang akan digunakan dan jadwal pelaksanaannya. Adapun hasil optimalisasi jadwal ditampilkan pada Gambar 11(c). Selanjutnya, admin dapat menyimpan hasil optimalisasi tersebut ke dalam basis data.

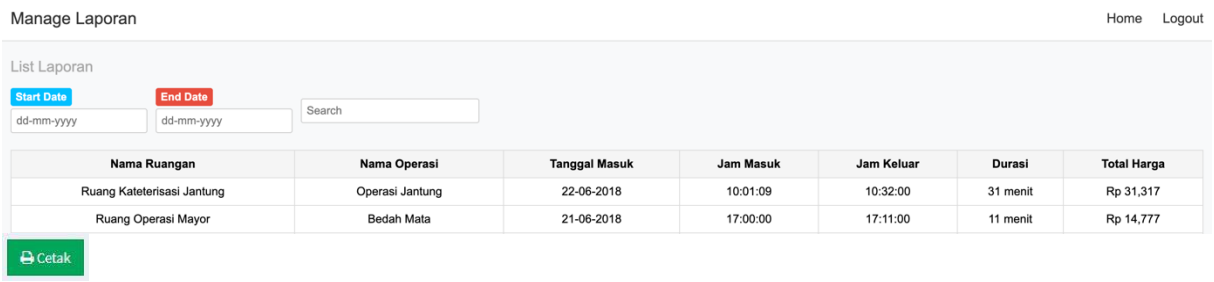



Gambar 11. Antarmuka Modul Optimasi dengan rincian gambar: (a) formulir input untuk variabel Algoritma SA; (b) fomulir input jadwal operasi; (c) hasil jadwal operasi yang teroptimalisasi

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922




Gambar 12. Antarmuka Modul Pengelolaan Jadwal Operasi




Gambar 13. Antarmuka Modul Laporan

Hasil optimalisasi ditampilkan pada modul pengelolaan jadwal operasi yaitu menu pengelolaan jadwal operasi. Pada menu ini dapat dilakukan penambahan, perubahan dan penghapusan jadwal operasi. Gambar 12 menunjukkan antarmuka modul pengelolaan jadwal operasi. Adapun jadwal operasi yang sudah terlaksana ditampilkan melalui modul laporan pada menu *Laporan* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13. Admin dapat menampilkan riwayat jadwal operasi berdasarkan masukkan tanggal

C. Hasil Pengujian USEQ

Tabel 4 menunjukkan nilai rata-rata responden untuk setiap item pertanyaan USEQ, yang menggambarkan bahwa pengguna cukup menikmati pengalamannya menggunakan sistem, dapat mengontrol sistem pada saat penggunaan dan tidak mengalami ketidaknyamanan selama penggunaan. Terlebih nilai yang cukup tinggi diberikan pada responden pada pertanyaan Q2 dan Q6, dimana mereka berhasil menggunakan sistem serta menilai sistem ini sangat membantu. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa sistem tidak hanya mampu menghasilkan jadwal yang efisien dari sisi biaya listrik namun dapat menyajikan hasil penjadwalan yang jelas dan mudah dipahami. Selanjutnya, total rata-rata skor kepuasan mencapai 22.63 dari 30, yang mencerminkan tingkat kepuasan cukup tinggi. Kepuasan ini menjadi dasar penting bagi keberlanjutan dan konsistensi penggunaan sistem (Fransiska & Bernarto, 2021).

Studi ini menunjukkan bahwa sistem penjadwalan ruang operasi berbasis metode SA mampu menghasilkan rekomendasi jadwal yang hemat energi sekaligus memberikan pengalaman penggunaan yang cukup baik bagi para responden. Namun, pengujian dalam studi ini dilakukan dengan lingkup yang terbatas yaitu, jadwal operasi tidak berkonflik satu sama lainnya, hanya mencakup operasi yang bukan gawat darurat, serta dengan asumsi ketersediaan alat dan tenaga medis yang memadai. Oleh karena itu, diperlukan pengujian lebih lanjut dengan variasi kondisi yang merepresentasikan lingkungan rumah sakit pada umumnya.

