

**PENJADWALAN *HYBRID FLOWSHOP* DENGAN MESIN PARALEL
MENGUNAKAN ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* DAN
METODE TAGUCHI DI PT IHI POWER SERVICE INDONESIA**

SKRIPSI



Disusun Oleh:

MELINA

3333210023

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN
2025**

**PENJADWALAN *HYBRID FLOWSHOP* DENGAN MESIN PARALEL
MENGUNAKAN ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* DAN
METODE TAGUCHI DI PT IHI POWER SERVICE INDONESIA**

**Skripsi ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam mendapatkan gelar
Sarjana Teknik**



Disusun Oleh:

MELINA

3333210023

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : MELINA

NIM : 3333210023

JURUSAN : TEKNIK INDUSTRI

JUDUL : PENJADWALAN *HYBRID FLOWSHOP* DENGAN MESIN
PARALEL MENGGUNAKAN ALGORITMA *ANT COLONY
OPTIMIZATION* DAN METODE TAGUCHI DI PT IHI POWER
SERVICE INDONESIA

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian yang berjudul sebagaimana tercantum di atas merupakan hasil karya saya sendiri, yang disusun di bawah bimbingan Dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II. Penelitian ini tidak merupakan duplikasi dari karya pihak lain, kecuali pada bagian-bagian yang secara jelas telah dicantumkan sumbernya.

Apabila di kemudian hari ditemukan adanya unsur plagiarisme dalam penelitian ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Cilegon, 30 Juni 2025





METERAI
TEMPEL
BEAMX295561822
Melina

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : MELINA
NIM : 3333210023
Jurusan : TEKNIK INDUSTRI
Judul : PENJADWALAN *HYBRID FLOWSHOP* DENGAN MESIN
PARALEL MENGGUNAKAN ALGORITMA *ANT COLONY*
OPTIMIZATION DAN METODE TAGUCHI DI PT IHI POWER
SERVICE INDONESIA

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan Diterima
sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana

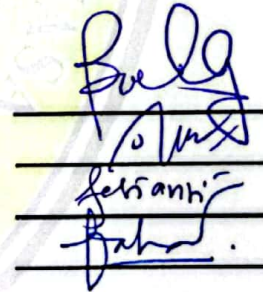
Teknik pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik,

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Pada hari : Senin
Tanggal : 30 Juni 2025

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Eng. Bobby Kurniawan, ST., MT
Pembimbing 2 : Yusraini Muharni, ST., MT
Penguji 1 : Evi Febianti, ST., M. Eng
Penguji 2 : Achmad Bahauddin, ST., MT., PhD



Three handwritten signatures in blue ink, each on a horizontal line, representing the examiners.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Industri



Official stamp of Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (USTa) and a handwritten signature in blue ink over it.

Achmad Bahauddin, ST., MT., PhD.
NIP: 197812212005011002

PRAKATA

Bismillahirrahmanirrahim.

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, serta kemudahan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul “Penjadwalan *Hybrid Flowshop* Dengan Mesin Parellel Menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization* Dan Metode Taguchi Di PT IHI Power Service Indonesia” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan laporan ini masih terdapat berbagai kekurangan, baik dalam hal penulisan maupun isi. Namun demikian, berkat doa, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak, laporan ini akhirnya dapat diselesaikan. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibunda tercinta, Erna Susilawati sosok wanita luar biasa yang menjadi sumber inspirasi dan kekuatan utama dalam menyelesaikan pendidikan ini. Meskipun beliau tidak menempuh pendidikan hingga jenjang yang tinggi, semangat, kasih sayang, dan pengorbanannya yang tiada henti telah menjadi motivasi terbesar dalam setiap langkah perjuangan ini.
2. Ayahanda, Sidik yang telah memberikan didikan, semangat, dan keteladanan sepanjang hidup penulis. Meskipun tidak menempuh pendidikan tinggi, beliau adalah sosok yang senantiasa memotivasi penulis untuk terus maju dan menyelesaikan studi.
3. Adik-adik dan seluruh keluarga besar, yang telah memberikan dukungan moral serta menjadi bagian penting dalam perjalanan hidup penulis. Terima

kasih atas segala doa, dorongan, dan perhatian yang turut menguatkan penulis hingga titik ini.

4. Kepada Dosen Pembimbing I dan Pembimbing II, atas segala bimbingan, arahan, serta masukan berharga selama proses penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh staf di Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, yang telah memberikan ilmu, kesempatan, dan inspirasi selama masa studi penulis.
6. Kepada tim PPC (*Production Planning and Control*) serta seluruh staf produksi di *Workshop 4* PT IHI Power Service Indonesia, yang telah memberikan kesempatan, bantuan, serta informasi yang sangat berharga selama proses pengumpulan data penelitian. Dukungan dan keterbukaan dalam memberikan akses terhadap aktivitas produksi sangat membantu penulis dalam memperoleh data yang dibutuhkan untuk menyusun tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan seangkatan Teknik Industri 2021 (Hybrid E), atas kebersamaan, semangat, dan kerja sama yang telah terjalin selama masa perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang membangun, sangat penulis harapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Akhir kata, semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan menjadi kontribusi kecil dalam pengembangan ilmu pengetahuan. Semoga segala kebaikan dan bantuan dari semua pihak dibalas oleh Allah SWT dengan balasan yang berlipat ganda.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

ABSTRAK

MELINA. PENJADWALAN *HYBRID FLOWSHOP* DENGAN MESIN PARALEL MENGGUNAKAN ALGORITMA *ANT COLONY OPTIMIZATION* DAN METODE TAGUCHI DI PT IHI POWER SERVICE INDONESIA OLEH DR. ENG. BOBBY KURNIAWAN, ST., MT., DAN YUSRAINI MUHARNI, ST., MT.

