

**PENJADWALAN NO-WAIT FLOWSHOP DENGAN WAKTU SETUP
TERGANTUNG PADA JADWAL PRODUKSI UNTUK MEMINIMASI
MAKESPAN MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA GENETIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Salsabila Azulfa Fauzan Puteri
No. Mahasiswa : 21522372

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026**

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengaku bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasa yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik Kembali oleh Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 25 – 05 – 2026



(Salsabila Azulfa Fauzan Puteri)
21522372

SURAT BUKTI PENELITIAN



**FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI**

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T (0274) 898444 ext 4110, 4100
F (0274) 895007
E fti@uii.ac.id
W fti.uii.ac.id

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor : 312/Ka.lab SIMANTI/20/Lab.SIMANTI/VII/2026

Assalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Dengan hormat,

Yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa:

Nama : Salsabila Azulfa Fauzan Puteri

Nim : 21522372

Jurusan : Teknik Industri

Dosen Pembimbing : Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph. D., IPM

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut diatas telah melaksanakan penelitian tugas akhir dengan judul **"PENJADWALAN NO-WAIT FLOWSHOP DENGAN WAKTU SETUP TERGANTUNG PADA JADWAL PRODUKSI UNTUK MEMINIMASI MAKESPAN MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA GENETIK"**. Mulai penelitian 28 Juli 2025 sampai 25 Mei 2026

Demikian surat keterangan penelitian ini kami buat. Atas perhatiannya dan kerja samanya kami mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarokaatuh

Yogyakarta, 22 Juli 2026

Kepala Laboratorium
Sistem Manufaktur Terintegrasi


 Putri Dwi Annisa, S.T., M.Sc.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**PENJADWALAN NO-WAIT FLOWSHOP DENGAN WAKTU SETUP
TERGANTUNG PADA JADWAL PRODUKSI UNTUK MEMINIMASI
MAKESPAN MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA GENETIK**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Salsabila Azulfa Fauzan Puteri

No.Mahasiswa : 21522372



Yogyakarta, 25 Mei 2026

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in blue ink, likely belonging to Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, is placed below the text 'Dosen Pembimbing'.

(Ir.Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T.,M.Sc., Ph. D., IPM)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENJADWALAN NO-WAIT FLOWSHOP DENGAN WAKTU SETUP TERGANTUNG PADA JADWAL PRODUKSI UNTUK MEMINIMASI MAKESPAN MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA GENETIK

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Salsabila Azulfa Fauzan Puteri
No. Mahasiswa : 21522372

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Tim Penguji

Ir. Muhammmad Ridwan Andi Purnomo,

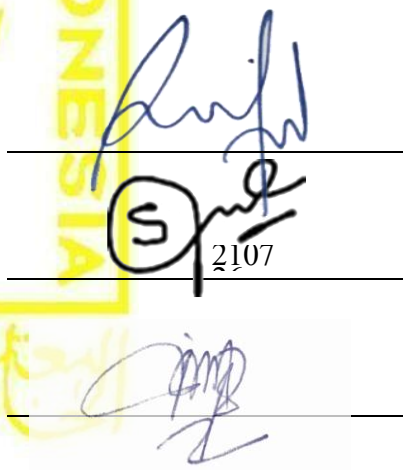
S.T., M.Sc., Ph.D., IPM

Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T

Anggota I

Ratih Dianingtyas Kurnia, S.T., Ph.D.

Anggota II



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Ir. Muhammmad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D, IPM
NIK. 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk ayah dan mami yang selalu mendukung dan mendoakan saya, saya mengucapkan terima kasih atas segala yang telah kalian berikan. Semoga kalian selalu diberi kesehatan dan umur panjang agar dapat mendampingi serta menyaksikan perjalanan saya menuju kesuksesan.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(Q.S Al-Baqarah : 286)

“Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar.”

(QS. Ar-Rum: 60)

“Minta pertolongan dengan sabar dan shalat. Sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang sabar”

(QS. Al-Baqarah : 153)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alam, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga kita diberikan kesehatan, keselamatan, dan kemampuan untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang menjadi suri teladan bagi kita semua, dan telah membimbing umat manusia menuju jalan yang diridhoi oleh Allah Subhanahu wa Ta'ala.

Dalam proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak menerima dukungan dari berbagai pihak yang telah membantu, sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Dukungan, semangat, serta doa yang telah diberikan sangat berarti bagi penulis dalam menyelesaikan laporan ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Sri Kusumadewi, S.Si., M.T. Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., Dosen Pembimbing Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
4. Para Dosen Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
5. Kedua orang tua paling berjasa dalam hidup saya, Mami Advis dan Ayah Fauzan. Terimakasih atas kepercayaan yang telah diberikan kepada saya serta cinta, doa, motivasi, semangat dan nasihat yang tidak hentinya diberikan kepada anaknya dalam menyusun tugas akhir ini.
6. Kepada kedua saudara kandung saya, Mas Aqila dan Adek Azzam. Terimakasih atas segala doa usaha dan support yang telah diberikan kepada saya dalam menyusun tugas akhir ini.
7. Tsabita, Ayuk, Ara, dan Dinol sahabat seperjuangan saya yang selalu ada untuk saya selama penulisan Tugas Akhir dan kisah hidup lainnya.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, dan mungkin masih terdapat kesalahan dalam penulisan maupun isi dari laporan ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar dapat menjadi acuan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dalam memperluas wawasan dan ilmu pengetahuan, serta dapat digunakan sebagaimana mestinya. Semoga semua kebaikan dan bantuan yang telah diberikan mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT, Aamiin.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 25 – 05 – 2026



Salsabila Azulfa Fauzan Puteri

ABSTRAK

Perusahaan Elektronik XYZ dalam proses produksinya menerapkan penjadwalan produksi *no-wait flowshop*, yang artinya suatu produk akan dikerjakan tanpa menunggu. Urutan pengerjaan aktual perusahaan yakni 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20 menjadikan *makespan* dan *waiting time* yang dihasilkan cukup lama, maka diperlukan solusi agar *job* yang diterapkan memiliki *makespan* dan *waiting time* yang minimal. Upaya untuk melakukan optimasi penjadwalan adalah dengan menggunakan metode algoritma genetika. Karena hubungan antara *makespan* terhadap *waiting time* cenderung fluktuatif. Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan algoritma genetika didapatkan minimasi dengan perubahan *job* 18-14-13-16-10-12-8-20-1-15-5-6-9-2-7-17-3-4-19-11 total waktu produksi *makespan* berhasil berkurang dari 116 menit menjadi 74 menit lebih cepat dari kondisi aktual dan *waiting time* minim setelah dilakukan proses optimasi.

Kata Kunci: Penjadwalan *No-Wait Flowshop*, Algoritma Genetika, Optimasi Minimasi *Makespan*.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.4.1 Bagi Peneliti	3
1.4.2 Bagi Perguruan Tinggi.....	4
1.4.3 Bagi Perusahaan	4
1.5 Batasan Peneliti	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Literatur	5
2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 Penjadwalan Produksi	9
2.2.2 Tujuan Penjadwalan	10
2.2.3 Kriteria Penjadwalan	10
2.2.4 Jenis – Jenis Aliran Proses Produksi	10
2.2.5 Klasifikasi Penjadwalan	11
2.2.6 Penjadwalan Flowshop.....	11
2.3 Penjadwalan No-Wait Flow Shop	12
2.4 Algoritma Genetik	12
2.5 Komponen Dalam Algoritma Genetik.....	12
2.5.1 Pengkodean Real	12
2.5.2 Crossover.....	13
2.5.3 Seleksi	13
BAB III METODE PENELITIAN.....	14
3.1 Objek dan Subjek Penelitian	14
3.2 Variabel Penelitian.....	14
3.3 Jenis Data Penelitian	14
3.3.1 Data Sekunder	14
3.4 Teknik Pengolahan Data.....	14
3.5 Kerangka Alur Penelitian	18
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	19
4.1 Pengumpulan Data	19
4.1.1 Proses Produksi	19
4.1.2 Waktu Proses dalam menit	19
4.2 Pengolahan Data.....	20
BAB V PEMBAHASAN.....	23
5.1 Analisis Perbandingan Makespan.....	23
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	26
6.1 Kesimpulan	26

6.2 Saran.....	26
DAFTAR PUSTAKA.....	27

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Literatur.....	8
Tabel 4. 1 Waktu Proses.....	19
Tabel 4. 2 Data waktu setup.....	20
Tabel 4. 3 Data sebelum meminimasi.....	21
Tabel 4. 4 Data sesudah minimasi	22
Tabel 5. 1 Data Makespan sebelum minimasi	23
Tabel 5. 2 Data sesudah minimasi	24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Kromosom algoritma genetik	16
Gambar 3. 2 Rumus Fitness.....	16
Gambar 3. 3 Proses Crossover	16
Gambar 3. 4 Mekanisme mutase	17
Gambar 3. 5 Alur Penelitian	18
Gambar 4. 1 Hasil Evolution	21
Gambar 5. 1 Gant Chart sebelum minimasi	23
Gambar 5. 2 Gant chart sesudah minimasi	24

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perusahaan Elektronik XYZ merupakan modul controller elektronik yang memproduksi manufaktur seperti *speaker*, *printer*, *dispenser*, *microwave*, kulkas, dan *rice cooker*. Setiap produksi terdapat lima mesin yang berurutan yaitu mesin pemisah PCB, mesin pencetak pasta *solder*, mesin pemotong, mesin penguji, dan perakitan. Proses produksi dilakukan dengan penjadwalan *no-wait flowshop* merupakan suatu sistem penjadwalan produksi di mana setiap *job* harus diproses secara berurutan pada seluruh mesin tanpa adanya Waktu tunggu di antara satu mesin dengan mesin berikutnya. Dengan meminimasi *makespan*, tujuan utamanya adalah agar seluruh *job* dapat diselesaikan dalam waktu singkat.

