



**PAPER – OPEN ACCESS**

## Penjadwalan Mesin Produk Mobil Mainan dengan Menggunakan Metode Ant Colony

Author : Said Munal Akid, dan Roberta Simarmata  
DOI : 10.32734/ee.v6i1.1905  
Electronic ISSN : 2654-7031  
Print ISSN : 2654-7031

*Volume 6 Issue 1 – 2023 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



# Penjadwalan Mesin Produk Mobil Mainan dengan Menggunakan Metode *Ant Colony*

Said Munal Akid, Roberta Simarmata

Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155, Indonesia  
Saidmunal@gmail.com, Simarmata.roberta@gmail.com

## Abstrak

Dengan menggunakan penjadwalan yang terorganisir dengan baik, staf perusahaan akan dengan mudah mengetahui kapan memulai dan mengakhiri pekerjaan. Penjadwalan yang berhasil akan berdampak positif, dengan mengurangi biaya operasional dan waktu pengiriman, sehingga pada akhirnya akan meningkatkan kepuasan konsumen. Oleh karena itu, tujuan penjadwalan adalah untuk meminimalkan atau memaksimalkan beberapa ukuran dalam pelaksanaannya agar tercapai. Metode yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah ini adalah optimisasi koloni Semut. Cara ini menggunakan strategi yang terinspirasi dari kebiasaan alami semut yang telah berhasil diterapkan di berbagai bidang, termasuk dalam mengatur jadwal produksi *jobshop*. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan opsi penjadwalan yang lebih baik dalam rangka mengurangi waktu *makespan* selama proses produksi. Dengan begitu, penggunaan waktu proses dapat dioptimalkan secara lebih baik dalam satu hari. Hasil penelitian Berdasarkan hasil perhitungan maka yang didapatkan melalui penelitian yaitu mendapatkan total probabilitas elemen kerja yang paling singkat dalam suatu produk (*makespan*) yaitu 56 detik dengan alternatif *makespan* yang optimal dengan metode SPT dikarenakan dapat meningkatkan *efficiency index* perusahaan yaitu 1,375.  $EI > 1$  menunjukkan bahwa metode usukan dapat memberikan *performance* baik untuk meminimasi terjadinya keterlambatan. dengan mengelompokkan elemen kerja 1 - 7 di stasiun kerja I, elemen kerja 8 - 14 di stasiun kerja II.

*Kata Kunci:* *Ant Colony Optimization; Makespan; Penjadwalan Mesin*

## Abstract

With a clear scheduling conception, company directors will fluently know when to start work and when to end it. Good scheduling will have a positive impact, videlicet lower operating costs and delivery times, which in turn can increase client satisfaction. So that the purpose of scheduling is to minimize (maximize) the size or several sizes in its implementation can be achieved. The method that will be used in solving this problem is Ant Colony optimization. Where, this algorithm adopts the behavior of ants which has been widely implemented, one of which is in jobshop production scheduling. The purpose of this research is to find the best scheduling alternative to reduce *makespan* during the production process, so that in a day it is expected that processing time can be used more optimally. Research results Based on the calculation results obtained through research, namely obtaining the shortest total probability of work elements in a product (*makespan*), namely 56 seconds with optimal *makespan* alternatives with the SPT method because it can increase the company's *efficiency index*, namely 1.375.  $EI > 1$  indicates that the scratch method can provide good performance to minimize delays. by grouping work elements 1 - 7 at workstation I, work elements 8 - 14 at workstation II.

*Keywords:* *Ant Colony Optimization; Makespan; Machine Scheduling*

## 1. Pendahuluan

Dalam industri, sangat penting untuk memenuhi keinginan dan permintaan pelanggan seoptimal mungkin. Permintaan dan spesifikasi produk dari pelanggan sering berubah dengan cepat, sehingga industri manufaktur perlu mampu menyesuaikan perubahan tersebut dengan segera sebagai upaya untuk tetap bersaing di pasar. Perubahan ini seringkali menyebabkan konflik dalam sistem manufaktur, karena peningkatan variasi produk dapat mengakibatkan penurunan kecepatan produksi [1].

