

**“ANALISA PERBANDINGAN METODE BRANCH AND BOUND DENGAN
TABU SEARCH TERHADAP KINERJA PENJADWALAN PRODUKSI
(STUDI KASUS: SIMULASI PERAKITAN MOBIL)”**



**MURSALIM
D071201067**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**“ANALISA PERBANDINGAN METODE BRANCH AND BOUND DENGAN
TABU SEARCH TERHADAP KINERJA PENJADWALAN PRODUKSI
(STUDI KASUS: SIMULASI PERAKITAN MOBIL)”**

**MURSALIM
D071201067**



**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**“ANALISA PERBANDINGAN METODE BRANCH AND BOUND DENGAN
TABU SEARCH TERHADAP KINERJA PENJADWALAN PRODUKSI
(STUDI KASUS: SIMULASI PERAKITAN MOBIL)”**

PERNYATAAN PENGAJUAN

**MURSALIM
D071201067**

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Industri

Pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

“ANALISA PERBANDINGAN METODE BRANCH AND BOUND DENGAN TABU SEARCH TERHADAP KINERJA PENJADWALAN PRODUKSI (STUDI KASUS: SIMULASI PERAKITAN MOBIL)”

HALAMAN PENGESAHAN

MURSALIM
D071201067

Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana pada 25 Juli 2024 dan
dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pada

Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:
Pembimbing tugas akhir,



Dr. Ir. Saiful, S.T., M.T., IPU, ASEAN. Eng.
NIP. 19810606 200604 1 004

Mengetahui:
Ketua Program Studi,



Ir. Kifayah Amar, ST.,M.Sc.,Ph.D,IPU
NIP. 19740621 200604 2 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "Analisa Perbandingan Metode Branch and Bound dengan Tabu Search Terhadap Kinerja Penjadwalan Produksi (Studi Kasus: Simulasi Perakitan Mobil)" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Dr. Ir. Saiful, S.T., M.T., IPU, ASEAN. Eng. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka skripsi ini. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 25 Juli 2024



MURSALIM
D071201067

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa atas segala berkat dan anugerahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisa Perbandingan Metode Branch and Bound dengan Tabu Search Terhadap Kinerja Penjadwalan Produksi (Studi Kasus: Simulasi Perakitan Mobil)”. Skripsi ini disusun dalam rangka untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa selama penyusunan tugas akhir ini, terdapat banyak dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Penulis sangat merasa berterima kasih kepada:

1. Allah SWT. atas limpahan rahmat dan hidayah yang telah diberikan.
2. Orang tua dan keluarga yang senantiasa mendoakan, dan mendukung baik secara moral dan materil kepada penulis.
3. Ibu Ir. Kifayah Amar, S.T., M.Sc., Ph.D, IPU. selaku Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Universitas Hasanuddin.
4. Bapak Dr. Ir. Saiful, S.T., M.T., IPU, ASEAN. Eng. selaku dosen pembimbing yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini dengan saran, arahan, dan masukan yang diberikan.
5. Ibu Dr.Ir. Rosmalina Hanafi, M.Eng. dan Ir. Dwi Handayani S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir saya.
6. Seluruh Dosen dan Staff Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Industri Angkatan 2020 (Re20urce) yang tetap solid dan saling membantu selama perkuliahan.
8. Keluarga Besar Ikatan Keluarga Mahasiswa Bidikmisi dan KIP Kuliah Universitas Hasanuddin (IKAB-KIP Unhas).
9. Keluarga Besar Kerukunan Mahasiswa Pinrang Universitas Hasanuddin (KMP-UNHAS), terkhusus untuk angkatan 2020.
10. Seluruh anggota Karang Taruna Maccolli' LoloE Desa Mangki, Kecamatan Cempa, Kabupaten Pinrang.
11. Teman-teman para pejuang lomba dari kampus-kampus di Indonesia (khususnya teman-teman dari Unram, Universitas Malang, ITS, IPB, dan UPN Veteran Jakarta).
12. Teman-teman angkatan Furious20, terkhusus untuk Teman-teman Titanium Smansa Pinrang.
13. Semua pihak yang tidak dituliskan satu per satu yang telah membantu dan mendukung penulis selama ini.

ABSTRAK

MURSALIM. “Analisa Perbandingan Metode Branch and Bound dengan Tabu Search Terhadap Kinerja Penjadwalan Produksi (Studi Kasus: Simulasi Perakitan Mobil)” (dibimbing oleh Saiful)

Penjadwalan sebagai bagian dari suatu sistem produksi merupakan pengkoordinasian waktu dalam kegiatan produksi. Efisiensi waktu produksi dengan indikator nilai *makespan* terkecil menjadi sangat penting dalam mengukur kinerja penjadwalan. Kinerja penjadwalan yang semakin baik akan mendukung peningkatan produktivitas perusahaan. Penjadwalan didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber untuk memilih sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan menentukan nilai *makespan* terkecil untuk menghasilkan waktu produksi yang lebih cepat dan efisien dengan menggunakan metode *Branch and Bound* (B&B) dan *Tabu Search*. Diperlukan sebuah model penjadwalan pada simulasi perakitan mobil dengan mempertimbangkan urutan prioritas pengerjaan dari setiap order yang diterima. Adapun dengan membandingkan metode *tabu search* dan *branch and bound* diharapkan dapat memperoleh total waktu produksi yang minimal dan menghemat biaya produksi. Pada metode *Branch and Bound* diperoleh urutan job dengan *makespan* terkecil yaitu J3-J5-J2-J4-J1-J6 dengan nilai *makespan* 124,56 menit. Sementara itu, pada algoritma *Tabu Search* dilakukan dengan menganalisis semua kemungkinan secara acak pada setiap job, sehingga diperoleh urutan job J5-J1-J4-J2-J3-J6 dengan nilai *makespan* terkecil yaitu 101,19 menit. Berdasarkan kedua hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode yang paling efektif dan efisien untuk digunakan adalah metode *tabu search*.

Kata kunci: Penjadwalan, Branch and Bound, Tabu Search, Makespan, Simulasi Perakitan Mobil.

