

**ANALISIS DAN RANCANGAN PERBAIKAN PEMELIHARAAN  
MESIN *MILLING* UNTUK MENCEGAH TERJADINYA  
*BOTTLENECK***

**TUGAS AKHIR**

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



Nama : Luther Firnando

No. Mahasiswa 20522326

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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan 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, 11 - 02 – 2026



(Luther Firnando)

20522326

## SURAT BUKTI PENELITIAN



PT. IMEDAL KARYA TEKNIK

### PT. IMEDAL KARYA TEKNIK

Engineering, Jig, Machinery, Manufacturing, Construction, Fabrication.  
Workshop : Jl Raya Mustikajaya No 25  
Mustikajaya Kota Bekasi

### SURAT KETERANGAN PENELITIAN

No : 01//PRD-WS-IKT/MGG/XII/25

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : TEGUH RAHAYU  
Jabatan : Manajer Produksi  
Perusahaan : PT. IMEDAL KARYA TEKNIK  
Alamat : RT.002/RW.007, Mustikajaya, Kec. Mustikajaya,  
Kota Bekasi Jawa Barat 17158

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : LUTHER FIRNANDO  
NIM : 20522326  
Jurusan : Teknik Industri  
Perguruan Tinggi : Universitas Islam Indonesia  
Judul : Analisis dan Rancangan Perbaikan Pemeliharaan Mesin  
Milling Untuk Mencegah Terjadinya *Bottleneck*

Telah melaksanakan Penelitian di PT. IMEDAL KARYA TEKNIK,  
Pada Tanggal 15 November s/d 15 Desember 2025, dengan predikat penilaian **BAIK**.  
Demikian surat keterangan ini disampaikan, untuk dipergunakan sebagaimana fungsinya.

Bekasi, 15 Desember 2025

PT. IMEDAL KARYA TEKNIK

PT. IMEDAL KARYA TEKNIK  
**TEGUH RAHAYU**

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**ANALISIS DAN RANCANGAN PERBAIKAN PEMELIHARAAN MESIN  
MILLING UNTUK MENCEGAH TERJADINYA *BOTTLENECK***



**Dosen Pembimbing**

**(Ir. Hartomo, M.Sc., Ph.D. IPU., ASEAN.Eng.)**

**LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**  
**ANALISIS DAN RANCANGAN PERBAIKAN PEMELIHARAAN MESIN**  
**MILLING UNTUK MENCEGAH TERJADINYA BOTTLENECK**  
**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Luther Firnando**

**No. Mahasiswa : 20522326**

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

**Yogyakarta, 11 - Februari – 2026**

**Tim Penguji**

Ir. Hartomo, M.Sc., Ph.D. IPU., ASEAN.Eng

Ketua

Joko Sulistio, S.T., M.Sc., M.T

Anggota I

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

Anggota II





**Mengetahui,**  
**Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana**  
**Fakultas Teknologi Industri**  
**Universitas Islam Indonesia**



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

**015220101**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

### *Alhamdulillah rabbil 'alamiin,*

Atas kehadiran Allah SWT yang maha pengasih dan penyayang, Shalawat dan salam selalu tucurahkan kepada Rasulullah shallallahu alaihi wassalam beserta para pengikutnya. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik Industri di Universitas Islam Indonesia. Tugas Akhir ini didedikasikan kepada kedua orang tua saya yang telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi selama perjalanan penelitian ini. Terima kasih kepada Bapak Ir. Hartomo, M.Sc.,Ph.D. IPU., ASEAN.Eng. sebagai dosen pembimbing yang penuh kesabaran dan pengetahuan dalam memberikan masukan berharga dalam proses penelitian. Selain itu, penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada PT Imedal Karya Teknik yang telah memberikan akses, data, dan dukungan teknis dalam penelitian ini. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang positif bagi PT Imedal Karya Teknik.

## MOTTO

“Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah. Yang mengajarkan (manusia) dengan perantaraan kalam.

Dia mengajar kepada manusia apa yang tidak diketahuinya”

(QS. Al-Alaq ayat 1-5)

“Menjadi individu yang selalu haus akan pengetahuan dan siap menghadapi setiap rintangan kehidupan merupakan kunci bagi kesuksesan sejati. Setiap tantangan yang muncul bukanlah hambatan, melainkan peluang untuk memperoleh pengalaman berharga.”

