



PAPER – OPEN ACCESS

## Penjadwalan Mesin Produk Lampu Emergency dengan Menggunakan Metode Ant Colony

Author : Muhammad Fahryan, dan Dhede Pristri Afrinda  
DOI : 10.32734/ee.v6i1.1915  
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 Lampu *Emergency* dengan Menggunakan Metode *Ant Colony*

Muhammad Fahryan<sup>a</sup>, Dhede Pristri Afrinda<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater kampus USU, Medan 20155, Indonesia*  
mfahryan4@gmail.com, dhedepristia@gmail.com

## Abstrak

Dalam mengatur penjadwalan pada perusahaan, pemahaman konsep penjadwalan menjadi sangat penting. Dalam melakukan penjadwalan, unit-unit produksi harus dimanfaatkan secara optimum dan sumber daya yang terbatas harus diatur secara efisien. Untuk mengatasi masalah penjadwalan, berbagai model telah dikembangkan. Salah satu metode heuristik yang berkembang pesat di dunia akademisi adalah ant colony optimization (ACO). Algoritma ACO dapat menghasilkan solusi kandidat untuk masalah optimasi melalui mekanisme konstruksi yang dilakukan secara probabilitas. Algoritma ini sering digunakan dalam berbagai masalah, termasuk pada permasalahan penjadwalan produksi job shop. Metode algoritma semut digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan waktu penyelesaian keseluruhan pekerjaan yang paling optimal. Algoritma semut digunakan untuk mencari waktu paling minimum untuk menyelesaikan  $n$  buah pekerjaan oleh  $m$  buah mesin. Dengan penerapan algoritma semut, diharapkan dapat meminimalkan biaya operasi dan waktu pengiriman, sehingga dapat meningkatkan kepuasan pelanggan. Berdasarkan hasil perhitungan maka yang didapatkan melalui penelitian yaitu mendapatkan total probabilitas elemen kerja yang paling singkat dalam suatu produk (*makespan*) yaitu 495 detik dengan alternatif *makespan* yang optimal dengan metode SPT dikarenakan dapat meningkatkan *efficiency index* perusahaan yaitu 2,06.  $EI > 1$  menunjukkan bahwa metode usukan dapat memberikan performance baik untuk meminimasi terjadinya keterlambatan. dengan mengelompokkan elemen kerja 1 - 3 di stasiun kerja I, elemen kerja 4 - 7 di stasiun kerja II, elemen kerja 8-15 di stasiun kerja III.

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

## Abstract

*In managing scheduling in a company, understanding the concept of scheduling is very important. In scheduling, production units must be utilized optimally and limited resources must be efficiently managed. To solve the scheduling problem, various models have been developed. One rapidly developing heuristic method in the academic world is ant colony optimization (ACO). The ACO algorithm can generate candidate solutions to optimization problems through probabilistic construction mechanisms. This algorithm is often used in various problems, including job shop production scheduling problems. The ant algorithm method is used in this study to determine the most optimal overall job completion time. The ant algorithm was used to find the minimum time to complete  $n$  jobs by  $m$  machines. With the implementation of the ant algorithm, it is expected to minimize operational costs and delivery time, thus improving customer satisfaction. Based on the calculation results, the total probability of the shortest work element in a product (*makespan*) obtained through the study is 495 seconds with the optimal *makespan* alternative using the SPT method, as it can improve the company's *efficiency index*, which is 2.06. An  $EI > 1$  indicates that the heuristic method can provide good performance in minimizing delays. By grouping work elements 1-3 at workstation I, work elements 4-7 at workstation II, and work elements 8-15 at workstation III.*

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

## 1. Pendahuluan

Masalah yang dihadapi manusia semakin kompleks seiring berlalunya waktu. Dalam situasi seperti ini, perlu ada tindakan nyata untuk mengatur penjadwalan dengan baik. Oleh karena itu, memahami konsep penjadwalan sangat penting, terutama bagi mereka yang bekerja dalam manajemen perusahaan. Jika ada gagasan penjadwalan yang jelas, para pelaksana bisnis akan dengan mudah mengetahui kapan memulai dan mengakhiri operasi. Penjadwalan yang baik akan mengurangi biaya dan waktu pengiriman, meningkatkan kepuasan pelanggan. agar tujuan penjadwalan, yaitu meminimalkan ukuran dalam pelaksanaannya, dapat dicapai[1]. Mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk menyelesaikan banyak tugas disebut penjadwalan. Karena sumber daya yang tersedia terbatas, proses penjadwalan memerlukan pengaturan yang efektif. Pengurutan tugas ini akan memungkinkan unit produksi (sumber daya) dimanfaatkan secara optimal. Untuk mengatasi masalah penjadwalan ini, berbagai model telah dikembangkan[2]