ABSTRACT

MURSALIM. "Comparative Analysis of the Branch and Bound Method with Tabu Search on Production Scheduling Performance (Case Study: Car Assembly Simulation)". (Supervised by Saiful)

Scheduling as part of a production system is coordinating time in production activities. Production time efficiency with the smallest makespan value indicator is very important in measuring scheduling performance. Better scheduling performance will support increased company productivity. Scheduling is defined as the process of allocating resources to select a set of tasks within a certain time period. This research aims to analyze and determine the smallest makespan value to produce faster and more efficient production times using the Branch and Bound (B&B) and Tabu Search methods. A scheduling model is needed in car assembly simulations by considering the priority order of work for each order received. Meanwhile, by comparing the tabu search and branch and bound methods, it is hoped that we can obtain minimum total production time and save production costs. In the Branch and Bound method, the job sequence with the smallest makespan is obtained, namely J3-J5-J2-J4-J1-J6 with a makespan value of 124,56 minutes. Meanwhile, the Tabu Search algorithm is carried out by analyzing all possibilities randomly for each job, so that the job sequence J5-J1-J4-J2-J3-J6 is obtained with the smallest makespan value, namely 101,19 minutes. Based on these two results, it can be concluded that the most effective and efficient method to use is the tabu search method.

Keywords: *Scheduling, Branch and Bound, Tabu Search, Makespan, Car Assembly Simulation.*

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II METODOLOGI PENELITIAN.....	5
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	5
2.2 Jenis dan Sumber Data.....	5
2.3 Populasi dan Sampel Penelitian.....	6
2.4 Bahan Uji dan Instrumen.....	6
2.5 Metode Pengumpulan Data.....	9
2.6 Metode Penelitian	9
2.7 Skenario Simulasi	10
2.8 Algoritma Branch and Bound	11
2.9 Algoritma Tabu Search.....	14
2.10 Prosedur Penelitian.....	17
2.11 Kerangka Berpikir.....	19
2.12 Penelitian Terdahulu.....	20
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	23
3.1 Gambaran Umum Laboratorium.....	23
3.2 Proses Produksi	23
3.3 Pengumpulan Data	24
3.4 Pengolahan Data	30
BAB IV PENUTUP	51
4.1 Kesimpulan	51
4.2 Saran.....	51
DAFTAR PUTAKA.....	52
LAMPIRAN	53

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Penelitian terdahulu.....	20
Tabel 2 Data Jenis Kendaraan	24
Tabel 3 Komponen Spesimen	24
Tabel 4 Data Jumlah Operator	28
Tabel 5 Data Mobil Jenis Pick Up.....	28
Tabel 6 Data Mobil Jenis MPV	28
Tabel 7 Data Mobil Jenis Double Cabin	29
Tabel 8 Data Mobil Jenis Mixer Beton	29
Tabel 9 Data Mobil Jenis Excavator	29
Tabel 10 Data Mobil Jenis Truck Silinder Roller	30
Tabel 11 Uji Kecukupan Data	30
Tabel 12 Rating Factor.....	32
Tabel 13 Allowance untuk operator	33
Tabel 14 Hasil Perhitungan Waktu Normal.....	34
Tabel 15 Hasil Perhitungan Waktu Baku	35
Tabel 16 Data Waktu Produksi Tiap Produk Dalam Satuan Detik	35
Tabel 17 Data Waktu Produksi Tiap Produk Dalam Satuan Menit	36
Tabel 18 Perhitungan Nilai q Metode Branch and Bound Iterasi 1 (menit).....	37
Tabel 19 Perhitungan Nilai L Metode <i>Branch and Bound</i> Iterasi 1 (menit).....	38
Tabel 20 Waktu Proses Tiap Work Station Untuk Iterasi 2 (menit)	39
Tabel 21 Perhitungan Nilai q Metode Branch and Bound Iterasi 2 (menit).....	39
Tabel 22 Perhitungan Nilai L Metode <i>Branch and Bound</i> Iterasi 2 (menit).....	40
Tabel 23 Waktu Proses Tiap Work Station Untuk Iterasi 3 (menit).....	40
Tabel 24 Perhitungan Nilai q Metode Branch and Bound Iterasi 3 (menit).....	41
Tabel 25 Perhitungan Nilai L Metode <i>Branch and Bound</i> Iterasi 3 (menit).....	41
Tabel 26 Waktu Proses Tiap Work Station Untuk Iterasi 4 (menit).....	42
Tabel 27 Perhitungan Nilai q Metode Branch and Bound Iterasi 4 (menit).....	42
Tabel 28 Perhitungan Nilai L Metode <i>Branch and Bound</i> Iterasi 4 (menit).....	42
Tabel 29 Waktu Proses Tiap Work Station Untuk Iterasi 5 (menit).....	43
Tabel 30 Perhitungan Nilai q Metode Branch and Bound Iterasi 5 (menit).....	43
Tabel 31 Perhitungan Nilai L Metode <i>Branch and Bound</i> Iterasi 5 (menit).....	43
Tabel 32 Hasil Perhitungan Algoritma Tabu Search	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Pick Up (P/U)	7
Gambar 2 Double Cabin (D-Cab).....	7
Gambar 3 Multi Purpose Vehicle (MPV).....	7
Gambar 4 Mixer Beton.....	8
Gambar 5 Excalator	8
Gambar 6 Truck Silinder Roller.....	8
Gambar 7 Skenario Simulasi	10
Gambar 8 Alur Produksi Simulasi TPS	23
Gambar 9 Gantt Chart Urutan Job Metode Branch and Bound	44
Gambar 10 Diagram Pohon Metode Branch and Bound.....	44
Gambar 11 Data Waktu Proses Setiap Job.....	45
Gambar 12 Fungsi Untuk Menghitung Makespan.....	46
Gambar 13 Algoritma Tabu Search	46
Gambar 14 Menyiapkan Data Untuk DataFrame	47
Gambar 15 Membuat DataFrame	47
Gambar 16 Menyimpan DataFrame ke File Excel	47
Gambar 17 Hasil Solusi Urutan Job Optimal	47
Gambar 18 Makespan 720 Kemungkinan Urutan Job Metode Tabu Search	48
Gambar 19 Gantt Chart Urutan Job Metode Tabu Search	49
Gambar 20 Hasil Perbandingan Metode Branch and Bound dan Tabu Search	49

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Dokumentasi Simulasi <i>Toyota Production System</i>	53
Lampiran 2. Kelonggaran Berdasarkan Faktor yang Berpengaruh.....	54
Lampiran 3. Tabel Penyesuaian Menurut <i>Westinghouse</i>	55
Lampiran 4. Uji Keseragaman Data Tiap Mesin	56
Lampiran 5. Uji Kecukupan Data Setiap Mesin/Work Station	68
Lampiran 6. <i>Codingan Tabu Search</i>	74
Lampiran 7. <i>Output</i> Perhitungan Penjadwalan dengan Algoritma <i>Tabu Search</i>	76