Di era teknologi modern, perusahaan berupaya menjalankan produksi secara efisien dan efektif. Untuk memperoleh hasil terbaik, semua kegiatan produksi harus dirancang terlebih dahulu secara matang (Achmad Faizal, 2015). Salah satu komponen utama adalah pengaturan dan penjadwalan produksi. Penjadwalan yang baik mampu menekan waktu idle dan mengurangi barang setengah jadi, sehingga meningkatkan kinerja operasional. Faktor lain yang perlu diatur meliputi biaya bahan baku, tenaga kerja, serta waktu produksi. Selain perencanaan yang optimal, penjadwalan juga harus tepat (Lilis Setyowati & Untung Lasiyono, 2024). Kebutuhan ini muncul karena perusahaan harus mengelola banyak pekerjaan dengan sumber daya terbatas (Feren, 2022). Penjadwalan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, meminimalkan keterlambatan, dan membantu perencanaan kapasitas pabrik.

Dalam industri manufaktur, *flowshop scheduling* menjadi model penjadwalan yang umum digunakan. Pada metode ini, setiap pekerjaan melewati sejumlah mesin dengan urutan proses yang seragam (Darmadi, 2019). Model ini banyak ditemukan pada lini produksi yang terstruktur dan berulang, seperti industri makanan, minuman, tekstil, dan perakitan elektronik. Namun, tantangan muncul ketika urutan pengerjaan yang tidak tepat dapat menyebabkan peningkatan waktu penyelesaian produksi *makespan*, sehingga dibutuhkan metode penjadwalan yang mampu menghasilkan urutan kerja yang optimal. Masalah *flowshop scheduling* yang terdiri dari banyak mesin dan pekerjaan mengakibatkan kemungkinan kombinasi semakin besar seiring penambahan jumlah masukannya.

Dalam perkembangannya, *flowshop scheduling* memiliki beberapa variasi, salah satunya adalah *no-wait flowshop scheduling*. Pada model ini, setiap *job* tidak diperbolehkan

mengalami waktu tunggu antara satu mesin dengan mesin berikutnya, sehingga proses produksi harus berlangsung secara berkesinambungan tanpa jeda. Produksi elektronik menggunakan metode no wait flowshop, yaitu proses berlangsung terus tanpa jeda hingga selesai, dan penjadwalan produksi berperan penting dalam efisiensi serta daya saing perusahaan. Salah satu model penjadwalan yang banyak digunakan adalah *Flow Shop Scheduling Problem (FSSP)*, di mana setiap pekerjaan diproses pada urutan mesin yang sama. Namun, dalam praktiknya, terdapat variasi yang lebih ketat yaitu *No-Wait Flow Shop Scheduling (NWFS)*. Pada model ini, setiap pekerjaan harus diproses secara berkesinambungan tanpa adanya waktu tunggu di antara mesin. Dengan kata lain, setelah suatu *job* selesai diproses di satu mesin, ia harus segera dipindahkan ke mesin berikutnya tanpa jeda. Karakteristik ini menjadikan no wait flow shop sangat relevan bagi industri dengan proses yang sensitif terhadap waktu, seperti makanan, farmasi, baja, plastik, hingga elektronik, karena jeda sekecil apapun dapat menyebabkan penurunan kualitas, cacat, bahkan kerusakan produk (Guevara-Guevara et al., 2023).

No wait flow shop menjadi lebih sulit ketika waktu setup dipengaruhi oleh urutan pekerjaan, karena setiap kombinasi job menghasilkan setup time yang berbeda dan berdampak pada total waktu produksi. Setup time tersebut mencakup pengaturan komponen mesin, penyediaan alat, serta kegiatan seperti persiapan, pemindahan material, pengukuran, setting, kalibrasi, dan produksi. Jika aktivitas-aktivitas itu dipelajari, diklasifikasikan, dan diorganisasi dengan baik, operator dapat mengurangi waktu setup melalui penghapusan aktivitas yang tidak perlu, penyempurnaan aktivitas yang penting, dan pelaksanaan beberapa aktivitas secara bersamaan (Hidayat et al., 2020). Penghematan waktu setup akan mempercepat penyelesaian produk, membuat jadwal produksi lebih tepat, dan meningkatkan produktivitas yang berdampak pada kenaikan pendapatan perusahaan. Karena masalah no wait flow shop dengan waktu setup sulit diselesaikan secara eksak saat jumlah job dan mesin besar, Algoritma Genetika dipilih sebagai salah satu solusi penjadwalan. Algoritma ini meniru evolusi biologis dan dikembangkan oleh John Holland dari Universitas Michigan pada 1975 untuk mencari makespan minimum, yaitu waktu selesai seluruh job dalam satu lintasan produksi (Herlina, 2022)

Menurut (Yulia Sari et al., 2023) Algoritma Genetika merupakan metode optimasi berbasis seleksi alam dan genetika yang sederhana serta mudah digunakan. Sementara itu, (Utomo, 2017) menyebutkan bahwa algoritma ini efektif dan efisien untuk menentukan jadwal dan makespan karena solusi dapat dicari melalui crossover dan mutation. Penelitian

ini menitikberatkan pada pengurutan job agar 5 mesin bekerja dengan waiting time minimal dan tiap job dikerjakan sesuai urutan yang benar sehingga makespan dapat ditekan. Hasil akhirnya adalah pembobotan fitness terbaik yang menggabungkan minimasi makespan dan maksimasi nilai keanggotaan job dalam himpunan fuzzy no-wait untuk mendapatkan jadwal produksi yang optimal.

Tabel 1. 1 Data Penjadwalan Produksi

Mesin	Waktu <i>Job</i> Pertama	Waktu selesai <i>Job</i> Terakhir	Total Waktu
M1	4	121	121
M2	7	126	126
M3	12	139	139
M4	19	146	146
M5	25	151	151

Data penjadwalan menunjukkan M1 selesai pada menit ke-121 dan M5 pada menit ke-151. Perbedaan ini menandakan aliran produksi belum lancar karena job harus menunggu di mesin berikutnya, sehingga terjadi idle time dan penumpukan barang dalam proses. Selisih 25 menit pada M2 dan M5 memperlihatkan adanya antrean yang cukup besar. Karena itu, penjadwalan perlu dioptimalkan agar makespan dan waktu tunggu lebih kecil.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana urutan pekerjaan yang dapat meminimasi waktu tunggu setiap *work in process* dan *makespan*?
2. Berapa pengurangan *makespan* dan waktu tunggu?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan penelitian adalah berikut:

1. Untuk mengetahui urutan pengerjaan yang optimal sehingga waktu tunggu antar proses dan total waktu produksi dapat diminimalkan.
2. Untuk mengetahui besar pengurangan makespan dan waktu tunggu sebelum dan sesudah dilakukannya minimasi setelah menggunakan metode algoritma genetik sebagai indikator peningkatan efisien dalam proses penjadwalan.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Bagi Peneliti

1. Menambah pemahaman tentang konsep penjadwalan produksi terkhusus sistem *No-wait Flowshop* dan pengaruh waktu *setup*.

2. Mampu menerapkan metode Algoritma Genetik, sebagai teknik optimasi dalam menyelesaikan masalah penjadwalan yang kompleks.
3. Menambah pengalaman dalam penelitian terapan yang relevan dengan kebutuhan industri.

1.4.2 Bagi Perguruan Tinggi

1. Menambahkan karya ilmiah yang relevan dengan kebutuhan dunia industri dan perkembangan teknologi.
2. Menjadi sumber data dan referensi dalam perkuliahan terkait penjadwalan produksi dan optimasi.
3. Memperkuat hubungan kerja sama dengan Perusahaan elektronik untuk mendukung program magang dan penelitian lanjutan.

1.4.3 Bagi Perusahaan

1. Perusahaan dapat meningkatkan utilisasi mesin dan kapasitas produksi secara lebih optimal.
2. Bekerja sama dengan perguruan tinggi untuk riset dan pengembangan.
3. Menjadi referensi dalam pengambilan keputusan terkait penjadwalan produksi.

1.5 Batasan Peneliti

Batasan yang perlu diperhatikan untuk fokus dan kualitas penelitian :

1. Penelitian ini akan berfokus pada penjadwalan produksi di PT. Elektronik XYZ dan tidak membahas aspek lain dari operasi Perusahaan.
2. Penelitian ini akan berfokus pada penjadwalan *No-Wait Flowshop* untuk meminimasi *makespan*.
3. Data yang digunakan berupa data sekunder dari penelitian sebelumnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Dasar penelitian ini adalah kajian literatur yang mendalam dari berbagai sumber terpercaya yang berkaitan dengan metode dan masalah penelitian. Kajian tersebut membantu memetakan penelitian terdahulu, mengarahkan penelitian yang akan dilakukan, dan menunjukkan celah pengetahuan yang perlu dilengkapi. Berikut disajikan beberapa ringkasan penelitian terdahulu yang sesuai dengan topik dan metode penelitian

Penelitian mengenai *s-graph-based reactive scheduling with unexpected arrivals of neworders* telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Bakon & Holczinger, 2024). Penelitian menjelaskan tentang proses manufaktur sering mengalami gangguan tak terduga, seperti kerusakan mesin, kekurangan bahan baku, maupun kedatangan pesanan baru. Untuk mengatasi ketidakpastian tersebut, penelitian terbaru mengusulkan metode penjadwalan reaktif berbasis S-graph yang mampu menyesuaikan rencana produksi secara dinamis ketika ada pesanan baru. Metode ini terbukti efektif menghasilkan jadwal dengan makespan minimum, sehingga meningkatkan efisiensi dan relevansi sistem produksi.