Salah satu bagian dari perencanaan produksi adalah penjadwalan mesin produksi; penjadwalan itu sendiri berarti mengurutkan produksi barang pada beberapa mesin. Meskipun belum optimal, metode penjadwalan ini adalah algoritma yang cukup baik. Menciptakan rencana yang lebih baik dan mencapai hasil yang hampir ideal semakin penting karena kebutuhan akan penjadwalan yang lebih efisien semakin meningkat[3]

Metode ini banyak digunakan untuk menangani berbagai masalah. Algoritma ACO juga digunakan untuk menyelesaikan masalah seperti *Sceduling*, *Spanning Tree*, *Traveling Salesman (TSP)*, dan penjadwalan *job shop*. Permasalahan penjadwalan produksi di toko pekerjaan membutuhkan penggunaan pendekatan graf untuk menunjukkan urutan operasi pekerjaan dalam kasus penjadwalan yang diberikan[4]. Algoritma semut terdiri dari *ant-cycle*, *ant-density*, dan *ant-quantity*. Proses pembarharuan pheromone semut adalah yang membedakan ketiga jenis algoritma semut tersebut. Pendekatan algoritma semut digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan waktu penyelesaian keseluruhan pekerjaan yang paling optimal. Algoritma ini mencari waktu paling singkat yang diperlukan untuk m mesin menyelesaikan n tugas.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menemukan penjadwalan alternatif yang paling efektif untuk mengurangi makespan selama proses produksi. Dengan demikian, dalam sehari, diharapkan waktu proses dapat digunakan secara optimal. Oleh karena itu, penjadwalan ulang produksi diperlukan untuk lampu *emergency*. Penelitian ini menggunakan algoritma koloni *ant* untuk menjadwalkan produksi dan mengurangi *makespan*[5].

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Definisi Penjadwalan

Penjadwalan adalah proses perencanaan untuk menggunakan sumber daya yang terbatas untuk menentukan kapan dan di mana setiap prosedur harus diselesaikan sebagai bagian dari operasi umum. Selain itu, penjadwalan melibatkan pengalokasian sumber daya pada suatu waktu tertentu berdasarkan jumlah sumber daya yang tersedia. Penjadwalan adalah pengaturan sumber daya untuk menyelesaikan sejumlah tugas atau operasi dalam jangka waktu tertentu. Dalam industri manufaktur dan jasa, penjadwalan adalah proses pengambilan keputusan yang sangat penting karena mengalokasikan sumber daya yang ada untuk mencapai tujuan dan sasaran perusahaan dengan cara yang paling efisien[6].

### 2.2 Tujuan Penjadwalan

Berikut adalah beberapa tujuan untuk aktivitas penjadwalan[7]:

- Meningkatkan utilisasi peralatan dan sumber daya dengan mengurangi waktu menganggur. Ada bukti bahwa penggunaan sumber daya yang optimal sebanding dengan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan (*makespan*). Oleh karena itu, tujuan penjadwalan utama adalah mengurangi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan produk secara keseluruhan.

- Mengurangi jumlah barang setengah jadi yang tersedia atau jumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian selama sumber daya yang ada masih dapat menyelesaikan pekerjaan lain. Teori Baker mengatakan bahwa aliran kerja konsisten, antrian akan mengurangi persediaan barang setengah jadi rata-rata dengan mengurangi rata-rata waktu alir.
- Mengurangi jumlah pekerjaan dengan batas waktu penyelesaian agar biaya penalti diturunkan (kelambatan).
- Membantu dalam proses pengambilan keputusan tentang bagaimana merencanakan kapasitas pabrik dan jenis kapasitas yang dibutuhkan untuk menghindari biaya yang mahal meningkat.
- Mencegah kelambatan juga merupakan tujuan penjadwalan. Untuk sebagian besar pekerjaan, ada batas waktu penyelesaian. Jika pekerjaan tidak selesai sesuai batas waktu, perusahaan akan dikenakan biaya. Kelambatan ini berkaitan dengan beberapa tujuan penjadwalan. Tujuan penjadwalan dapat mencakup mengurangi jumlah pekerjaan yang tertunda, mengurangi jumlah pekerjaan yang tertunda, atau mengurangi kelambatan rata-rata.