Penjadwalan produksi merupakan elemen penting dalam sistem manufaktur, terutama pada perusahaan dengan sistem make to order seperti PT IHI Power Service Indonesia. Penelitian ini difokuskan pada proses produksi di workshop 4, khususnya pada zona 10, yang sering mengalami keterlambatan karena keterbatasan kapasitas mesin dan waktu proses. Penjadwalan dilakukan pada sistem hybrid flowshop dengan mesin paralel yang terdiri dari lima tahap proses, yaitu cutting, joining, GMAW, SAW, dan finishing. Tujuan penelitian ini adalah meminimalkan makespan agar efisiensi produksi meningkat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ant Colony Optimization (ACO) untuk menyusun jadwal produksi yang optimal. ACO dipilih karena kemampuannya dalam menyelesaikan permasalahan kompleks dengan banyak variabel. Untuk memperoleh kombinasi parameter ACO yang paling efektif, digunakan metode Taguchi dengan pendekatan Design of Experiment. Parameter yang diuji meliputi nilai alpha, beta, rho, dan jumlah semut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan ACO dapat menghasilkan makespan minimum sebesar 26.801 menit. Kombinasi parameter optimal diperoleh melalui analisis signal to noise ratio (S/N Ratio) dan ANOVA, yang menunjukkan bahwa parameter alpha 0,5, beta 2, rho 0,5, dan jumlah semut 10 menghasilkan hasil terbaik.

Kata Kunci: *Ant Colony Optimization (ACO), Hybrid Flowshop, Makespan, Parameter, Penjadwalan Produksi, Taguchi.*

ABSTRACT

MELINA. SCHEDULING OF HYBRID FLOWSHOP WITH PARALLEL MACHINES USING ANT COLONY OPTIMIZATION ALGORITHM AND TAGUCHI METHOD AT PT IHI POWER SERVICE INDONESIA BY DR. ENG. BOBBY KURNIAWAN, ST., MT., DAN YUSRAINI MUHARNI, ST., MT.

Production scheduling is a crucial element in manufacturing systems, especially in make-to-order companies such as PT IHI Power Service Indonesia. This study focuses on the production process in Workshop 4, particularly in Zone 10, which often experiences delays due to limited machine capacity and processing time. Scheduling is carried out in a hybrid flowshop system with parallel machines consisting of five production stages: cutting, joining, GMAW, SAW, and Finishing. The objective of this research is to minimize the makespan to increase production efficiency. The method used in this study is Ant Colony Optimization (ACO) to develop an optimal production schedule. ACO is chosen for its capability to solve complex problems involving many variables. To obtain the most effective combination of ACO parameters, the Taguchi method with a Design of Experiment approach is employed. The parameters tested include alpha, beta, rho, and the number of ants. The results show that the application of ACO can produce a minimum makespan of 26,801 minutes. The optimal parameter combination is determined through signal-to-noise ratio (S/N Ratio) and ANOVA analysis, which indicate that the best results are achieved with alpha 0.5, beta 2, rho 0.5, and 10 ants.

Keywords: Ant Colony Optimization (ACO), Hybrid Flowshop, Makespan, Parameter, Production Scheduling, Taguchi.

RINGKASAN

Melina. Penjadwalan *Hybrid Flowshop* dengan Mesin Paralel Menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization* dan Metode Taguchi Di PT IHI Power Service Indonesia Oleh BOBBY KURNIAWAN dan YUSRAINI MUHARNI.

Latar Belakang: Penjadwalan produksi merupakan aspek penting dalam industri manufaktur, terutama pada perusahaan dengan sistem *make to order* seperti PT IHI Power Service Indonesia. Salah satu permasalahan utama yang terjadi di *workshop 4*, khususnya pada pengerjaan zona 10 adalah keterlambatan penyelesaian pesanan akibat keterbatasan kapasitas mesin dan waktu proses yang tidak efisien. Hal ini berdampak pada meningkatnya waktu penyelesaian total atau *makespan*, serta menurunkan efisiensi produksi dan kepuasan pelanggan. Mengingat kompleksitas proses produksi yang melibatkan lima tahapan, yaitu *cutting*, *joining*, GMAW, SAW, dan *finishing* dengan mesin paralel pada setiap tahapan, diperlukan pendekatan penjadwalan yang cermat dan terstruktur untuk menyusun urutan produksi secara optimal.

Perumusan Masalah: Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini merumuskan dua permasalahan utama: pertama, bagaimana menyusun jadwal produksi yang efisien pada sistem *hybrid flowshop* dengan mesin paralel untuk meminimalkan *makespan* menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO), dan kedua, bagaimana pengaruh kombinasi parameter ACO terhadap hasil penjadwalan serta kombinasi parameter manakah yang menghasilkan performa terbaik berdasarkan analisis metode Taguchi.

