

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA PENJADWALAN  
UNTUK MEMINIMASI *MAKESPAN* MENGGUNAKAN  
METODE ALGORITMA *SIMULATED  
ANNEALING* DAN *DANNENBRING***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**FADHIA YUNITA PUTRI  
D071191044**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**SKRIPSI**

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA PENJADWALAN  
UNTUK MEMINIMASI *MAKESPAN* MENGGUNAKAN  
METODE ALGORITMA *SIMULATED  
ANNEALING* DAN *DANNENBRING***

**Disusun dan diajukan oleh:**

**FADHIA YUNITA PUTRI  
D071191044**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**  
**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA PENJADWALAN UNTUK**  
**MEMINIMASI *MAKESPAN* MENGGUNAKAN**  
**METODE ALGORITMA *SIMULATED***  
***ANNEALING* DAN *DANNENBRING***

Disusun dan diajukan oleh

**FADHIA YUNITA PUTRI**  
**D071191044**

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 19 Oktober 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Saiful, ST., MT., IPM., ASEAN.Eng  
NIP. 19810606 200604 1 004



Ir. A. Besse Riyani Indah, ST., MT., IPM  
NIP. 19891201 201903 2 013

Ketua Program Studi Teknik Industri  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Ir. Hidayat Amr, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU  
NIP. 19740621 200604 2 001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fadhia Yunita Putri  
NIM : D071191044  
Program Studi : Teknik Industri  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA PENJADWALAN UNTUK  
MEMINIMASI MAKESPAN MENGGUNAKAN  
METODE ALGORITMA *SIMULATED  
ANNEALING* DAN *DANNENBRING***

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua Informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 19 Oktober 2023

Yang Menyatakan Tanda Tangan,



Fadhia Yunita Putri

## ABSTRAK

**FADHIA YUNITA PUTRI.** *Analisis Perbandingan Kinerja Penjadwalan Untuk Meminimasi Makespan Menggunakan Metode Algoritma Simulated Annealing Dan Dannenbring* (dibimbing oleh Saiful, dan A. Besse Riyani Indah)

Permintaan konsumen terhadap waktu penyelesaian semakin beragam sehingga perusahaan juga harus lebih kompetitif dalam mengikuti permintaan konsumen. Dengan banyaknya jumlah dan variasi pekerjaan yang harus dilakukan oleh divisi produksi menyebabkan keterlambatan dikarenakan operator yang kewalahan dalam memenuhi permintaan konsumen. Akibat dari keterlambatan akan terjadi penyesipan pekerjaan yang terlambat dan dimasukkan ke dalam *batch* produksi selanjutnya sehingga dapat menambah beban baru. Salah satu strategi yang perusahaan bisa diterapkan yaitu mengatur penjadwalan produksi. Hal tersebut dapat dilihat dalam simulasi yang dibangun oleh *Toyota Production System*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai *Makespan* dengan menggunakan metode Algoritma *Simulated Annealing* dan metode *Dannenbring* pada simulasi *Toyota Production System*. Penelitian ini juga bertujuan untuk membandingkan kinerja penjadwalan dengan metode Algoritma *Simulated Annealing* dan *Dannenbring* pada simulasi *Toyota Production System*. Penelitian ini menggunakan metode Algoritma *Simulated Annealing* dengan *python* sebagai alat bantu dalam menyelesaikan Algoritmanya, serta menggunakan metode *Dannenbring*. Pada penelitian ini menggunakan 5 variasi *demand* untuk setiap metode. Metode Algoritma *Simulated Annealing* memiliki nilai *makespan* secara berturut-turut sebesar 117.92, 202.77, 291.22, 382.45, 476.06 menit dan metode *Dannenbring* memperoleh *makespan* sebesar 144.48, 244.98, 295.88, 445.98, dan 546.48 menit. Penelitian ini juga menggunakan metode awal sebagai titik tumpu untuk menilai kinerja penjadwalan dari kedua metode. Algoritma *Simulated Annealing* memiliki nilai *makespan* terkecil sehingga memiliki kinerja penjadwalan baik dan dapat dijadikan rekomendasi untuk meningkatkan produktivitas produksi sedangkan metode *Dannenbring* memiliki kinerja penjadwalan yang buruk untuk penelitian ini.

Kata Kunci: Penjadwalan Produksi, Kinerja Penjadwalan, *Toyota Production System*, Algoritma *Simulated Annealing*, *Dannenbring*

## **ABSTRACT**

**FADHIA YUNITA PUTRI.** *Performance Comparison Analysis for Minimizing Makespan Using Simulated Annealing Algorithm and Dannenbring Method* (supervised by Saiful and A. Besse Riyani Indah)

*Companies must be more competitive to meet the wide variety of consumer demands for completion times. Due to operator overload from the volume and variety of tasks the manufacturing division must do to satisfy customer demand, delays occur. Due to delays, work will be added after it should have been and added to the following production batch, adding extra burdens. Production schedule management is a tactic that businesses can use. The simulation created by the Toyota Production System illustrates this. This study uses a simulation of the Toyota Production System to calculate the Makespan value using the Simulated Annealing Algorithm and the Dannenbring approach. Furthermore, this study compares the scheduling efficiency of the Simulated Annealing and Dannenbring algorithms in simulations of the Toyota Production System. To complete the algorithm, the study employs the Dannenbring method and the Simulated Annealing Algorithm method using Python. For each method, the study examines 5 different demand variations. The makespan values for the Dannenbring method are 144.48, 244.98, 295.88, 445.98, and 546.48 minutes, while the makespan values for the Simulated Annealing Algorithm method are 117.92, 202.77, 291.22, 382.45, and 476.06 minutes, respectively. Additionally, the initial method is also used in this study to compare the effectiveness of the two scheduling methods. The Dannenbring approach has poor scheduling performance for this research, however the Simulated Annealing algorithm has the shortest makespan value and so has strong scheduling performance and may be used as a recommendation to boost production productivity.*

**Keyword:** *Production Scheduling, Scheduling Performance, Toyota Production System, Simulated Annealing Algorithm, Dannenbring*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Perbandingan Kinerja Penjadwalan Untuk Meminimasi *Makespan* Menggunakan Metode Algoritma *Simulated Annealing* dan *Dannenbring*”. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT. Sebagai pemberi rahmat dan pengabul doa - doa penulis hingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua, Papap Yudi Roslan dan Ibu Windy Eka Wardhany yang telah memberikan bantuan material dan moral serta doa yang tiada hentinya untuk penulis. Serta selalu mendengarkan keluh kesah penulis dengan memberikan motivasi serta menghibur sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Opa dan Oma, Opa Syamsuddin L. dan Oma Sri Wahyuni yang telah memberikan semangat hingga pengertian untuk penulis, bantuan material dan moral serta doa yang tiada hentinya.
4. Ibu Ir. Kifayah Amar, ST., M.Sc., Ph.D., IPU selaku Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin;
5. Bapak Dr. Ir. Saiful, S.T., M.T., IPU, ASEAN. Eng, selaku Dosen Pembimbing I dan Ir. A. Besse Riyani Indah, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir ini yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran selama proses bimbingan penulis.
6. Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Rusman, S.T., M.T., IPM selaku Dosen Penguji I dan Ibu Ir. Dwi Handayani, ST., MT. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan saran dalam perbaikan tugas akhir ini