Penelitian mengenai model optimasi penjadwalan produksi *flowshop* dengan waktu proses dinamis telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Sulistio, 2015). Penelitian menjelaskan tentang *flowshop* merupakan tata letak produksi massal dengan aliran material yang sederhana sehingga dapat meminimalkan waktu transportasi dan mempercepat total waktu produksi. Umumnya, penjadwalan *flowshop* menggunakan algoritma Johnson maupun Campbell, Dudek, dan Smith (CDS), namun keduanya hanya bersifat pendekatan sehingga tidak selalu menghasilkan solusi optimal. Penelitian terbaru mengembangkan model *flexible flowshop* berbasis *Mixed Integer Programming* (MIP) dengan mempertimbangkan stasiun kerja manual yang memiliki waktu proses dinamis. Studi kasus menunjukkan bahwa model ini mampu mengurangi makespan hingga 14 menit, sehingga lebih efisien dibandingkan penjadwalan awal.

Penelitian mengenai penjadwalan produksi multi-objektif dengan tujuan meminimasi makespan dan biaya keterlambatan telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Penelitian menjelaskan tentang penjadwalan produksi yang efisien merupakan faktor krusial dalam mencapai target produksi dan meminimalkan biaya. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kompleksitas penjadwalan produksi yang menyebabkan penambahan durasi penyelesaian

atau makespan sehingga menimbulkan adanya biaya untuk setiap keterlambatan yang terjadi. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem penjadwalan produksi yang optimal dengan mempertimbangkan kedua tujuan tersebut secara simultan. Metode yang digunakan adalah algoritma genetika Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) yang mampu mencari solusi optimal Pareto untuk permasalahan multi obyektif. Implementasi NSGA-II pada penjadwalan produksi telah menghasilkan sejumlah solusi Pareto yang merepresentasikan kombinasi optimal antara makespan dan biaya keterlambatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa NSGA-II efektif dalam menemukan solusi penjadwalan produksi yang lebih baik dibandingkan dengan metode yang ada sebelumnya. Parameter yang membuktikan adalah adanya pengurangan dirasi penyelesaian dan biaya keterlambatan. Solusi-solusi Pareto dihasilkan menggunakan algoritma NSGA-II dalam waktu yang singkat dan memberikan alternatif penjadwalan yang dapat dipilih oleh pengambil keputusan dengan tetap menyesuaikan prioritas dan kebutuhan produksi yang ada di perusahaan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi penjadwalan produksi dan memberikan rekomendasi bagi perusahaan dalam mengambil keputusan penjadwalan yang lebih baik dengan tujuan tujuan lain yang dapat disesuaikan.

Menurut (Zaini, 2019), Optimasi no-wait flowshop scheduling pada CV. Pramasew dilakukan dengan algoritma genetika. Perusahaan tas kulit ini menggunakan sistem no-wait flowshop, tetapi urutan job 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17 masih belum optimal sehingga menyebabkan makespan dan waiting time yang panjang. Untuk memperbaiki kondisi tersebut, algoritma genetika dipadukan dengan fuzzy logic membership function agar solusi yang dihasilkan lebih sesuai. Hasil akhirnya adalah urutan job 10 – 3 – 16 – 11 – 15 – 2 – 17 – 4 – 6 – 13 – 1 – 9 – 7 – 12 – 14 – 8 – 5, dengan makespan lebih cepat 2 jam 54 menit dan waiting time sebesar 54% dari target.

Penelitian mengenai *a model of proactive-reactive job shop scheduling to tackle uncertain events with greedy randomized adaptive search procedure* telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya (Nisar, 2024). Penelitian menjelaskan mengenai *job shop scheduling* (JSS) mengusulkan kerangka komprehensif yang menggabungkan metode eksak, heuristik, dan metaheuristik. Studi ini membandingkan metode eksak sebagai acuan, algoritma greedy (GrA) untuk solusi cepat, dan GRASP yang mampu menyeimbangkan kualitas solusi dengan efisiensi komputasi, hanya memiliki selisih 3,43% dari metode eksak. Selain itu, penelitian ini juga memperhitungkan kejadian dinamis serius seperti pesanan baru, pesanan mendesak,

kerusakan mesin, dan perawatan terjadwal, dengan strategi penjadwalan ulang proaktif-reaktif berbasis *right-shift* dan *regeneration*. Hasilnya menunjukkan GRASP lebih adaptif, efisien, serta relevan untuk meningkatkan penerapan JSS dalam lingkungan manufaktur modern.

Penelitian (Aisyati, 2017) membahas penjadwalan batch dinamis pada flow shop dengan tujuan meminimasi mean tardiness. Penelitian dilakukan di CV. Kembar Jaya, perusahaan pengecoran logam yang memakai sistem Make to Order (MTO). Dalam perusahaan ini, penjadwalan produksi memiliki karakter batch dinamis pada sistem flow shop. Metode penjadwalan ini telah meningkatkan keterlambatan penyelesaian pesanan dan tingginya tingkat skrap tuang. Untuk mengatasi masalah ini, prosedur penjadwalan ulang yang mampu meningkatkan kinerja sistem diperlukan. Untuk meningkatkan kinerja sistem, pengembangan algoritma penjadwalan dinamis batch telah dilakukan untuk meminimalkan keterlambatan rata-rata dan total skrap tuang. Algoritma tersebut terdiri dari pengaturan inisialisasi area pencetakan dan lima sub algoritma. Sub algoritma urutan penyortiran dan penentuan ukuran batch akan mengurutkan dan memecah pesanan menjadi batch. Sub algoritma perbaikan area pencetakan akan menentukan alokasi area pencetakan untuk batch. Untuk mencegah penurunan suhu, sub algoritma penentuan waktu penuangan akan mengidentifikasi suhu penuangan untuk batch. Sub algoritma penjadwalan batch akan menjadwalkan batch ke stasiun kerja. Kemudian sub algoritma penjadwalan ulang akan mengakomodasi lingkungan dinamis saat pesanan dimasukkan. Keterlambatan rata-rata dari aplikasi algoritma penjadwalan adalah 7,39 jam atau meminimalkan keterlambatan rata-rata hingga 65,72% dari algoritma penjadwalan saat ini. Penerapan algoritma penjadwalan ini dapat mengurangi total skrap tuang menjadi 0 kg atau 100%.

Pada penelitian (Sambodo, 2003) algoritma genetik digunakan dalam penjadwalan no-wait flowshop dengan tujuan meminimasi total waktu tinggal aktual. Penelitian ini berfokus pada penyelesaian masalah penjadwalan flowshop tanpa menunggu. Toko tersebut membutuhkan kondisi bahwa setiap pekerjaan diproses tanpa gangguan pada semua mesin dan antara dua mesin yang berurutan. Ini berarti bahwa dimulainya pemrosesan pekerjaan pada mesin tertentu dapat ditunda untuk membuat penyelesaian pekerjaan pada mesin tersebut bertepatan dengan awal pemrosesan pekerjaan pada mesin berikutnya. Modek ini bertujuan meminimalkan total waktu aliran aktual yang mengakomodasi kondisi bahwa pekerjaan yang akan diproses tiba di toko kapan saja ketika dibutuhkan dan kondisi bahwa

pekerjaan yang telah selesai dikirimkan pada tanggal jatuh tempo yang sama. Algoritma genetika adalah pencarian yang acak dan terstruktur untuk menemukan solusi optimal. Pengalaman numerik menunjukkan bahwa untuk masalah penjadwalan yang diberikan, solusi algoritma genetika lebih baik dari sebelumnya

Penelitian oleh (Sembiring, 2023) membandingkan Algoritma Genetika dan Campbell Dudek Smith pada PT. Z, dan hasil terbaik diperoleh dari Algoritma Genetika dengan makespan 748,9 jam, lebih rendah daripada CDS sebesar 831,9 jam. (Luo, 2018) mengembangkan parallel genetic algorithm berbasis GPU untuk flexible flow shop dinamis, dan hasilnya lebih baik daripada penjadwalan statis tradisional karena lebih hemat energi dan waktu. (Darmadi, 2019) membuktikan bahwa flow shop scheduling dapat meningkatkan efisiensi waktu produksi pada PT Abhijana Jaya Braja Sejahtera. (YONI A. RESPATI, 2015) menunjukkan bahwa algoritma variable neighbourhood descent dengan threshold mampu meminimasi makespan pada no-wait job shop (Yusriski, 2023) menyimpulkan bahwa Rolling Time Window memperbaiki penjadwalan flowshop 3 mesin dan menurunkan total biaya sebesar 3%.