Tujuan Penelitian: Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan penjadwalan produksi yang efisien pada sistem *hybrid flowshop* dengan mesin paralel untuk meminimalkan *makespan* dengan metode algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO). Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh parameter ACO dan menentukan kombinasi terbaik menggunakan metode Taguchi untuk meningkatkan efektivitas hasil penjadwalan.

Metode Penelitian: Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan metaheuristik *Ant Colony Optimization* (ACO), yang dikenal efektif untuk menyelesaikan permasalahan kompleks dengan banyak variabel. Untuk memperoleh kombinasi parameter ACO yang paling optimal, digunakan metode Taguchi dengan pendekatan *Design of Experiment* menggunakan *Orthogonal Array*. Parameter yang diuji dalam algoritma ACO adalah *alpha* (pengaruh feromon), *beta*

(pengaruh heuristik), ρ (tingkat evaporasi feromon), dan jumlah semut (jumlah solusi). Proses implementasi dilakukan dengan simulasi menggunakan Python di platform Google Colab, dengan pengolahan data berdasarkan waktu proses, setup, dan transportasi aktual dari PT IHI Power Service Indonesia.

Hasil Penelitian: Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma ACO mampu menghasilkan nilai *makespan* minimum sebesar 26801 menit, jauh lebih baik dibandingkan penjadwalan sebelumnya yang menyebabkan keterlambatan. Urutan *job* terbaik yang dihasilkan menunjukkan distribusi pekerjaan yang lebih merata dan efisien di seluruh mesin pada setiap tahapan proses produksi. Hasil *ganttt chart* menunjukkan tidak adanya tumpang tindih dan *idle time* yang signifikan antar mesin. Melalui analisis menggunakan *Signal to Noise Ratio* (S/N Ratio) dan *Analysis of Variance* (ANOVA) dalam metode Taguchi, diperoleh bahwa kombinasi parameter $\alpha = 0,5$, $\beta = 2$, $\rho = 0,5$, dan jumlah semut = 10 merupakan kombinasi terbaik. Dari hasil analisis tersebut juga ditemukan bahwa parameter jumlah semut (*ant count*) dan β merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap penurunan *makespan*, diikuti oleh parameter ρ sebagai pengendali laju penguapan feromon. Faktor α memiliki pengaruh yang relatif lebih kecil dibandingkan parameter lainnya, namun tetap berkontribusi dalam stabilitas dan konsistensi solusi yang ditemukan.

Kesimpulan: Kesimpulan penerapan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) pada sistem *hybrid flowshop* dengan mesin paralel terbukti efektif dalam meminimalkan waktu penyelesaian total (*makespan*) dan meningkatkan efisiensi penjadwalan produksi di PT IHI Power Service Indonesia. ACO mampu menyusun urutan *job* yang optimal pada kondisi kompleks sekalipun, dan memberikan solusi penjadwalan yang stabil dan dapat diandalkan. Metode Taguchi berhasil membantu dalam mengidentifikasi kombinasi parameter terbaik dari ACO serta menentukan faktor-faktor yang paling signifikan dalam memengaruhi performa penjadwalan, sehingga memberikan kontribusi penting dalam optimalisasi proses produksi dan pengambilan keputusan penjadwalan yang lebih strategis di lingkungan industri.

Kata Kunci: *Ant Colony Optimization* (ACO), *Hybrid Flowshop*, *Makespan*, Parameter, Penjadwalan Produksi, Taguchi.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN SAMPUL	ii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR ARTI LAMBANG, SINGKATAN, DAN ISTILAH.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
1.6 Penelitian Terdahulu	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Penjadwalan Produksi	9
2.2 Tujuan Penjadwalan	9
2.3 Jenis-Jenis Penjadwalan	10
2.4 Istilah-Istilah Penjadwalan	12
2.5 Elemen Penjadwalan	13

2.6 <i>Hybrid Flowshop</i> dengan Mesin Paralel	13
2.7 <i>Ant Colony Optomization</i> (ACO).....	14
2.8 Google Colab	17
2.9 Metode Taguchi	18
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Rancangan Penelitian	21
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	21
3.3 <i>Flowchart</i> Alur Pemecah Masalah.....	21
3.4 Deskripsi Alur Pemecah Masalah	23
3.5 <i>Flowchart</i> Metode <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO).....	25
3.6 Deskripsi <i>Flowchart</i> Metode <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	26
3.7 <i>Flowchart</i> Metode Taguchi.....	27
3.8 Deskripsi <i>Flowchart</i> Metode Taguchi	28
BAB IV HASIL PENELITIAN.....	30
4.1 Pengumpulan Data	30
4.1.1 Gambar Konseptual <i>Hybrid Flowshop</i>	30
4.1.2 Objek Penelitian	31
4.1.3 Spesifikasi Komponen Produk.....	32
4.1.4 Data Dimensi.....	34
4.1.5 Data Waktu Proses	36
4.1.6 Data Waktu <i>Setup</i>	38
4.1.7 Data Waktu Transportasi.....	40
4.1.8 Data Waktu Total	41

