

Optimasi Penjadwalan Produksi Menggunakan Algoritma *Simulated Annealing* untuk Meningkatkan Efisiensi di Industri Manufaktur

Sholikin¹, Ahmad Ilham, S.Kom., M.Kom.²

¹Program Studi Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Muhammadiyah Semarang, Semarang, Indonesia

²Program Studi Informatika, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Muhammadiyah Semarang, Semarang, Indonesia

Info Artikel

Diterima 10 Mei 2025
Perbaikan 13 Juni 2025
Disetujui 28 Juli 2025

Keywords:

Penjadwalan Produksi
Simulated Annealing
Traveling Salesman Problem
Optimasi

ABSTRAK

Penjadwalan produksi adalah aspek penting dalam manajemen operasional manufaktur untuk mengurangi waktu produksi, menghemat biaya, dan meningkatkan efisiensi. Penelitian ini mengevaluasi algoritma metaheuristik *Simulated Annealing* (SA) dalam menyelesaikan masalah penjadwalan, menggunakan dataset *Traveling Salesman Problem* (TSP) dari *Kaggle*. Algoritma SA bekerja secara iteratif dengan mengeksplorasi solusi secara acak dan menghindari perangkap solusi lokal. Hasil menunjukkan bahwa SA efektif menemukan solusi mendekati optimal dengan waktu produksi minimum 52,55 pada generasi ke-20 dan rata-rata waktu eksekusi 1,67 detik per iterasi. Penelitian ini mengindikasikan bahwa SA cocok untuk penjadwalan produksi skala menengah. Studi lanjutan dapat mengembangkan kombinasi SA dengan algoritma lain untuk skenario yang lebih kompleks.

ABSTRACT

Production scheduling is a crucial aspect of operational management in manufacturing to reduce production time, save costs, and improve efficiency. This study evaluates the Simulated Annealing (SA) metaheuristic algorithm in addressing scheduling problems using the Traveling Salesman Problem (TSP) dataset from Kaggle. The SA algorithm operates iteratively by exploring random solutions and avoiding local optima traps. The results show that SA effectively finds near-optimal solutions with a minimum production time of 52.55 at the 20th generation and an average execution time of 1.67 seconds per iteration. This study indicates that SA is suitable for medium-scale production scheduling. Future studies could develop combinations of SA with other algorithms for more complex scenarios.

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi CC BY-SA.



Penulis Korespondensi:

Sholikin

Program Studi Informatika, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang

Alamat: Gedung FT-MIPA Lt. 7, Ruang 707, Jl.Kedungmundu Raya No.18, Semarang 50273, Indonesia

Email: sholikin.alafasy7@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur, penjadwalan produksi menjadi salah satu aspek penting dalam manajemen operasional untuk memastikan kelancaran proses produksi. Penjadwalan yang optimal dapat mengurangi waktu produksi, menghemat biaya, meningkatkan efisiensi sumber daya, serta memenuhi tenggat waktu pengiriman.

Tantangan utamanya adalah kompleksitas masalah penjadwalan yang seringkali sangat tinggi dan bersifat kombinatorial, sehingga solusi optimal sulit dicapai dalam waktu singkat. [1]

Masalah penjadwalan produksi dapat dipandang sebagai kasus dari masalah *Traveling Salesman Problem* (TSP), di mana setiap tugas diibaratkan sebagai kota yang perlu dikunjungi satu kali dalam urutan tertentu dengan biaya atau jarak minimum. Pendekatan klasik membutuhkan waktu komputasi yang tinggi, terutama untuk skala data besar. Oleh karena itu, algoritma heuristik dan metaheuristik banyak diterapkan untuk mencapai solusi mendekati optimal secara efisien. [2]