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan dunia usaha yang semakin maju dan tingkat persaingan yang semakin berat, mengakibatkan meningkatnya kebutuhan akan sistem produksi yang efektif dan efisien di dalam perusahaan. Sasaran strategi utama adalah pemenuhan kebutuhan konsumen secara tepat baik dari sisi waktu dan dan sisi jumlah demi menjaga loyalitas konsumen. Oleh sebab itu, perusahaan dalam proses produksinya memerlukan sistem penjadwalan yang baik. Efisiensi waktu produksi dengan indikator nilai *makespan* terkecil menjadi sangat penting dalam mengukur kinerja penjadwalan. Kinerja penjadwalan yang semakin baik akan mendukung peningkatan produktivitas perusahaan.

Penjadwalan (*scheduling*) didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber untuk memilih sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. Secara rinci dapat dijabarkan bahwa penjadwalan merupakan sebuah fungsi pengambilan keputusan, yaitu dalam menentukan jadwal yang paling tepat atau merupakan sebuah teori yang berisis kumpulan prinsip, model, teknik dalam pengambilan keputusan. Penjadwalan produksi didefenisikan sebagai pengaturan urutan kerja serta pengalokasian sumber baik waktu, fasilitas untuk setiap operasi yang harus diselesaikan (Manggenre, Rapi, & Flannery, 2014).

Penjadwalan sebagai bagian dari suatu sistem produksi merupakan pengkoordinasian waktu dalam kegiatan produksi. Oleh sebab itu, perlu diadakan pengalokasian bahan-bahan baku dan bahan-bahan pembantu, serta kelengkapan pengolahan di setiap instalasi atau fasilitas yang telah ditentukan secara tepat. Dengan demikian, penjadwalan meliputi persoalan jumlah produk yang akan dihasilkan dan bagaimana pengolahan itu dilakukan, terutama bagian mana yang akan didahulukan dalam proses produksi, lalu bagian mana yang dapat diselesaikan terakhir. Hal ini bertujuan pada maksimal minimasi dari total waktu proses produksi. Penggunaan prioritas dari urutan pekerjaan yang salah akan berakibat pada tingginya nilai total waktu produksi.

Salah satu metode yang dapat digunakan dalam penjadwalan produksi adalah metode tabu search. Menurut Glover dalam Silaban dkk (2014), tabu search didasarkan pada kesimpulan bahwa penyelesaian masalah, untuk memenuhi kualitas

sebagai metode yang mempunyai kecerdasan, harus menggabungkan *adaptive memory* dan *responsive exploration*. Kemampuan *adaptive memory* pada tabu search memungkinkan untuk mengimplementasikan prosedur yang mampu untuk mencari lingkup solusi secara efisien dan ekonomis.

Selain metode tabu search, metode lain yang juga dapat diterapkan dalam penjadwalan yaitu algoritma branch and bound, atau yang biasa disingkat dengan B&B. Branch and bound ini merupakan metode pencarian solusi di dalam ruang solusi secara sistematis, yang di implementasikan ke dalam suatu pohon ruang status dinamis. Pada algoritma ini, problem digambarkan dalam bentuk diagram pohon dimana masing-masing cabang menggambarkan urutan parsial. Untuk menentukan bagian mana yang menjadi cabang, dihitung makespan terendah (lower bound) dari masing-masing cabang. (Mangnggenre, Rapi, & Flannery, 2014) Metode Branch and Bound merupakan salah satu metode yang baik untuk digunakan dalam menyelesaikan masalah kombinasi dengan menggunakan strategi pengurangan jumlah perhitungan yang dilakukan, dalam metode ini terdapat dua prosedur dasar yaitu branching (percabangan) dan bounding (pembatasan). Branching adalah proses pembagian atau percabangan satu masalah yang besar atau rumit menjadi dua atau lebih sub masalah yang lebih kecil atau sederhana, sedangkan bounding adalah proses menghitung batas bawah solusi optimal dari sub masalah yang diperoleh dari percabangan (Lesmana, 2016).

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan model penjadwalan pada simulasi perakitan mobil dengan mempertimbangkan urutan prioritas pengerjaan dari setiap order yang diterima. Dengan membandingkan metode tabu search dan branch and bound diharapkan dapat memperoleh total waktu produksi yang minimal dan menghemat biaya produksi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

- a. Bagaimana nilai *makespan* dengan menggunakan metode Branch and Bound pada simulasi perakitan mobil?
- b. Bagaimana nilai *makespan* dengan menggunakan metode Tabu Search pada simulasi perakitan mobil?
- c. Bagaimana hasil perbandingan kinerja antara metode Branch and Bound dan Tabu Search dalam meminimasi *makespan* pada simulasi perakitan mobil?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini antara lain:

- a. Menentukan dan menganalisis nilai *makespan* yang diperoleh dengan menggunakan metode branch and bound pada simulasi perakitan mobil.
- b. Menentukan dan menganalisis nilai *makespan* yang diperoleh dengan menggunakan metode tabu search pada simulasi perakitan mobil.
- c. Menganalisis hasil perbandingan kinerja antara metode branch and bound dan tabu search dalam meminimasi *makespan* pada simulasi perakitan mobil.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian mengarah pada tujuan yang diharapkan sesuai dengan permasalahan diatas maka ditetapkan pembatasan sebagai berikut:

- 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 Branch and Bound dan Tabu Search.
- d. Indikator kinerja penjadwalan yang digunakan adalah nilai *makespan* dalam menilai kinerja penjadwalan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

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 Akademik

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan rujukan dan referensi bagi pengembangan ilmu pengetahuan Teknik Industri khususnya dalam penjadwalan produksi.

c. Bagi Penulis

Mampu menerapkan dan mengaplikasikan ilmu selama proses studi di Teknik Industri Universitas Hasanuddin serta dengan penelitian ini diharapkan dapat lebih meningkatkan pengetahuan yang dimiliki.

BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium *Lean Manufacturing*, Teknik Industri Universitas Hasanuddin pada bulan Maret-Mei 2024.