7. Ibu Andi Nurwahidah, S.T., M.T selaku dosen Politeknik ATI Makassar yang telah membantu penulis yang telah menyediakan waktu dan material dalam melakukan peminjaman alat spesimen
8. Seluruh staf dan dosen pengajar di Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang dengan sabar dan penuh perhatian dalam mencerdaskan anak bangsa;
9. Saudara saya Ashifah Yuwina Putri dan M. Fadhel Putra Sudarsono menjadi salah satu yang senantiasa mendukung penulis baik material maupun moral, serta selalu menyemangati penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Sahabat OTW Sarjana Una, Nini, Kiky, Caca, Fera, Dzaky, Step, Fahryl, Izul, Jasqim, Josua, Appi, dan Gafi yang selalu menemani dan membantu penulis dari awal perkuliahan hingga sekarang dengan ikhlas. Khususnya Una yang sangat bersedia menemani penulis mengerjakan penelitian, mendengarkan keluh kesah penulis serta senantiasa memberikan semangat untuk penulis.
11. Asisten Laboratorium PSMI Josua, Una, Dayin, Unnu, Dila, Accung, Tarru yang telah membantu penulis selama praktikum dan memberikan ilmu baru kepada penulis selama perkuliahan.
12. Sahabat Csmate yang telah memberikan dukungan, memberikan dukungan mental dan canda tawa untuk penulis selama proses studi hingga sekarang
13. Sahabat SMA Winda, Detri, Alya dan Vel yang senantiasa menemani penulis di masa tersulit, mendengarkan seluruh ocehan receh penulis dan senantiasa memberikan bantuan mental kepada penulis hingga saat ini
14. Kakak – Kakak AMIR Merdeka yang senantiasa menjadi tempat berkeluh kesah dan menghibur penulis, terutama kepada Kakak Tri dan Kak Pudji yang selalu mengisi waktu kosong penulis serta menemani penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
15. Teman DEE Pecat Ika, Zata, Kak Amel yang selalu kompak dalam mencari cuan dan mendukung penulis dalam pekerjaan di luar kampus
16. HEURIZTIC19, yang telah memberikan banyak bantuan untuk penelitian ini dan pelajaran hidup yang sangat berwarna dari awal perkuliahan hingga saat ini.

17. Keluarga besar HMTI FT-UH yang telah menjadi wadah untuk mengembangkan diri dan berproses sehingga penulis memiliki banyak pengalaman selama perkuliahan.
18. Serta semua pihak yang turut membantu saya namun tidak dapat ditulis satu per satu.
19. *Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

Akhir kata penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Sekian dan terimakasih

Makassar,

**Fadhia Yunita Putri**



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR RUMUS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Penjadwalan Produksi .....	5
2.2 Indikator Penjadwalan.....	6
2.3 Istilah-Istilah Penjadwalan .....	7
2.4 Jenis Penjadwalan Produksi .....	7
2.5 Pengukuran Waktu Kerja .....	9
2.6 Pengukuran Waktu Jam Henti ( <i>Stopwatch Time Study</i> ) .....	9
2.7 Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	10
2.7.1 Langkah-Langkah Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	12
2.8 Metode <i>Dannenbring</i> .....	13
2.9 Penelitian Terdahulu .....	13
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	17
3.2 Sumber Data.....	17
3.3 Populasi dan Sampel Penelitian .....	17
3.4 Bahan Uji dan Instrumen .....	18
3.5 Metode Pengumpulan Data .....	20
3.6 Metode Penelitian.....	20
3.7 Skenario Simulasi .....	21
3.8 Prosedur Penelitian Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	22
3.9 Prosedur Penelitian <i>Dannenbring</i> .....	28
3.10 Prosedur Penelitian .....	28
3.11 Kerangka Pikir .....	31
<b>BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>34</b>
4.1 Gambaran Umum Laboratorium .....	34
4.2 Proses Produksi .....	34
4.3 Pengumpulan Data .....	35
4.3.1 Data Jenis Kendaraan.....	35
4.3.2 Data Jumlah Operator .....	42
4.3.3 Data Pengamatan.....	42

4.4 Pengolahan Data.....	44
4.4.1 Uji Statistik .....	44
4.4.2 Pengukuran Waktu Kerja.....	45
4.4.3 Penjadwalan dengan Metode Awal.....	49
4.4.4 Penjadwalan dengan Metode Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	53
4.4.5 Penjadwalan dengan Metode <i>Dannenbring</i> .....	59
4.5 Pembahasan.....	73
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>76</b>
5.1 Kesimpulan .....	76
5.2 Saran.....	77
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>81</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Pure Flowshop</i> .....	8
Gambar 2. <i>General Flowshop</i> .....	8
Gambar 3 <i>Jobshop</i> .....	8
Gambar 4 Flowchart Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	12
Gambar 5 <i>Pick Up (P/U)</i> .....	18
Gambar 6 <i>Double Cabin (D-Cab)</i> .....	18
Gambar 7 <i>Multi Purpose Vehicle (MPV)</i> .....	19
Gambar 8 <i>Mixer Beton</i> .....	19
Gambar 9 <i>Excavator</i> .....	19
Gambar 10 <i>Truck Silinder Roller</i> .....	19
Gambar 11 <i>Layout Skenario Simulasi</i> .....	21
Gambar 12. <i>Prosedur Penelitian</i> .....	29
Gambar 13 <i>Kerangka Berpikir</i> .....	32
Gambar 14 <i>Alur Produksi TPS</i> .....	34
Gambar 15. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi demand 1 Metode Awal</i> .....	50
Gambar 16. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi demand 2 Metode Awal</i> .....	51
Gambar 17. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi demand 3 Metode Awal</i> .....	51
Gambar 18. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi demand 4 Metode Awal</i> .....	52
Gambar 19. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi demand 5 Metode Awal</i> .....	53
Gambar 21. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 1 Metode Algoritma Simulated Annealing</i> .....	56
Gambar 22. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 2 Metode Algoritma Simulated Annealing</i> .....	56
Gambar 23. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 3 Metode Algoritma Simulated Annealing</i> .....	57
Gambar 24. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 4 Metode Algoritma Simulated Annealing</i> .....	58
Gambar 25. <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 5 Metode Algoritma Simulated Annealing</i> .....	58
Gambar 26 <i>Pengurutan Berdasarkan Metode Dannenbring</i> .....	61
Gambar 27 <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 1 Metode Dannenbring</i> .....	62
Gambar 28 <i>Pengurutan Berdasarkan Metode Dannenbring</i> .....	64
Gambar 29 <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 2 Metode Dannenbring</i> .....	64
Gambar 30 <i>Pengurutan Berdasarkan Metode Dannenbring</i> .....	67
Gambar 31 <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 3 Metode Dannenbring</i> .....	67
Gambar 32 <i>Pengurutan Berdasarkan Metode Dannenbring</i> .....	69
Gambar 33 <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 4 Metode Dannenbring</i> .....	70
Gambar 34 <i>Pengurutan Berdasarkan Metode Dannenbring</i> .....	72
Gambar 35 <i>Gantt Chart Waktu Makespan Variasi Demand 5 Metode Dannenbring</i> .....	73
Gambar 36 <i>Grafik perbandingan Nilai Makespan pada Simulasi Toyota Production System</i> .....	73