“Dengan semangat belajar yang tak pernah padam serta keberanian menghadapi setiap situasi baru, seseorang akan mampu tumbuh dan berkembang. Namun, doa merupakan pilar utama dalam memberikan kekuatan dan petunjuk.”

## KATA PENGANTAR

**Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,**

*Alhamdulillah rabbil 'alamin*, puji dan syukur kita panjatkan kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul “Analisis dan Rancangan Perbaikan Pemeliharaan Mesin Milling Untuk Mencegah Terjadinya Bottleneck”

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan dalam menyelesaikan pendidikan Program Sarjana pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Indonesia. Penyusunan tugas akhir ini dapat diselesaikan berkat do'a, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM., Ketua Prodi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Program Sarjana.
3. Bapak Ir. Hartomo, M.Sc., Ph.D. IPU., ASEAN.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah mengorbankan waktu dan tenaga untuk senantiasa memberikan dukungan, bimbingan, dan arahan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Sujadi dan Ibu Siti Safronah, kedua orang tua saya yang senantiasa memberikan do'a dan motivasi untuk penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan tepat waktu.
5. PT Imedal Karya Teknik yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan penelitian, khususnya divisi produksi.
6. Teman-teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung kepada penulis agar terus bersemangat dalam menyelesaikan

penyusunan tugas akhir ini.

Penulisan tugas akhir ini masih terdapat beberapa kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik dari pembaca yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Masukan yang diberikan akan menjadi landasan untuk perbaikan lebih lanjut guna menghasilkan hasil yang lebih akurat dan terpercaya. Penulis memiliki harapan besar, semoga tugas akhir ini tidak hanya menjadi bahan referensi, tetapi dapat digunakan sebagaimana mestinya dan memberikan manfaat bagi seluruh pihak.

**Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh**

Yogyakarta, 11 Februari 2026



Luther Firnando

## ABSTRAK

Industri manufaktur fabrikasi menghadapi permasalahan *bottleneck* dalam sistem produksi job shop yang berdampak signifikan terhadap produktivitas. Penelitian ini dilakukan pada PT Imedal Karya Teknik yang memproduksi komponen otomotif seperti *bracket* dan *hook assembly*, dengan permasalahan utama berupa downtime mesin CNC Milling yang menyebabkan *bottleneck* dan gap antara kapasitas teoritis dan aktual produksi. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi *failure mode* komponen kritis dan merancang sistem pemeliharaan untuk mengurangi *downtime* dan mencegah *bottleneck* menggunakan metode 5W1H, *Value Stream Mapping* (VSM), dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Hasil menunjukkan lima komponen kritis dengan *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi yaitu *spindle bearing* (RPN=432), *coolant pump* (RPN=384), *ball screw* (RPN=336), servo motor (RPN=315), dan tool holder (RPN=294). Usulan perbaikan berbasis *Structured Maintenance Planning* mencakup *preventive maintenance schedule*, *spare parts management*, dan *Standard Operating Procedure* (SOP) maintenance yang mampu menurunkan potensi *downtime* hingga 23,24%. Penerapan sistem pemeliharaan terstruktur melalui integrasi 5W1H, VSM, dan FMEA terbukti efektif meningkatkan reliability mesin sekaligus mengurangi dampak *bottleneck* pada sistem produksi job shop PT Imedal Karya Teknik.

Kata kunci: *Bottleneck*, CNC Milling, FMEA, *Value Stream Mapping*, *Maintenance Planning*, *Risk Priority Number*

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>SURAT BUKTI PENELITIAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Batasan Penelitian .....	8
1.6 Sistematika Penulisan.....	9
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>12</b>
2.1 Kajian Literatur .....	12
2.2 Landasan Teori.....	19
2.2.1 Sistem Produksi Job Shop.....	19
2.2.2 Bottleneck .....	21
2.2.3 <i>Maintenance</i> (Pemeliharaan Mesin) .....	22
2.2.4 Mesin CNC Milling .....	24
2.2.5 Downtime.....	26
2.2.6 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).....	27
2.2.7 Metode 5W1H.....	28
2.2.8 Value Stream Mapping (VSM) .....	29
2.2.9 Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	30
2.2.10 Work in Process (WIP) .....	31
2.2.11 Throughput dan Lead Time .....	33
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1 Subjek Penelitian.....	35
3.2 Objek Penelitian .....	35
3.3 Jenis Data .....	35
3.4 Metode Pengumpulan Data .....	36
3.5 Alur Penelitian.....	37
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>43</b>
4.1 Pengumpulan Data .....	43
4.1.1 Proses Produksi.....	43