2.2 Jenis dan Sumber Data

Pada tahap ini dilakukan identifikasi variabel penelitian yang didapatkan berdasarkan data dari Perusahaan yang digunakan dalam penelitian dengan metode Tabu Search dan Branch and Bound yang nantinya akan dilakukan perbandingan. Variabel yang digunakan adalah variabel bebas dan variabel terikat.

a. Jenis Data

Jenis data penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1) Data Kuantitatif

Yaitu informasi yang diperoleh secara langsung dari hasil pengamatan lapangan. Data penelitian ini diperoleh dengan metode wawancara dengan para simulator.

2) Data Kualitatif

Merupakan pelengkap data primer yang umumnya diperoleh dari sumber kepustakaan seperti literatur-literatur, bahan kuliah, laporan, catatan, maupun dokumentasi perusahaan, situs web, internet, karya tulis, buku dan sumber-sumber lain yang erat hubungannya dengan penelitian ini.

b. Sumber Data

Jenis data penelitian ini antara lain sebagai berikut.

1) Data Primer

Data Primer merupakan data yang didapatkan secara langsung saat berada di lapangan. Data yang dikumpulkan berupa:

- a. Waktu siklus setiap *Work Station*, diperoleh dari pengukuran waktu.
- b. *Rating factor* yang didapatkan secara langsung pada saat sedang bekerja.
- c. *Allowance* (Faktor kelonggaran) yang didapatkan secara langsung pada saat pekerja melakukan pekerjaan.

- d. Jumlah proses beserta jumlah mesin dan peralatan yang digunakan.
- e. Urutan pengerjaan *Assembly* kendaraan.

2) Data Sekunder

Data Sekunder merupakan data yang didapatkan tanpa melakukan pengukuran atau pengamatan secara langsung. Data sekunder untuk penelitian ini, yaitu:

- a. Tipe dan spesifikasi produk
- b. Data jumlah permintaan konsumen
- c. *Masterplan* simulasi

2.3 Populasi dan Sampel Penelitian

Populasi dan sampel dalam penelitian adalah aspek penting yang diambil untuk dilakukan kesimpulan secara generalisasi. Adapun populasi dan sampel pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.3.1 Populasi

Populasi merupakan suatu generalisasi yang terdiri atas objek yang mempunyai karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan menarik kesimpulannya (Sugiyono, 2011). Berdasarkan definisi populasi, maka populasi dari penelitian ini adalah waktu pengamatan dari proses produksi dari 6 spesimen yang diuji.

2.3.2 Sampel

Sampel merupakan bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut (Sugiyono, 2011). Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah *random sampling*. *Random sampling* digunakan agar mengurangi bias data yang ada dipenelitian ini.

2.4 Bahan Uji dan Instrumen

Bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa 6 miniatur mobil yaitu, miniatur mobil *P/U*, *D-Cab*, *MPV*, *Excavator*, dan *Truck Mixer*, dan *Truck Silinder Roller*.



Gambar 1 Pick Up (P/U)



Gambar 2 Double Cabin (D-Cab)



Gambar 3 Multi Purpose Vehicle (MPV)



Gambar 4 Mixer Beton



Gambar 5 Excavator



Gambar 6 Truck Silinder Roller

2.5 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengamatan langsung pada perusahaan yang menjadi objek penelitian. Teknik pengumpulan data yang dilakukan adalah:

2.5.1 Observasi

Pengumpulan data ini dilakukan dengan pengamatan dan pencatatan secara langsung pada objek penelitian untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam penelitian.

2.5.2 Studi Kepustakaan

Studi Pustaka yang dilakukan peneliti yaitu dengan mengumpulkan teori-teori yang berisikan dengan penulisan skripsi sebagai bahan untuk melengkapi penelitian ini. Sumber teori berasal dari hasil penelitian ilmiah ataupun buku referensi.

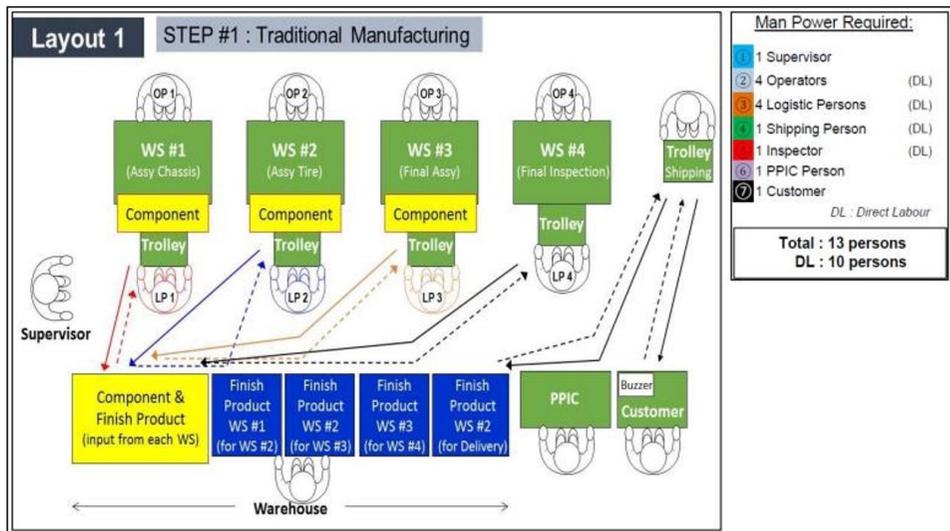
2.5.3 Pelaksanaan Simulasi

Peneliti melakukan pelaksanaan tes simulasi mengenai proses *Assembly* kendaraan di Laboratorium *Lean Manufacture*. Sebelumnya, penulis menggunakan data hasil observasi pada penelitian yang terkait.

2.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini mencakup analisis statistik untuk membantu peneliti dalam mengolah data awal. Peneliti juga menggunakan metode Branch and Bound dan Tabu Search dalam menentukan solusi penjadwalan yang efektif dan efisien.