Tabel 4. Nilai Rata-rata per Item USEQ dan Nilai Total

| Pertanyaan | Nilai rata-rata |
|---|---|
| Q1 | 3.96 |
| Q2 | 4 |
| Q3 | 3.93 |
| Q4 | 3.16 |
| Q5 | 2.5 |
| Q6 | 4.06 |
| Total Nilai Rata-Rata | 22.63 |
| *Q4 diubah menjadi selisih antara nilai 6 dengan jawaban responden ketika menghitung total nilai rata-rata | |

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Studi ini bertujuan menawarkan alternatif solusi penjadwalan operasi dengan meminimalkan konsumsi energi melalui penerapan metode SA, di mana penghematan energi tersebut secara langsung

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

berdampak pada penurunan biaya listrik. Untuk itu, dikembangkan sistem penjadwalan berbasis *web* yang mensimulasikan proses penjadwalan dan menghasilkan jadwal operasi dengan konsumsi energi rendah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu merekomendasikan jadwal operasi dengan biaya energi minimum serta memperoleh tingkat kepuasan pengguna yang cukup baik. Berdasarkan temuan ini, sistem penjadwalan operasi berbasis *web* dengan metode SA berpotensi menjadi solusi efektif dalam pengelolaan jadwal operasi yang berorientasi pada efisiensi energi.

**Saran**

Untuk meningkatkan reliabilitas sistem, pengujian perlu dilakukan pada berbagai skenario operasi, termasuk kasus yang hanya dapat dilaksanakan di ruang operasi tertentu maupun yang bersifat darurat. Uji coba dengan variasi jadwal, seperti operasi yang berlangsung secara bersamaan, kondisi kegawatan, serta keterbatasan alat dan tenaga medis, penting dilakukan untuk mengevaluasi fleksibilitas sistem dalam menghasilkan penjadwalan yang tetap hemat energi sekaligus meningkatkan kualitas layanan kepada masyarakat. Selain itu, studi ke depan juga perlu mencakup perhitungan efisiensi biaya operasi, tidak hanya dari sisi konsumsi listrik, tetapi juga biaya tenaga medis yang terlibat dalam kegiatan operasi.

Dalam penerapan metode SA, diperlukan pengujian dengan berbagai variasi parameter algoritma untuk memperoleh hasil yang optimal, serta pengembangan parameter yang adaptif terhadap target efisiensi biaya yang ditetapkan manajemen rumah sakit tanpa mengurangi kualitas layanan.

## DAFTAR PUSTAKA

Anshari, N., Subairi, Hafizh, M. A., Putri, E. R., & Sihananto, A. N. (2024, September 6). Metode Simulated Annealing untuk Optimasi Biaya Operasional Penerbangan. *Seminar Nasional Informatika Bela Negara (SANTIKA)*.

Augustyana, D. I., Purwadhi, & Mulyani, K. (2025). Analisis Implementasi Sistem Informasi Manajemen Rumah Sakit (SIMRS) Pada Instalasi Rawat Jalan Rumah Sakit Bhayangkara Balikpapan. *Jurnal Manajemen Informasi Dan Administrasi Kesehatan*, *8*(1).

Blocho, M. (2020). Chapter 4 - Heuristics, metaheuristics, and hyperheuristics for rich vehicle routing problems. In J. Nalepa (Ed.), *Smart Delivery Systems* (pp. 101–156). Elsevier. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815715-2.00009-9

Chen, Y. (2018). Study on energy-saving design and operation of hospital purification air conditioning system. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *13*(2), 184–190. https://doi.org/10.1093/ijlct/cty013

Dewi, N. H., Rahmi, S. F., Hartono, B., & Wizraa, I. (2025). Pengaruh klasifikasi biaya terhadap efisiensi pengelolaan keuangan rumah sakit. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, *4*(2), 5836–5841. https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.1520

Fransiska, C., & Bernarto, I. (2021). Pengaruh Kualitas Layanan terhadap Kepuasan Pelanggan dan Keberlanjutan Penggunaan pada Pengguna Aplikasi Kesehatan. *Jurnal Administrasi Bisnis*, *11*(2).