Kedatangan tugas seringkali tidak dapat diprediksi (stokastik). Jika ada tugas baru yang muncul, kadang-kadang diperlukan pengaturan jadwal baru. Jika dalam keadaan baru, sudah dimulai, maka perlu adanya penyesuaian jadwal agar sesuai. Proses penjadwalan ulang perlu dilakukan secara efisien agar tidak menghambat pelaksanaan tugas-tugas baru [2]. Salah satu kesulitan yang dihadapi yaitu mengatur jadwal produksi dengan keterbatasan kapasitas, sementara permintaan yang tinggi terkadang melebihi kapasitas yang ada. Untuk mengatasi tantangan tersebut, perusahaan perlu melakukan optimasi pada penjadwalan produksi guna memastikan pemanfaatan sumber daya yang optimal dan memenuhi permintaan pelanggan dengan efisien [3].

Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, diperlukan penjadwalan produksi sebagai tindakan yang tepat. Algoritma Koloni Semut adalah salah satu teknik penjadwalan yang mampu mengurangi durasi penyelesaian dan memberikan solusi yang hampir optimal. Dengan menerapkan rencana jadwal produksi, perusahaan dapat mengurangi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan tugas-tugas. Berdasarkan situasi di atas, pertanyaan penelitian yang diajukan adalah tentang bagaimana cara mengatur jadwal produksi di PT Shima Prima Utama agar bisa menyelesaikan pekerjaan dengan waktu yang lebih efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan metode algoritma koloni Semut dalam pengembangan penjadwalan produksi dengan memilih parameter terbaik dan mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikannya melalui perbandingan dengan metode heuristik lainnya [4].

Algoritma optimisasi koloni semut (ACO) sering digunakan dalam berbagai aplikasi untuk mencari solusi masalah optimasi. Salah satu aplikasinya yang populer adalah dalam penjadwalan. Dengan menggunakan metode ACO (Ant Colony Optimization) pada proses penjadwalan, seluruh pekerjaan dapat dikerjakan sesuai dengan tingkat prioritasnya dan waktu yang optimal, sehingga membuat waktu penyelesaian total (makespan) menjadi sependek mungkin [5]. Tujuan penelitian ini memperoleh urutan dan waktu pemrosesan penjadwalan *job* pada perusahaan mobil mainan sehingga penyelesaian *job* dilakukan secara optimal.

## 2. Landasan Teori

### 2.1. Definisi Penjadwalan

Penjadwalan pada umumnya dapat dikarakteristikan sebagai pengorganisasian penggunaan sumber daya yang terbatas untuk menyelesaikan serangkaian tugas. Proses penjadwalan melibatkan pengaturan urutan produksi secara menyeluruh yang dilakukan pada sejumlah mesin. Selain itu, penjadwalan juga berfungsi sebagai alat efektif dalam perencanaan keseluruhan. Menurut Beker seperti yang dikutip dalam buku Sofyan Assauri (1997), penjadwalan (scheduling) merujuk pada pengaturan dan pengalokasian sejumlah sumber daya untuk menyelesaikan sejumlah pekerjaan dalam jangka waktu yang ditentukan. Sementara itu, pengurutan (sequencing) adalah proses menentukan urutan kedatangan dari berbagai tugas atau pekerjaan yang harus diselesaikan dalam batas waktu yang telah ditetapkan [6].

## 2.2. Tujuan Penjadwalan

Penting untuk memahami tujuan penjadwalan agar dapat memilih teknik penjadwalan yang paling sesuai. Terdapat beragam tujuan penjadwalan yang dapat dikategorikan menjadi tiga bagian utama yaitu [7] penjadwalan memiliki beberapa tujuan yang ingin dicapai. Pada awalnya, penjadwalan bertujuan untuk meningkatkan penggunaan peralatan atau sumber daya dengan mengurangi periode ketidakaktifan sumber daya tersebut. Hal ini dilakukan dengan maksud untuk mempercepat penyelesaian seluruh pekerjaan atau produk (*makespan*). Selain itu, penjadwalan juga memiliki tujuan untuk mengurangi persediaan barang yang belum diproses dengan mengurangi pekerjaan yang harus menunggu dalam antrian untuk diproses. Hal ini diukur melalui waktu rata-rata dari aliran pekerjaan. Selain itu, tujuan dari penjadwalan adalah untuk mengurangi keterlambatan, terutama dalam situasi-situasi di mana ada batas waktu penyelesaian pekerjaan. Hal ini dilakukan dengan cara mengurangi keterlambatan secara keseluruhan, mengurangi jumlah pekerjaan yang terlambat, atau mengurangi tingkat keterlambatan rata-rata. Dengan mencapai tujuan-tujuan ini, penjadwalan dapat membantu perusahaan dalam mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meningkatkan efisiensi operasional.