2.7 Skenario Simulasi



Gambar 7 Skenario Simulasi

Dalam simulasi ini akan dilakukan seperti melakukan kondisi perusahaan yang menerapkan sistem produksi tradisional yang masih menggunakan *warehouse* atau gudang sebagai pusat penyimpanan material, barang setengah jadi hingga barang yang sudah siap dikirim ke pelanggan. Berikut skenario simulasi yang akan dilakukan:

- Buzzer disetting setiap 1,5 menit berbunyi dan stok disetting sesuai kondisi yang telah ditentukan.
- Customer memberikan manifest & kanban customer kepada PPIC setelah buzzer berbunyi untuk pertamakali.
- PPIC memberikan lembar perintah produksi kepada Supervisor produksi.
- Supervisor memberikan perintah produksi kepada masing-masing work station dan melakukan pengecekan selama simulasi berlangsung.
- Operator tiap work station bekerja sesuai intruksi yang diberikan pada saat bunyi buzzer yang ke-2 dan meminta box kosong untuk penempatan barang serta memberitahukan jika barang yang dikerjakan telah selesai kepada operator supply (operator boleh mengerjakan sesuai dengan material yang tersedia / tidak beurutun sesuai schedule).
- Operator supply berkeliling di masing-masing work station yang telah ditentukan untuk mensupply box kosong barang jadi serta mengirim barang

jadinya ke warehouse (sesuai instruksi operator) dan mensupply komponen dari warehouse.

- Operator shipping melakukan persiapan pengiriman dengan mengambil barang siap kirim di warehousesesuai dengan perintah yang diberikan PPIC (bunyi buzzer ke-2) serta mengirim ke customer (bunyi buzzer ke6) dan melakukan hal yang sama untuk pengiriman ke-2 untuk persiapan (bunyi buzzer ke-7) dan pengiriman (bunyi buzzer ke-11).
- Operator work station #4 (inspector) melakukan pengecekan dan mendata hasil pengecekan padalembar pengecekan kualitas (jika ditemukan NG letakkan pada area barang NG).
- Operator warehouse melakukan persiapan material untuk mengisi stok material yang berkurang / kosongdan mempersiapkan box kosong untuk barang jadi serta meletakkan barang jadi dari tiap work station yang dikirim oleh operator supply sesuai dengan alamatnya.
- Customer melakukan pengecekan barang yang telah dikirim pada lembar konfirmasi pengiriman.

2.8 Algoritma Branch and Bound

Algoritma Branch and Bound, atau yang biasa disingkat dengan B&B merupakan metode pencarian solusi di dalam ruang solusi secara sistematis, yang di implementasikan ke dalam suatu pohon ruang status dinamis. Pada algoritma ini, problem digambarkan dalam bentuk diagram pohon dimana masing-masing cabang menggambarkan urutan parsial. Untuk menentukan bagian mana yang menjadi cabang,dihitung makespan terendah (lower bound) dari masing-masing cabang (Mangnggenre, Rapi, & Flannery, 2014).

Filosofi dari metode penjadwalan Branch and Bound (B&B) adalah untuk menemukan solusi optimal dari suatu masalah dengan cara eksplorasi sistematis terhadap ruang solusi yang mungkin. Prinsip dasar dari metode ini melibatkan dua komponen utama: branching (percabangan) dan bounding (pembatasan). Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang filosofi dan prinsip di balik metode ini:

1. *Branching* (Percabangan)

Branching adalah proses memecah masalah utama menjadi submasalah yang lebih kecil. Ide utamanya adalah untuk secara bertahap membagi ruang solusi besar menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan lebih mudah diatasi. Pada konteks penjadwalan, ini bisa berarti memisahkan berbagai kemungkinan urutan tugas atau pekerjaan menjadi beberapa cabang yang masing-masing mewakili kemungkinan tertentu.

2. *Bounding* (Pembatasan)

Bounding adalah proses menentukan batas atas dan batas bawah dari solusi yang mungkin untuk suatu submasalah. Ini digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik suatu solusi parsial bisa dibandingkan dengan solusi optimal. Jika batas bawah dari suatu cabang sudah lebih buruk daripada solusi terbaik yang sudah ditemukan, maka cabang tersebut dapat dihentikan (dipotong) karena tidak akan menghasilkan solusi optimal.

3. Optimalisasi

Tujuan utama dari metode B&B dalam penjadwalan adalah untuk menemukan solusi optimal yang meminimalkan (atau memaksimalkan) suatu fungsi objektif, seperti waktu penyelesaian total, waktu tunggu, atau biaya. Dengan menggunakan strategi *branching* dan *bounding*, metode ini memastikan bahwa solusi yang ditemukan adalah yang terbaik dari semua kemungkinan.

Metode Branch and Bound merupakan salah satu metode yang baik untuk digunakan dalam menyelesaikan masalah kombinasi dengan menggunakan strategi pengurangan jumlah perhitungan yang dilakukan, dalam metode ini terdapat dua prosedur dasar yaitu *branching* (percabangan) dan *bounding* (pembatasan). *Branching* adalah proses pembagian atau percabangan satu masalah yang besar atau rumit menjadi dua atau lebih sub masalah yang lebih kecil atau sederhana, sedangkan *bounding* adalah proses menghitung batas bawah solusi optimal dari sub masalah yang diperoleh dari percabangan (Lesmana, 2016).

2.8.1 Langkah-langkah Penyelesaian Metode Branch and Bound

Adapun langkah langkah penjadwalan produksi dengan metode Branch and Bound antara lain sebagai berikut (Wibowo et al, 2018):

- 1) Daftarkan semua pekerjaan yang akan dikerjakan dan waktu penyelesaian di tiap-tiap mesin.
- 2) Hitung nilai *partial sequence* ke i pada masing-masing mesin (q_i).

$$q_{1M1} = t_{1M1} \qquad q_{1M3} = q_{1M2} + t_{1M3}$$

$$q_{2M2} = q_{1M1} + t_{1M2} \qquad q_{1M4} = q_{1M3} + t_{1M4}$$

- 3) Hitung besarnya *lower bound* (l_m) pada masing-masing job.