4.1.9 Data Mesin Tersedia	44
4.2 Pengolahan Data.....	49
4.2.1 Waktu Penyelesaian	50
4.2.2 Perumusan Masalah Dan Model Matematika <i>Hybrid Flowshop</i>	50
4.2.3 <i>Pseudocode</i> dan Langkah-langkah Algoritma <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO).....	52
4.2.4 Implementasi Kode Program <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	57
4.2.5 Kombinasi Parameter <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO).....	57
4.2.6 Hasil <i>Gantt Chart Makespan</i> Minimum	58
4.2.7 Rekapitulasi Hasil Replikasi Berdasarkan Kombinasi Parameter ACO	60
4.2.8 Penentuan Setting Level Faktor	62
4.2.9 Penentuan Notasi <i>Orthogonal Array</i>	62
4.2.10 Menghitung Nilai Rata-rata dan <i>S/N Ratio</i> Pada Setiap Level Faktor.....	63
4.2.11 Menghitung Analisis Statistik Terhadap Nilai Rata-rata	64
4.2.12 Perhitungan ANOVA Untuk Nilai Rata-rata	67
4.2.13 Menghitung Analisis Statistik Terhadap Nilai <i>S/N Ratio</i>	70
4.2.14 Perhitungan ANOVA Untuk Nilai <i>S/N Ratio</i>	72
4.2.15 Penentuan Parameter Terbaik Menggunakan Metode Taguchi	76
4.2.16 Verifikasi Dan Validasi Model <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	77
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	78
5.1 Analisis Hasil Penjadwalan Menggunakan <i>Ant Colony Optimization</i>	78
5.2 Analisis Pengaruh Parameter ACO Terhadap Hasil Jadwal	80
5.3 Analisis Penentuan Parameter Terbaik Menggunakan Metode Taguchi	81

BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN.....	84
6.1 Kesimpulan	84
6.2 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	86
LAMPIRAN.....	90



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Penelitian Terdahulu	7
Tabel 2. Data Dimensi.....	34
Tabel 3. Data Waktu Proses	36
Tabel 4. Waktu <i>Setup</i>	38
Tabel 5. Waktu Transportasi	40
Tabel 6. Waktu Total.....	42
Tabel 7. Data Jumlah Mesin yang Terpakai.....	49
Tabel 8. Waktu Total <i>Job</i>	50
Tabel 9. Kombinasi Parameter ACO	58
Tabel 10. Hasil Replikasi <i>Makespan</i> Berdasarkan Kombinasi Parameter.....	60
Tabel 11. Data Level Faktor.....	62
Tabel 12. Matriks <i>Orthogonal Array</i> L8(2 ⁷).....	63
Tabel 13. Hasil Perhitungan Rata-rata dan <i>S/N Ratio</i>	64
Tabel 14. Pengaruh Faktor Terhadap Rata-rata <i>Makespan</i>	66
Tabel 15. Perhitungan ANOVA Untuk Nilai Rata-rata	70
Tabel 16. Pengaruh Faktor Terhadap <i>S/N Ratio Makespan</i>	72
Tabel 17. Perhitungan ANOVA Untuk Nilai <i>S/N Ratio</i>	75
Tabel 18. Parameter Terbaik.....	76

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Pola Aliran <i>Pure Flowshop</i>	11
Gambar 2. Pola Aliran <i>General Flowshop</i>	11
Gambar 3. Prinsip Dasar ACO.....	16
Gambar 4. <i>Flowchart</i> Alur Pemecah Masalah.....	22
Gambar 5. <i>Flowchart Ant Colony Optimization</i> (ACO)	25
Gambar 6. <i>Flowchart</i> Taguchi	27
Gambar 7. Gambar Konseptual <i>Hybrid Flowshop</i>	31
Gambar 8. Objek Penelitian	31
Gambar 9. Spesifikasi Produk <i>Beam</i>	32
Gambar 10. Spesifikasi Produk <i>Column</i>	33
Gambar 11. Spesifikasi Produk <i>Vertical Brace</i>	33
Gambar 12. Spesifikasi Produk <i>Post Column</i>	34
Gambar 13. Mesin IK-12 Proses <i>Cutting</i>	45
Gambar 14. Mesin Las Proses <i>Joining</i>	46
Gambar 15. Mesin <i>Root-filler</i> Proses GMAW.....	47
Gambar 16. Mesin <i>Capping</i> Proses SAW.....	48
Gambar 17. Mesin Grinda Proses <i>Finishing</i>	49
Gambar 18. Hasil <i>Gantt Chart Ant Colony Optimization</i>	59

DAFTAR ARTI LAMBANG, SINGKATAN, DAN ISTILAH

Lambang/Singkatan	Nama	Pemakaian Pertama kali pada halaman
HFS	<i>Hybrid Flowshop</i>	1
ACO	<i>Ant Colony Optimization</i>	2
LPT	<i>Longest Processing Time</i>	7
WIP	<i>Work In Process</i>	9
FCFS	<i>First Come First Served</i>	14
IDE	<i>Integrated Development Environment</i>	18
α	<i>Alpha</i>	15
β	<i>Beta</i>	15
ρ	<i>Rho</i>	15
Q	Konstanta	26
S/N Ratio	<i>Signal to Noise Rasio</i>	19
DoE	<i>Design of Experiment</i>	18
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>	30
SAW	<i>Submerged Arc Welding</i>	30
SAG	<i>Semi-Autogenous Grindin</i>	30
DoF	<i>Degree of Freedom</i>	55
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>	59
SS	<i>Sum of Squares</i>	59
MS	<i>Mean Square</i>	62

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Kode Python <i>Metode Ant Colony Optimization</i>	90
Lampiran 2. Hasil <i>Gantt Chart</i> Parameter Terbaik.....	95
Lampiran 3. Tabel F-Statistika.....	100