### 2.3 Alogaritma Semut (*Ant Colony Alogarithm*)

Sistem *ant colony* dibuat oleh Marco Dorigo pada tahun 1991. Algoritma ini meniru sifat alami koloni semut untuk menemukan jalan terpendek dari sarang ke makanan. Semut hidup dalam kelompok. Karena mereka buta, mereka berkomunikasi satu sama lain melalui *pheromone* atau parfum serangga. Seekor semut mengeluarkan *pheromone*, atau air liur, saat berjalan[8].

Semut lain akan melihat feromone yang ditinggalkan ini dan berjalan di belakangnya. Semut biasanya berjalan mengikuti jalur dengan intensitas *pheromone* yang lebih tinggi. Jalur dengan intensitas *pheromone* yang tinggi menunjukkan bahwa jalur tersebut sering dilalui oleh semut, dan jalur yang sering dilalui ini akan dianggap sebagai jalur dengan jarak terpendek yang ideal untuk mencari makanan[9]

### 2.4 Prinsip Dasar Algoritma Ant Colony

Jalur feromon menunjukkan kualitas solusi semut dari perjalanan sebelumnya, sedangkan data heuristik sesuai dengan input data masalah. Bobot  $\alpha$  diberikan kepada parameter *pheromone trail* dan bobot  $\beta$  diberikan pada informasi heuristik. Saat urutan *job* disusun, Nilai lacak *pheromone* dari pekerjaan terbaik di dunia akan hilang, yang berdampak pada semut di koloni berikutnya. Ini dilakukan untuk mencegah semut terlalu cepat mencapai kondisi lokal yang ideal untuk konvergensi[10].

### 2.5 Parameter Algoritma Ant Colony

Parameter algoritma Ant Colony berikut ini[10] :

- NCmax adalah jumlah siklus yang diperlukan untuk menemukan solusi; angka siklus menunjukkan jumlah koloni semut yang akan menemukan solusi untuk masalah. Semakin banyak siklus yang dibutuhkan, semakin dekat solusi yang dihasilkan dengan solusi optimal.
- Jumlah semut ( $m$ ), jumlah kombinasi solusi yang dapat dipilih pada tiap siklus. Kombinasi solusi yang dapat dipilih meningkat dengan jumlah semut dalam siklus.
- *Pheromone trail* ( $\tau_{ij}$ ), yang diwangikan oleh tiap semut sepanjang perjalanan untuk memungkinkan semut berikutnya mengikutinya.
- Informasi heuristik ( $\eta_{ij}$ ), yang menunjukkan bahwa visibilitas tugas yang dipilih pada setiap tahap didasarkan pada nilai fungsi yang dihitung secara matematis.

- Tingkat kepentingan relatif dari trail pheromone ( $\alpha$ ), yang merupakan tingkat tekanan yang diberikan pada parameter trail pheromone, yang mengakibatkan solusi yang dihasilkan cenderung mengikuti sejarah perjalanan semut sebelumnya. Nilai parameter  $\alpha > 0$ .

## 2.6 Langkah – langkah Ant Colony

Adapun langkah-langkah dari *ant colony* yaitu [11]:

- Inisialisasi parameter yang ada
- Menghitung *makespan time* setiap *ant colony*

$$Z_{best} = \max \{C_i, i=1,2,\dots,n\}$$

$$C_i = q(\sigma_i, m)$$

$$q(\sigma_i, j) = \max \{q(\sigma, j); q(\sigma_i, j-1)\} + t_{ij} \quad [3]$$

- Penghitungan probabilitas

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{k=0}^n [\tau_{ik}]^\alpha [\eta_{ik}]^\beta}$$