Algorithma:

$$l_1 = (q_1) + \sum t_{iM1} , A_i + \min_{(B_i + C_i + D_i)}$$

$$l_2 = (q_2) + \sum t_{iM2} , B_i + \min_{(C_i + D_i)}$$

$$l_3 = (q_3) + \sum t_{iM3} , C_i + \min_{(D_i)}$$

$$l_4 = (q_4) + \sum t_{iM4} , D_i$$

Notasi:

l_i = Nilai *Lower Bound* pada *Work Station ke-i*

i = *Job* yang akan dikerjakan

m = mesin/*work station*

q_i = *Partial Sequence job-i*

A_i = Waktu proses job-i pada *Work Station A*

B_i = Waktu proses job-i pada *Work Station B*

C_i = Waktu proses job-i pada *Work Station C*

$t_{iM(x)}$ = Waktu kerja pada Mesin/*Work Station ke-x*

$\min_{(x_i)}$ = Nilai Minimal pada waktu kerja pada *Work Station* lain

- 4) Bandingkan semua nilai l_m , dan pilih nilai l_m yang paling maksimum. Nilai l_m yang paling maksimum menjadi nilai *lower bound* (l) pada job tersebut.
- 5) Bandingkan semua nilai l_i , dan pilih minimum l_i .
Jika menggunakan perhitungan di atas, maka batas bawah (*lower bound*) yang disarankan oleh Ignall dan Schrage adalah (Wibowo et al, 2018):
$$L = \max (l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_m)$$
- 6) Job dengan nilai l_i terendah, dijadwalkan terlebih dahulu, kemudian job tersebut dihilangkan dari daftar job yang akan dikerjakan.

- 7) Ulangi langkah (1) hingga (6) sampai semua pekerjaan selesai dijadwalkan.
- 8) Untuk iterasi selanjutnya, waktu kerja dari work station/mesin 1 pada job yang terpilih pada iterasi sebelumnya dijumlahkan dengan waktu kerja dari masing-masing job untuk mendapatkan nilai q .

2.9 Algoritma Tabu Search

Ide tentang Tabu Search pertama kali diperkenalkan oleh Glover pada tahun 1986. Ide dasarnya adalah untuk meningkatkan performa metode pencarian lokal yang sering terjebak dalam solusi sub-optimal dengan cara melarang gerakan yang membawa solusi kembali ke ruang pencarian yang sudah pernah dikunjungi sebelumnya. Tujuan utama dari TS adalah untuk menyimpan solusi terbaik saat ini di memori sambil terus mencari solusi lain tanpa mengulangi pencarian sebelumnya (Oktarina dkk, 2016).

Menurut Glover dalam Oktarina dkk (2016), Tabu Search didasarkan pada kesimpulan bahwa penyelesaian masalah, untuk memenuhi kualitas sebagai metode yang mempunyai kecerdasan, harus menggabungkan adaptive memory dan responsive exploration. Kemampuan adaptive memory pada Tabu Search memungkinkan untuk mengimplementasikan prosedur yang mampu untuk mencari lingkup solusi secara efisien dan ekonomis.

Filosofi dari metode penjadwalan Tabu Search adalah untuk menemukan solusi optimal atau mendekati optimal dengan mengeksplorasi ruang solusi secara luas, sambil menghindari perangkap lokal melalui penggunaan memori adaptif. Metode ini berfokus pada memperbaiki solusi sementara dan menggunakan strategi tertentu untuk memastikan pencarian tidak kembali ke solusi yang sama. Berikut adalah prinsip-prinsip utama dari filosofi tabu search:

1. Eksplorasi dan Eksploitasi

Tabu Search menggunakan prinsip eksplorasi (mencari solusi baru di ruang solusi) dan eksploitasi (memperbaiki solusi yang sudah ada). Metode ini bertujuan untuk menemukan solusi yang lebih baik dengan bergerak dari satu solusi ke solusi lain di lingkungan terdekatnya (neighborhood search).

2. Memori Adaptif

Salah satu fitur utama dari Tabu Search adalah penggunaan memori adaptif untuk melacak sejarah pencarian. Ini membantu algoritma untuk menghindari pengulangan solusi yang sama (menjadi "tabu"). Memori ini bisa berupa:

- *Short-term memory*: Menyimpan gerakan atau solusi baru yang baru saja dihasilkan, untuk mencegah pencarian kembali ke solusi tersebut dalam waktu dekat.
- *Long-term memory*: Menyimpan informasi tentang karakteristik solusi yang baik untuk membantu memperbaiki pencarian di masa depan.

3. Tabu List

Daftar tabu (*tabu list*) adalah inti dari mekanisme memori adaptif. Ini adalah daftar sementara dari solusi atau gerakan yang dianggap tabu atau dilarang untuk dieksplorasi dalam beberapa iterasi berikutnya. Tujuan dari tabu list adalah untuk mencegah algoritma terjebak dalam siklus dan menghindari solusi lokal yang buruk.

4. Aspirasi Kriteria

Meskipun gerakan atau solusi tertentu mungkin ada dalam tabu list, ada kriteria aspirasi yang memungkinkan pengecualian. Jika suatu solusi tabu memenuhi kriteria tertentu, misalnya solusi tersebut secara signifikan lebih baik dari solusi terbaik yang ditemukan sejauh ini, maka gerakan tersebut dapat diterima meskipun dianggap tabu.

5. Diversifikasi dan Intensifikasi

- *Diversifikasi*: Strategi untuk menjelajahi wilayah baru dalam ruang solusi, untuk menghindari pencarian yang terlalu terfokus pada area yang sama.
- *Intensifikasi*: Strategi untuk memperdalam pencarian di sekitar solusi yang baik yang telah ditemukan, dengan harapan menemukan solusi yang lebih baik.