## DAFTAR TABEL

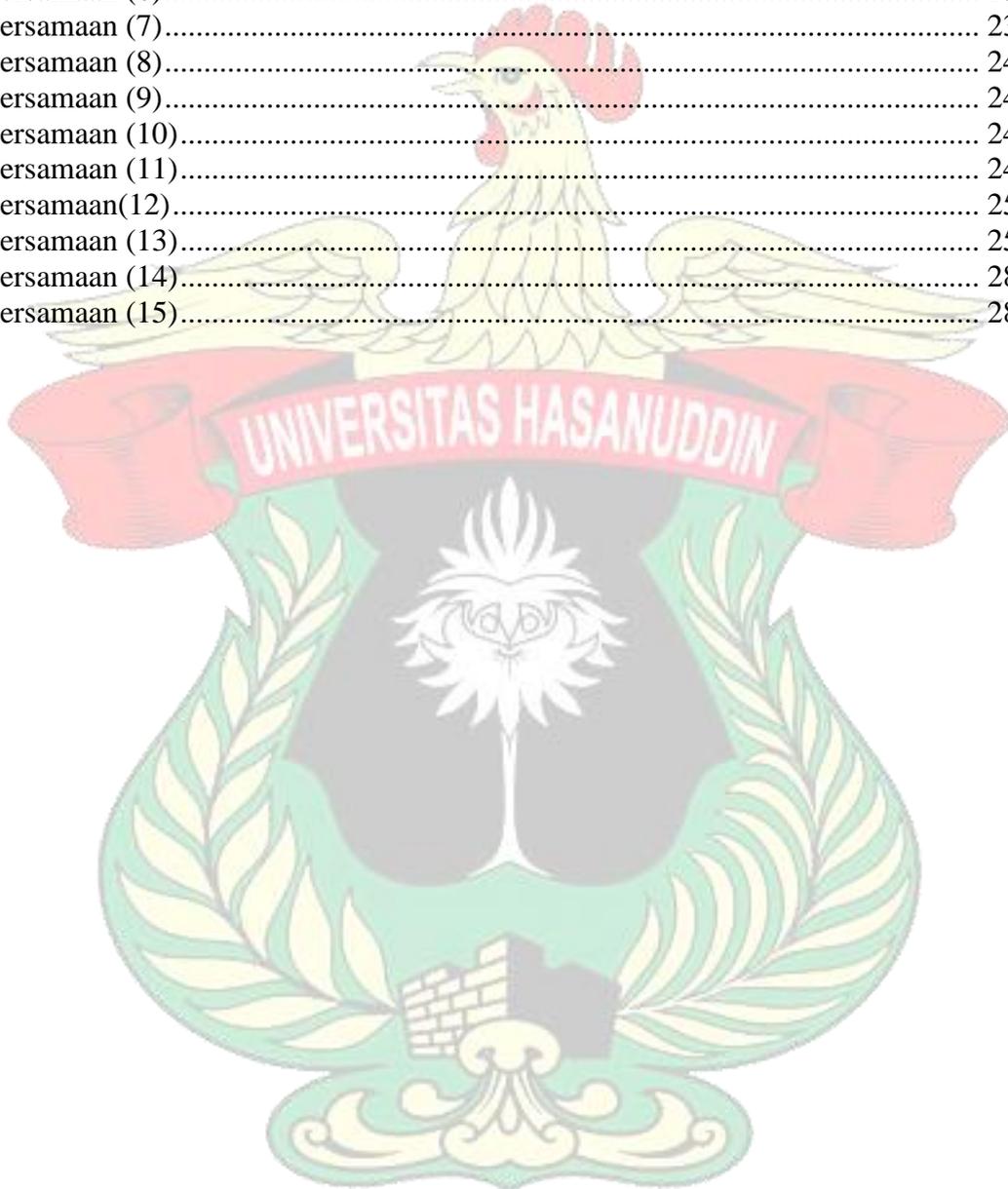
Tabel 1 Penelitian Terdahulu .....	14
Tabel 2. Data Jenis Kendaraan.....	35
Tabel 3. Komponen Spesimen .....	36
Tabel 4. Penggunaan Spesimen pada Produk <i>Pick Up</i> .....	39
Tabel 5. Penggunaan Spesimen pada Produk <i>MPV</i> .....	39
Tabel 6. Penggunaan Spesimen pada Produk <i>Double Cabin</i> .....	40
Tabel 7. Penggunaan Spesimen pada Produk <i>Truck Mixer</i> .....	40
Tabel 8. Penggunaan Spesimen pada Produk <i>Excavator</i> .....	41
Tabel 9. Penggunaan Spesimen pada Produk <i>Truck Roller Silinder</i> .....	41
Tabel 10. Data Jumlah Operator .....	42
Tabel 11. Pengukuran Waktu Proses <i>Assembly</i> Jenis Kendaraan <i>Pick Up</i> (J1)....	42
Tabel 12. Pengukuran Waktu Proses <i>Assembly</i> Jenis Kendaraan <i>MPV</i> (J2).....	43
Tabel 13. Pengukuran Waktu Proses <i>Assembly</i> Jenis Kendaraan <i>Double Cabin</i> (J3) .....	43
Tabel 14. Pengukuran Waktu Proses <i>Assembly</i> Jenis Kendaraan <i>Truck Mixer</i> (J4) .....	43
Tabel 15. Pengukuran Waktu Proses <i>Assembly</i> Jenis Kendaraan <i>Excavator</i> (J5) 43	43
Tabel 16. Pengukuran Waktu Proses <i>Assembly</i> Jenis Kendaraan <i>Truck Silinder Roller</i> (J6) .....	44
Tabel 17 Hasil uji kecukupan data waktu pengamatan.....	44
Tabel 18. <i>Rating Factor</i> Operator.....	46
Tabel 19. <i>Allowance</i> Operator.....	47
Tabel 20. Hasil Perhitungan Waktu Normal.....	47
Tabel 21. Hasil Perhitungan Waktu Baku.....	48
Tabel 22. Data waktu untuk setiap <i>job</i> .....	49
Tabel 23. Data Waktu Perhitungan untuk Setiap Proses dalam detik.....	49
Tabel 24 Data Waktu Perhitungan untuk Setiap Proses dalam Menit .....	49
Tabel 25 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>demand</i> 1 Metode Awal.....	50
Tabel 26 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>demand</i> 2 Metode Awal.....	50
Tabel 27 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>demand</i> 3 Metode Awal.....	51
Tabel 28 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>demand</i> 4 Metode Awal.....	52
Tabel 29 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>demand</i> 5 Metode Awal.....	52
Tabel 30 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 1 Metode Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	55
Tabel 31 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 2 Metode Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	56
Tabel 32 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 3 Metode Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	57
Tabel 33 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 4 Metode Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	57
Tabel 34 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 5 Metode Algoritma <i>Simulated Annealing</i> .....	58
Tabel 35 Hasil Perhitungan Nilai P1 & P2 Variasi <i>Demand</i> 1 .....	61
Tabel 36 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 1 Metode <i>Dannenbring</i> .....	61
Tabel 37 Hasil Perhitungan Nilai P1 & P2 Variasi <i>Demand</i> 2 .....	64
Tabel 38 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 2 Metode <i>Dannenbring</i> .....	64
Tabel 39 Hasil Perhitungan Nilai P1 & P2 Variasi <i>Demand</i> 3 .....	66