- Memperbarui intensitas *pheromone*

$$\tau_{ij} \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij} + \rho \cdot \Delta\tau_{ij}$$

$$\Delta\tau_{ij} = \frac{1}{P_{ij,C}}$$

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} P_{ij}^{-1} & \text{jika } ij \in \text{tur\_terbaik} \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

Dimana:

$P_{ij}$  = waktu kerja  $i$  di mesin  $j$

$C$  = jumlah tempat

$\rho$  = nilai mulai dari 0 hingga 1

$\Delta\tau_{ij}$  = perubahan *pheromone*

- Jika jumlah iterasi atau pemberhentian telah selesai, pilih pekerjaan berikutnya dengan waktu tunggu paling singkat.

## 3. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yaitu dengan melakukan perhitungan metode *ant colony*. Langkah-langkah perhitungan metode *ant colony* dapat dijelaskan sebagai berikut [12]:

- Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, yang berasal dari data perakitan elemen kerja pada produk Lampu *Emergency*.
- Menganalisis penjadwalan dengan menggunakan algoritma *ant colony ant colony*, yang menetapkan nilai parameternya yaitu [4]:
  - a. Penentuan *Pheromone* Awal

- b. Penentuan Visibilitas
- c. Penentuan Intenstas Parameter *Ant Colony*
- d. Penentuan Probabilitas Elemen Kerja
- e. Updating *Pheromone*
- Melakukan Analisis dan Pembahasan pada *Ant Colony*
- Penarikan Kesimpulan dan Saran yang diberikan peneliti

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Data Elemen Kerja

Data elemen kerja dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Elemen Kerja

Elemen Kerja	Mesin	Waktu (detik)	Waktu Setup (detik)	Total Waktu (detik)
1	Mesin Bubut	40	30	70
2	Mesin Bubut	30	20	50
3	Mesin Bubut	10	20	30
4	Mesin Scrub	10	20	30
5	Mesin Scrub	10	15	25
6	Mesin Scrub	10	15	25
7	Mesin Scrub	10	15	25
8	Mesin CNC	10	15	25
9	Mesin CNC	10	15	25
10	Mesin CNC	30	15	45
11	Mesin CNC	10	15	25
12	Mesin CNC	30	15	45
13	Mesin CNC	10	15	25
14	Mesin CNC	10	15	25
15	Mesin CNC	10	15	25

##### 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[13].

$$\tau_{ij} = \tau_0 = \frac{k}{L_{PW}}$$

$$= \frac{15}{240} = 0,06$$

###### 4.2.2. Penentuan Visibilitas

Visibilitas dalam algoritma semut memberikan informasi heuristik. Informasi heuristic mengarahkan semut untuk menemukan jalan atau solusi. Bobot digunakan dalam membangun informasi *heuristic*[14].

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

$$Pw_i = T_i + \sum T_j$$

Formulasi ini digunakan untuk perhitungan visibilitas pada elemen kerja pertama

$$Pw_1 = T_1 + \sum T_2 = 40 + 30 = 70$$

$$\eta_1 = \frac{Pw_1}{\sum_{i=1}^n Pw_i} = \frac{40}{240} = 0,29167$$

Adapun Penentuan Visibilitas disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penentuan Visibilitas Setiap Elemen

Elemen Kerja	Visibilitas
1	0,29166667
2	0,16666667
3	0,08333333
4	0,08333333
5	0,08333333
6	0,08333333
7	0,08333333
8	0,08333333
9	0,16666667
10	0,16666667
11	0,16666667
12	0,16666667
13	0,08333333
14	0,08333333
15	0,04166667

#### 4.2.3 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 :

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

$$= 0,0625^1 \times 0,29166667^2 = 0,00531684$$

Rekapitulasi dari pengujian parameter pengendali visibilitas pada tiap elemen kerja disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Pengendalian Visibilitas

Elemen Kerja	Visibilitas
1	0,00531684
2	0,001736111
3	0,000434028
4	0,000434028
5	0,000434028
6	0,000434028
7	0,000434028
8	0,000434028
9	0,001736111
10	0,001736111
11	0,001736111
12	0,001736111
13	0,000434028
14	0,000434028
15	0,000108507