Gil-Gómez, J.-A., Manzano-Hernández, P., Albiol-Pérez, S., Aula-Valero, C., Gil-Gómez, H., & Lozano-Quilis, J.-A. (2017). USEQ: A Short Questionnaire for Satisfaction Evaluation of Virtual Rehabilitation Systems. *Sensors*, *17*(7), 1589. https://doi.org/10.3390/s17071589

Ginting, N. S. B., Faizah, N., & Nurcahyo, W. (2023). Sistem Informasi Geografis untuk Menentukan Rute Lokasi Wisata Danau Toba dengan Metode Simulated Annealing. *Design Journal*, *1*(1), 13–25. https://doi.org/10.58477/dj.v1i1.25

Hidayat, Y. H., & Suhron, M. (2024). Kepuasan Pasien Dalam Penjadwalan Operasi Elektif Melalui Josi (Jadwal Operasi Pasti) di RSUD Syarifah Ambami Rato Ebu Bangkalan. *Syntax Literate ; Jurnal Ilmiah Indonesia*, *9*(7), 3585–3594. https://doi.org/10.36418/syntax-literate.v9i7.15792

Kementrian Kesehatan RI, P. S. P. dan P. K. (2010). *Pedoman Teknis Sarana dan Prasarana Rumah Sakit Kelas B*.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by Simulated Annealing. *Science*, *220*(4598), 671–680. https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671

Lukman, M., & Hasibuan, M. (2021). PENERAPAN METODE SIMULATED ANNEALING UNTUK PENJADWALAN PERKULIAHAN. *Computer Technology and Information Systems (CTIS)*, *5*(2).

Mauricio, D., Zeña, A., Avila, U., Castañeda, P., García, L., & Maculan, N. (2024). AyudaMujer: A Mobile Application for the Treatment of Violence Against Women in Peru. *Journal of Technology in Human Services*, *42*(2), 85–103. https://doi.org/10.1080/15228835.2024.2343694

Purwadhi, Restiani, Y., Adrian, W. I., & Harianto, M. I. (2024). Strategi Pengelolaan Sumber Daya untuk Keberlanjutan Operasional Rumah Sakit. *Copyright @ Purwadhi, Yani Restiani, Wildan Ibnu Adrian, Muhammad*

p-ISSN : 2406-7733
e-ISSN : 2597-9922

*Imam Fitrah HariantoINNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, *4*(6), 507–516.

Satryawati, E., Anggraini, S. L., & Julfia, F. T. (2025). RANCANGAN SISTEM INFORMASI UNIT BEDAH SENTRAL (UBS) PADA RSAU dr. ESNAWAN ANTARIKSA BERBASIS WEB. *JRIS : Jurnal Rekayasa Informasi Swadharma*, *5*(1), 119–123. https://doi.org/10.56486/jris.vol5no1.715

Takano, E., Maruyama, H., Takahashi, T., Mori, K., Nishiyori, K., Morita, Y., Fukuda, T., Kondo, I., & Ishibashi, Y. (2023). User Experience of Older People While Using Digital Health Technologies: A Systematic Review. *Applied Sciences*, *13*(23), 12815. https://doi.org/10.3390/app132312815

Utomo, P. B., & Setiafindari, W. (2021). Optimasi Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode Simulated Annealing di Industri XYZ. *Borobudur Engineering Review*, *1*(1), 49–55. https://doi.org/10.31603/benr.4610

Wiratna, R. E., Nurlaili, A. L., & Rizki, A. M. (2023). Pembuatan Aplikasi Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Algoritma Genetika. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen*, *4*(1), 13–20. https://doi.org/10.31284/j.jtm.2023.v4i1.3990

Ziliwu, F. M. C., & Prasetyo. (2025). Optimasi Matematika Untuk Penjadwalan Penanaman Tanaman Yang Efisien Dan Berkelanjutan. *Jurnal Ilmu Pertanian Dan Perikanan*, *2*(1).