

## PENJADWALAN JOB SHOP MENGGUNAKAN ALGORITMA BEE COLONY OPTIMIZATION DAN TABU SEARCH

Anggi Putri Pertiwi<sup>1</sup>, Suyanto<sup>2</sup>, Ema Rachmawati<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika, Universitas Telkom

---

### Abstrak

Job Shop merupakan permasalahan krusial pada industri manufaktur. Jadwal dengan waktu pengerjaan semua job yang paling minimum akan meringankan biaya produksi dan meningkatkan efisiensi. Namun, job shop permasalahan optimasi kombinatorial dengan ruang solusi yang sangat besar dan sulit diselesaikan.

Karena itu, tujuan dari tugas akhir ini adalah mengimplementasikan algoritma Bee Colony Optimization yang cocok untuk permasalahan kombinatorial yang mampu menghasilkan solusi optimum dalam waktu yang dapat diterima. Solusi yang dihasilkan BCO secara acak akan diperbaiki oleh Tabu Search. Selain itu tabu list pada Tabu Search akan membantu lebah untuk menghindari solusi buruk yang pernah dibangkitkan.

Hasil penelitian memperlihatkan BCO yang telah dimodifikasi dari model BCO yang sudah ada memberikan akurasi rata-rata diatas 80% untuk semua dataset yang digunakan, sedangkan BCO yang digabungkan dengan TS mampu memberikan akurasi rata-rata diatas 90%. BCO dan TS memberikan solusi yang lebih baik dengan memberikan rata-rata akurasi sistem kurang lebih 1,05 kali lipat dari BCO saja untuk semua dataset yang digunakan.

Kata Kunci : Job Shop, Bee Colony Optimization, Tabu Search, tabu list

---

### Abstract

Job Shop is one of crucial issues in manufacture industry. Schedule with the least process completion time will reduce the production cost and increase the efficiency. But, job shop is combinatorial optimization problem with a large solution space and difficult to solve. Therefore, the purpose of this final task is to implement the Bee Colony Optimization Algorithm that suitable for combinatorial problem that can give an optimum solution as the result in reasonable time. The solutions from BCO that generated randomly will be improved by Tabu Search. Beside that, tabu list on Tabu Search will help the bees to avoid bad solutions that have been generated.

The result showed BCO that modified from the early BCO model give average accuracy above 80% for all dataset used, whereas BCO that combined with TS can give average accuracy above 90%. BCO and TS give better solution with average system accuracy more or less 1,05 times over better than BCO for all dataset used.

Keywords : Job Shop, Bee Colony Optimization, Tabu Search, tabu list

---

# 1. Pendahuluan

## 1.1 Latar belakang masalah

Sampai saat ini, penjadwalan adalah masalah yang banyak dijumpai pada perusahaan manufaktur. Perusahaan dituntut untuk memproduksi dengan biaya rendah dan *life cycle* yang pendek [6,7,9]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem penjadwalan yang baik yaitu urutan pengerjaan yang optimal berdasar kriteria tertentu, misalkan total waktu penyelesaian semua pekerjaan (*completion time* atau *makespan*) [9]. Penjadwalan *job shop* sangat berperan untuk mendapatkan solusi yang paling optimal pada ukuran performansi sistem produksi perusahaan. Performansi yang diukur adalah utilisasi sumber manufaktur, keterlambatan, waktu siklus, hasil produksi, rata-rata penyelesaian, dan level inventori [6,7,9]. Namun pada tugas akhir ini, penulis fokus pada waktu penyelesaian *job* (*makespan*), karena berhubungan dengan utilisasi sumber manufaktur. Utilisasi sumber manufaktur sangat penting untuk industri manufaktur pada kompetisi global saat ini [7]. Mengoptimalkan utilisasi sumber manufaktur dapat meningkatkan hasil produksi dan menekan biaya produksi [7,9].