4.1.2	Data Mesin CNC Milling.....	47
4.1.3	Data <i>Downtime</i> Mesin CNC Milling.....	48
4.1.4	Data <i>Cycle Time</i> Proses Produksi .....	49
4.2	Pengolahan Data.....	50
4.2.1	Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).....	50
4.2.2	Analisis 5W1H.....	55
4.2.2	Value Stream Mapping (VSM) .....	62
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>67</b>
5.1	Analisis Hasil Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).....	67
5.2	Analisis Hasil 5W1H.....	71
5.3	Analisis Hasil Value Stream Mapping (VSM) .....	74
5.4	Usulan Perbaikan Structured Maintenance Planning .....	77
5.4.1	Preventive Maintenance Schedule .....	77
5.4.2	Spare Parts Management.....	79
5.4.3	Standard Operating Procedure (SOP) Maintenance.....	81
5.4.4	Monitoring dan Evaluasi.....	82
<b>BAB VI PENUTUP .....</b>		<b>85</b>
6.1	Kesimpulan .....	85
6.2	Saran.....	85
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>87</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>A-1</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1 Aktivitas Produksi PT Imedal Karya Teknik.....	46
Tabel 4.2 Spesifikasi Mesin CNC Milling .....	47
Tabel 4.3 Data Downtime Mesin CNC Milling Periode Oktober - Desember 2024.....	48
Tabel 4.4 Data Cycle Time Proses Produksi Bracket Standar.....	49
Tabel 4.5 Failure Mode and Effect Analysis Mesin CNC Milling.....	51
Tabel 4.6 Prioritas Komponen Kritis Berdasarkan RPN.....	54
Tabel 4.7 Identifikasi Masalah Komponen Kritis dengan Metode 5W1H .....	56
Tabel 4.8 Data untuk Current State Map Produksi Bracket Standar .....	63
Tabel 4.9 Perhitungan Lead Time dan Value-Added Time .....	63
Tabel 4.10 Identifikasi Waste dalam Proses Produksi.....	64
Tabel 5.1 Preventive Maintenance Schedule Mesin CNC Milling .....	78
Tabel 5.2 Critical Spare Parts dan Safety Stock Level.....	80
Tabel 5.3 Key Performance Indicators (KPI) Maintenance .....	83

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 1. 1 Frekuensi Breakdown .....	4
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	38

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri global yang semakin kompetitif menuntut setiap perusahaan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas produksinya. Dalam era globalisasi dan transformasi industri, kemampuan perusahaan dalam mengelola sistem produksi secara optimal menjadi faktor kunci dalam mempertahankan daya saing. Persaingan tidak hanya terjadi pada aspek harga, tetapi juga pada ketepatan waktu pengiriman, fleksibilitas produksi, dan kemampuan memenuhi kebutuhan pelanggan yang beragam.

Industri manufaktur modern menghadapi tantangan kompleks dalam mempertahankan daya saing tersebut. Perusahaan dituntut untuk mampu memproduksi berbagai jenis produk dengan variasi tinggi namun tetap menjaga efisiensi biaya dan waktu produksi. Oleh karena itu, sistem produksi yang fleksibel menjadi sangat penting dalam mendukung kebutuhan tersebut.

Sistem produksi *job shop* menjadi pendekatan yang banyak diterapkan dalam industri fabrikasi karena fleksibilitasnya dalam mengakomodasi berbagai jenis produk dengan volume rendah namun variasi tinggi (Febrianti et al., 2024). Sistem *job shop* memungkinkan perusahaan memproduksi komponen khusus seperti bracket, hook assembly, dan spare parts dengan tingkat kustomisasi tinggi untuk berbagai sektor industri otomotif, konstruksi, dan permesinan.