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

No	Penulis	Obyek (Industri)			Metode
		<i>Reaktif Scheduling</i>	<i>Flowshop dinamis</i>	<i>No Wait Flowshop</i>	Algoritma genetika
1	(Azizah Aisyati, 2017)	√			√
2	(Putri, 2020)	√			√
3	(Rinto Yusriski, 2023)	√	√		
4	(Salsabila Sembiring)	√			√
5	(Darmadi, 2019)	√		√	
6	(ZAINI, 2019)			√	√

No	Penulis	Obyek (Industri)			Metode
		<i>Reaktif Scheduling</i>	<i>Flowshop dinamis</i>	<i>No Wait Flowshop</i>	Algoritma genetika
7	(Urip Sarwo Sambodo, 2003)			√	√
8	(Sulistio, 2015)	√	√		
9	(Alex Saleh, 2009)			√	
10	(Jia Luo, 2018)		√		
11	(Holczinger, 2024)	√	√		
12	(Gaham, 2019)	√	√		
13	(Zukui Li, 2008)	√	√		
14	(Sherif A. Fahmy, 2007)	√	√		
15	(Muhammad Usman Nisar, 2024)	√	√		
16	(Azulfa, 2026)	√	√	√	√

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Penjadwalan Produksi

Penjadwalan produksi adalah pengaturan waktu pada proses operasi yang melibatkan alokasi mesin dan sumber daya untuk pekerjaan dalam sistem dengan batas waktu tertentu (Nanang Nazarudin, 2022). (Haryanto, 2012) menjelaskan penjadwalan merupakan

perencanaan penggunaan sumber daya untuk menyelesaikan job pada waktu tertentu melalui pengurutan kerja di tiap pusat pemrosesan agar diperoleh hasil yang optimal. Dalam proses produksi, penjadwalan berperan strategis karena menentukan efisiensi pembagian sumber daya. Karena itu, penjadwalan sebagai masalah optimasi dapat digunakan untuk mengurangi idle time mesin, menekan barang setengah jadi, dan meminimalkan keterlambatan rata-rata.

2.2.2 Tujuan Penjadwalan

Penjadwalan diperlukan untuk meningkatkan efisiensi waktu, mencegah keterlambatan, dan membantu perusahaan dalam mengatur kapasitas pabrik serta menjaga kepuasan pelanggan (Untung Raharja, 2018). Dengan penjadwalan yang baik, produktivitas mesin meningkat, waktu henti berkurang, dan biaya produksi dapat ditekan (Santa Monica Sebayang, 2021).

1. Tujuan penjadwalan secara umum adalah memaksimalkan sumber daya, mengurangi waktu tunggu, menekan barang setengah jadi, meminimalkan keterlambatan, menghemat biaya produksi, dan memastikan pesanan selesai sesuai due date agar tidak terkena penalty.

2.2.3 Kriteria Penjadwalan

Menurut (Subroto, 2009) Kriteria penjadwalan dilihat dari :

1. Rata-rata waktu alir (*Mean Flow Time*).
2. Makespan yaitu total waktu proses yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kumpulan pekerjaan.
3. Rata-rata keterlambatan (*Mean Tardiness*).
4. Jumlah pekerjaan terlambat.
5. Jumlah mesin yang menganggur.

2.2.4 Jenis – Jenis Aliran Proses Produksi

Secara umum, jenis aliran produksi yang dimiliki perusahaan adalah sebagai berikut:

1. Aliran proses flowshop. Pada tipe ini, produk yang sudah diproses pada suatu mesin tidak dapat kembali ke mesin sebelumnya. Flowshop terdiri atas:
 - a. Pure flow shop, yaitu seluruh job melalui jalur produksi yang sama, dengan urutan proses yang identik pada setiap mesin.
 - b. General flow shop, yaitu aliran proses yang tidak selalu identik karena tidak semua job melewati semua mesin dan urutan operasinya dapat berbeda. General

flow shop dibagi menjadi tiga, yaitu skip flow shop, reentrant flow shop, dan compound flow shop.

2. Aliran Proses *Job Shop*. Pada tipe ini, setiap produk memiliki pola aliran produksi yang berbeda, sehingga mesin yang sama bisa dipakai untuk operasi awal maupun operasi akhir.

2.2.5 Klasifikasi Penjadwalan

Penjadwalan memiliki beberapa kriteria untuk menilai kinerja sistem:

1. Berdasarkan jumlah mesin, penjadwalan dapat dilakukan pada mesin tunggal atau mesin jamak.
2. Berdasarkan pola kedatangan job, penjadwalan dapat bersifat statis atau dinamis. Statis berarti job datang secara teratur, sedangkan dinamis berarti job datang terus-menerus dan tidak pasti.
3. Berdasarkan pola aliran proses, penjadwalan dibagi menjadi flow shop dan job shop. Pada flow shop, semua pekerjaan melewati mesin dengan urutan yang sama, sedangkan pada job shop tidak terdapat pola aliran yang seragam.

2.2.6 Penjadwalan Flowshop

Menurut (Setyo Harto, 2016), kriteria performansi dari permasalahan penjadwalan flow shop disklasifikasikan sebagai berikut:

1. MWR (Most Work Remaining) memberi prioritas pada job yang masih memiliki waktu operasi terbesar.
2. LWR (Least Work Remaining) memberi prioritas pada job dengan sisa waktu operasi paling sedikit.
3. MOR (Most Operation Remaining) memberi prioritas pada operasi yang memiliki successor paling banyak.
4. LTW (Least Total Work) memberi prioritas pada job dengan jumlah operasi paling sedikit.
5. SPT (Shortest Processing Time) memberi prioritas pada operasi dengan waktu proses terpendek.
6. LPT (Longest Processing Time) memberi prioritas pada operasi dengan waktu proses terpanjang.
7. FCFS (First Come First Serve) mengutamakan produk yang dipesan lebih dulu.

8. EDD (Earliest Due Date) mengutamakan operasi dengan batas waktu paling mendesak.
9. Slack Time mengutamakan operasi dengan slack terkecil.
10. Random memilih operasi secara acak

2.3 Penjadwalan No-Wait Flow Shop

Penjadwalan no-wait flow shop adalah penjadwalan kerja yang memproses setiap job dari mesin pertama sampai mesin terakhir secara berurutan dengan meminimalkan waktu tunggu (BARKHAH, 2015). Jenis penjadwalan ini merupakan bagian dari flow shop. Jika dibandingkan dengan pure flow shop, perbedaannya terletak pada waktu tunggu: no-wait flow shop harus menghindari jeda saat perpindahan antar mesin, sedangkan pure flow shop tidak. Pada pure flow shop, job 2 dan job 3 bisa menunggu karena mesin berikutnya masih sibuk memproses job sebelumnya. Namun pada no-wait flow shop, job 2 dijadwalkan agar langsung masuk ke mesin kedua setelah mesin pertama selesai, sehingga job 3 juga dapat diproses segera setelah job 2 selesai di mesin pertama.

2.4 Algoritma Genetik

Algoritma Genetik adalah teknik optimasi yang sering dipakai untuk menyelesaikan masalah produksi (Arkeman, 2019). John Holland mengembangkan metode ini dengan mengambil prinsip teori evolusi untuk mencari solusi alternatif. Tahapan utamanya meliputi inisialisasi, reproduksi, evaluasi, dan seleksi. Pada seleksi, individu dengan perubahan gen dipilih agar menjadi lebih baik dan mampu menyesuaikan diri dengan lingkungan baru (Krisnanda, 2020).

Sebelum proses dimulai, diperlukan kode representatif berupa kromosom atau string. Kromosom adalah bentuk solusi dalam ruang masalah, sedangkan gen merupakan komponen dasarnya. Metode ini menggunakan operasi seleksi, crossover, dan mutation untuk membentuk keturunan baru. Selain itu, fungsi fitness digunakan untuk mengukur kualitas solusi. Jika proses dijalankan dengan tepat, populasi akan berkembang hingga mencapai konvergensi pada solusi terbaik.

2.5 Komponen Dalam Algoritma Genetik

2.5.1 Pengkodean Real

Algoritma genetik merepresentasikan gen yang bernilai bilangan *real* dalam bentuk *string biner*. Namun, representasi *biner* ini tidak selalu efektif karena terbatas pada jumlah bit yang digunakan. Selain itu, pengkodean biner cenderung memerlukan lebih banyak memori akibat

panjang kromosom yang harus dikonversi ke bentuk biner, sehingga dapat memengaruhi efisiensi dan tingkat konvergensi algoritma genetika (Wirsansky, 2020). Oleh karena itu, diperlukan penggunaan pengkodean real, yaitu metode representasi alel dalam kromosom menggunakan bilangan real secara langsung, sehingga tidak diperlukan konversi ke dalam bentuk biner maupun desimal.

2.5.2 Crossover

Pindah silang atau crossover adalah proses pada algoritma genetika yang menggabungkan dua induk untuk menghasilkan kromosom baru. Proses ini menciptakan kandidat solusi baru yang akan diuji dalam ruang pencarian. Crossover hanya diterapkan pada individu tertentu yang dipilih secara acak. Bila crossover tidak dilakukan, maka keturunan akan mewarisi nilai dari induknya. Secara umum, crossover bekerja dengan menukar gen yang bersesuaian dari dua induk untuk menghasilkan individu baru, dan proses ini mengikuti probabilitas crossover yang sudah ditetapkan (Hasdyna, 2020).