## 2.3. Ant Colony System

Algoritma semut koloni adalah teknik pencarian solusi yang digunakan untuk memecahkan persoalan optimisasi. Algoritma ini didasarkan pada bagaimana semut mencari makanan di sekitarnya. Semut mempunyai keahlian dalam mencari jalan tercepat dari tempat sumber makanan ke sarangnya tanpa harus melihatnya secara langsung. Ide ini menjadi landasan bagi algoritma semut koloni. Dalam perilaku alami semut, mereka memanfaatkan jejak pheromone pada rute tertentu untuk berkomunikasi dan menciptakan solusi. Semakin banyak pheromone yang terletak di sebuah jalur, semakin besar peluang bahwa semut lain akan mengikuti jalur tersebut [8].

Algoritma semut menerapkan prinsip yang ditemukan dalam kelompok semut alami, di mana semut dapat dengan efisien mencari jalur terpendek dari sarang ke tempat makanan. Mereka melakukan ini dengan cara meninggalkan jejak feromon saat mereka mencari sumber makanan. Jejak feromon tersebut berfungsi sebagai komunikasi antara semut lain, sehingga mereka dapat mengikuti jalur yang telah dilalui oleh semut sebelumnya. Dengan demikian, semut secara kolektif dapat menemukan jalur optimal untuk mencapai sumber makanan [9].

## 2.4. Penjadwalan Job Shop

Penyusunan jadwal untuk pekerjaan di tempat kerja melibatkan pengaturan urutan operasi dari sejumlah pekerjaan yang perlu dilakukan pada mesin-mesin yang tersedia (Dimiyati, 1999). Satu-satunya tujuan yang penting dalam penyelesaian masalah penjadwalan job shop adalah mengelola urutan tugas yang ada di setiap mesin sehingga menghasilkan fungsi objektif minimal yang telah ditentukan. Fungsi objektif ini bisa berwujud sebagai jumlah keseluruhan waktu pengerjaan, rata-rata waktu pengerjaan, rata-rata keterlambatan dalam menyelesaikan pekerjaan, atau kriteria lain yang telah ditentukan sebelumnya [2] [10].

## 2.5. Ant Colony Job Shop

Dalam metode semut, beberapa variabel digunakan untuk memulai proses optimisasi. Parameter-parameter ini mencakup simbol  $\Omega$  yang mewakili pekerjaan yang belum dijadwalkan,  $\alpha$  yang menunjukkan sensitivitas terhadap jejak pheromone,  $\beta$  sebagai faktor sensitivitas terhadap kemungkinan yang diinginkan,  $\rho$  yang menunjukkan tingkat penguapan jejak pheromone, NC sebagai jumlah siklus, NC max sebagai jumlah maksimum siklus yang ditentukan, n sebagai jumlah pekerjaan, m sebagai jumlah mesin, a sebagai jumlah semut,  $\sigma$  sebagai daftar larangan atau proses yang telah dijadwalkan, dij sebagai jarak heuristik antara dua kota,  $\tau_{ij}$  sebagai jumlah jejak pheromone yang

menghubungkan kota  $i$  dan  $j$ ,  $\tau_{ij}(t)$  sebagai intensitas jejak pheromone pada waktu  $t$ ,  $\Delta\tau_{ij}(t)$  sebagai penambahan jejak pheromone pada waktu  $t$ ,  $\Delta\tau_{ij}(t + 1)$  sebagai intensitas jejak pheromone pada waktu  $t + 1$ , dan  $P_{ij}(t)$  sebagai probabilitas semut ke- $k$  berpindah dari kota  $i$  ke kota  $j$  pada waktu  $t$ . Semua parameter ini berperan penting dalam pengaturan dan penyesuaian jalur penjadwalan yang dilakukan oleh algoritma semut [11].