Tabel 40 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 3 Metode <i>Dannenbring</i> .....	67
Tabel 41 Hasil Perhitungan Nilai P1 & P2 Variasi <i>Demand</i> 4 .....	69
Tabel 42 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 4 Metode <i>Dannenbring</i> .....	69
Tabel 43 Hasil Perhitungan Nilai P1 & P2 Variasi <i>Demand</i> 5 .....	72
Tabel 44 Hasil Waktu <i>Makespan</i> Variasi <i>Demand</i> 5 Metode <i>Dannenbring</i> .....	72
Tabel 45. Perbandingan Waktu <i>Makespan</i> .....	73
Tabel 46. Urutan <i>Job</i> Setiap Metode .....	74
Tabel 47. Waktu Baku per Kendaraan .....	75



**DAFTAR RUMUS**

Persamaan (1).....	10
Persamaan (2).....	10
Persamaan (3).....	11
Persamaan (4).....	11
Persamaan (5).....	13
Persamaan (6).....	13
Persamaan (7).....	23
Persamaan (8).....	24
Persamaan (9).....	24
Persamaan (10).....	24
Persamaan (11).....	24
Persamaan(12).....	25
Persamaan (13).....	25
Persamaan (14).....	28
Persamaan (15).....	28



**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Dokumentasi simulasi <i>Toyota production system</i> .....	81
Lampiran 2. Kelonggaran Berdasarkan Faktor yang Berpengaruh.....	82
Lampiran 3 Tabel Penyesuaian menurut <i>Westinghouse</i> .....	83
Lampiran 4. Uji Keseragaman Data Tiap Mesin (Dalam Satuan Detik) .....	84
Lampiran 5 Uji Kecukupan Data Tiap Mesin (Dalam Satuan Detik).....	96
Lampiran 6 <i>Python Code</i> .....	99



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi pada era sekarang, membuat persaingan di dunia industri semakin berkembang. Permintaan konsumen terhadap waktu penyelesaian semakin beragam sehingga perusahaan juga harus lebih kompetitif dalam mengikuti permintaan konsumen. Tentunya, konsumen menginginkan waktu penyelesaian tercepat untuk mendapatkan pesanan mereka. Diperlukan usaha yang lebih bagi perusahaan dalam mengikuti permintaan dan harapan konsumen, yang tentunya harus perusahaan lakukan agar tetap mempertahankan eksistensinya.

Perusahaan juga harus memiliki strategi tersendiri untuk menyanggaupi pesanan konsumen. Salah satu strategi yang perusahaan bisa diterapkan yaitu mengatur penjadwalan produksi. Masih banyak perusahaan di luar sana yang tidak memikirkan alur produksi atau masih menggunakan metode tradisional dalam hal melakukan penjadwalan produksi produk mereka sehingga bisa terjadi banyak risiko seperti terjadinya keterlambatan pada saat adanya pesanan masuk secara berturut-turut dikarenakan tidak adanya alur produksi yang sistematis.

Banyaknya jumlah dan variasi pekerjaan yang harus dilakukan oleh divisi produksi menyebabkan keterlambatan dikarenakan operator yang kewalahan dalam melakukan proses produksi untuk memenuhi permintaan konsumen. Keterlambatan yang terjadi dapat menyebabkan terhambatnya keseluruhan produksi selanjutnya. Akibat dari keterlambatan akan terjadi penyisipan pekerjaan yang terlambat dan dimasukkan ke dalam *batch* produksi selanjutnya sehingga dapat menambah beban baru. Solusi yang bisa perusahaan lakukan adalah melakukan penjadwalan produksi yang sistematis.

Hal tersebut dapat dilihat dalam simulasi yang dibangun oleh *Toyota Production System*. Dalam simulasi tersebut dengan menggunakan produksi tradisional ternyata pada kondisi lapangannya terjadi keterlambatan dengan banyaknya variasi mobil dan banyaknya pesanan dari konsumen pada saat simulasi berlangsung, sehingga menyebabkan para operator kewalahan dalam memenuhi pesanan konsumen.

Menurut Baker (dalam Darmawan & Pramestari, 2018) mendefinisikan bahwa penjadwalan merupakan proses untuk mengatur sumber daya yang ada untuk melakukan produksi dalam jangka waktu tertentu. Hal ini dikarenakan penjadwalan produksi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi biaya produksi, dan mengurangi waktu menganggur (*idle time*), dan juga meminimumkan barang yang sedang dalam proses (*work in process*). Salah satu indikator kinerja dalam penjadwalan produksi adalah untuk meminimalkan *makespan*, yaitu waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh produksi. *Makespan* dapat menjadi indikator untuk menilai kecepatan produksi, semakin kecil nilai *makespan* maka semakin efektif aktivitas produksi yang dilakukan.

Berdasarkan tujuan tersebut, diperlukan suatu metode penjadwalan yang tepat dan efektif. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam penjadwalan produksi adalah Algoritma *Simulated Annealing* dan Metode *Dannenbring*. Menurut Wei *et al.*, 2020 (dalam Wiktasari dan Fahriah, 2021) Algoritma *Simulated Annealing* merupakan salah satu Algoritma dalam optimasi yang bersifat generik dengan berbasis statistik dan probabilitas. Algoritma *Simulated Annealing* menghasilkan hasil acak untuk mencari solusi yang diharapkan, sehingga jika digunakan dalam penjadwalan produksi metode ini akan menghasilkan banyak solusi dengan beberapa probabilitas tentunya dengan hasil waktu *makespan* yang berbeda-beda. Sedangkan Tannady (2013) menjelaskan bahwa metode *Dannenbring* akan mengolah data menggunakan nilai rekapitulasi dari waktu proses *job* dan mesin lalu akan mencari kemungkinan waktu *makespan* terbaik.

Namun, meskipun kedua metode tersebut memiliki prinsip yang berbeda dalam melakukan penjadwalan, belum ada penelitian yang membandingkan kinerja keduanya secara langsung dalam meminimalkan *makespan* pada penjadwalan produksi. Oleh karena itu, penulis merasa perlu dilakukan analisis perbandingan kinerja antara Algoritma *Simulated Annealing* dan Metode *Dannenbring* dalam penjadwalan produksi pada simulasi *Toyota Production System*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka dapat ditarik sebuah rumusan masalah yang akan dibahas yaitu:

- a. Bagaimana nilai *Makespan* dengan menggunakan metode Algoritma *Simulated Annealing* dan metode *Dannenbring* pada simulasi *Toyota Production System*?
- b. Bagaimana hasil perbandingan kinerja antara Metode Algoritma *Simulated Annealing* dan Metode *Dannenbring* dalam meminimasi *makespan* pada penjadwalan produksi *Toyota Production System*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, maka dapat ditetapkan tujuan penelitian ini, yaitu:

- a. Menentukan nilai *Makespan* dengan menggunakan metode Algoritma *Simulated Annealing* dan metode *Dannenbring* pada simulasi *Toyota Production System*
- b. Membandingkan kinerja penjadwalan dengan metode Algoritma *Simulated Annealing* dan *Dannenbring* pada simulasi *Toyota Production System*

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

- a. Bagi Laboratorium  
Laboratorium dapat mengetahui mengenai metode sebagai bahan pertimbangan untuk melakukan penjadwalan yang optimal. Sehingga diharapkan terjadi efisiensi dan efektivitas dalam melakukan produksi.
- b. Bagi Perguruan Tinggi  
Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan rujukan dan referensi bagi pengembangan ilmu pengetahuan Teknik Industri khususnya dalam penjadwalan produksi.
- c. Bagi penulis  
Penelitian ini menjadi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Strata 1 pada Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin serta meningkatkan wawasan dan kompetensi yang dimiliki.