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fabrikasi baja adalah proses pengolahan dan perakitan material baja menjadi komponen struktural atau produk akhir yang memiliki fungsi tertentu. Proses ini menjadi bagian penting dalam rantai pasok industri baja, terutama karena banyaknya pesanan dari konsumen yang membutuhkan produk baja dengan tingkat presisi tinggi dan dalam jumlah besar. Produk fabrikasi baja memiliki peran strategis dalam berbagai sektor, seperti konstruksi dan manufaktur. Dalam penyelesaian pesanan, sering kali terjadi kendala seperti keterbatasan kapasitas mesin dan waktu produksi, yang menyebabkan keterlambatan dalam penyelesaian pesanan. Kendala ini berdampak pada efisiensi produksi dan kepuasan pelanggan, sehingga diperlukan perbaikan dalam usulan penjadwalan *hybrid flowshop* untuk mengatasi hambatan tersebut.

Penjadwalan produksi merupakan aktivitas penting dalam perencanaan industri untuk menentukan kapan dan di mana setiap proses harus dilakukan pada sumber daya yang terbatas. Penjadwalan yang baik dapat meningkatkan efisiensi produksi dengan mengurangi waktu menganggur, meminimalkan barang dalam proses, serta memastikan pesanan selesai tepat waktu. Keberhasilan penjadwalan diukur berdasarkan minimnya waktu penyelesaian (*makespan*), optimalisasi penggunaan sumber daya, dan peningkatan produktivitas. Oleh karena itu, strategi penjadwalan yang efektif sangat diperlukan untuk meningkatkan kinerja produksi secara keseluruhan (Syabani & Setiafindari, 2022).

PT IHI Power Service Indonesia merupakan perusahaan yang bergerak di bidang konstruksi dan fabrikasi dengan sistem produksi *make to order*, yaitu sistem produksi berdasarkan permintaan dan spesifikasi pelanggan guna meminimalkan risiko kelebihan stok dan biaya penyimpanan. Salah satu *project* yang sedang dikerjakan

perusahaan adalah pesanan dari PT ABC yang terdiri dari 10 zona struktur bangunan. Dari keseluruhan zona tersebut, zona 10 dipilih sebagai objek penelitian karena pada saat melakukan penelitian, perusahaan sedang menjalankan *project* zona 10. Produk yang dikerjakan pada zona ini berupa komponen *steel structure fabrication* yang meliputi lima bagian utama, yaitu *Column*, *Post Column*, *Vertical Brace*, *Horizontal Brace*, dan *Beam*. Dalam pelaksanaannya, proses produksi komponen-komponen tersebut dilakukan di lima *workshop* yang memiliki fungsi berbeda, yaitu *workshop* 10 untuk *plat cutting*, *workshop* 1 dan *workshop* 3 untuk fabrikasi dan *shape cutting*, *workshop* untuk *painting*, serta *workshop* 4 untuk proses *build-up*. Dari keseluruhan *workshop* tersebut, *workshop* 4 dipilih sebagai fokus utama penelitian ini, karena pada proses *build-up* sering terjadi keterlambatan produksi. Berdasarkan data historis internal dan wawancara dengan pihak manajemen produksi, keterlambatan produksi di *workshop* 4 terjadi pada lebih dari 20% dari total *job* dalam satu periode proyek, yang disebabkan oleh keterbatasan kapasitas mesin dan waktu proses, sehingga berpotensi menurunkan kepuasan pelanggan dan citra perusahaan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji permasalahan dalam penjadwalan produksi dan mengusulkan metode optimal untuk mengatasinya. Penelitian dari Febianti et al., (2023) yang menunjukkan bahwa metode *Longest Processing Time* (LPT) dan *Ant Colony Optimization* (ACO) dapat meningkatkan efisiensi penjadwalan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode eksisting memperoleh *makespan* sebesar 9.118 menit, sedangkan metode usulan dengan LPT dan ACO berhasil menurun nilai *makespan* menjadi 8.394 menit, sehingga lebih optimal untuk diterapkan dalam industri. Selain itu, terdapat penelitian dari Xu et al., (2023) yang menerapkan *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk *Hybrid Flow Shop Scheduling Problem* (HFSP) dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya *fixture*. Hasilnya menunjukkan bahwa mengurangi jumlah *fixture* dari 10 menjadi 3 meningkatkan efisiensi produksi dengan kenaikan *makespan* hanya 53 unit, sementara algoritma ACO terbukti lebih unggul dibandingkan metode heuristik dalam optimasi penjadwalan.

Berdasarkan permasalahan yang terjadi pada PT IHI Power Service Indonesia, tantangan utama yang dihadapi adalah kesulitan dalam memenuhi permintaan konsumen tepat waktu, sehingga menyebabkan keterlambatan dan penumpukan pesanan. Selain itu, kualitas produk yang harus dipertahankan juga memengaruhi penyelesaian *order*. Salah satu pendekatan yang penting untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan melakukan penjadwalan produksi secara optimal. Penjadwalan dalam penelitian ini semakin kompleks apabila sistem produksinya bersifat *hybrid flowshop*, karena di *workshop 4* sistem produksi yang terdiri lebih dari satu tahapan proses atau *stage*, yaitu proses *cutting*, *joining*, *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), *Submerged Arc Welding* (SAW), serta *finishing*. Penelitian ini juga menggunakan mesin paralel, dikarenakan setiap *stage* di *workshop 4* memiliki mesin lebih dari satu mesin.