2.5.3 Seleksi

Pada algoritma genetika, seleksi digunakan untuk memilih kromosom yang akan dipertahankan dalam populasi sesuai nilai fitness yang dimiliki. Setelah crossover, setiap kromosom akan dievaluasi dan diseleksi. Kromosom dengan fitness tinggi lebih berpeluang bertahan, sedangkan yang fitness-nya rendah akan tersingkir. Tahap ini mengikuti prinsip seleksi alam Darwin, yaitu yang paling baik akan bertahan (Sivanandam, 2007).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Objek dan Subjek Penelitian

Fokus penelitian ini adalah penjadwalan no-wait flowshop dan makespan guna memenuhi kebutuhan pelanggan. Subjek penelitian berupa produk handphone yang diproduksi pemasok, dengan lokasi penelitian di PT Elektronik XYZ, Yogyakarta. Perusahaan tersebut merupakan pemasok tunggal yang mendistribusikan produk ke konter sebagai reseller sampai ke pelanggan akhir. Penelitian ini bertujuan mengetahui proses produksi yang berjalan melalui beberapa mesin secara berurutan dalam sistem no-wait flowshop.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ini berasal dari data sekunder milik PT Elektronik XYZ. Pada penelitian penjadwalan No-wait flow shop, variabel yang digunakan mencakup :

- Input
 - a. Jumlah mesin
 - b. Jumlah pekerjaan
 - c. Waktu proses
 - d. Waktu setup
- Output
 - a. Urutan pekerjaan

3.3 Jenis Data Penelitian

Jenis data yang digunakan dalam penelitian "Penjadwalan *No-Wait Flowshop* dengan Waktu *Setup* Tergantung Pada Jadwal Produksi Untuk Meminimasi *Makespan*" yaitu:

3.3.1 Data Sekunder

Data sekunder berasal dari waktu proses setiap job pada tiap mesin serta waktu setup yang bergantung pada urutan job di setiap mesin.

3.4 Teknik Pengolahan Data

1. Studi & observasi awal

Pada tahap ini, peneliti melakukan identifikasi terhadap permasalahan yang ada di perusahaan, kemudian memilih salah satu permasalahan tersebut sebagai objek penelitian untuk dicari solusi penyelesaiannya. Dalam konteks ini, permasalahan yang

diangkat berkaitan dengan optimasi penjadwalan, yang menjadi salah satu isu utama di perusahaan.

2. Menentukan rumusan masalah dan tujuan penelitian

Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini pada PT Elektronik adalah terkait optimasi penjadwalan produksi. Oleh karena itu, secara umum rumusan masalah penelitian ini difokuskan pada bagaimana penerapan Algoritma Genetika dapat digunakan untuk mengoptimalkan penjadwalan pada PT Elektronik. Adapun tujuan penelitian ini adalah menghasilkan jadwal produksi yang lebih optimal dibandingkan dengan kondisi aktual yang sedang berjalan.

3. Tinjauan Pustaka

Langkah berikutnya adalah melakukan tinjauan pustaka dengan mempelajari penerapan Algoritma Genetika untuk menyelesaikan permasalahan *No-Wait Flowshop Scheduling* (NWFS). Melalui langkah ini, penelitian diharapkan mampu memperoleh landasan teoritis sekaligus solusi praktis yang mendukung dalam menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian.

4. Tinjauan Lapangan

Sementara itu, tinjauan lapangan dilakukan untuk memperoleh informasi langsung dari perusahaan, meliputi kebijakan yang diterapkan dalam sistem produksi serta data pendukung lainnya, seperti penetapan waktu rata-rata produksi pada n job m mesin, waktu tunggu rata-rata, dan variabel terkait lainnya.

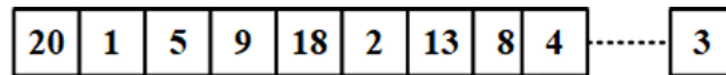
5. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data, penelitian ini menggunakan data sekunder. Data sekunder data yang bersumber dari yang waktu proses setiap *job* di setiap mesin, dan waktu *setup* yang tergantung kepada urutan *job* ditiap mesin. Penggunaan data sekunder ini bertujuan untuk memperkuat latar belakang dan landasan teori yang mendukung penelitian.

6. Pengolahan Data

Setelah tahap pengumpulan data selesai, langkah berikutnya adalah melakukan pengolahan data. Proses ini bertujuan untuk mengolah data yang telah diperoleh dengan menggunakan metode yang relevan, sehingga dapat menghasilkan nilai yang diperlukan dalam penentuan solusi. Dalam penelitian ini, pengolahan data dilakukan dengan menerapkan metode Algoritma Genetika sebagai pendekatan utama dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan.

- a) Teknik pengkodean : bilangan bulat digunakan untuk menunjukkan mesin yang terlibat dalam proses produksi. Gambar 3.1 memperlihatkan kromosom pada algoritma genetik.



Gambar 3. 1 Kromosom algoritma genetik

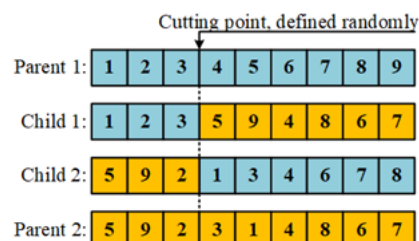
Pada penelitian ini, teknik pengkodean yang dipakai adalah *value encoding*. Setiap mesin yang dilalui bahan baku direpresentasikan dengan angka, lalu angka itu menjadi gen pada kromosom. Susunan kromosom dalam satu generasi menunjukkan urutan mesin yang dilewati material, misalnya 1, 2, 3, 4, 5, ... n, yang mewakili mesin pada proses produksi.

- b) Menentukan nilai *fitness*: tahap ini merupakan inti dari algoritma genetika karena fungsi *fitness* membantu menemukan solusi optimal. Untuk itu, fungsi *fitness* yang dipakai dalam penelitian disajikan pada Gambar 3.2.

$$fit_k = G - Z_s$$

Gambar 3. 2 Rumus Fitness

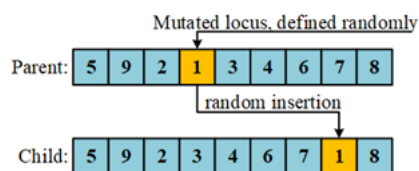
- c) Proses *crossover* atau rekombinasi dilakukan pada dua kromosom agar terbentuk kromosom baru yang diharapkan lebih baik dari induknya. Kromosom baru tersebut akan mewarisi sebagian sifat kromosom asal. Maka dari itu, proses *crossover* dalam penelitian disajikan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Proses *Cosrossover*

- d) Mutasi, Teknik mutasi pada studi kasus ini, insertion mutation merupakan salah satu operator mutasi yang paling efektif karena mampu mempertahankan sebagian besar struktur urutan *job* sekaligus tetap memperkenalkan variasi yang bermakna ke dalam populasi. Operator ini bekerja dengan cara menghapus satu *job* dari posisi awalnya dan menyisipkannya ke posisi lain di dalam kromosom, sehingga menghasilkan

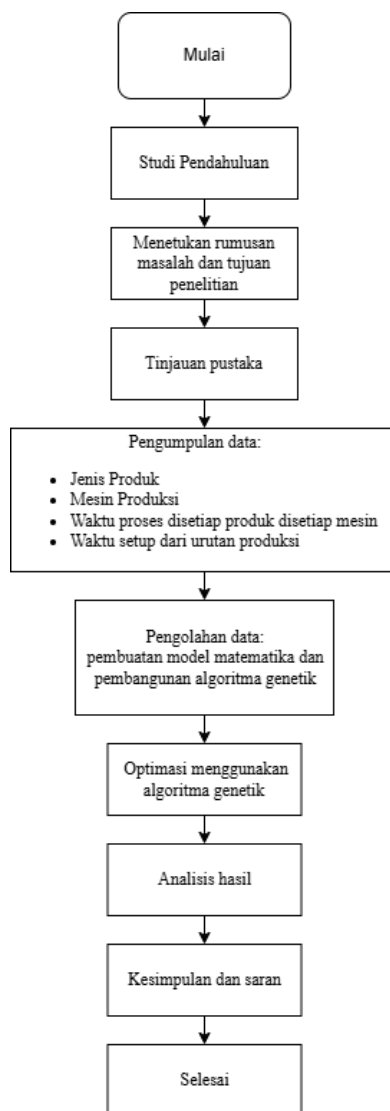
perubahan kecil namun berdampak signifikan. Mekanisme ini tetap menjaga kelayakan kromosom berbasis permutasi tanpa memerlukan proses perbaikan tambahan . Oleh karena itu di Gambarkan pada 3.4



Gambar 3. 4 Mekanisme mutase

3.5 Kerangka Alur Penelitian

Untuk mendapatkan hasil yang diharapkan, tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini ditampilkan dalam kerangka alur penelitian sebagai berikut :



Gambar 3. 5 Alur Penelitian

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini mengumpulkan data secara langsung di lokasi studi kasus untuk diolah dengan metode yang dipilih guna menjawab rumusan masalah. Berikut data yang digunakan dalam penelitian:

4.1.1 Proses Produksi

Proses produksi terdiri dari beberapa aktivitas yang disusun dalam stasiun kerja. Berikut adalah gambaran umum alur produksi yang berjalan.

1. Pemisah PCB (M1)
2. Pencetak Pasta Solder (M2)
3. Pemotong (M3)
4. Penguji rangkaian elektronik (M4)
5. Perakitan (M5)

4.1.2 Waktu Proses dalam menit

Data yang akan diolah berupa total waktu proses tiap produk dalam satuan menit. Tabel 4.1 menampilkan waktu proses setiap produk pada setiap mesin.