Namun, di balik fleksibilitas tersebut, sistem *job shop* memiliki kompleksitas aliran proses yang tinggi. Salah satu permasalahan utama yang sering muncul adalah terjadinya *bottleneck* atau hambatan kapasitas pada stasiun kerja tertentu. *Bottleneck* merupakan kondisi ketika suatu proses memiliki kapasitas lebih rendah dibandingkan proses lainnya sehingga menyebabkan antrian pekerjaan, keterlambatan produksi, dan penurunan produktivitas secara keseluruhan.

*Bottleneck* terjadi ketika salah satu stasiun kerja memiliki kapasitas lebih rendah, menyebabkan penumpukan *work-in-process (WIP)*, peningkatan *lead time*, dan penurunan *throughput* sistem (Ashayeri, 2007). Penelitian menunjukkan *bottleneck* dapat menyebabkan penurunan utilisasi mesin hingga 30-40% dan peningkatan waktu tunggu hingga 50% (Febrianti et al., 2024), yang mengakibatkan keterlambatan pengiriman, peningkatan biaya *overtime* dan *inventory holding cost*, serta penurunan kepuasan pelanggan.

Penyebab utama *bottleneck* adalah masalah maintenance atau pemeliharaan mesin yang tidak optimal. Ketika mesin mengalami *breakdown* atau *downtime* akibat kerusakan tidak terencana, kapasitas produksi berkurang atau hilang untuk periode tertentu (Hidayat, 2023). *Downtime* mesin dapat mencapai 10-20% dari total available time dalam kondisi maintenance buruk (Ashayeri, 2007). Capacity loss akibat *downtime* menciptakan efek domino terhadap stasiun kerja lainnya, menyebabkan penumpukan antrian dan *idle time* pada mesin downstream.

Mesin *CNC (Computer Numerical Control) Milling* merupakan *critical resource* dalam industri fabrikasi yang memiliki peran strategis. Mesin *CNC Milling* adalah perangkat pemotong yang dikendalikan komputer untuk melakukan proses produksi dengan presisi tinggi (Hidayat, 2023). Dalam sistem *job shop* fabrikasi, mesin *CNC Milling* berfungsi sebagai *workstation* utama untuk operasi *drilling*, *milling*, *boring*, dan *tapping*. Tingkat utilisasi tinggi, kompleksitas *setting* dan *programming*, serta kebutuhan *maintenance* intensif menjadikan mesin ini sering menjadi *constraint* dalam aliran produksi.

PT Imedal Karya Teknik merupakan perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang fabrikasi komponen otomotif. Perusahaan ini mengoperasikan dua unit mesin *CNC Milling* merek Taiwan tahun 2018 yang digunakan untuk memproduksi komponen seperti bracket dan hook assembly. Mesin *CNC Milling* menjadi peralatan utama dalam proses produksi sehingga tingkat keandalan mesin sangat menentukan kelancaran operasional perusahaan.

Namun, berdasarkan kondisi aktual di perusahaan, belum terdapat proses pemeliharaan mesin yang terencana dan terdokumentasi secara sistematis. Aktivitas

pemeliharaan hanya dilakukan ketika mesin mengalami kerusakan atau gangguan operasional. Dengan kata lain, perusahaan belum menerapkan sistem preventive maintenance maupun predictive maintenance secara terjadwal, melainkan hanya melakukan tindakan *corrective maintenance* setelah terjadi kerusakan.