### 1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium *Lean Manufacture* Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- b. Menggunakan miniatur mobil sebagai berikut: *P/U*, *D-Cab*, *MPV*, *Truck Mixer*, *Excavator*, dan *Truck Silinder Roller* sebagai spesimen simulasi
- c. Menggunakan Metode Algoritma *Simulated Annealing* dan *Dannenbring*
- d. Indikator kinerja penjadwalan yang digunakan adalah nilai *makespan* dalam menilai kinerja penjadwalan
- e. Penelitian ini menggunakan Bahasa pemrograman *Python* untuk metode Algoritma *Simulated Annealing*.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penjadwalan Produksi**

Menurut Stevenson (2012), penjadwalan merupakan aktivitas untuk melakukan penetapan waktu pemakaian peralatan, fasilitas hingga aktivitas operator dalam suatu perusahaan. Sedangkan menurut Baker 1974 dalam Maarif (2021) berpendapat bahwa penjadwalan merupakan proses pengalokasian sumber daya atau mesin yang ada untuk menjalankan sebuah *job* dalam jangka waktu tertentu.

Berdasarkan pengertian penjadwalan diatas selaras dengan pendapat yang dimiliki Nurhasanah et al, (2014) dimana penjadwalan produksi merupakan proses pengambilan keputusan untuk menghasilkan sebuah output melalui pengelompokan, pemilihan dan penetapan waktu penggunaan pada sumber daya yang dimiliki perusahaan seperti peralatan, fasilitas hingga operator.

Penjadwalan yang detail pastinya memerlukan informasi yang lebih banyak agar penjadwalan yang dilakukan dapat lebih akurat. Dalam penyelesaian penjadwalan memerlukan beberapa aspek seperti komponen atau mesin yang biasa disebut dengan *job*. *Job* didefinisikan sebagai aspek dari jumlah elemen yang dilakukan yang disebut aktivitas atau operasi dalam kegiatan produksi

Proses penjadwalan memiliki beberapa tujuan, hasil penjadwalan terbaik akan mendapatkan nilai optimal sesuai dengan yang diharapkan. Menurut Baker, 2009 (dalam Krisnadewara, 2016) menjelaskan tentang beberapa tujuan penjadwalan, secara umum tujuan penjadwalan tersebut adalah:

- a. Meningkatkan produktivitas mesin, yaitu dengan mengurangi waktu menganggur
- b. Mengurangi persediaan barang setengah jadi dengan cara mengurangi
- c. jumlah rata-rata pekerjaan yang menunggu dalam antrian suatu mesin karena mesin tersebut sibuk
- d. Mengurangi keterlambatan karena telah melampaui batas waktu dengan cara mengurangi maksimum keterlambatan dan mengurangi jumlah pekerjaan yang terlambat.

Menurut Lawrence dan Pasternack, 2001 (dalam Arifudin, 2012) menyatakan bahwa, ada beberapa tujuan penjadwalan proyek meliputi:

- a. Menentukan jadwal paling awal dan paling akhir dari waktu mulai dan berakhir untuk setiap kegiatan yang mengarah ke waktu penyelesaian paling awal untuk keseluruhan proyek.
- b. Menghitung kemungkinan bahwa proyek akan selesai dalam jangka waktu tertentu.
- c. Mencari biaya jadwal minimum yang akan menyelesaikan sebuah proyek dengan tanggal tertentu.
- d. Menginvestigasi bagaimana keterlambatan untuk kegiatan tertentu mempengaruhi waktu penyelesaian keseluruhan proyek.

## 2.2 Indikator Penjadwalan

Menurut Patricia dan Suryono (2011) menyatakan beberapa indikator penjadwalan sebagai berikut:

- a. Rata-rata waktu alir (*mean flow time*).
- b. *Makespan*, yaitu total waktu proses yang di butuhkan untuk menyelesaikan suatu kumpulan pekerjaan.
- c. Rata-rata kelambatan (*mean tardiness*).
- d. Jumlah pekerjaan yang terlambat.
- e. Jumlah mesin yang menganggur.
- f. Jumlah persediaan.

Indikator yang ada tersebut, kemudian selanjutnya mengalami perkembangan indikator sebagai berikut:

- a. *Completion time* atau saat selesai, yaitu saat penyelesaian operasi paling akhir suatu *order*.
- b. *Flow time* atau waktu tinggal, yaitu waktu yang diperlukan oleh suatu order diproduksi.
- c. *Waiting time* atau waktu tunggu, yaitu waktu menunggu antara waktu suatu proses selesai diproses sampai dimulai operasi berikutnya dari pengerjaan setiap operasi pada *order*.
- d. *Lateness* yaitu waktu antara saat selesai dan *due date* suatu *order*.

- e. *Tardiness* yaitu waktu keterlambatan saat selesai *order*.

### 2.3 Istilah-Istilah Penjadwalan

Dalam pembahasan mengenai masalah penjadwalan akan dijumpai beberapa istilah, Baker (dalam Widodo, 2014) menyebutkan sebagai berikut:

- a. *Ready time*, yaitu waktu yang menunjukkan saat *job* siap untuk dikerjakan.
- b. *Waiting time*, yaitu waktu yang dilalui pekerjaan sebelum mulai diproses.
- c. *Completion time*, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu operasi dari pekerjaan *j*.
- d. *Flow time*, yaitu waktu antara *job* ke-*j* siap dikerjakan sampai *job* tersebut diselesaikan.
- e. *Completion time*, yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu operasi dari pekerjaan *j* pada mesin. Dalam waktu proses ini sudah termasuk waktu yang dibutuhkan untuk persiapan dan pengaturan (*set up*).
- f. *Process time*, yaitu waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu operasi atau proses ke-*i* dari *job* ke-*j*. Waktu proses ini telah mencakup waktu untuk persiapan dan pengaturan proses.
- g. *Lateness*, yaitu besarnya simpangan waktu penyelesaian *job j* terhadap *due date* yang telah ditentukan untuk *job* tersebut.
- h. *Tardiness*, yaitu besarnya keterlambatan dari *job j* yang bernilai positif.
- i. *Earliness*, yaitu keterlambatan yang bernilai negatif.
- j. *Due date*, yaitu batas waktu penyelesaian yang ditentukan untuk *job j*.

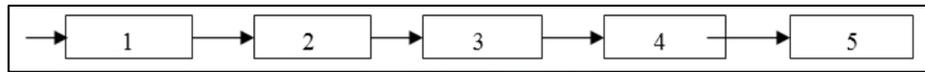
### 2.4 Jenis Penjadwalan Produksi

Terdapat 3 jenis penjadwalan produksi berdasarkan tipenya, yaitu sebagai berikut.

- a. Penjadwalan Produksi Tipe *Flowshop*

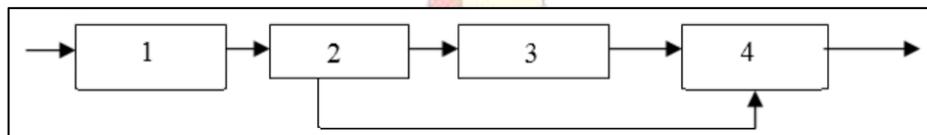
*Flowshop* adalah proses penentuan urutan pekerjaan yang memiliki lintasan produk yang sama atau hampir sama. Pada dasarnya ada beberapa macam pola *flowshop*, pertama *pure flowshop*, yang memiliki jalur produksi yang sama untuk semua tugas dan mesin disusun sesuai dengan alur proses yang ada dimana sebuah *job* diharuskan menjalani satu kali proses untuk tiap-tiap kondisi.