6. Penjadwalan dalam Konteks Tabu Search

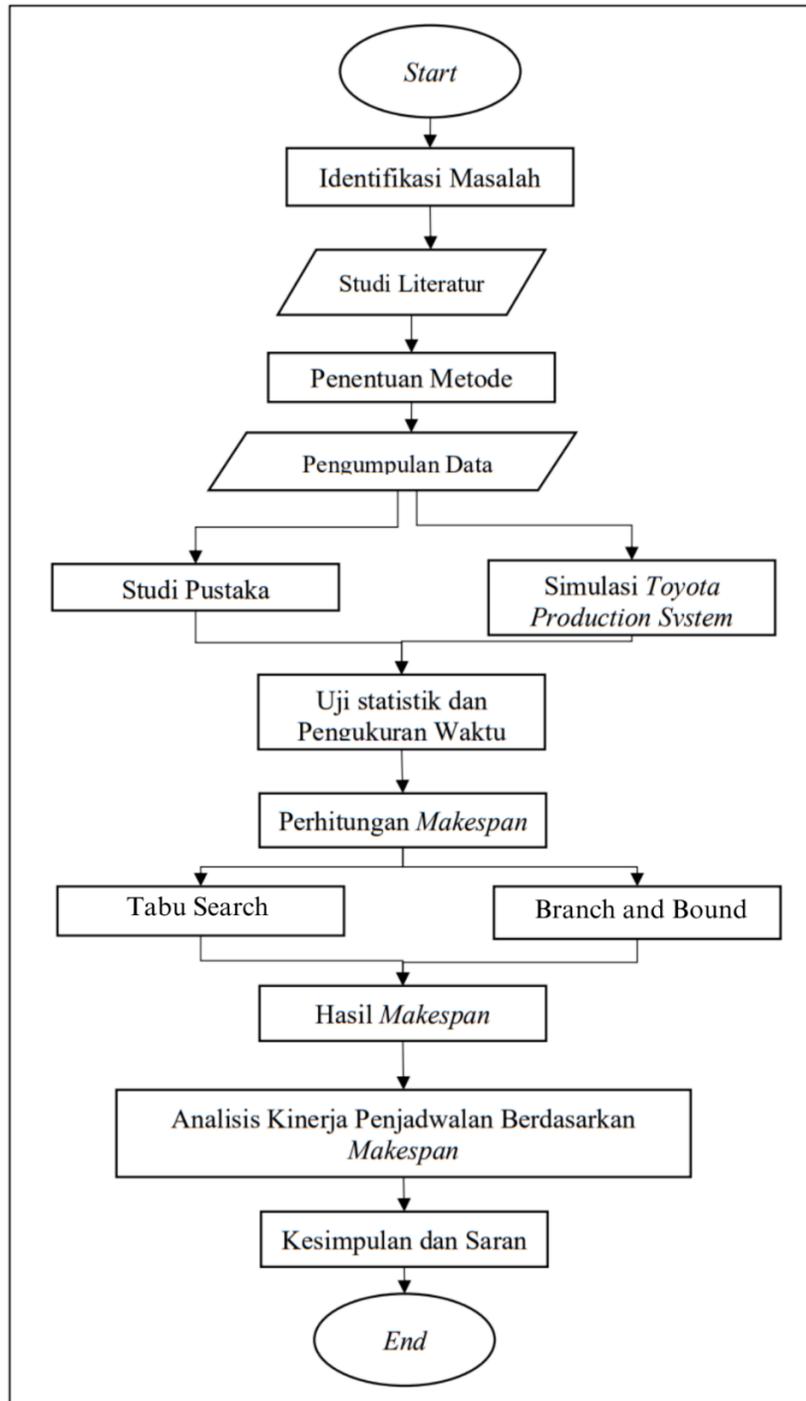
Dalam konteks penjadwalan, Tabu Search dapat diterapkan untuk berbagai masalah seperti penjadwalan pekerjaan pada mesin (*Job Shop Scheduling*), penjadwalan proyek (*Project Scheduling*), dan masalah logistik. Prinsip-prinsip di atas digunakan untuk mencari urutan tugas atau pekerjaan yang optimal dengan menghindari jebakan lokal dan memperbaiki solusi melalui iterasi.

Dengan mengimplementasikan kode yang telah dikembangkan. Kode yang telah ditulis ini menciptakan sebuah Algoritma *Tabu Search* secara acak dengan mengidentifikasi seluruh kemungkinan. Pendekatan Algoritma *Tabu Search* ini menerapkan beberapa Langkah dasar yaitu:

- a. Memasukkan data waktu proses pada setiap job di masing-masing work station.
- b. Menentukan fungsi untuk menghitung makespan.
- c. Membuat algoritma untuk metode tabu search dan menjalankannya.
- d. Menyiapkan data untuk DataFrame.
- e. Membuat DataFrame.
- f. Menyimpan DataFrame ke file excel.
- g. Solusi optimal akan tampil beserta nilai makespannya.

2.10 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian merupakan diagram yang menjelaskan proses dan alur peneliti. Prosedur pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut ini.



a. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, penulis melakukan identifikasi masalah yang ada pada setiap simulasi pada *Toyota Production System*. Proses identifikasi masalah ini dilakukan penulis pada saat melakukan simulasi di *Toyota production system* yang memiliki permasalahan keterlambatan pesanan pada *step 1* yaitu *traditional manufacturing*.

b. Studi Literatur

Pada tahap ini, dilakukan studi literatur yang bertujuan untuk mendapatkan referensi yang bisa mendukung dalam pemecahan permasalahan yang ada. Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini yaitu mengenai teori-teori yang berguna sebagai acuan dalam menyelesaikan masalah yang ada. Sumber pendukung dalam penelitian ini diambil dari buku dan jurnal tentang penjadwalan produksi.

c. Penentuan Metode

Berdasarkan studi literatur yang telah digunakan, penulis memutuskan untuk menggunakan pendekatan Algoritma *Simulated Annealing* dan *Dannenbring* dalam pemecahan masalah yang diangkat.

d. Pengumpulan data

Pada tahap ini, penulis melakukan pengumpulan data untuk selanjutnya akan diolah. Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan simulasi secara langsung untuk mendapatkan waktu produksi. Selain itu dilakukan juga studi pustaka yang dapat membantu pengolahan data ini.

e. Pengolahan Data

Pada tahap ini, pertama-tama penulis melakukan uji statistik berupa kecukupan data dan keseragaman data agar memastikan data yang didapatkan adalah data yang valid. Setelah itu, penulis menghitung pengukuran waktu kerja untuk mendapatkan waktu baku dari setiap *job* yang dilakukan.

f. Metode Penelitian

Pengolahan data ini menggunakan 2 pendekatan yaitu *Branch and Bound* dan *Tabu Search*. Waktu yang digunakan adalah hasil waktu baku dari keseluruhan setiap *job*.