Salah satu metode metaheuristik yang efektif adalah *Simulated Annealing* (SA), yang meniru proses fisika pemanasan dan pendinginan material untuk mencari struktur dengan energi minimum. Dalam konteks penjadwalan, algoritma SA dapat mengeksplorasi ruang solusi secara acak untuk menemukan urutan tugas dengan waktu produksi minimum. Pendekatan ini memanfaatkan probabilitas penerimaan solusi suboptimal untuk menghindari perangkap solusi lokal, sambil tetap mengarah pada konvergensi menuju solusi yang lebih baik seiring penurunan suhu. [3]

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja algoritma *Simulated Annealing* dalam konteks penjadwalan produksi. Dataset TSP dari *Kaggle* digunakan sebagai data nyata dalam eksperimen ini untuk menguji kemampuan SA dalam mengoptimalkan urutan produksi pada kasus skala menengah. Dengan hasil ini, diharapkan dapat dihasilkan pemahaman yang lebih dalam tentang keunggulan dan keterbatasan SA dalam menyelesaikan masalah penjadwalan produksi di industri manufaktur.

2. METODE

Algoritma *Simulated Annealing* adalah teknik metaheuristik yang terinspirasi dari proses fisika *annealing*, yaitu pemanasan dan pendinginan material untuk mencapai struktur minimal energi. Dalam konteks optimasi, SA bekerja dengan mencari solusi dari ruang solusi secara acak dan iteratif. Setiap iterasi, algoritma memilih solusi baru dengan sedikit perubahan dari solusi sebelumnya. Jika solusi baru lebih baik, maka solusi tersebut diterima; jika tidak, solusi dapat diterima dengan probabilitas yang ditentukan oleh parameter suhu. Secara bertahap, suhu diturunkan sehingga algoritma semakin selektif terhadap solusi yang dipilih, memungkinkan konvergensi menuju solusi optimal.

SA diterapkan pada masalah penjadwalan produksi di mana setiap tugas harus dijadwalkan dalam urutan tertentu pada mesin-mesin. Algoritma ini menggunakan fungsi biaya yang menghitung waktu total produksi, dan parameter suhu serta koefisien pendinginan untuk mengontrol proses pencarian solusi.

3. DATA DAN IMPLEMENTASI

Dataset yang digunakan berasal dari kumpulan data *Traveling Salesman Problem* (TSP) yang tersedia di *Kaggle* (<https://www.kaggle.com/datasets/mexwell/traveling-salesman-problem>), diadaptasi untuk kasus penjadwalan produksi. Data ini berisi koordinat kota yang mewakili tugas-tugas dalam urutan tertentu. Implementasi algoritma dilakukan di *Google Colab* menggunakan *Python*, khususnya pustaka seperti *Pandas* untuk pengolahan data dan *Matplotlib* untuk visualisasi hasil.

Pertama, dataset diubah menjadi matriks jarak antar tugas yang kemudian digunakan sebagai masukan untuk SA. Algoritma ini menginisialisasi populasi dengan beberapa solusi acak, dan pada setiap iterasi, solusi diperbarui berdasarkan fungsi biaya yang ditentukan dari waktu total produksi. Implementasi menggunakan proses mutasi dan pemilihan untuk menemukan solusi terbaik dari populasi solusi.