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 dapat dilihat Tabel 4

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pengujian

Pengendalian Visibilitas	Total
2	0,017578125
3	0,0032913773
4	0,0007177282
5	0,0001741260

#### 4.2.4 Penentuan Probabilitas Elemen Kerja

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

$$P_{ij}^k = \left\{ \frac{0,0625^1 \times 0,291666667^2}{0,017578125} \right\} = 0,302469136$$

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

$$\begin{aligned} \text{Probabilitas elemen kerja 2} &= \text{Hasil Probabilitas 1} + \text{Hasil probabilitas 2} \\ &= 0,302469136 + 0,302469136 \\ &= 0,6045 \end{aligned}$$

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 0,783801714. Bilangan random yang memiliki nilai terdekat pada elemen kerja 11.

#### 4.2.5 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[15]. Rekapitulasi dari hasil perhitungan updating *pheromone* dapat dilihat pada Tabel 13. 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	Updating Pheromone
1	0,237882653
2	0,6640625
3	2,5625
4	2,5625
5	2,5625
6	2,5625
7	2,5625
8	2,5625
9	0,6640625
10	0,6640625
11	0,6640625
12	0,6640625
13	2,5625
14	2,5625
15	10,15625

Tabel 6. Stasiun Kerja Updating Pheromone

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Mesin	Waktu (detik)	Waktu Setup (detik)	Total Waktu (detik)
I	1	Mesin Bubut	40	5	45
	2	Mesin Bubut	30		30
II	3	Mesin Bubut	10	5	15
	4	Mesin Scrub	10		10
	5	Mesin Scrub	10		10
	6	Mesin Scrub	10		10
	7	Mesin Scrub	10		10
	8	Mesin CNC	10		10
	9	Mesin CNC	10		10
	10	Mesin CNC	30		30
III	11	Mesin CNC	10	5	15
	12	Mesin CNC	30		30

13	Mesin CNC	10	10
14	Mesin CNC	10	10
15	Mesin CNC	10	10

4.2.5 Perbandingan Makespan Metode SPT dan Metode Algoritma Semut

Perbandingan waktu *makespan* metode SPT dan metode algoritma semut dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Waktu *Makespan* Metode SPT Dan Metode Algoritma Semut

<i>Makespan</i>	
Metode SPT	Metode Algoritma Semut
495 detik	255 detik

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan penurunan *makespan* produk Blender Portable dengan menggunakan metode algoritma semut menjadi 432 detik. Pengukuran kinerja perbandingan metode adalah sebagai berikut

$$EI = \frac{\text{Makespan SPT}}{\text{Makespan Algoritma Semut}} = \frac{495}{255} = 1,94$$

Menganalisis penjadwalan dengan menggunakan algoritma *ant colony ant colony*, yang menetapkan nilai parameternya yaitu. Algoritma semut yang dipilih untuk mengatasi keterlambatan adalah *Makespan* [16].

**5. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah diolah maka kesimpulan yang didapatkan melalui penelitian yaitu. Solusi penjadwalan produksi Blender yang optimal adalah dengan algoritma semut untuk mendapatkan total probabilitas elemen kerja yang paling singkat dalam suatu produk (*makespan*) yaitu 495 detik dengan alternatif *makespan* yang optimal adalah dengan menggunakan algoritma semut dibandingkan metode SPT dikarenakan dapat meningkatkan *efficiency index* perusahaan yaitu 1,94.  $EI > 1$  adalah metode usukan dapat memberikan performance baik untuk meminimasi terjadinya keterlambatan, hasil perhitungan yang telah diolah maka kesimpulan yang didapatkan melalui penelitian yaitu. Solusi penjadwalan produksi lampu emergency yang optimal adalah dengan algoritma semut untuk mendapatkan total probabilitas elemen kerja yang paling singkat dalam suatu produk (*makespan*) yaitu 0,00617284 dan Urutan job untuk menurunkan *makespan* adalah dengan mengelompokkan elemen kerja 1,2, dan 3 di stasiun kerja I, elemen kerja 4,5,6, dan 7 di stasiun kerja II, elemen kerja 8-15 di stasiun kerja III. Algoritma semut digunakan dalam sistem penjadwalan produksi jobshop untuk memberikan usulan penjadwalan terbaik berdasarkan waktu tunggu minimal. Diharapkan saran ini akan membantu dalam proses pengambilan keputusan untuk memulai proses produksi nyata. *Makespan* yang terpilih adalah algoritma semut untuk menjadi alternatif dalam mengatasi keterlambatan dan Urutan job untuk menurunkan *makespan* adalah dengan mengelompokkan elemen kerja 1 - 3 di stasiun kerja I, elemen kerja 4 - 7 di stasiun kerja II, elemen kerja 8-15 di stasiun kerja III.