Tabel 4. 1 Waktu Proses

	M1	M2	M3	M4	M5
P1	3	5	7	6	4
P2	4	6	5	7	3
P3	3	5	6	6	5
P4	5	6	8	7	6
P5	4	4	5	5	4
P6	3	5	7	6	4
P7	5	6	6	7	5
P8	4	5	6	6	4
P9	4	6	7	5	3
P10	3	4	5	5	4
P11	4	6	8	6	4
P12	3	5	6	6	3
P13	2	4	5	4	3
P14	2	3	4	3	2
P15	3	5	6	5	3
P16	2	4	5	5	3
P17	4	6	7	6	4
P18	2	3	4	3	2
P19	5	7	9	8	6

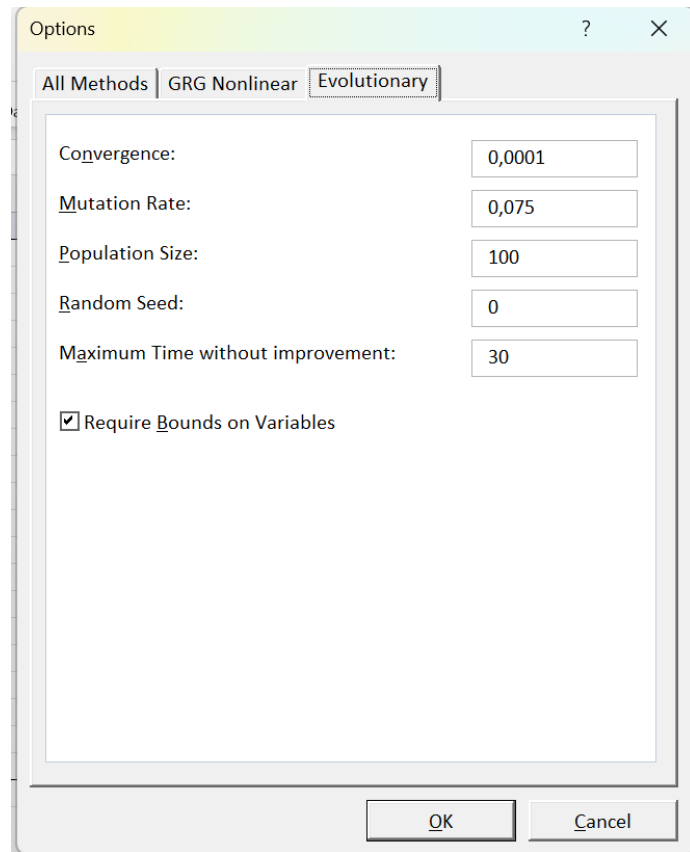
	M1	M2	M3	M4	M5
P20	3	5	6	5	4

Tabel 4. 2 Data waktu setup

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20
P1	0	4	1	3	3	4	1	1	3	2	3	3	3	3	4	1	4	4	4	3
P2	2	0	2	4	4	2	2	2	4	4	1	1	4	2	2	1	4	1	1	3
P3	3	3	0	4	4	4	4	3	2	2	3	2	3	4	3	4	4	1	3	1
P4	3	3	1	0	3	2	4	1	4	2	2	2	1	2	1	2	4	4	3	4
P5	3	4	1	4	0	3	2	1	4	2	4	4	2	2	2	2	2	4	2	1
P6	3	2	2	4	2	0	2	4	2	3	4	3	4	2	3	4	1	2	4	1
P7	4	1	2	3	1	4	0	1	4	4	4	1	1	1	3	1	1	1	3	1
P8	4	1	4	4	4	3	3	0	1	4	3	3	1	3	1	2	3	2	1	4
P9	3	1	4	4	2	1	4	3	0	2	4	1	3	4	4	2	3	3	1	3
P10	1	3	2	3	1	1	2	3	3	0	3	3	1	3	3	2	2	4	1	3
P11	3	4	3	1	4	1	4	4	2	1	0	3	1	3	3	1	4	1	4	3
P12	3	3	2	4	2	2	1	2	1	1	2	0	4	4	4	4	2	2	3	4
P13	2	3	4	1	3	2	1	1	1	3	2	1	0	1	1	3	3	2	4	3
P14	1	2	1	1	3	2	4	4	3	3	2	4	4	0	1	4	1	2	1	2
P15	4	4	2	3	2	3	1	1	1	4	1	3	1	2	0	4	2	3	1	4
P16	1	1	3	2	2	1	4	2	4	2	4	3	4	3	3	0	3	1	3	2
P17	4	1	4	2	2	2	3	3	4	4	1	1	4	3	2	4	0	3	4	4
P18	3	4	3	2	3	3	3	4	4	3	4	1	1	4	4	3	2	0	1	3
P19	4	1	1	2	3	3	2	2	3	3	4	4	2	4	1	4	4	1	0	1
P20	4	2	4	1	1	4	3	3	1	1	3	3	4	4	3	4	4	2	4	0

4.2 Pengolahan Data

Pada penelitian ini, proses optimasi dilakukan menggunakan metode Evolutionary pada Solver dengan pengaturan parameter tertentu. Nilai convergence ditetapkan sebesar 0,0001 untuk memastikan proses pencarian solusi berhenti ketika perubahan nilai fungsi objektif sudah sangat kecil. Mutation rate sebesar 0,075 digunakan untuk menjaga keberagaman populasi agar algoritma tidak terjebak pada solusi lokal. Population size ditetapkan sebanyak 100 individu guna menyediakan variasi solusi yang memadai pada setiap generasi. Parameter random seed diatur pada nilai 0 untuk menghasilkan inisialisasi populasi secara acak. Selain itu, nilai maximum time without improvement ditetapkan sebesar 30, yang menunjukkan batas maksimum iterasi tanpa perbaikan solusi sebelum proses dihentikan. Opsi require bounds on variables diaktifkan untuk memastikan seluruh variabel keputusan tetap berada dalam batasan yang telah ditentukan. Dapat dilihat pada tabel 4.1

Gambar 4. 1 Hasil *Evolution*

Tabel 4. 3 Data sebelum meminimasi

Job	Setup	M1			M2			M3			M4			M5		
		Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish
1	4	4	3	7	7	5	12	12	7	19	19	6	25	25	4	29
2	2	9	4	13	13	6	19	19	5	24	25	7	32	32	3	35
3	3	16	3	19	19	5	24	24	6	30	32	6	38	38	5	43
4	1	20	5	25	25	6	31	31	8	39	39	7	46	46	6	52
5	4	29	4	33	33	4	37	39	5	44	46	5	51	52	4	56
6	2	35	3	38	38	5	43	44	7	51	51	6	57	57	4	61
7	4	42	5	47	47	6	53	53	6	59	59	7	66	66	5	71
8	3	50	4	54	54	5	59	59	6	65	66	6	72	72	4	76
9	3	57	4	61	61	6	67	67	7	74	74	5	79	79	3	82
10	3	64	3	67	67	4	71	74	5	79	79	5	84	84	4	88
11	1	68	4	72	72	6	78	79	8	87	87	6	93	93	4	97
12	2	74	3	77	78	5	83	87	6	93	93	6	99	99	3	102
13	1	78	2	80	83	4	87	93	5	98	99	4	103	103	3	106
14	4	84	2	86	87	3	90	98	4	102	103	3	106	106	2	108
15	2	88	3	91	91	5	96	102	6	108	108	5	113	113	3	116
16	3	94	2	96	96	4	100	108	5	113	113	5	118	118	3	121
17	4	100	4	104	104	6	110	113	7	120	120	6	126	126	4	130
18	2	106	2	108	110	3	113	120	4	124	126	3	129	130	2	132
19	1	109	5	114	114	7	121	124	9	133	133	8	141	141	6	147
20	4	118	3	121	121	5	126	133	6	139	141	5	146	147	4	151
																116

Tabel di atas menunjukkan bahwa makespan perusahaan sebesar 116 menit, dengan urutan job 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20.

Tabel 4. 4 Data sesudah minimasi

Job	Setup	M1			M2			M3			M4			M5		
		Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish
18	2	2	2	4	4	3	7	7	4	11	11	3	14	14	2	16
14	2	6	2	8	8	3	11	11	4	15	15	3	18	18	2	20
13	1	9	2	11	11	4	15	15	5	20	20	4	24	24	3	27
16	4	15	2	17	17	4	21	21	5	26	26	5	31	31	3	34
10	2	19	3	22	22	4	26	26	5	31	31	5	36	36	4	40
12	1	23	3	26	26	5	31	31	6	37	37	6	43	43	3	46
8	3	29	4	33	33	5	38	38	6	44	44	6	50	50	4	54
20	3	36	3	39	39	5	44	44	6	50	50	5	55	55	4	59
1	3	42	3	45	45	5	50	50	7	57	57	6	63	63	4	67
15	4	49	3	52	52	5	57	57	6	63	63	5	68	68	3	71
5	2	54	4	58	58	4	62	63	5	68	68	5	73	73	4	77
6	2	60	3	63	63	5	68	68	7	75	75	6	81	81	4	85
9	1	64	4	68	68	6	74	75	7	82	82	5	87	87	3	90
2	4	72	4	76	76	6	82	82	5	87	87	7	94	94	3	97
7	1	77	5	82	82	6	88	88	6	94	94	7	101	101	5	106
17	3	85	4	89	89	6	95	95	7	102	102	6	108	108	4	112
3	4	93	3	96	96	5	101	102	6	108	108	6	114	114	5	119
4	1	97	5	102	102	6	108	108	8	116	116	7	123	123	6	129
19	2	104	5	109	109	7	116	116	9	125	125	8	133	133	6	139
11	4	113	4	117	117	6	123	125	8	133	133	6	139	139	4	143
																74

Berdasarkan tabel tersebut, hasil minimasi menunjukkan bahwa makespan perusahaan adalah 74 menit dengan susunan job 18-14-13-16-10-12-8-20-1-15-5-6-9-2-7-17-3-4-19-11.