Menghadapi kendala kapasitas dan keterbatasan waktu dalam proses produksi membutuhkan strategi yang tepat, salah satu strategi yang paling relevan dan efektif, yaitu strategi penjadwalan yang bertujuan meminimalkan total waktu penyelesaian seluruh *job*, dengan minimasi waktu penyelesaian total (*makespan*), perusahaan dapat menyusun urutan dan alokasi pengerjaan *job* sedemikian rupa agar semua pekerjaan dapat selesai secepat mungkin, tanpa adanya pemborosan waktu atau potensi mesin yang menganggur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produksi guna mengurangi keterlambatan pesanan.

Penerapan strategi ini menjadi semakin potensial apabila didukung dengan metode optimasi berbasis algoritma, seperti *Ant Colony Optimization* (ACO). ACO digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi di mana inspirasi yang digunakan untuk memecahkan masalah tersebut berasal dari perilaku kumpulan atau kawanan (*swarm*) serangga (Nugraha & Khadafi, 2021). *Ant Colony Optimization* (ACO) juga mampu mencari solusi penjadwalan yang mendekati optimal meskipun dalam kondisi yang sangat kompleks. Penelitian ini memanfaatkan ACO dalam sistem *hybrid flowshop*, diharapkan perusahaan dapat meminimalkan *makespan* secara signifikan, sehingga mengurangi keterlambatan dan meningkatkan efisiensi produksi secara

keseluruhan. Sistem *hybrid flowshop* dengan mesin paralel merupakan pengembangan dari model penjadwalan *General Flow Shop* dan sistem penjadwalan paralel, di mana semua pekerjaan harus melewati beberapa tahap proses produksi. Pada setiap tahap, terdapat lebih dari satu mesin yang dapat digunakan, sehingga pekerjaan bisa dikerjakan di salah satu mesin yang tersedia di tiap tahapan tersebut (Khoiroh, 2018). Selain itu, algoritma ACO memiliki sejumlah parameter penting, seperti α , β , ρ , dan jumlah semut, yang berpengaruh terhadap performa algoritma dalam menemukan solusi penjadwalan yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode Taguchi untuk menentukan dan menganalisis pengaruh variasi nilai parameter dari algoritma ACO terhadap hasil penjadwalan, serta mengidentifikasi kombinasi parameter yang menghasilkan performa terbaik. Metode Taguchi sangat penting digunakan dalam penelitian ini karena dapat menghasilkan kombinasi parameter ACO terbaik, yang mampu meminimalkan waktu penyelesaian produksi, dan meningkatkan efisiensi, sehingga penelitian ini diharapkan dapat membantu PT IHI Power Service Indonesia khususnya pada workshop 4 dalam mengelola waktu dan sumber daya secara lebih efektif. Studi ini akan mengevaluasi implementasi metode tersebut dalam sistem penjadwalan *hybrid flowshop* dengan mesin paralel, sehingga dapat mengoptimalkan proses produksi dan meningkatkan kinerja operasional perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan diatas, maka rumusan masalah untuk penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana menyusun jadwal produksi yang efisien pada sistem *hybrid flowshop* dengan mesin paralel untuk meminimalkan *makespan* dengan metode algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO)?
2. Bagaimana pengaruh kombinasi parameter ACO terhadap hasil penjadwalan, dan kombinasi parameter manakah yang memberikan hasil paling optimal berdasarkan analisis metode Taguchi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini yaitu:

1. Menentukan penjadwalan produksi yang efisien pada sistem *hybrid flowshop* dengan mesin paralel untuk meminimalkan *makespan* dengan metode algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO).
2. Mengetahui pengaruh parameter ACO dan menentukan kombinasi terbaik menggunakan metode Taguchi untuk meningkatkan efektivitas hasil penjadwalan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada zona 10.
2. Penelitian dilakukan pada *workshop 4 build-up* di PT IHI Power Service Indonesia.
3. Penelitian dilakukan hanya untuk produk *Steel Struktural Fabrication*
4. Penelitian dilakukan hanya untuk komponen *beam, column, vertical brace*, dan *post column*.
5. Waktu penelitian dilakukan dalam 1 bulan pada bulan Desember 2024.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan adalah struktur teratur yang digunakan untuk menyusun suatu laporan penelitian. Adapun sistematika penyusunan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, berisikan pendahuluan ini akan di jabarkan sub bab yaitu latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan dan penelitian terdahulu.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini, berisikan penjelasan secara lebih merinci atau mendetail mengenai tinjauan pustaka dengan sub bab landasan teori dan tinjauan pustaka tentang penjadwalan produksi *hybrid flowshop*

dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO)

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini, berisikan beberapa metode yang digunakan pada penelitian yaitu berupa rancangan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, alur pemecah masalah berupa *flowchart* dan deskripsi *flow chart* penelitian.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab ini, berisikan tentang cara pengumpulan dan pengolahan data, dari data yang didapatkan dari perusahaan dan kemudian diolah sehingga menjadi data yang mampu memberikan gambaran yang sesuai dengan keadaan nyata atau representatif.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, berisikan penjelasan hasil analisis dan pembahasan yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Analisis dilakukan berdasarkan hasil penerapan metode yang digunakan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, yang disusun berdasarkan tujuan yang ingin dicapai. Selain itu, bab ini juga menyampaikan saran sebagai masukan untuk penelitian selanjutnya agar dapat dilakukan perbaikan dan pengembangan lebih lanjut dan lebih baik lagi.