**Referensi**

[1] P. González, R. Prado-Rodriguez, A. Gábor, J. Saez-Rodriguez, J. R. Banga, and R. Doallo, "Parallel ant

- colony optimization for the training of cell signaling networks,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 208, no. June, p. 118199, 2022, doi: 10.1016/j.eswa.2022.118199.
- [2] R. Ginting, “Penjadwalan Mesin,” *Graha Ilmu*, p. 271, 2009.
- [3] G. C. Ciro, F. Dugardin, F. Yalaoui, and R. Kelly, “A fuzzy ant colony optimization to solve an open shop scheduling problem with multi-skills resource constraints,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 28, no. 3, pp. 715–720, 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.167.
- [4] P. Jobshop, “Algoritma Semut pada Penjadwalan Produksi Jobshop,” vol. 2, no. February 2009, 2015, doi: 10.20885/informatika.vol2.iss2.art8.
- [5] L. Souza Almeida and F. Goerlandt, “An ant colony optimization approach to the multi-vehicle prize-collecting arc routing for connectivity problem,” *Multimodal Transp.*, vol. 1, no. 3, p. 100033, 2022, doi: 10.1016/j.multra.2022.100033.
- [6] T. Stützle, “A MULTI-OBJECTIVE ANT COLONY OPTIMIZATION METHOD APPLIED TO SWITCH ENGINE SCHEDULING IN RAILROAD YARDS Jodelson A. Sabino\*,” pp. 487–514, 2009.
- [7] F. A. Ekoanindiyo, D. Fakultas, T. Universitas, and S. Semarang, “2012 Firman Ardiansyah Ekoanindiyo 44,” vol. 6, no. 1974, pp. 44–56, 2012.
- [8] K. U. R. Ku-mahamud and M. M. Alobaedy, “New Heuristic Function in Ant Colony System for Job Scheduling in Grid Computing,” *Proc. 17th Int. Conf. Appl. Math.*, pp. 47–52, 2012.
- [9] M. Dorigo, *Ant Colony Optimization*, no. January. 2004.
- [10] 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, pp. 9–16, 2014.
- [11] D. Kurniadi, “Penjadwalan Proses Produksi Menggunakan ANT,” *Media Elektr.*, vol. 9, no. 1, pp. 35–41, 2016.
- [12] S. Fidanova, “Ant Colony Optimization,” *Stud. Comput. Intell.*, vol. 947, pp. 3–8, 2021, doi: 10.1007/978-3-030-67380-2\_2.
- [13] R. M’Hallah and A. Alhajraf, “Ant colony optimization for the single machine total earliness tardiness scheduling problem,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 5027 LNAI, no. June, pp. 397–407, 2008, doi: 10.1007/978-3-540-69052-8\_42.
- [14] E. López-Santana, W. C. Rodríguez-Vásquez, and G. Méndez-Giraldo, “A hybrid expert system, clustering and ant colony optimization approach for scheduling and routing problem in courier services,” *Int. J. Ind. Eng. Comput.*, vol. 9, no. 3, pp. 369–396, 2018, doi: 10.5267/j.ijiec.2017.8.001.
- [15] M. Soleymani and H. Nematzadeh, “Scheduling of Real Time Processes Distribution on Multiprocessor Using Meta-Heuristic Ant Colony Algorithms , Genetic and PSO,” vol. 8, no. 3, pp. 55–68, 2017.
- [16] R. I. Safitri, “Analisis Sistem Penjadwalan Produksi Berdasarkan Pesanan Pelanggan dengan Metode FCFS, LPT, SPT dan EDD Pada PD. X,” *J. Optimasi Tek. Ind.*, vol. 1, no. 2, p. 26, 2019, doi: 10.30998/joti.v1i2.3840.