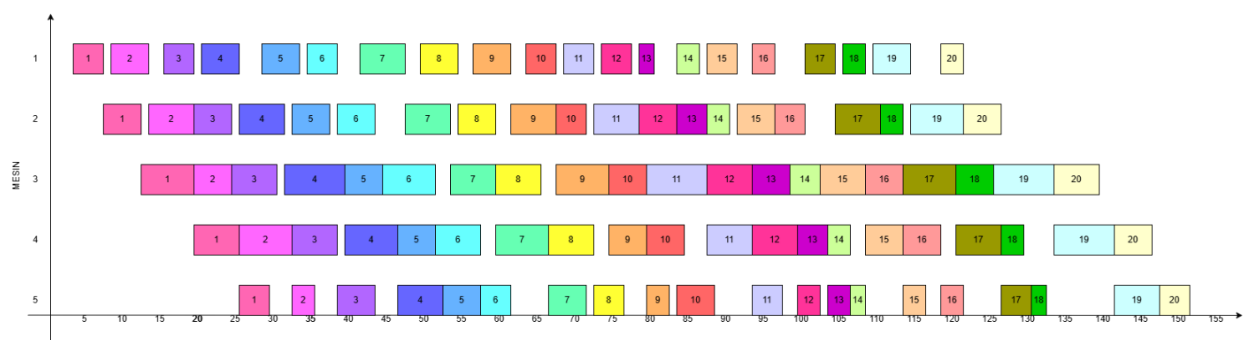
BAB V PEMBAHASAN

5.1 Analisis Perbandingan Makespan

Mengacu pada perhitungan pada bab sebelumnya, bagian ini membahas perbedaan dua model yang diperoleh. Model pertama adalah urutan kerja awal sebelum minimasi makespan dilakukan. Model kedua adalah hasil setelah minimasi, sehingga pekerjaan dapat berjalan tanpa adanya mesin yang menunggu.

Tabel 5. 1 Data Makespan sebelum minimasi

Job	Setup	M1			M2			M3			M4			M5		
		Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish
1	4	4	3	7	7	5	12	12	7	19	19	6	25	25	4	29
2	2	9	4	13	13	6	19	19	5	24	25	7	32	32	3	35
3	3	16	3	19	19	5	24	24	6	30	32	6	38	38	5	43
4	1	20	5	25	25	6	31	31	8	39	39	7	46	46	6	52
5	4	29	4	33	33	4	37	39	5	44	46	5	51	52	4	56
6	2	35	3	38	38	5	43	44	7	51	51	6	57	57	4	61
7	4	42	5	47	47	6	53	53	6	59	59	7	66	66	5	71
8	3	50	4	54	54	5	59	59	6	65	66	6	72	72	4	76
9	3	57	4	61	61	6	67	67	7	74	74	5	79	79	3	82
10	3	64	3	67	67	4	71	74	5	79	79	5	84	84	4	88
11	1	68	4	72	72	6	78	79	8	87	87	6	93	93	4	97
12	2	74	3	77	78	5	83	87	6	93	93	6	99	99	3	102
13	1	78	2	80	83	4	87	93	5	98	99	4	103	103	3	106
14	4	84	2	86	87	3	90	98	4	102	103	3	106	106	2	108
15	2	88	3	91	91	5	96	102	6	108	108	5	113	113	3	116
16	3	94	2	96	96	4	100	108	5	113	113	5	118	118	3	121
17	4	100	4	104	104	6	110	113	7	120	120	6	126	126	4	130
18	2	106	2	108	110	3	113	120	4	124	126	3	129	130	2	132
19	1	109	5	114	114	7	121	124	9	133	133	8	141	141	6	147
20	4	118	3	121	121	5	126	133	6	139	141	5	146	147	4	151



Gambar 5. 1 Gant Chart sebelum minimasi

Hasil awal sebelum dilakukan proses meminimasi penjadwalan produksi masih disusun dengan mengacu pada jadwal operasional yang telah diterapkan oleh perusahaan. Urutan pengerjaan setiap *job* ditentukan berdasarkan kebiasaan dan praktik aktual di lapangan, tanpa

dilakukan evaluasi menyeluruh terhadap dampak waktu *setup* yang bersifat bergantung pada urutan pengerjaan *job*. Selain itu, dalam penyusunan jadwal tersebut juga belum sepenuhnya mempertimbangkan batasan sistem *no-wait flow shop*, sehingga potensi terjadinya waktu menganggur antar mesin dan ketidakefisien aliran produksi masih relatif tinggi.

Tabel 5. 2 Data sesudah minimasi

		M1			M2			M3			M4			M5		
Job	Setup	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish	Start	Durati	Finish
18	2	2	2	4	4	3	7	7	4	11	11	3	14	14	2	16
14	2	6	2	8	8	3	11	11	4	15	15	3	18	18	2	20
13	1	9	2	11	11	4	15	15	5	20	20	4	24	24	3	27
16	4	15	2	17	17	4	21	21	5	26	26	5	31	31	3	34
10	2	19	3	22	22	4	26	26	5	31	31	5	36	36	4	40
12	1	23	3	26	26	5	31	31	6	37	37	6	43	43	3	46
8	3	29	4	33	33	5	38	38	6	44	44	6	50	50	4	54
20	3	36	3	39	39	5	44	44	6	50	50	5	55	55	4	59
1	3	42	3	45	45	5	50	50	7	57	57	6	63	63	4	67
15	4	49	3	52	52	5	57	57	6	63	63	5	68	68	3	71
5	2	54	4	58	58	4	62	63	5	68	68	5	73	73	4	77
6	2	60	3	63	63	5	68	68	7	75	75	6	81	81	4	85
9	1	64	4	68	68	6	74	75	7	82	82	5	87	87	3	90
2	4	72	4	76	76	6	82	82	5	87	87	7	94	94	3	97
7	1	77	5	82	82	6	88	88	6	94	94	7	101	101	5	106
17	3	85	4	89	89	6	95	95	7	102	102	6	108	108	4	112
3	4	93	3	96	96	5	101	102	6	108	108	6	114	114	5	119
4	1	97	5	102	102	6	108	108	8	116	116	7	123	123	6	129
19	2	104	5	109	109	7	116	116	9	125	125	8	133	133	6	139
11	4	113	4	117	117	6	123	125	8	133	133	6	139	139	4	143



Gambar 5. 2 Gant chart sesudah minimasi

Setelah dilakukan proses meminimasi penjadwalan, urutan pengerjaan *job* mengalami penyesuaian yang bertujuan untuk meningkatkan kelancaran aliran proses antar mesin. Mengatur ulang urutan pekerjaan tersebut menghasilkan pola produksi yang lebih terkoordinasi, sehingga setiap *job* dapat berpindah dari satu mesin ke mesin berikutnya dengan jeda waktu yang lebih minimal. Dampak utama dari perubahan ini terlihat pada

penurunan nilai *makespan* secara signifikan, yang menandakan bahwa total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh *job* menjadi lebih singkat apabila dibandingkan dengan kondisi sebelum optimasi.

Selain itu, penerapan jadwal hasil meminimasi juga mampu mengurangi *waiting time* yang sebelumnya muncul akibat ketidaksinkronan antar proses, sehingga waktu menunggu *job* di antara mesin dapat dipersingkat. Berkurangnya waktu tunggu ini juga berkontribusi terhadap peningkatan tingkat utilisasi mesin, di mana *idle time* pada masing-masing mesin menjadi lebih kecil dan beban kerja dapat terdistribusi secara lebih merata. Selain itu, urutan *job* yang lebih sesuai dapat menurunkan waktu setup yang bergantung pada urutan proses, karena perpindahan antarjob dilakukan dengan lebih efisien.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Penelitian yang telah dilaksanakan berdasarkan rumusan masalah yang disusun, serta telah ditemukan kesimpulan untuk menjawab masalah tersebut. Berikut merupakan kesimpulan yang diperoleh:

1. Penggunaan Algoritma Genetik untuk menyusun penjadwalan *no-wait flowshop* dengan waktu *setup* meminimasi nilai makespan. Algoritma Genetik dapat menentukan hasil meminimasi dengan mengubah urutan *job* yang optimal menjadi 18 – 14 – 13 – 16 – 10 – 12 – 8 – 20 – 1 – 15 – 5 – 6 – 9 – 2 – 7 – 17 – 3 – 4 – 19 – 11 sehingga urutan produksi lebih efisien dan tidak ada waktu menunggu antar mesin.
2. Diketahui urutan *job* 1,2,3,...20 memiliki nilai makespan 151 dan urutan yang saya usulkan urutan *job* 18,14,13,...11 memiliki nilai makespan 143 terdapat selisih.

6.2 Saran

1. Bagi Perusahaan

Seperti yang telah diuraikan, data perusahaan dan hasil minimasi makespan pada PT. Elektronik XYZ menunjukkan perlunya evaluasi waktu produksi. Evaluasi ini diharapkan dapat menurunkan makespan dan waktu tunggu, sehingga proses produksi berjalan lebih efektif dan efisien.