Pemilihan algoritma optimasi yang akan digunakan harus sesuai dengan kasus yang dihadapi dan yang terpenting adalah kemungkinan ruang solusi yang dihasilkan. Untuk permasalahan optimasi penjadwalan *job shop* dengan  $n$  job dan  $m$  mesin, jumlah jadwal yang mungkin adalah sangat besar, yaitu  $(n!)^m$  [3,11]. Pada tahun 2006, Chin Soon Chong, Malcolm Yoke Hean Low, Appa Iyer Sivakumar, dan Kheng Leng Gay mengusulkan untuk menyelesaikan permasalahan *job shop scheduling* dengan pendekatan ide baru yang menggunakan model lebah madu, yaitu Bee Colony Optimization (BCO) [7,9,10]. BCO merupakan algoritma *Nature-Inspired* [14,15] yang terinspirasi dari perilaku lebah dalam mencari makan [13] yang banyak digunakan untuk memecahkan permasalahan nyata dan kompleks [14].

Karakter utama lebah dalam mencari makan adalah mencari jalur yang dilalui untuk mencapai sumber makanan dan kembali ke sarang untuk berbagi informasi mengenai jalur dan kualitas sumber makanan yang telah ditemukan dengan lebah lainnya [7,9,10,13,14,15]. Sumber makanan inilah yang dalam algoritma dianggap sebagai sebuah solusi yang dicari. Cara lebah dalam mencari solusi sesuai dengan karakteristik permasalahan *job shop*, dimana lebah akan mencari jalur menuju sumber makanan yang paling minimum dengan kualitas sumber makanan yang paling baik. Begitu pula dengan *job shop*, jalur ke sumber makanan dianggap sebagai operasi-operasi yang harus dilakukan dan sumber makanan adalah ketika melakukan operasi yang terakhir, waktu penyelesaian semua operasinya adalah yang paling minimum.

Namun sampai saat ini, masih banyak penelitian lain yang mencoba memadukan BCO dengan metode *improvement heuristic* lain untuk memperbaiki solusi yang dihasilkan. Salah satunya adalah Li-Pei Wong yang memadukan BCO dengan 2-opt heuristic pada kasus TSP [17]. Dengan memadukan dua metode ini diharapkan akan didapat solusi yang lebih optimal karena kemampuannya untuk memperbaiki sekumpulan solusi yang layak dengan melakukan perubahan [5]. Untuk itu, tugas akhir ini akan mengimplementasikan algoritma BCO dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan *job shop* yang dipadukan dengan Tabu Search (TS), karena TS telah sukses diimplementasikan untuk kasus penjadwalan *job shop* [1,3,6,9,10]. TS adalah algoritma heuristik modern yang masuk ke dalam *local search* [11]. *Local search* dapat menyelesaikan permasalahan optimasi kombinatorial dan menghasilkan solusi yang bagus [1,3,5,6,8], bahkan untuk ruang masalah yang besar [2]. TS memperbaiki performansi local search dengan memanfaatkan penggunaan struktur *memory* [11] yang dapat menjaga pencarian solusi terjebak pada solusi optimum lokal. Metode ini menggunakan *tabu list* untuk menyimpan sekumpulan solusi yang sudah dievaluasi. Selama pencarian, solusi akan dicek apakah ada di *tabu list* atau tidak. Jika ada, solusi tersebut tidak akan dievaluasi untuk iterasi selanjutnya [8]. Pencarian solusi dengan menggunakan BCO akan lebih terarah dengan menggunakan TS, karena *tabu list* akan menyimpan solusi yang buruk, sehingga lebah-lebah dapat menghindari solusi yang buruk dalam proses pencarian.

## 1.2 Perumusan masalah

Permasalahan pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana mencari waktu penyelesaian *job (makespan)* yang minimal pada penjadwalan *job shop* dari kombinasi jadwal yang sangat banyak?
2. Bagaimana menerapkan algoritma BCO yang dipadukan dengan Tabu Search pada masalah penjadwalan *job shop* yang ruang masalahnya sangat besar agar didapat solusi yang lebih optimal?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam implementasi tugas akhir ini dibatasi oleh beberapa hal, sebagai berikut:

1. Data masukan diambil dari website OR-Library dengan alamat <http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/files/jobshop1.txt>
2. Tipe permasalahan *job shop* adalah *job shop* statis, dimana:
  - a. Terdapat  $m$  mesin yang harus memproses  $n$  *job* secara tuntas.
  - b. Terdapat serangkaian operasi dari sebuah *job*. Tiap operasi yang ada sudah ditetapkan akan diproses di mesin tertentu.
  - c. Setiap operasi memiliki waktu pemrosesan yang telah ditetapkan sebelumnya.
3. Sebuah mesin hanya diperbolehkan memproses sebuah operasi sekali saja.