Pada langkah awal dalam algoritma ini, dilakukan identifikasi terhadap input yang dibutuhkan untuk proses pengolahan data. Masukan itu terdiri dari beberapa variabel seperti  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\rho$ , NC max,  $P_j$ ,  $a$ ,  $n$ , matriks proses, dan matriks routing. -parameter-parameter seperti  $\alpha$  dan  $\beta$  harus diuji dan dieksplorasi untuk menemukan nilai yang paling optimal. Nilai  $\rho$  yang paling ideal adalah 0,01, sementara NC maksimum diambil sebanyak mungkin untuk meningkatkan rentang variasi nilai makespan yang terbentuk. Data diperoleh melalui pengumpulan data di perusahaan, dan angka  $a$  (jumlah semut) dan  $n$  (jumlah job) diambil sebanyak mungkin guna memberikan fleksibilitas yang lebih besar. Matriks proses dan matriks *routing* dibuat berdasarkan data yang diberikan. Setelah semua input teridentifikasi, nilai  $t$  (iterasi) dan NC (jumlah siklus) diset sebagai 0. Setelah itu, operasi-operasi tersebut dikonversi menjadi representasi grafik yang digunakan untuk menghitung probabilitas. Pada awal proses, nilai pheromone awal diset sebagai nilai maksimum (1) dikarenakan belum ada pengurangan nilai pheromone. Pada awalnya, daftar tabu masih kosong karena tidak ada pekerjaan yang dijadwalkan. Matriks pheromone dibuat dengan tujuan menghubungkan setiap operasi satu dengan yang lain.

Problem name	Problem Type	Main References	Problem name	Problem Type	Main References							
Routing	Traveling Salesman	Dorigo, Maniezzo & Colomi (1991a, b, 1996)	Subset	Multiple knapsack	Leguizamón & Michalewicz (1999)							
		Dorigo (1992)			Leguizamón & Michalewicz (2000)							
		Gambardella & Dorigo (1995)			Liang & Smith (1999)							
		Dorigo & Gambardella (1997a, b)			Leguizamón & Michalewicz (2000)							
		Stutzle & Hoos (1997, 2000)			Hadiji, Rahoual, Talbi & Bachelet (2000)							
	Vehicle routing	Bullnheimer, Hartl & Strauss (1999c)		Other	Shortest common supersequence	Michel & Middendorf (1998, 1999)						
		Cordon, de Viana, Herrera & Moreno (2000)				Solmon (2000, 2002)						
		Bullnheimer, Hartl & Strauss (1999a, b)				2D-HP protein folding	Shmygelska, Aguirre-Hernandez & Hoos (2002)					
		Gambardella, Tallard & Agazzi (1999)				Bin packing	Lewine & Ducatelle (2003)					
		Reimann, Stummer & Doemer (2002)				Machine Learning	Classification rules	Parpenelli, Lopes & Freitas (2002b)				
Gambardella & Dorigo (1997, 2000)	Bayesian networks	de Campos, Gamez & Puerta (2002b)										
Assignment	Quadratic assignment	Maniezzo, Colomi & Dorigo (1994)	Fuzzy systems	Casilias, Cordon & Herrera (2000)								
		Stuzle (1997b)	Connection-oriented network routing	Scoonderwoerd, Holland, Bruten & Rothkrantz (1996)								
		Maniezzo & Colomi (1999)		Scoonderwoerd, Holland & Bruten (1997)								
		Maniezzo (1999)		White, Pagurek & Oppacher (1998)								
		Stutzle & Hoos (2000)		Di Caro & Dorigo (1998)								
Scheduling	Graph Coloring	Costa & Hertz (1997)	Connectionless network routing	Bonabeau, Henawy, Guerin, Snyers & Theraulaz (1998)								
		Generalized assignment		Frequency assignment	Maniezzo & Carbonaro (2000)		Di Caro & Dorigo (1997, 1998c, f)					
					Job shop		Open shop	Flow shop	Total tardiness	Subramanian, Druschel & Chen (1997)		
						Total weighted tardiness				Project scheduling	Group shop	Housse, Snyers, Guerin & Kuntz (1998)
												Colomi, Dorigo, Maniezzo & Trubian (1994)
	Pfahringer (1996)		Navarro Varela & Sinclair (1999)									
	Stutzle (1998a)											
	Bauer, Bullnheimer, Hartl & Strauss (2000)											
	den Besten, Stutzle & Dorigo (2000)											
	Merkle & Middendorf (2000, 2003a)											
Gagne, Price & Gravel (2002)												
Merkle, Middendorf & Schemeck (2000a, 2002)												
Blum (2002a, 2003a)												
Subset	Multiple knapsack	Max independent set	Redundancy allocation	Set Covering	Weight Constrained graph tree partition							
						Leguizamón & Michalewicz (1999)	Arc-weighted/-cardinality tree	Maximum clique				
						Leguizamón & Michalewicz (2000)			Blum & Blesa (2003)			
						Liang & Smith (1999)			Fenet & Solmon (2003)			
						Leguizamón & Michalewicz (2000)						
	Hadiji, Rahoual, Talbi & Bachelet (2000)											