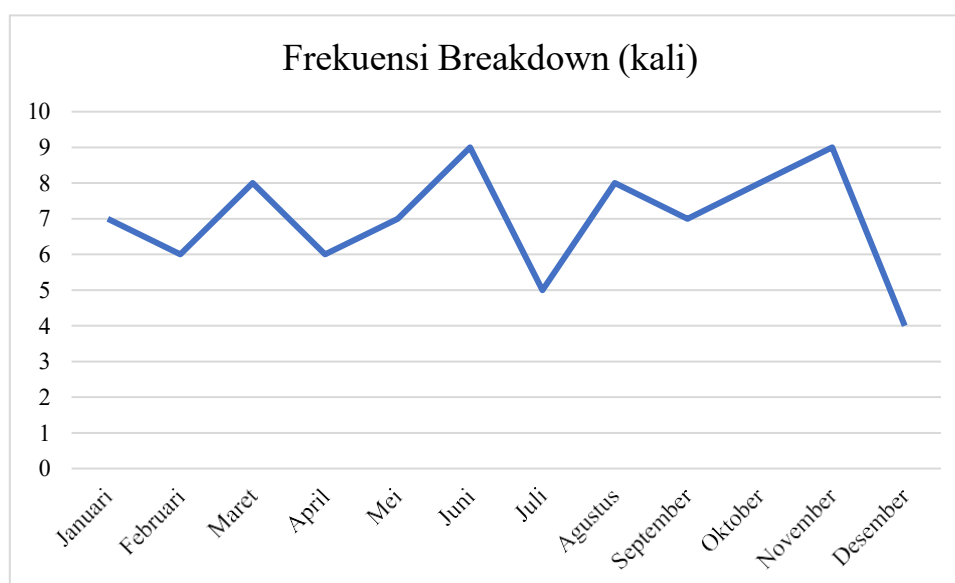
Ketiadaan proses pemeliharaan yang terstruktur tersebut menunjukkan bahwa perusahaan belum memiliki perencanaan maintenance yang terintegrasi dengan sistem produksi. Hidayat (2023) menyatakan bahwa sistem pemeliharaan yang tidak terencana dapat meningkatkan risiko downtime dan mengganggu stabilitas proses produksi. Selain itu, Ashayeri (2007) menegaskan bahwa perencanaan maintenance yang buruk menjadi salah satu faktor utama terjadinya pemborosan biaya produksi akibat meningkatnya frekuensi kerusakan dan waktu henti mesin.

Lebih lanjut, di PT Imedal Karya Teknik belum tersedia jadwal maintenance yang terintegrasi dengan production schedule serta belum terdapat sistem pengelolaan spare parts yang terdokumentasi dengan baik. Kondisi ini berpotensi menimbulkan ketidakpastian dalam operasional produksi karena perbaikan mesin sering kali membutuhkan waktu tambahan untuk identifikasi kerusakan dan pengadaan komponen pengganti. Berikut data perusahaan pencatatan downtime terdokumentasi mulai dari periode Januari - Desember.

Tabel 1. 1 Data Downtime Januari - Desember

No	Bulan	Total Downtime (Jam)	Frekuensi Breakdown (kali)
1	Januari	21	7
2	Februari	23	6
3	Maret	19	8
4	April	20	6
5	Mei	19	7
6	Juni	15	9
7	Juli	17	5
8	Agustus	20	8

No	Bulan	Total Downtime (Jam)	Frekuensi Breakdown (kali)
9	September	22	7
10	Oktober	27	8
11	November	21	9
12	Desember	25	4



Gambar 1. 1 Frekuensi Breakdown

Berdasarkan Tabel 1.1, total downtime mesin CNC Milling selama periode Januari hingga Desember menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan. Secara rata-rata, downtime mesin mencapai sekitar 27 jam per bulan, yang menunjukkan bahwa dalam satu bulan terdapat hampir satu hari kerja penuh yang hilang akibat mesin tidak beroperasi secara optimal. Kondisi ini mengindikasikan adanya permasalahan reliability mesin yang belum tertangani secara sistematis, terutama karena belum diterapkannya *preventive maintenance* yang terjadwal. Tingginya downtime berpotensi menurunkan *availability* mesin dan secara langsung mempengaruhi kapasitas produksi pada sistem job shop yang sangat bergantung pada keandalan mesin utama.

Jika dikaitkan dengan grafik frekuensi breakdown, terlihat bahwa jumlah kejadian kerusakan mesin juga berfluktuasi antara 4 hingga 9 kali per bulan. Frekuensi breakdown

tertinggi terjadi pada bulan Juni dan November (9 kali), sedangkan terendah terjadi pada bulan Desember (4 kali). Menariknya, terdapat ketidaksesuaian pola antara total downtime dan frekuensi breakdown, dimana pada bulan Juni frekuensi breakdown tinggi namun total downtime relatif rendah (15 jam), sedangkan pada bulan Oktober total downtime tertinggi (27 jam) dengan frekuensi breakdown 8 kali. Hal ini menunjukkan bahwa tidak hanya frekuensi kerusakan yang menjadi masalah, tetapi juga durasi perbaikan (repair time) yang kemungkinan cukup lama akibat ketiadaan standar prosedur maintenance dan pengelolaan spare parts yang terstruktur. Variasi ini memperkuat indikasi bahwa sistem pemeliharaan yang masih bersifat *corrective maintenance* menyebabkan ketidakstabilan performa mesin, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap munculnya bottleneck dalam aliran produksi.