4. Serangkaian operasi dalam sebuah *job* sudah memiliki urutan pemrosesan tertentu. Saat sebuah operasi sedang diproses dalam suatu mesin, maka pemrosesan tersebut tidak boleh dihentikan sebelum pemrosesan operasi itu benar-benar selesai. Dengan kata lain, tidak diijinkan terjadinya *overlap*.

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengimplementasikan algoritma BCO yang dipadukan dengan Tabu Search pada kasus penjadwalan *job shop* untuk mendapatkan waktu penyelesaian *job (makespan)* yang minimal.
2. Menganalisis pengaruh Tabu Search yang digunakan untuk mengoptimasi BCO dengan ukuran performansi: solusi optimal yaitu waktu penyelesaian *job (makespan)* dan prosentase deviasi.

## Hipotesa:

BCO yang dipadukan dengan Tabu Search mampu menemukan solusi lebih optimal dari Bee Colony Optimization biasa untuk data yang sama. Karena solusi yang dihasilkan seekor lebah dapat diperbaiki dengan TS, serta BCO yang bekerja secara global dimana lebah-lebah dalam populasi dapat mengikuti solusi lebah lain yang lebih baik dan juga dapat menghindari solusi yang buruk yang sudah disimpan pada *tabu list*.

## 1.5 Metodologi penyelesaian masalah

1. Studi literatur.  
Pencarian materi-materi dan referensi yang berkaitan dengan permasalahan yang dibahas, seperti materi tentang penjadwalan *job shop*, algoritma Bee Colony Optimization, Tabu Search, dan materi pendukung lainnya.
2. Analisis dan perancangan kebutuhan sistem.  
Merupakan tahap perancangan sistem yang dibuat, yakni sebuah perangkat lunak yang akan menerapkan algoritma Bee Colony Optimization dan Tabu Search pada permasalahan penjadwalan *job shop* untuk mendapatkan waktu penyelesaian *job (makespan)* yang minimal.
3. Implementasi sistem.  
Melakukan *coding* menggunakan *tools* MATLAB 2008 untuk membangun sistem sesuai dengan rancangan pada tahap sebelumnya.
4. Pengujian sistem.  
Pada tahap ini, dilakukan pengujian terhadap sistem yang telah dibangun. Hal yang diujikan ialah seperti yang telah dipaparkan pada tahap perancangan.

5. Analisis hasil pengujian.  
Dari tahap pengujian sistem yang dilakukan sebelumnya, dilakukan analisis terhadap pengaruh digunakannya Tabu Search untuk mengoptimasi Bee Colony Optimization dalam mencari solusi yang optimal.
6. Penyusunan laporan Tugas Akhir.  
Pada tahap ini, dilakukan penyusunan laporan akhir dan pengumpulan dokumentasi yang diperlukan, format laporan mengikuti kaidah penulisan yang benar dan yang sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan oleh institusi.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Tugas akhir ini disusun dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

### 1 Pendahuluan

Bab ini menguraikan tugas akhir ini secara umum, meliputi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, hipotesa awal, dan metode penyelesaian masalah.

### 2 Landasan Teori

Bab ini membahas mengenai uraian teori yang berhubungan dengan *Job Shop*, algoritma Bee Colony Optimization, dan Tabu Search.

### 3 Analisis Perancangan dan Implementasi

Bab ini berisi analisis kebutuhan dari system dan masalah-masalah yang ada di dalamnya. Hasil analisis ini dituangkan ke dalam suatu system pemodelan secara terstruktur. Dari tahap analisis kemudian dilanjutkan ke tahap perancangan dan implementasi.

### 4 Pengujian dan Analisis Hasil Percobaan

Bab ini membahas mengenai pengujian hasil implementasi yang telah dilakukan pada bab sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil implementasi dengan data aslinya. Tahap pengujian dilanjutkan dengan tahap analisis hasil pengujian.

### 5 Kesimpulan dan Saran

Berisi kesimpulan dari penulisan Tugas Akhir ini dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan lebih lanjut.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan implementasi, pengujian dan analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Algoritma *Bee Colony Optimization* dengan memodifikasi rumus peluang mempertahankan solusi dan strategi penggunaan bobot peluang, mampu memecahkan kasus *job shop* dengan akurasi rata-rata di atas 80%.
2. *Tabu search* cocok dipadukan dengan BCO dan meningkatkan performansi BCO dalam hal solusi yang dihasilkan (*makespan* dan akurasi), membutuhkan iterasi yang lebih sedikit (*best iteration*), dan prosentase deviasi yang lebih rendah.
3. *Tabu search* meningkatkan efektivitas penemuan solusi karena selain dapat mengikuti solusi lebih baik, lebah juga dapat menghindari solusi lebih buruk pada *tabu list*, yang pernah dibuat oleh lebah lain.