2. Bagi Penelitian Selanjutnya

Penelitian yang akan datang diusulkan untuk memperhatikan variasi waktu proses dalam industri yang diteliti pekerjaannya semi manual, masih ada beberapa pekerja yang dilakukan operator sehingga memungkinkan waktu proses akan bervariasi walaupun kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad Faizal, A. R. (2015). *PENGEMBANGAN PENJADWALAN RE-ENTRANT FLOWSHOP BERDASARKAN ALGORITMA NAWAZ, ENSCORE, DAN HAM (NEH) DENGAN PENDEKATAN DISPATCHING RULE.*
- Aisyati, A. (2017). *Penjadwalan Batch Dinamis Flow Shop Untuk Meminimasi Rata-Rata Keterlambatan Penyelesaian Order (Mean Tardiness) dan Jumlah Scrap Tuang di CV. Kembar Jaya.*
- Alex Alfandianto, Y. A. (2017). *PENJADWALAN PRODUKSI MENGGUNAKAN PENDEKATAN ALGORITMA GENETIKA DI PT PERTANI (PERSERO) CABANG D.I. YOGYAKARTA.*
- Alex Saleh, E. Z. (2009). *MODEL PENJADWALAN PADA FLOWSHOP-4-STAGE DENGAN KRITERIA MINIMISASI LATENESS MAKSIMUM DAN JUMLAH TARDY JOBS .*
- Arkeman, Y. (2019). *Algoritma Genetik Tujuan Jamak (Multi-Objective Genetic Algorithms).*
- Azizah Aisyati, Y. d. (2017). *Penjadwalan Batch Dinamis Flow Shop Untuk Meminimasi Rata-Rata Keterlambatan Penyelesaian Order (Mean Tardiness) dan Jumlah Scrap Tuang di CV. Kembar Jaya.*
- Azulfa, S. (2026). *Penjadwalan No-Wait Flowshop Dengan Waktu Setup Tergantung Pada Jadwal Produksi Untuk Meminimasi Makespan Menggunakan Metode Algoritma Genetik.*
- BARKHAH, A. M. (2015). *PENYELESAIAN PENJADWALAN NO-WAIT FLOW SHOP MENGGUNAKAN METODE METAHEURISTIK ALGORITMA GENETIKA DAN TABU SEARCH.*
- Darmadi. (2019). *Penerapan Flow Shop Schedulling Produksi Di Pt. Abhijana Jaya Braja Sejahtera.*
- DARMADI. (2019). *PENERAPAN FLOW SHOP SCHEDULLING PRODUKSI DI PT. ABHIJANA JAYA BRAJA SEJAHTERA.*
- Darmadi. (2019). *PENERAPAN FLOW SHOP SCHEDULLING PRODUKSI DI PT. ABHIJANA JAYA BRAJA SEJAHTERA .*
- Dian F.Hidayat, J. H. (2020). *Perbaikan Waktu Set-up Menggunakan Metode Single Minute Exchange Die (SMED) di PT. HP.*
- Gaham, B. B. (2019). *Reactive scheduling approach for solving a realistic flexible job shop scheduling problem.*
- Haryanto, E. V. (2012). *Sistem Operasi Konsep dan Teori.*
- Hasdyna, R. K. (2020). *Machine Learning.*

- Herlina, L. (2022). *Usulan Penjadwalan Produksi Pada Aliran Flow Shop dengan Algoritma Genetika untuk Meminimasi Makespan.*
- Holczinger. (2024). *S-Graph-Based Reactive Scheduling with Unexpected Arrivals of New Orders.*
- Holczinger, K. A. (2024). *S-Graph-Based Reactive Scheduling with Unexpected Arrivals of New Orders.*
- Jia Luoa, S. F. (2018). *GPU based Parallel Genetic Algorithm for Solving an Energy Efficient Dynamic Flexible Flow Shop Scheduling Problem.*
- Krisnanda, M. (2020). *Penjadwalan Pilot Maskapai Penerbangan Menggunakan Algoritma Genetik.*
- Krisztián Attila Bakon, T. H. (2024). *S-Graph-Based Reactive Scheduling with Unexpected Arrivals of New Orders.*
- Kurniawan, M. S. (2023). *Padwalan Penggunaan Perangkat Elektronik Menggunakan Algoritma Genetika.*
- Lilis Setyowati, U. L. (2024). *Optimalisasi Perencanaan dan Penjadwalan Produksi: Kunci Meningkatkan Efisiensi Operasional.*
- Luo, J. (2018). *GPU based Parallel Genetic Algorithm for Solving an Energy Efficient Dynamic Flexible Flow Shop Scheduling Problem.*
- Muhammad Usman Nisar, A. M. (2024). *A Model of Proactive-Reactive Job Shop Scheduling to Tackle Uncertain Events with Greedy Randomized Adaptive Search Procedure.*
- Nainggolan, L. F. (2022). *Analisis Perencanaan Penjadwalan Produksi dengan Menggunakan Metode Material Requirement Planning (MRP) pada UMKM DOnan Donita Frozen Food.*
- Nanang Nazarudin, T. P. (2022). *ANALISIS PENJADWALAN PRODUKSI MENGGUNAKAN METODE SHORTEST PROCESING TIME UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS KERJA PADA UKM SARTIKA DMS KUJANGSARI DIKOTA BANJAR.*
- Nisar, M. U. (2024). *A Model of Proactive-Reactive Job Shop Scheduling to Tackle Uncertain Events with Greedy Randomized Adaptive Search Procedure.*
- Puteri, S. A. (2025).
- Puteri, S. A. (2026). *Penjadwalan No-Wait Flowshop Dengan Waktu Setup Tergantung Pada Jadwal Produksi Untuk Meminimasi Makespan Menggunakan Metode Algotima Genetik.*
- Putri, A. O. (2020). *OPTIMASI MULTI-OBYEKTIF NSGA-II PADA PENJADWALAN PRODUKSI UNTUK MINIMALISASI MAKESPAN DAN BIAYA KETERLAMBATAN.*
- Putri, A. O. (2020). *OPTIMASI MULTI-OBYEKTIF NSGA-II PADA PENJADWALAN PRODUKSI UNTUK MINIMALISASI MAKESPAN DAN BIAYA KETERLAMBATAN.*

- Reviandi Naufal Kurniawan, M. A. (2023). *Penjadwalan Penggunaan Perangkat Elektronik Menggunakan Algoritma Genetika*.
- Rinto Yusriski, B. A. (2023). *Penjadwalan Dinamis Menggunakan Metode Rolling Time Window (RTW) pada Kasus Flowshop 3 Mesin untuk Meminimumkan Total Biaya Lateness, Earliness dan Re-Scheduling*.
- Salsabila Sembiring, U. N. (n.d.). *Penjadwalan Mesin dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan metode Campbell Dudek Smith (CDS)*.
- Sambodo, U. S. (2003). *Penjadwalan Pekerjaan pada NO-Wait Flowshop dengan Kriteria Minimasi Total Waktu Tinggal Aktual Menggunakan Algoritma Genetik*.
- Santa Monica Sebayang, E. S. (2021). *PENERAPAN METODE CPM DALAM PENJADWALAN PRODUKSI DI PT XYZ DIVISI MANUFACTURING CENTER*.
- Sembiring, S. (2023). *Penjadwalan Mesin dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan metode Campbell Dudek Smith (CDS)*.
- Setyo Harto, A. K. (2016). *PENJADWALAN PRODUKSI MENGGUNAKAN ALGORITMA JADWAL NON DELAYUNTUK MEMINIMALKAN MAKESPAN STUDI KASUS DI CV. BIMA MEDEL*.
- Sherif A. Fahmy, T. Y. (2007). *Analysis of reactive deadlock-free scheduling in flexible job shops*.
- Sivanandam, S. D. (2007). *Introduction to genetic algorithms*. Springer, Berlin ; New York.
- Subroto, W. (2009). *SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN DALAM MENENTUKAN PRIORITAS PENJADWALAN PRODUKSI MENGGUNAKAN METODE EDD (EARLIEST DUE DATE) DAN SPT (SHORTEST PROCESSING TIME) PADA INDUSTRI FARMASI*.
- Sulistio, J. (2015). *MODEL OPTIMASI PENJADWALAN PRODUKSI FLOWSHOP DENGAN WAKTU PROSES DINAMIS*.
- Sulistio, J. (2015). *MODEL OPTIMASI PENJADWALAN PRODUKSI FLOWSHOPDENGAN WAKTU PROSES DINAMIS*.
- Untung Raharja, N. L. (2018). *Penjadwalan Agenda Pelaksanaan Tridharma Perguruan Tinggi Secara Online Menggunakan Google Calendar*.
- Urip Sarwo Sambodo, Y. d. (2003). *Penjadwalan Pekerja pada No-Wait Flowshop dengan Kriteria Minimasi Total Waktu Tinggal Aktual Menggunakan Algoritma Genetik*.
- Utomo, M. C. (2017). *Penyelesaian Penjadwalan Flexible Job Shop Problem Menggunakan Real Coded Genetic Algorithm*.
- Wirnsky, E. (2020). *Hands-On Genetic Algorithms with Python: Applying genetic algorithms to solve real-world deep learning and artificial intelligence problems*.

- YONI A. RESPATI, E. Z. (2015). *MODEL PENJADWALAN NO-WAIT JOB SHOP MENGGUNAKAN ALGORITMA VARIABLE NEIGHBOURHOOD DESCENT DENGAN THRESHOLD UNTUK MEMINIMISASI MAKESPAN.*
- Yusriski, R. (2023). *Penjadwalan Dinamis Menggunakan Metode Rolling Time Window (RTW) pada Kasus Flowshop 3 Mesin untuk Meminimumkan Total Biaya Lateness, Earliness dan Re-Scheduling .*
- Zaini, M. A. (2019). *OPTIMASI NO-WAIT FLOWSHOP SCHEDULING MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA GENETIKA.*
- ZAINI, M. A. (2019). *OPTIMASI NO-WAIT FLOWSHOP SCHEDULING MENGGUNAKAN METODE ALGORITMA GENETIKA.*
- Zukui Li, M. G. (2008). *Reactive scheduling using parametric programming.*