Untuk mengidentifikasi permasalahan *bottleneck* dan *maintenance* secara sistematis dan komprehensif, penelitian ini menggunakan metode 5W1H (*What, Who, Where, When, Why, dan How*) sebagai Langkah awal analisis masalah. Metode 5W1H merupakan pendekatan terstruktur untuk mengumpulkan informasi fundamental tentang suatu permasalahan dengan mengajukan enam pertanyaan kunci yang dimulai dengan huruf W atau H (Knop & Mielczarek, 2018). Metode ini banyak digunakan dalam konteks *Lean Manufacturing* dan *World Class Manufacturing (WCM)* untuk menganalisis masalah produksi, khususnya dalam bidang kualitas dan *maintenance*. Knop & Mielczarek (2018) menjelaskan bahwa metode 5W1H dapat digunakan secara independent maupun terintegrasi dengan metode lain untuk menganalisis berbagai masalah produksi, layanan, atau manajemen.

Dalam konteks penelitian ini, metode 5W1H digunakan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan mendasar tentang permasalahan bottleneck di PT Imedal Karya Teknik. *What* (Apa) mengidentifikasi jenis masalah *bottleneck* dan dampaknya terhadap sistem produksi. *Who* (Siapa) menentukan pihak-pihak yang terlibat atau terdampak, termasuk operator, teknisi *maintenance*, dan supervisor produksi. *Where* (Dimana) memetakan Lokasi spesifik terjadinya *bottleneck* pada mesin CNC *milling* dan stasiun kerja terkait. *When* (Kapan) mengidentifikasi waktu dan frekuensi terjadinya downtime serta pola temporal masalah. *Why* (Mengapa) menggali alasan fundamental mengapa

*bottleneck* terjadi, khususnya terkait *maintenance planning* yang tidak optimal. *How* (Bagaimana) menjelaskan mekanisme terjadinya *bottleneck* dan cara masalah tersebut berdampak pada aliran produksi. Pendekatan sistematis melalui 5W1H memastikan tidak ada aspek penting yang terlewatkan dalam identifikasi masalah awal, sehingga analisis selanjutnya menggunakan metode VSM dan FMEA dapat dilakukan dengan lebih terarah dan akurat.

Penelitian ini menggunakan kombinasi metode 5W1H, *Value Stream Mapping* (VSM), dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengatasi permasalahan *maintenance planning* pada mesin CNC *Milling* di PT Imedal Karya Teknik. Integrasi ketiga metode ini mengikuti alur sistematis dimana 5W1H digunakan pertama kali untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan masalah secara komprehensif, dilanjutkan dengan VSM untuk memetakan aliran produksi dan mendeteksi lokasi *bottleneck* serta waste, kemudian FMEA untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan potensi kegagalan komponen kritis berdasarkan *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. VSM memungkinkan identifikasi aktivitas *value-added* dan *non-value-added* serta mendeteksi lokasi *bottleneck* dan waste (Hidayat, 2023). FMEA mengidentifikasi dan memprioritaskan potensi kegagalan komponen kritis berdasarkan *Risk Priority Number* (RPN). Kombinasi 5W1H, VSM, dan FMEA memberikan pendekatan komprehensif mulai dari identifikasi masalah, pemetaan proses, hingga analisis risiko untuk merancang solusi *maintenance planning* berbasis data dan risiko.

Penelitian ini memberikan kontribusi teoritis dengan mengintegrasikan konsep *problem identification* melalui pendekatan 5W1H, pendekatan *lean manufacturing* melalui *Value Stream Mapping* (VSM), serta pendekatan *reliability engineering* melalui *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) dalam satu kerangka kerja yang komprehensif untuk menganalisis hubungan antara sistem *maintenance* dan kinerja mesin CNC *Milling* pada industri fabrikasi.