g. Hasil Makespan

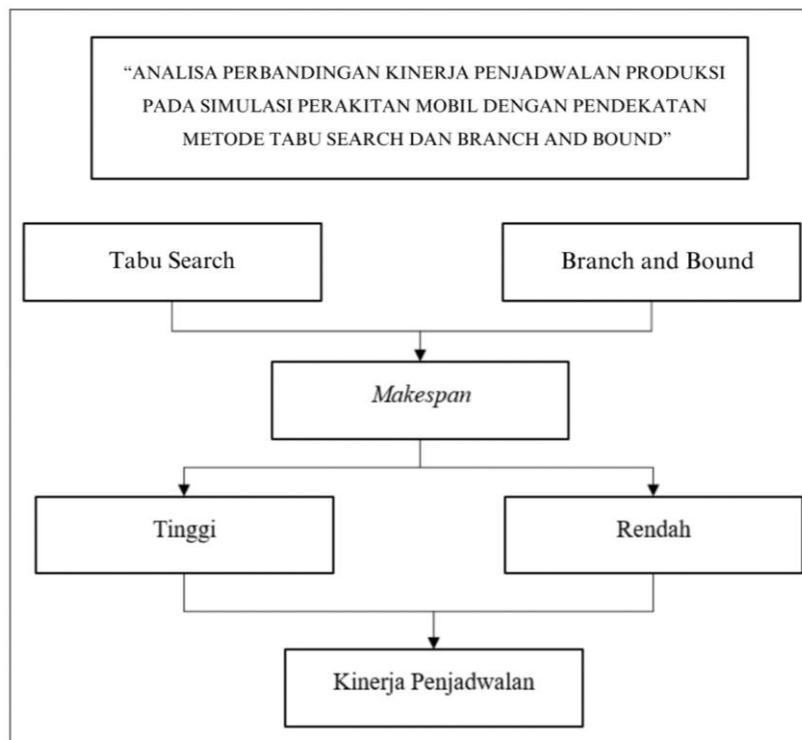
Pada tahap ini, penulis akan membandingkan hasil dari kedua metode penelitian dengan metode awal.

h. Kinerja Penjadwalan

Pada tahap ini, penulis menjabarkan kinerja penjadwalan berdasarkan hasil perbandingan *Makespan* dan menjadikan metode awal sebagai titik utama untuk menetapkan apakah kedua metode memiliki kinerja penjadwalan yang baik ataupun buruk.

2.11 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir adalah alur pemikiran peneliti sebagai acuan dalam memperkuat fokus penelitian dalam memecahkan masalah. Kerangka berpikir yang dibuat dalam penelitian ini menggambarkan beberapa variabel yang akan diuji yaitu metode Branch and Bound dan Tabu Search yang merupakan metode penjadwalan yang tentunya dapat mempengaruhi *Makespan* dalam penyelesaian *job*. Setelah mendapatkan nilai *makespan* dari kedua metode akan dibandingkan kedua metode tersebut apakah mempengaruhi kinerja penjadwalan. Adapun kerangka berpikir penelitian ini digambarkan sebagai berikut.



2.12 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini, dilakukan penelusuran terkait dengan penelitian-penelitian yang terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 1 Penelitian terdahulu

No.	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1.	Fadhia Yunita Putri (2023)	Analisis Perbandingan Kinerja Penjadwalan Untuk Meminimasi Makespan Menggunakan Metode Algoritma <i>Simulated Annealing</i> Dan Dannenbring	Penelitian ini menggunakan metode Algoritma <i>Simulated Annealing</i> dengan python sebagai alat bantu dalam menyelesaikan Algoritmanya serta menggunakan metode Dannenbring.	Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai Makespan dengan menggunakan metode Algoritma <i>Simulated Annealing</i> dan metode Dannenbring pada simulasi Toyota Production System. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan waktu Makespan Algoritma <i>Simulated Annealing</i> sebesar 114.01 dengan pengurutan Assembly J5-J1-J4-J2-J3-J6 dan Dannenbring sebesar 139.26 dengan pengurutan Assembly J6-J3-J5-J2-J4-J1.
2.	Inggrid Felicia Mutiarra & Miranda Azalia	Penerapan Algoritma <i>Branch and Bound</i> dalam Menyelesaikan Penjadwalan Flowshop	Pada penelitian ini, dilakukan penjadwalan menggunakan Algoritma <i>Branch and</i>	Metode <i>Branch and Bound</i> adalah pendekatan yang memberikan solusi terbaik berdasarkan kriteria tertentu dengan tingkat kesalahan yang

			<i>Bound</i> untuk meminimalkan makespan.	lebih rendah dibandingkan metode heuristik lainnya. Hasilnya menunjukkan bahwa penjadwalan dengan Algoritma Branch and Bound menghasilkan makespan terpendek dengan 177,66 jam.
3.	Roberta Simarmata & Said Munal Akid	Penerapan Metode Algoritma <i>Tabu Search</i> Pada Penjadwalan Mesin	Penerapan penjadwalan pada penelitian ini dilakukan dengan metode tabu search didasarkan atas pernyataan dalam memecahkan masalah yang harus dikombinasikan dengan <i>adaptive memory</i> dan <i>responsive exploration</i> .	Penyelesaian job dengan penerapan metode perusahaan pada penjadwalan produksi di PT. XYZ mampu menyelesaikan job selama 116.14 jam maka dengan menerapkan metode tabu search dapat meminimalkan makespan 12.93% untuk sistem penjadwalan flowshop yaitu 101.12 jam dengan nilai relative error sebesar 14.85%.
4.	Ismawati Khotimah, dkk. (2021)	Pemodelan <i>Integer Linear Programming</i>	Metode <i>Branch and Bound</i> dapat	Penjadwalan menggunakan Metode Branch and Bound

		<p>pada Penjadwalan Produksi Tipe Flowshop dan Program Optimasi Waktu dengan Metode <i>Branch and Bound</i> Studi Kasus: PT UNITEX</p>	<p>diterapkan pada permasalahan ini karena dapat menentukan penjadwalan yang tepat dengan waktu optimal.</p>	<p>menghasilkan urutan penjadwalan produksi dengan job 1-5-3- 6-7-2-4 dengan makespan sebesar 17290.73 menit. Nilai ini lebih kecil dibandingkan hasil makespan perusahaan yaitu 19278.13 menit. Hal tersebut meminimumkan makespan sebesar 10.31%</p>
5.	Rindawati Ahmad, dkk. (2021)	<p>Analisis Sensitivitas Model <i>Goal Programming</i> Pada Optimasi Produksi Roti Menggunakan Metode <i>Branch and Bound</i></p>	<p>Pada penelitian ini menggunakan model <i>Goal Programming</i> dengan metode <i>Branch and Bound</i>.</p>	<p>Hasil analisis dengan model <i>Goal Programming</i> menggunakan metode <i>Branch and Bound</i> memperoleh solusi optimal yaitu kelebihan total waktu penyelesaian (makespan) sebesar 36 menit, kelebihan rata-rata waktu keterlambatan (mean tardines) sebesar 6 menit, kelebihan bahan baku pada ketersediaan bahan baku seluruhnya bernilai nol, dan kekurangan pendapatan penjualan sebesar nol.</p>