Gambar 1. Permasalahan dalam *Ant Colony*

Pada langkah kedua, nilai  $k$  (indeks semut) diinisialisasi sebagai 1, dan proses berlanjut sebanyak  $a$  kali (jumlah semut). Setiap semut ditempatkan pada node 0 (sarang semut) sebagai titik awal. Dalam iterasi pertama ( $k = 1$ ), sebuah himpunan operasi ( $\Omega$ ) dibuat berdasarkan grafik untuk menentukan operasi yang akan dijadwalkan.

Pada langkah ketiga, probabilitas setiap operasi yang terpilih dalam himpunan  $\Omega$  dihitung menggunakan persamaan yang telah ditentukan. Dengan menggunakan bilangan acak yang merata, sebuah operasi dipilih berdasarkan probabilitas yang mendekati bilangan acak tersebut. Langkah ini diulangi untuk semua operasi yang belum dijadwalkan, termasuk untuk semut-semut selanjutnya.

Pada tahap keempat, setelah penjadwalan semua semut selesai dilakukan, maka dilakukan perhitungan makespan (total waktu penyelesaian) untuk setiap jadwal yang dihasilkan oleh semut-semut tersebut. Penjadwalan dengan makespan terkecil dipilih sebagai solusi yang optimal.

Pada langkah kelima, penambahan pheromone  $\Delta\tau_{ij}$  dihitung berdasarkan nilai makespan terkecil yang telah ditemukan. Kemudian, jalur yang dilalui oleh semut diperbaiki menggunakan persamaan yang telah ditentukan. Jalur terpendek akan memiliki penambahan pheromone yang berbeda dengan jalur lainnya. Setelah itu, nilai  $t$  (iterasi) ditambah 1, dan NC (jumlah siklus) juga ditambah 1. Pada langkah terakhir, semua daftar tabu (tabulist) dikosongkan [12].

## 2.6. Prinsip Dasar Algoritma Ant Colony

Jejak feromon mencerminkan sejauh mana solusi yang berhasil telah dicapai oleh semut dalam perjalanan sebelumnya, sedangkan informasi heuristik didasarkan pada data yang terkait dengan masalah yang harus dipecahkan. Parameter  $\alpha$  mengatur seberapa besar pengaruh jejak feromon, sedangkan parameter  $\beta$  mengatur seberapa besar pengaruh informasi heuristik. Tiap kali berjalannya siklus, tingkat keberadaan jejak feromon yang berasal dari solusi terbaik secara keseluruhan akan secara bertahap berkurang, menghasilkan dampak pada semut dalam kelompok berikutnya dalam memilih urutan pekerjaan yang optimal. Tujuan dari penguapan ini adalah untuk mencegah semut mencapai konvergensi pada solusi lokal optimum dengan cepat dan mendorong eksplorasi lebih lanjut dalam mencari solusi yang lebih baik.

## 2.7. Penjadwalan Produksi SPT

Dalam metode penjadwalan produksi menggunakan SPT (Shortest Processing Time), langkah awal adalah mengatur pekerjaan sesuai dengan durasi operasi yang paling singkat. Setelah pekerjaan diorganisir, tugas-tugas kemudian diberikan kepada mesin-mesin yang ada. Langkah berikutnya adalah mengidentifikasi langkah-langkah yang harus dilakukan setelah mengetahui urutan dan penugasan pekerjaan pada setiap mesin. Setelah langkah-langkah operasi telah ditetapkan, dilakukan perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk mengangkut pekerjaan dari satu mesin ke mesin lainnya [13].

Aturan utama dalam penjadwalan produksi adalah memberikan prioritas tertinggi pada operasi dengan waktu proses terpendek. Tindakan ini dilakukan dengan maksud mengurangi jumlah pekerjaan dalam proses (WIP), menurunkan keterlambatan rata-rata (*mean lateness*), dan mengurangi waktu rata-rata penyelesaian (*mean flow time*) dari produk yang dihasilkan. Dengan mengutamakan operasi dengan waktu proses terpendek, diharapkan produksi dapat dilakukan secara efisien dan menghasilkan produk dengan waktu penyelesaian yang lebih cepat serta mengurangi tingkat keterlambatan produksi [10].