### 5.2 Saran

Setelah menyelesaikan proses pengerjaan tugas akhir ini, maka saran untuk bisa mengembangkan sistem menjadi lebih baik adalah mencoba menerapkan algoritma *local search* lain untuk memperbaiki solusi BCO seperti *k-opt*, dan sebagainya.

Telkom  
University



## Daftar Pustaka

- [1] Betrianis, and Aryawan, Putu Teguh, 2003. "Penerapan Algoritma Tabu Search dalam Penjadwalan Job Shop". Makara, Teknologi Vol.7 No.3: 107-112.
- [2] Duan, Lei. 2006. Applying Systematic Local Search to Job Shop Scheduling Problems. Simon Fraser University.
- [3] Geyik, Faruk., and Cedimoglu, Ismail Hakki. 2004. "The Strategies and Parameters of Tabu Search for Job Shop Scheduling". Journal of Intelligent Manufacturing, 15: 439-448.
- [4] Lestan, Z., Brezocnik, M., Buchmeister, B., Brezovnik, S., and Balic, J. 2009. "Solving The Job-Shop Scheduling Problem With A Simple Genetic Algorithm". Int j simul model 8, 4:197-205.
- [5] Oliveira, Jose Fernando., Carnavilla, Maria Antonia. 2009. "Heuristic and Local Search". FEUP.
- [6] Panggabean, Henry P. 2005. "Penjadwalan Job Shop Statik dengan Algoritma Tabu Search". Integral, Vol.1 No.1: 34-45.
- [7] Saidah, Naifuna Hidayatus., Er, Mahendrawati, Ph.D., and Soelaiman, Rully, M.Kom. 2009. "Implementasi Algoritma Optimasi Bee Colony Optimization untuk Penjadwalan Job Shop". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- [8] Siregar, Mulki., and Ilham, Muhammad. 2008. "Developing of Tabu Search Algorithm at Job Shop Scheduling Based on Novus Ordo Seclorum". APIEMS: 539-545.
- [9] Sivakumar, Iyer Appa., Chong, Chin Soon., Gay, Kheng Leng., and Low, Malcolm Yoke Hean. 2006. "A Bee Colony Optimization Algorithm to Job Shop Scheduling". IEEE 1-4244-0501-7/06: 1954-1961.
- [10] Sivakumar, Iyer Appa., Chong, Chin Soon., Gay, Kheng Leng., and Low, Malcolm Yoke Hean. 2007. "Using A Bee Colony Algorithm for Neighborhood Search in Job Shop Scheduling Problems". Proceedings 21<sup>st</sup> European Conference on Modelling and Simulation.
- [11] Suyanto. 2010. **Algoritma Optimasi (Deterministik atau Probabilitik)**. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [12] Suyanto. 2008. **Evolutionary Computation Komputasi Berbasis "Evolusi" dan "Genetika"**. Bandung: Informatika Bandung.
- [13] Teodorovic, Dusan., and Dell'orco, Mauro. 2010. "Bee Colony Optimization-A Cooperative Learning Approach to Complex Transportation Problems".
- [14] Teodorovic, Dusan., Davidovic, Tatjana., and Selmic, Milica. "Bee Colony Optimization Overview". Serbia: Ministry of Science.

- [15] Teodorovic, Dusan., Davidovic, Tatjana., and Selmic, Milica. 2011. "Bee Colony Optimization: The Application Survey". ACM Transactions on Computational Logic: 1-20.
- [16] Wong, Li-Pei., and Chong, Chin Soon. 2009. "An Efficient Bee Colony Optimization Algorithm for Traveling Salesman Problem Using Frequency-based Prunning". IEEE 978-1-4244-3760-3/09: 775-782.
- [17] Wong, Li-Pei., Low, Malcolm Yoke Hean., and Chong, Chin Soon. "Bee Colony Optimization with Local Search for Traveling Salesman Problem". Singapore.