1.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu adalah kajian atau studi yang sudah dilakukan sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian saat ini. Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Penulis	Judul	Tahun	Metode	Hasil Penelitian
1	Yusraini Muharni, Evi Febianti, Nafa Nafsiani Sofa	Minimasi <i>Makespan</i> Pada Penjadwalan <i>Flowshop</i> Mesin Parellel Produk Steel Bridge B-60 Menggunakan Metode <i>Longest Processing Time</i> Dan <i>Particle Swarm Optimization</i>	2019	<i>Particle Swarm Optimization Algorithm</i> dan <i>Longest Processing Time</i>	Hasil analisis menunjukkan bahwa metode PSO lebih efektif dalam mengurangi <i>Makespan</i> dibandingkan metode eksisting dan LPT. Dengan <i>Makespan</i> sebesar 8.394 menit, PSO terbukti lebih optimal dalam meningkatkan efisiensi dan memastikan ketepatan waktu pengiriman produk.
2	Evi Febianti, Yusraini Muharni, Deni Falti, Lely Herlina, Kulsum	Usulan Penjadwalan Mesin Paralel Menggunakan Metode <i>Ant Colony Optimization Algorithm</i> dan <i>Longest Processing Time</i>	2023	<i>Ant Colony Optimization Algorithm</i> dan <i>Longest Processing Time</i>	Metode LPT dan ACO di PT ABC berhasil mengurangi <i>Makespan</i> sebesar 724 menit. Penelitian selanjutnya disarankan mempertimbangkan waktu perawatan mesin dan metode Hybrid PSO-ANT untuk hasil lebih optimal.
3	Longlong Xu, Jian Guo, Lixia Zhu	<i>Ant Colony Optimization Algorithm for the Hybrid flowshop Scheduling Problem with Integrated Consideration of Fixture Resources</i>	2023	<i>Ant Colony Optimization Algorithm</i>	Hasil eksperimen menunjukkan bahwa dengan pembatasan jumlah <i>fixture</i> hingga $G_{max} = 3$, penggunaannya dapat dikurangi secara signifikan, meskipun waktu produksi sedikit meningkat. Secara keseluruhan, ACO terbukti efektif dalam mengoptimalkan jadwal produksi otomatis.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

No.	Penulis	Judul	Tahun	Metode	Hasil Penelitian
4	Komang Swari Pratiwi, Rino A Anugraha, Murni Dwi Astuti	Penjadwalan <i>Hybrid Flowshop</i> Dengan Sequence Dependent Set Up Menggunakan Algoritma <i>Simulated Annealing</i> Untuk Meminimasi <i>Makespan</i> Produksi Pada Proses Dyeing <i>Finishing</i>	2018	Algoritma <i>Simulated Annealing</i> (SA)	Penerapan Algoritma <i>Simulated Annealing</i> (SA) di PT Nagasakti Kurnia Textile Mills berhasil mengurangi <i>Makespan</i> 17%, menurunkan <i>idle time</i> 26%, dan meningkatkan utilitas mesin 14%, sehingga meningkatkan efisiensi penjadwalan produksi.
5	Delvika	Analisa Pengendalian Kualitas <i>Refined Bleached Deodorized Palm Oil</i> Dengan Menggunakan Metode Taguchi Pada PT. XYZ	2018	Taguchi	Penelitian ini menggunakan Metode Taguchi untuk meningkatkan kualitas RBDPO di PT. XYZ. Kombinasi tekanan 2,0 torr, temperatur 105°C, dan waktu perebusan 50-60 menit berhasil mengurangi cacat produk sebesar 9,71%, memastikan standar kualitas terpenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprilyanti, S., & Suryani, F. 2020. Penerapan Desain Eksperimen Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Produksi Batu Bata Dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Industri* (Vol. 15, Issue 2).
- Anwar, A., Ferdian, R., & Rochman, D. D. 2024. Model Penjadwalan Backward Hybrid Flowshop 2 Stage Untuk Meminimasi Mean Flowtime. *Jurnal Lebesgue: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, 5(2), 1197-1204.
- Barokah, T. AL, Zaini, E., & Saleh, A. 2016. Usulan Penjadwalan Produk Menggunakan Algoritma Non Delay Dengan Mesin Paralel Pada PT. Adhichandra Dwi Utama.
- Darmadi. 2019. Penerapan *Flow Shop Schedulling* Produksi Di PT. Abhijana Baraja Sejahtera.
- Delvika, Y. 2018. Analisa Pengendalian Kualitas *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* Dengan Menggunakan Metode Taguchi Pada PT. XYZ. *Jurnal Sistem Teknik Industri*, 20(1), 48-53.
- Febianti, E., Muharni, Y., Falti, D., Herlina, L., & Kulsum, K. 2023. Usulan Penjadwalan Mesin Paralel Menggunakan Metode *Ant Colony Optimization Algorithm* dan *Longest Processing Time*. *Journal of Integrated System*, 6(1), 42–52.
- Fithri, P., & Ramawinta, F. 2013. Penjadwalan Mesin dengan Menggunakan Algoritma Pembangkitan Jadwal Aktif dan Algoritma Penjadwalan Non-Delay untuk Produk Hydrotiller dan Hammermil pada CV. Cherry Sarana Agro. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 12(2), 377-399.
- Gandhi, H. K., & Widyawati. 2019. Penyelesaian *Assignment Problem* Dengan Algoritma Metaheuristik *Ant Colony Optimization (ACO)*.