## 2.8. Efisiensi Indeks

Dalam rangka menentukan metode yang lebih baik, digunakan pendekatan pengukuran efisiensi untuk mengukur kinerja parameter. Penggunaan efisiensi bertujuan untuk membandingkan perbedaan makespan yang dihasilkan oleh kedua metode. Efisiensi merupakan indikator yang membantu dalam mengevaluasi sejauh mana metode tersebut dapat mengoptimalkan waktu penyelesaian produksi. Dengan membandingkan nilai efisiensi antara metode yang digunakan, dapat dipilih metode yang menghasilkan makespan yang lebih optimal dan efisien dalam menjalankan proses penjadwalan produksi [14].

### 3. Metodologi Penelitian

Metode penelitian dalam penelitian ini adalah dengan melakukan perhitungan metode *ant colony*. Langkah-langkah perhitungan metode *ant colony* dapat dijelaskan sebagai berikut [15]. Dalam penelitian ini, digunakan data sekunder yang berasal dari perakitan elemen kerja pada produk Mobil Mainan. Analisis penjadwalan dilakukan dengan menggunakan algoritma *ant colony*, yang melibatkan penetapan nilai parameter seperti pheromone awal, visibilitas, intensitas parameter *ant colony*, probabilitas elemen kerja, dan updating pheromone. Hasil analisis dan pembahasan algoritma *ant colony* dalam penjadwalan memberikan wawasan tentang performa dan efektivitas algoritma tersebut dalam meminimalkan makespan atau meningkatkan efisiensi penjadwalan. Berdasarkan hasil tersebut, penarikan kesimpulan dilakukan untuk mengevaluasi keefektifan algoritma *ant colony* dalam konteks penelitian ini, serta memberikan saran untuk pengembangan atau perbaikan lebih lanjut terkait penggunaan algoritma *ant colony* dalam penjadwalan produksi Mobil Mainan.

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1. Data Elemen Kerja

Berikut merupakan pengumpulan data sebagai berikut.

Tabel 1. Data Elemen Kerja

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Nama Mesin	Waktu (Detik)	Waktu <i>Setup</i> (detik)	Total Waktu (detik)
1	1	Obeng	3	1	4
	2	Obeng	4	2	6
	3	Obeng	6	1	7
	4	Obeng	4	2	6
	5	Obeng	2	1	3
	6	Obeng	3	2	5
	7	Obeng	6	1	7
	8	Lem	9	2	11
	9	Lem	7	1	8
	10	Lem	5	2	7
2	11	Lem	1	1	2
	12	Lem	1	2	3
	13	Lem	2	1	3
	14	Lem	3	2	5

#### 4.2. Pengolahan Data

##### 4.2.1. Penentuan Pheromone Awal

Langkah pertama perhitungan waktu elemen dalam precedence diagram. Semua bobot diberi peringkat dalam urutan besar sampai kecil.

$$\tau_{ij} = \tau_o = \frac{k}{L_{PW}}$$

$$= \frac{14}{36}$$

$$= 0,25$$

#### Penentuan Visibilitas

Visibilitas dalam algoritma semut memberikan informasi heuristik. Informasi heuristic mengarahkan semut untuk menemukan jalan atau solusi. Bobot digunakan dalam membangun informasi *heuristic*.

$$\eta_{ij} = \frac{Pw_i}{\sum_{i=1}^N Pw_i}$$

$$Pw_i = T_i + \sum T_j$$

Formulasi ini digunakan untuk perhitungan visibilitas pada elemen kerja pertama.

$$Pw_1 = T_1 + \sum T_2 = 3 + 4 = 7$$

$$\eta_1 = \frac{Pw_1}{\sum_{i=1}^n Pw_1} = \frac{7}{56} = 0,125$$

Adapun Penentuan Visibilitas sebagai berikut.

Tabel 2. Penentuan Visibilitas Setiap Elemen

Elemen Kerja	Visibilitas
1	0,125
2	0,179
3	0,179
4	0,107
5	0,089
6	0,161
7	0,268
8	0,286
9	0,214
10	0,107
11	0,036
12	0,054
13	0,089
14	0,054

#### 4.2.2. Penentuan Intensitas Parameter Ant Colony

Pengujian parameter pengendali visibilitas dengan parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  sebesar 1 dan 2 pada elemen kerja 1 dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$[\tau_{ij}^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta] =$$

$$= 0,25^1 \times 0,125^2 = 0,00390625$$

Rekapitulasi dari pengujian parameter pengendali visibilitas pada tiap elemen kerja sebagai berikut.