Kemudian kedua, *general flowshop* yang memiliki pola aliran berbeda, dimana pada pola alir ini mempunyai ciri-ciri seperti alur proses selalu menunjukkan arah ke kanan, urutan operasi boleh tidak berurutan, dan tidak diperbolehkan adanya alir proses balik. Berikut ini dapat dilihat contoh gambaran penjadwalan *flowshop* (Sonata, 2015).



Gambar 1. *Pure Flowshop*

Sumber: Sonata, 2015

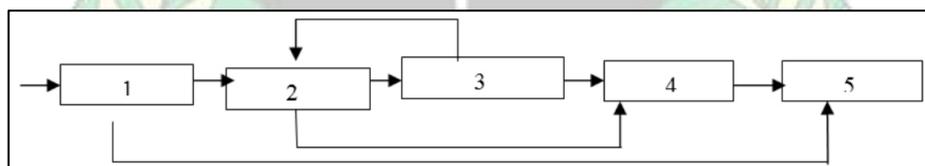


Gambar 2. *General Flowshop*

Sumber: Sonata, 2015

b. Penjadwalan Produksi Tipe *Jobshop*

*Jobshop* adalah pola alir dari N *job* melalui M mesin dengan pola aliran sembarang dan proses pengurutan pekerjaan untuk lintasan produk yang tidak beraturan. Penjadwalan pada proses produksi *jobshop* salah satu ciri-cirinya adalah bentuk tata letak *jobshop* biasanya digolongkan dari peralatan yang mempunyai fungsi yang mirip di suatu area (Sonata, 2015). Berikut ini dapat dilihat contoh gambaran penjadwalan *jobshop*.



Gambar 3 *Jobshop*

Sumber: Sonata, 2015

c. Penjadwalan Produksi Tipe *Batch*

*Batch* merupakan bentuk satu langkah ke depan dibandingkan *jobshop* dalam hal standarisasi produk, tetapi tidak terlalu terstandarisasi seperti produk yang dihasilkan pada aliran lintasan perakitan *flowshop*. Penjadwalan ini bagaimana menentukan ukuran *batch* yang paling ekonomis agar dapat memenuhi target produksi yang bervariasi dengan waktu *setup* sedikit mungkin guna menekan biaya produksi. Penjadwalan *batch* cocok untuk diterapkan pada perusahaan

yang memproduksi barang dengan volume yang tinggi dengan yang berbeda-beda namun dikerjakan pada lintasan proses yang sama (Sifa, 2016).

## 2.5 Pengukuran Waktu Kerja

Menurut Wignjosoebroto, 2008 (dalam Rachman, 2013) pengukuran kerja merupakan metode untuk memperhitungkan kestabilan antara kegiatan manusia dalam melakukan kontribusi untuk menghasilkan suatu *output*. Pengukuran waktu kerja tentunya berhubungan dengan usaha-usaha untuk menentukan waktu baku yang dibutuhkan dalam menyelesaikan pekerjaan. Waktu baku merupakan waktu yang dibutuhkan oleh operator untuk menyelesaikan pekerjaannya meliputi waktu istirahat hingga situasi lainnya selama operator bekerja. Waktu baku sangat diperlukan untuk:

- a. Rencana penjadwalan kerja
- b. Jumlah *output* yang akan dihasilkan
- c. Jumlah *Man Power* yang dibutuhkan

Terdapat 2 teknik dalam menghitung waktu kerja yaitu secara langsung dan secara tidak langsung. Teknik *time-study stopwatch* dan metode *work sampling* digunakan untuk mengukur waktu kerja secara langsung di tempat pengamatan kerja. Sedangkan perhitungan tidak langsung dilakukan pada saat pengukuran waktu kerja, dimana pengamat tidak diharuskan hadir di lokasi pengamatan, pengamat tetap dapat melakukan perhitungan dengan membaca tabel waktu selama mengetahui sifat pekerjaannya mengalir. Teknik ini dapat dilakukan dengan menggunakan data waktu gerak tindakan dan waktu baku. (*Predetermined time system*)

## 2.6 Pengukuran Waktu Jam Henti (*Stopwatch Time Study*)

Pendekatan ini berfungsi dengan baik untuk tugas sederhana dan berulang. Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus kerja akan ditentukan dari hasil pengukuran. Semua pekerja yang akan melakukan tugas akan mematuhi standar waktu sebagai patokan penyelesaiannya. metode ini bisa dikatakan sebagai teknik untuk mengukur waktu kerja yang objektif karena didasarkan pada fakta aktual daripada spekulasi. (Wignjosoebroto, 2017).

Menurut Baren, 1968 (dalam Yudisha, 2021) ada 3 metode jam henti yang dapat digunakan untuk mengukur jam henti yaitu:

- a. Metode Berulang (*Snap Back Method*)
- b. Metode Kontinu (*Continious Method*)
- c. Metode Akumulatif (*Accumulative Timing*)

## 2.7 Algoritma *Simulated Annealing*

Menurut Santosa *et al.*, (2011) menyatakan bahwa Algoritma *Simulated Annealing* adalah sebuah Algoritma yang meniru perilaku fisik dalam proses pendinginan baja. Baja yang sudah dipanaskan sampai suhu yang telah ditetapkan kemudian didinginkan secara perlahan. Ketika baja dipanaskan maka atom yang terdapat didalam baja akan bergerak bebas, tetapi pada saat didinginkan atom akan bergerak lebih teratur dikarenakan pergerakan atom menjadi lebih terbatas.

Dari perumpaan diatas metode Algoritma *Simulated Annealing* menganalogikan proses pemanasan baja sebagai pencapaian nilai minimum fungsi dalam permasalahan minimasi. Proses pendinginan akan dianalogikan sebagai cara menentukan parameter yang serupa dengan suhu yang dapat dikontrol dengan konsep distribusi probabilitas *Boltzmann*. Distribusi ini menyatakan bahwa energy  $\epsilon$  dari suatu sistem dalam keseimbangan panas suhu  $T$  terdistribusi secara probabilistik sesuai rumus:

$$P(E) = e^{-E/kT} \quad \text{Persamaan (1)}$$

Keterangan:

P : Peluang mencapai tingkat energy

E : Energi

T : Suhu

k : Konstanta Boltzmann

Energi dalam penjadwalan bisa kita katakan sebagai *makespan*. *Makespan* sendiri dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Z = \max \{C_i, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

Lalu untuk *Complation time* dapat dihitung menggunakan rumus

$$C_i = \sum_{j=1}^m P_j \quad (3)$$

Keterangan:

$Z$  : *Makespan*

$C_i$  : *Complation time* untuk *job i*

$P_j$  : waktu proses *job i* ke  $j$

Algoritma *Simulated Annealing* dapat diringkas dimulai dari vektor solusi  $X_i$  (iterasi  $i = 1$ ) dan nilai suhu  $T$  yang cukup tinggi. Nilai vektor solusi baru akan dinaikkan secara random dekat dari titik sekarang dan rumus perbedaan nilai fungsi tujuannya:

$$\Delta E = E_{i+1} - E_i = \Delta f = f_{i+1} - f_i = f(x_{i+1}) - f(x_i) \quad (4)$$