- Guntara, R. G. 2023. Pemanfaatan Google Colab Untuk Aplikasi Pendeteksian Masker Wajah Menggunakan Algoritma *Deep Learning* YOLOv7. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 5(1), 55–60.
- Halimah, P., & Ekawati, Y. 2020. Penerapan Metode Taguchi untuk Meningkatkan Kualitas Bata Ringan pada UD. XY Malang. *JIEMS (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, 13(1).
- Ihsan, A., Adlie, T. A., & Harliansyah, S. 2024. Optimalisasi Pencarian Jalur Terpendek *Mobile Robot* dengan Menggunakan Metode *Ant Colony Optimization (ACO)*.
- Juniar, A. 2015. Penerapan Algoritma *Greedy* pada Penjadwalan Produksi Single-Stage dengan *Parallel Machine* di Industri Konveksi. Oktober 2015 *IJCCS*, 16, 1–5.
- Karjono, Moedjiono, & Kurniawan, D. 2016. *Ant Colony Optimization*.
- Khoiroh, S. M. 2018. Pengembangan Algoritma *Non Delay* Pada Kasus Penjadwalan *Non-Permutation Hybrid Flowshop* Untuk Minimasi *Mean Flowtime*.
- Lukas, S., & Aribowo, A. 2007. Penerapan *Ant Colony System* Untuk Penyelesaian *Vehicle Routing Problem*. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi.
- Maulidia, P. R., Adriantantri, E., & Budiharti, N. 2020. Analisis Pengendalian Kualitas Menggunakan Metode Taguchi pada UMKM Rubber Seal RM Products Genuine Parts Sukun, Malang. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 10(2), 82-91.
- Muharni, Y., Febianti, E., & Sofa, N. N. 2019. Minimasi *Makespan* Pada Penjadwalan *Flow Shop* Mesin Paralel Produk Steel Bridge B-60 Menggunakan Metode *Longest Processing Time* Dan *Particle Swarm Optimization*. *Journal Industrial Servicess*, 4(2).
- Noviasari, I., Rusli, A., & Hansun, S. 2018. Penerapan Algoritma ACO untuk Penjadwalan Kuliah Pengganti pada Perguruan Tinggi (Studi Kasus: Program Studi Informatika, Universitas Multimedia Nusantara). *Jurnal Ilmu Sistem Informasi*, 9(2), 79-85.

- Nugraha, D. C., & Khadafi, S. 2021. Penerapan *Travelling Salesman Problem* Untuk Optimasi Jarak Jalur Kurir Menggunakan Algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO).
- Nugroho, A. D., & Ekoanindiyo, F. A. 2017. Penjadwalan Produksi Di PT SAI *Apparel Industries* Semarang.
- Pratiwi, K. S., Anugraha, R. A., & Astuti, M. D. 2018. Penjadwalan *Hybrid FlowShop* Dengan *Sequence-Dependent Set-Up Time* Menggunakan Algoritma *Simulated Annealing* Untuk Minimasi *Makespan* Produksi Pada Proses *Dyeing Finishing*. 5(3).
- Setiawan, A. A., Karuniawan, B. W., & Arumsari, N. 2018, December. Optimasi parameter 3D printing terhadap keakuratan dimensi dan kekasaran permukaan produk menggunakan metode Taguchi Grey Relational Analysis. In *Proceedings Conference on Design Manufacture Engineering and its Application* (Vol. 2, No. 1, pp. 165-168).
- Setiawan, O. A., Djumhariyanto, D., & Mulyadi, S. 2018. Optimasi Parameter *Machining* Baja Perkakas SKD 11 Menggunakan Metode Taguchi.
- Sianturi, R. Y. C., Rahayudi, B., & Widodo, A. W. 2021. Implementasi Algoritma *Ant Colony Oprimization* untuk Optimasi Rute Distribusi Produk Kebutuhan Pokok dari Toko Sasana Bonafide Mojoroto.
- S Sidabutar, S. N., Amin, M., & Putri, A. 2020. Penjadwalan Operasi Mesin Produksi Dengan Metode CDS (*Campbell Dudek Smith*) Di PT Tjokro Bersaudara Balikpapan Indonesia. 11(2), 53–61.
- Syabani, S. F., & Setiafindari, W. 2022. Optimasi Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode *Nawaz Ensore Ham* Pada PT XYZ.
- Utama, D. M. (2023). Penjadwalan Teori dan Aplikasi. UMMPress.
- Utama, D. M., Garside, A. K., & Wicaksono, W. 2019. Pengembangan algoritma *Hybrid Flowshop three-stage* dengan mempertimbangkan waktu *Setup*. Jurnal Ilmiah Teknik Industri, 18(1), 72-78.

- Wilyani, F., Nuryan Aif, Q., & Aslimar, F. 2024. Pengenalan dasar Pemrograman Python Dengan Google *Colaboratory*.
- Xu, L., Guo, J., & Zhu, L. 2023. *Ant Colony Optimization Algorithm for the Hybrid Flow Shop Scheduling Problem with Integrated Consideration of Fixture Resources*. *Engineering Proceedings*, 45(1).