Tabel 3. Pengujian Pengendalian Visibilitas

Elemen Kerja	Visibilitas
1	0,00390625

Elemen Kerja	Visibilitas
2	0,007971939
3	0,007971939
4	0,002869898
5	0,001992985
6	0,00645727
7	0,017936862
8	0,020408163
9	0,011479592
10	0,002869898
11	0,000318878
12	0,000717474
13	0,001992985
14	0,000717474
Total	0,087611607

Rekapitulasi dari pengujian parameter visibilitas dapat dilihat bahwa parameter  $\alpha$  dan  $\beta$  sebesar 1 dan 2 memiliki nilai yang paling besar dari keempat pengujian. Rekapitulasi hasil pengujian sebagai berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pengujian

Pengendalian Visibilitas	Total
2	0,087611607
3	0,0185276399
4	0,0043184470
5	0,0010690136

#### Penentuan Probabilitas Elemen Kerja

Ketetapan dihitung sebelumnya akan dimasukan kedalam rumus probabilitas. Perhitungan probabilitas pada elemen kerja 1 sebagai berikut.

$$T_{ij}^k = \frac{0,25^1 \times 0,125^2}{0,087611607} = 0,044585987$$

Perhitungan probabilitas kumulatif untuk menyesuaikan hasil dari bilangan random agar memilih elemen kerja untuk dialokasikan.

$$\begin{aligned} \text{Probabilitas elemen kerja 2} &= \text{Hasil Probabilitas 1} + \text{Hasil probabilitas 2} \\ &= 0,044585987 + 0,090991811 \\ &= 0,135577798 \end{aligned}$$

Pembangkitkan bilangan random bertujuan memilih elemen kerja akan dilalui oleh semut dengan menggunakan distribusi *uniform* dari interval (0,1). Bilangan *random* dipilih dengan mencari nilai mendekati nilai probabilitas kumulatif dihasilkan adalah 0,242. Bilangan *random* yang memiliki nilai terdekat pada elemen kerja 1.

#### 4.2.3. Updating Pheromone

Koloni semut yang melakukan perjalanan pasti akan meninggalkan jejak *pheromone* pada setiap jalan dilalui. *Pheromone* awal ( $\tau_0$ ) akan mengalami penguapan sebesar *value*  $\rho = 0.5$  sebelum dilakukan penambahan *pheromone*

pada setiap jalan dilalui. Rekapitulasi dari hasil perhitungan *updating pheromone* dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil paling maksimal pada *updating pheromone* akan menjadi acuan untuk melakukan pemberhentian pada perjalanan 18. Adapun hasil rekapitulasi *updating pheromone* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *Updating Pheromone*

Perjalanan	<i>Updating Pheromone</i>
1	5,732142857
2	2,8725
3	2,8725
4	7,756944444
5	11,115
6	3,516975309
7	1,346111111
8	1,198242188
9	2,032986111
10	7,756944444
11	68,8125
12	30,65277778
13	11,115
14	30,65277778

#### 4.2.4. Perbandingan *Makespan* Metode SPT dan Metode Algoritma Semut

Perbandingan waktu *makespan* metode SPT dan metode algoritma semut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Waktu *Makespan* Metode SPT Dan Metode Algoritma Semut

<i>Makespan</i>	
Metode SPT	Metode Algoritma Semut
77 detik	56 detik

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan penurunan *makespan* produk mobil mainan dengan menggunakan metode algoritma semut menjadi 56 detik. Pengukuran kinerja perbandingan metode adalah sebagai berikut

$$EI = \frac{\text{Makespan SPT}}{\text{Makespan Algoritma Semut}} = \frac{77}{56} = 1,375$$

$EI > 1$  menunjukkan bahwa metode usukan dapat memberikan *performance* baik untuk meminimasi terjadinya keterlambatan. *Makespan* yang terpilih adalah algoritma semut untuk menjadi alternatif dalam mengatasi keterlambatan.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah diolah maka kesimpulan yang didapatkan melalui penelitian yaitu. Solusi penjadwalan produksi mobil mainan yang optimal adalah dengan algoritma semut untuk mendapatkan total waktu yang paling singkat dalam suatu produk (*makespan*) yaitu 56 detik.