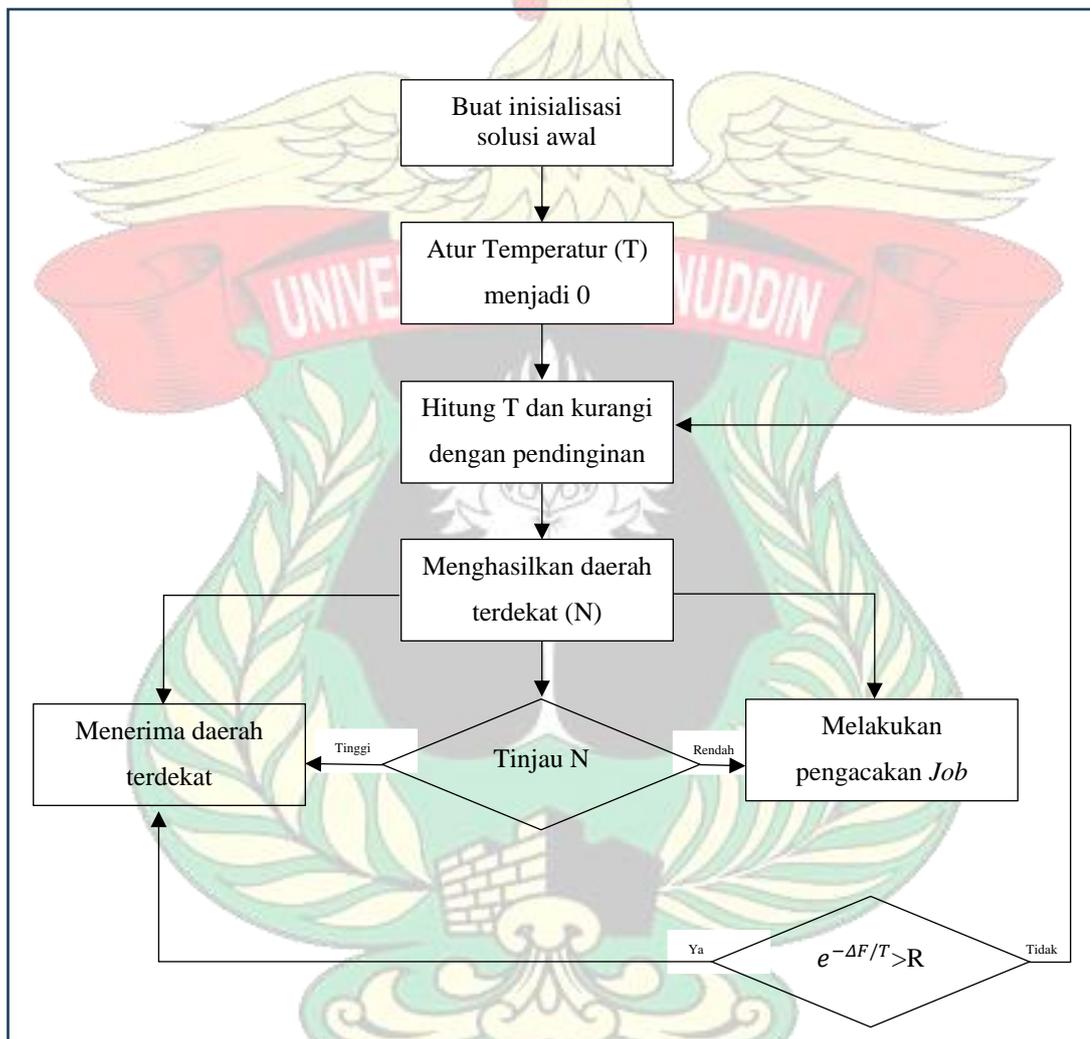
Jika  $f_{i+1}$  lebih kecil dibandingkan dengan  $f_i$  (dengan  $\Delta f$  bernilai negatif), maka  $f_{i+1}$  sebagai titik untuk solusi baru. Sebaliknya jika titik  $\Delta f$  positif maka peluang  $x_{i+1}$  sebagai solusi baru adalah  $e^{-\Delta f/kT}$ . Untuk menerima atau tidak, perlu dicari pembandingan terhadap nilai probabilitas ini. Kita perlu membangkitkan bilangan random antara (0,1).

Parameter – parameter penting yang digunakan dalam pelaksanaan Algoritma *Simulated Annealing* yaitu dalam pemilihan nilai awal temperatur  $T$ , dan faktor pereduksi temperatur  $c$ , jumlah iterasi  $n$  sebelum mengurangi temperatur. Jika dalam pemilihan nilai awal temperatur terlalu tinggi maka menyebabkan dibutuhkan lebih banyak pengurangan temperatur untuk konvergen. Namun, jika terlalu kecil proses pencarian mungkin kurang sempurna sehingga ada kemungkinan titik – titik potensial yang bisa menjadi global optimum terlewat. Untuk faktor pengurangan temperatur  $c$ , jika terlalu besar (0.8 atau 0.9) akan membutuhkan terlalu banyak langkah komputasi untuk konvergen. Sebaliknya, jika terlalu kecil nilai  $c$  (0.1 atau 0.2) akan menyebabkan penurunan temperatur menjadi terlalu cepat sehingga akan banyak titik – titik berpotensi untuk menjadi solusi global terlewat.

Begitu juga ketika jumlah iterasi  $n$  terlalu besar, keseimbangan termal dapat dicapai pada setiap temperatur tetapi dengan tambahan jumlah komputasi. Namun jika terlalu kecil, maka bisa terjadi konvergensi terlalu cepat atau solusi yang dihasilkan cenderung lokal optimum. Sayangnya, untuk nilai  $T$ ,  $n$ , dan  $c$  tidak ada nilai yang sesuai untuk semua problem. Tetapi terdapat beberapa cara

untuk mendapatkan nilai yang cukup baik. Nilai T bisa dipilih dari nilai rata – rata dari fungsi tujuan yang dihitung pada sejumlah solusi awal yang dipilih secara random. Jumlah iterasi n bisa dipilih berdasarkan akurasi yang diinginkan yaitu diantara 50 dan 100. Faktor pereduksi temperatur c bisa dipilih antara 0.4 dan 0.6 untuk strategi pengurangan temperatur yang masuk akal (*cooling schedule*).

### 2.7.1 Langkah-Langkah Algoritma *Simulated Annealing*



Gambar 4 Flowchart Algoritma *Simulated Annealing*

Sumber: Yang *et al.*, 2018

Menurut Yang *et al.*, (2018) langkah-langkah Algoritma *Simulated Annealing* dalam menyelesaikan masalah penjadwasalan adalah sebagai berikut:

- Tetapkan suhu awal (T) atau inisiasi awal *job*, suhu akhir atau sampai iterasi ke berapa akan diuji ( $T_{min}$ ), dan konstanta penurunan suhu ke nilai aslinya. ( $\alpha$ ).

- b. Pilih kondisi awal sistem (status awal) untuk pengoptimalan.
- c. Ikuti petunjuk berikut untuk melakukan iterasi pada suhu  $T$  hingga mencapai  $T_{min}$ :
  - 1) Dari keadaan sekarang, pilihlah keadaan *job* secara acak.
  - 2) Tentukan perbedaan antara keadaan saat ini dan keadaan sekitarnya dalam kaitannya dengan nilai fungsi tujuan.
  - 3) Itu menjadi daerah baru di daerah *job* jika perbedaannya kurang dari nol.
  - 4) Terima *job* dengan peluang  $e^{(-difference/T)}$  jika selisihnya lebih besar dari 0.
- d. Kalikan suhu dengan alfa untuk mengurangnya ( $T = T \times \text{alfa}$ )
- e. Mengembalikan pilihan teratas yang dibuat selama siklus.