4. HASIL DAN ANALISIS

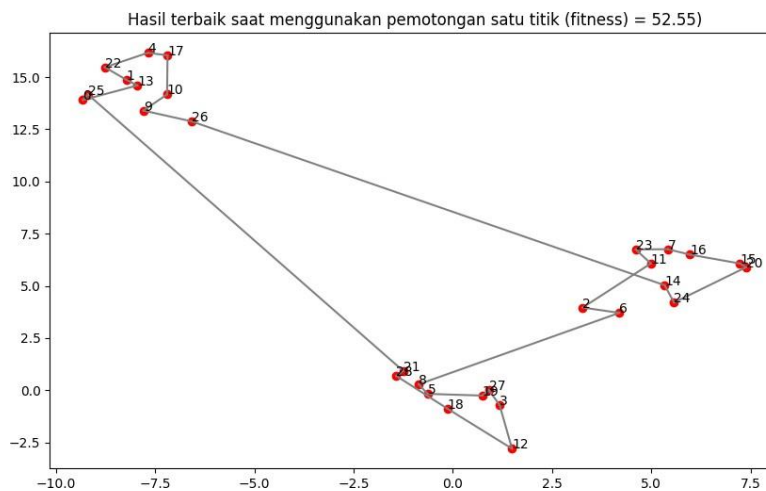
Eksperimen dilakukan dengan menggunakan dataset TSP yang berisi koordinat titik-titik yang merepresentasikan tugas atau pekerjaan yang perlu diselesaikan dalam urutan tertentu. Algoritma *Simulated Annealing* diimplementasikan dalam *Google Colab* menggunakan *Python*. Proses eksperimen dimulai dengan inisialisasi populasi solusi acak, di mana setiap solusi mewakili urutan tugas yang berbeda. Kemudian, algoritma menjalankan proses iteratif dengan penurunan suhu secara bertahap, di mana setiap iterasi bertujuan menemukan solusi yang lebih baik dari segi waktu produksi total.

singlePointCrossover

map_20	52.55
map_17	54.65
map_8	55.45
map_5	57.45
map_3	58.09

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa *Simulated Annealing* berhasil menemukan solusi yang cukup efisien dengan waktu eksekusi yang relatif cepat. Pada konfigurasi tertentu, SA berhasil mencapai nilai fitness terbaik sebesar 52,55 pada generasi ke-20, yang mencerminkan total waktu produksi minimum dalam urutan yang optimal untuk kasus ini. Rata-rata waktu eksekusi setiap iterasi mencapai 1,67 detik, yang menunjukkan bahwa algoritma ini efisien untuk data dengan skala menengah. Visualisasi rute optimal yang diperoleh menunjukkan pengurangan waktu produksi yang signifikan, dengan urutan tugas yang lebih singkat dibandingkan urutan awal acak.

Algoritma SA mampu melakukan eksplorasi ruang solusi dengan cukup baik, meskipun beberapa iterasi menerima solusi yang sedikit lebih buruk untuk menghindari jebakan solusi lokal. Penggunaan *singlePointCrossover* menghasilkan variasi solusi yang optimal, dengan peningkatan fitness secara bertahap pada tiap generasi. Pengujian beberapa konfigurasi suhu awal dan koefisien pendinginan juga memberikan dampak pada hasil akhir, di mana suhu awal yang lebih tinggi cenderung membantu algoritma keluar dari solusi lokal yang tidak optimal.



Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa *Simulated Annealing* efektif dalam menangani masalah penjadwalan produksi, terutama untuk skala data menengah. Namun, untuk dataset yang lebih besar atau skenario produksi yang lebih kompleks, pendekatan ini mungkin memerlukan penyesuaian lebih lanjut pada parameter algoritma atau kombinasi dengan teknik metaheuristik lainnya untuk meningkatkan hasil optimasi.

5. KESIMPULAN

Penggunaan algoritma *Simulated Annealing* dalam penjadwalan produksi terbukti efektif dalam mengurangi waktu total produksi dan menemukan solusi mendekati optimal dengan efisiensi waktu yang baik. Implementasi ini dapat menjadi solusi yang relevan bagi industri manufaktur untuk meningkatkan efisiensi

operasional. Penelitian lebih lanjut dapat mengkaji penggunaan algoritma lain atau kombinasi beberapa algoritma metaheuristik untuk meningkatkan hasil optimasi.

REFERENSI

- [1] T. Morton, and D.W. Pentico, *Heuristic Scheduling Systems: With Application to Production Systems and Project Management*, John Wiley & Sons, New York, 1993.
- [2] F.A. Ogbu and D.K. Smith, "Simulated Annealing for the Permutation Flowshop Problem", *Omega The International Journal of Management Science*, 19(1), pp. 64-67, 1990.
- [3] M.L. Pinedo, *Scheduling: Theory, Algorithm and Systems*, 3rd Ed. Prentice Hall, New Jersey, 2008.