Alternatif *makespan* yang optimal adalah dengan menggunakan algoritma semut dibandingkan metode SPT dikarenakan dapat meningkatkan *efficiency index* perusahaan yaitu 1,375.  $EI > 1$  menunjukkan bahwa metode usukan dapat memberikan *performance* baik untuk meminimasi terjadinya keterlambatan. Makespan yang terpilih adalah algoritma semut untuk menjadi alternatif dalam mengatasi keterlambatan

Urutan *job* untuk menurunkan makespan adalah dengan mengelompokkan elemen kerja 1,2,3,4,5,6 dan 7 di stasiun kerja I, elemen kerja 8,9,10,11,12 dan 13 di stasiun kerja II.

## Referensi

- [1] H. Irwan, "Optimasi Penjadwalan Job Shop dengan Metode Algoritma Greedy," *PROFISIENSI J. Progr. Stud. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 2, 2020.
- [2] Nico Saputro and Yento Yento, "Pemakaian Algoritma Genetik Untuk Penjadwalan Job Shop Dinamis Non Deterministik," *J. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 1, 2004.
- [3] Asril Habib Panjaitan and Rosnani Ginting, "Usulan Penjadwalan Produksi Dengan Algoritma Ant Colony (Studi Kasus PT. KLM Medan)," *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 2, no. 3, 2019.
- [4] Liliani and A. Achmad, "Usulan Penjadwalan Produksi Dengan Algoritma Ant Colony (Studi Kasus PT Shima Prima Utama Palembang)," *Simp. Nas. RAPI XIII*, vol. 11, no. 2, 2014.
- [5] A. T. Wahyudi, B. I. A. Wicaksana, and M. Andriani, "Penjadwalan Produksi Job shop Mesin Majemuk Menggunakan Algoritma Non Delay untuk Meminimalkan Makespan," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, vol. 10, no. 2, 2021.
- [6] S. Mempengaruhi, K. Kerja, P. Proyek, P. Apartement, and S. Castle, "ISSN : 1963-6590 ( Print ) ISSN : 2442-2630 ( Online )," *Spektrum Ind.*, vol. 14, no. 1, 2016.
- [7] D. H. Irawan, V. Suhandi, and V. Arisandhy, "Usulan Penjadwalan Produksi Dengan Menggunakan Algoritma Ant Colony System ( Studi Kasus Cv . Bina Rubber Sumedang ) Production Scheduling Proposal Using Ant Colony System Algoritm ( Case Study of Cv . Bina Rubber Sumedang )," 2009.
- [8] D. I. K. Yogyakarta, "Implementasi Algoritma Koloni Semut Pada Proses," *Semin. Nas. Inform.*, vol. 2009, no. semnasIF, pp. 111–120, 2009.
- [9] A. P. Windarto and S. Sudirman, "Penerapan Algoritma Semut Dalam Penentuan Distribusi Jalur Pipa Pengolahan Air Bersih," *J. Sist. Inf. Bisnis*, vol. 8, no. 2, 2018.
- [10] D. M. Utama, "Analisa Perbandingan Penggunaan Aturan Prioritas Penjadwalan Pada Penjadwalan Non Delay N Job 5 Machine," *Pros. SENTRA (Seminar Nas. Teknol. dan Rekayasa)*, 2016..
- [11] Z. Zukhri and S. Alhakim, "Algoritma Semut pada Penjadwalan Produksi Jobshop," *Media Inform.*, vol. 2, no. 2, 2004..
- [12] S. L. B. Ginting and H. Akbar, "Pembangunan perangkat lunak menggunakan algoritma ant colony optimization untuk optimalisasi penjadwalan kuliah," *J. Manaj. Inform.*, vol. 01, no. 05, 2014..
- [13] A. Setiawan, T. E. N. Sitepu, and M. Hilmanto, "Model Penjadwalan Flexible Manufacturing System dengan Memperhatikan Sistem Penanganan Material," *J. Telemat.*, 2018.
- [14] R. Ginting, *Penjadwalan Mesin, Edisi Pertama*, 1st ed. jogjakarta: Graha Ilmu, 2009.
- [15] S. Fidanova, "Ant Colony Optimization," *Stud. Comput. Intell.*, vol. 947, 2021