## 2.8 Metode *Dannenbring*

Metode *Dannenbring* merupakan metode yang dikembangkan atau berasal dari metode Johnson. Metode ini mampu memecahkan permasalahan penjadwalan yang melibatkan lebih dari dua mesin. Permasalahan yang melibatkan lebih dari dua mesin diubah kedalam tabel rekapitulasi yang terdiri dari dua nilai  $P_i$ , yakni  $P_{i1}$  dan  $P_{i2}$  yang adalah waktu proses *job* ke-1 di dalam mesin ke-n. berikut ini persamaan yang menunjukkan formula metode *Dannenbring*.

$$T_{j1} = \sum_{i=1}^m (m - i + 1)t_{ij} \quad (5)$$

$$T_{j2} = \sum_{i=1}^m i * t_{ij} \quad (6)$$

Dari kedua persamaan diatas akan diperoleh waktu proses yang seolah-olah untuk mesin pertama dan waktu proses untuk mesin kedua. Setelah itu *job* dijadwalkan dengan Algoritma Johnson, menggunakan parameter  $T_{j1}$  adalah waktu proses pada mesin 1 dan  $T_{j2}$  adalah waktu proses pada mesin 2 (Tannady, 2013).

## 2.9 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang akan dilakukan perbandingan kinerja metode Algoritma *Simulated Annealing* yang dilihat dari *makespan* terkecil yang telah diimplementasikan pada sejumlah penelitian-penelitian terdahulu diantaranya sebagai berikut:

Tabel 1 Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1.	Bilal Khurshid, Shahid Maqsood, Muhammad Omair, Biswajit Sarkar, Imran Ahmad, Khan Muhammad (2021)	<i>An Improved Evolution Strategy Hybridization with Simulated Annealing for Permutation Flow Shop Scheduling Problems</i>	<i>Hybrid Evolution Strategy (Improved Evolution Strategy &amp; Algoritma Simulated Annealing</i>	<p>Penelitian ini menyelidiki <i>Permutation Flow Shop Scheduling Problem</i>. Solusi terbaik dari <i>Improved Evolution Strategy</i> bertindak sebagai langkah awal bagi <i>Simulated Annealing</i>., yang selanjutnya meningkatkan hasil dengan mengeksplorasi solusi lingkungan yang lebih baik.</p> <p>Hasil eksperimen menunjukkan bahwa algoritma <i>HESSA</i> yang diusulkan menemukan lima puluh empat batas atas, sementara tiga puluh delapan hasil ditingkatkan lebih lanjut</p>
2.	Mulya Sultoniq Lubis dan Rosnani Ginting (2019)	Penjadwalan Produksi Dengan Menggunakan Algoritma <i>Simulated Annealing</i> Di PT. XYZ	Algoritma <i>Simulated Annealing</i> dan <i>First Come First Served</i> .	<p>Hasil analisa bahwa dengan menggunakan metode usulan tersebut, maka terdapat pengurangan <i>makespan</i> sebesar 4418.86 menit = 75,65 jam = 3,06 hari. Sehingga penjadwalan <i>job</i> tidak terjadi keterlambatan dari due date yang telah ditetapkan yaitu 14 hari. Sehingga dapat disimpulkan Algoritma <i>Simulated Annealing</i> lebih efektif daripada metode <i>First Come First Served</i></p>
3.	Crescenio Gallo, Vito Capozzi (2019)	<i>A Simulated Annealing Algorithm for Scheduling Problems</i>	<i>Discrete Optimization Algorithm &amp; Algoritma Simulated Annealing</i>	<p>Tujuan penelitian ini adalah meningkatkan solusi yang dihasilkan oleh algoritma penjadwalan pekerjaan klasik menggunakan <i>Simulated Annealing</i>. Algoritme hybrid yang diusulkan dievaluasi, dan hasil eksperimen menunjukkan bahwa algoritma tersebut memberikan peningkatan kinerja dalam hal solusi terbaik</p>

Lanjutan Tabel 1. Penelitian Terdahulu

			dan waktu berjalan jika dibandingkan dengan penjadwalan pekerjaan dan SA sebagai algoritma yang berdiri sendiri.
4.	Septian Dwi Pamungkas, Ida Bagus Suardika, Kiswandono (2019)	Analisis Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode <i>Dannenbring</i> Di PT. Sinar Sosro	Metode <i>Dannenbring</i> dan Metode Perusahaan
5.	R Hanafi, S Mangngentre, S Asmal, I Setiawan and C Gloryantho (2019)	<i>Production scheduling by implementing Campbell Dudek Smith (CDS) and Dannenbring methods: A PVC pipe green production case study</i>	<i>Campbell Dudeck Smith &amp; Dannenbring</i>
			Hasil pengolahan data didapatkan nilai <i>makespan</i> pada penjadwalan produksi di PT. Sinar Sosro sebesar 1.403,0 jam urutan pengerjaan <i>job</i> TBS - FT - ST - TB. Dari perhitungan yang telah disampaikan didapatkan penjadwalan produksi dengan nilai <i>makespan</i> terkecil didapatkan menggunakan metode <i>Dannenbring</i> sebesar 1.327,9 jam dengan urutan pengerjaan <i>job</i> FT - TB - ST - TBS. Perhitungan selisih antara metode perusahaan dengan metode usulan sebesar 75,1 jam
			Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi optimal urutan pekerjaan yang sesuai sehingga diperoleh nilai <i>makespan</i> terendah sebagai hasilnya. Metode CDS menghasilkan waktu yang paling optimal sedangkan <i>Dannenbring</i> menghasilkan waktu yang lebih baik dibandingkan metode perusahaan

Berdasarkan literasi dari penelitian terdahulu, penelitian diatas lebih banyak melakukan perbandingan metode Algoritma *Simulated Annealing* dengan metode perusahaan yang telah diterapkan di perusahaan tersebut. Ada pula pada penilitian yang ditulis oleh Mulya Sultoniq Lubis dan Rosnani Ginting yang membandingkan Algoritma *Simulated Annealing* dengan metode *First come First Served* sebagai inisiasi awal yang diterapkan oleh perusahaan. Dari keseluruhan penelitian

terdahulu membuktikan bahwa Algoritma *Simulated Annealing* merupakan metode yang efektif untuk melakukan penjadwalan produksi dilihat dari sisi *makespan job* terkecil dari metode ini.

Terdapat pula penelitian terdahulu yang melakukan perhitungan metode *Dannenbring* dengan metode perusahaan maupun dengan metode penjadwalan *heuristic* lainnya seperti *Campbell Dudeck Smith*, dan *Palmer* dengan hasil bahwa *Dannenbring* merupakan metode optimal dan efektif untuk digunakan dalam melakukan penyusunan jadwal produksi.

Berdasarkan perbandingan penelitian terdahulu, penulis melihat belum adanya penelitian yang melakukan penelitian mengenai perbandingan dari kedua metode yaitu metode Algoritma *Simulated Annealing* dengan metode *Dannenbring*. Maka dari itu, penulis tertarik untuk melakukan perbandingan antara kedua metode agar mendapatkan hasil yang paling efektif diantara kedua metode.