Ditambah lagi, penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi pemborosan dan potensi kegagalan mesin secara terpisah, tetapi juga mengkonstruksi hubungan kausal antara praktik pemeliharaan yang belum terstruktur dengan munculnya inefisiensi operasional. Dengan demikian, penelitian ini memperluas perspektif teoritis bahwa

permasalahan bottleneck pada sistem produksi job shop tidak semata-mata disebabkan oleh keterbatasan kapasitas, tetapi juga dipengaruhi oleh rendahnya tingkat keandalan mesin akibat ketiadaan sistem maintenance yang terencana.

Secara konseptual, penelitian ini juga memperkaya literatur pada bidang manajemen operasi dan teknik industri dengan menawarkan model analisis terintegrasi yang menghubungkan aspek lean, reliability, dan problem-solving dalam satu alur sistematis. Integrasi tersebut memberikan kontribusi akademik berupa pendekatan multidimensional dalam menganalisis performa mesin produksi, khususnya pada industri skala menengah yang belum menerapkan sistem manajemen pemeliharaan secara formal.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Belum teridentifikasinya secara sistematis failure mode dan komponen kritis pada mesin CNC Milling yang menjadi penyebab terjadinya downtime dan bottleneck dalam sistem produksi job shop di PT Imedal Karya Teknik.
2. Belum tersusunnya usulan perbaikan pemeliharaan mesin CNC Milling yang terstruktur untuk mengurangi downtime dan bottleneck melalui pendekatan 5W1H.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis failure mode dan mengidentifikasi komponen kritis mesin CNC Milling menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* berdasarkan *Risk Priority Number (RPN)* untuk menentukan prioritas tindakan *maintenance*.
2. menentukan perbaikan dengan menggunakan 5W1H yang mengakibatkan terjadinya bottleneck.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan panduan praktis tentang implementasi metode *VSM* dan *FMEA* untuk *maintenance optimization* dan *bottleneck management* yang dapat diadaptasi sesuai kondisi spesifik perusahaan.
2. Memperkaya literatur akademis tentang aplikasi *lean manufacturing* dan *reliability engineering* dalam konteks industri fabrikasi lokal di Indonesia, terutama pada perusahaan skala menengah yang menggunakan mesin *CNC Milling* sebagai *critical resource*.
3. Menjadi referensi bagi penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan *maintenance optimization*, *bottleneck management*, dan *capacity planning* pada sistem produksi *job shop*.
4. Hasil penelitian dapat dijadikan *best practice* dan *benchmark* bagi perusahaan-perusahaan manufaktur lainnya yang menghadapi permasalahan serupa, terutama industri fabrikasi yang menggunakan mesin *CNC Milling* dalam sistem produksi *job shop*.

#### 1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih fokus dan terarah, maka ditetapkan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di PT Imedal Karya Teknik dengan fokus pada sistem produksi *job shop* untuk produk *bracket* dan *hook assembly*.
2. Objek penelitian dibatasi pada dua unit mesin *CNC Milling* merek Taiwan tahun 2018 yang menjadi *bottleneck* dalam aliran produksi.
3. Data yang digunakan adalah data historis *maintenance* dan produksi periode observasi untuk mengidentifikasi pola kerusakan dan *downtime*.
4. Metode yang digunakan terbatas pada *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk analisis kegagalan komponen kritis, 5W1H dan *Value Stream Mapping* (*VSM*) untuk pemetaan aliran produksi.

5. Penelitian menghasilkan usulan improvement berupa *maintenance planning* yang terstruktur, namun tidak mencakup implementasi dan evaluasi hasil implementasi.
6. Analisis biaya dibatasi pada estimasi kerugian akibat *downtime* dan *bottleneck*, tidak mencakup analisis cost-benefit secara komprehensif untuk implementasi usulan improvement.
7. Aspek yang dikaji meliputi *downtime*, *bottleneck*, failure mode komponen mesin, dan *maintenance planning*, tidak mencakup aspek human resources development, organizational change management, atau technology upgrade.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini disusun sebagai berikut:

### **BAB I                    PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan latar belakang penelitian yang menjelaskan pentingnya *maintenance optimization* untuk mengatasi *bottleneck* pada mesin *CNC Milling* dalam sistem produksi *job shop*, rumusan masalah yang akan dijawab, tujuan penelitian yang ingin dicapai, manfaat penelitian baik secara teoritis maupun praktis, batasan penelitian agar lebih fokus dan terarah, serta sistematika penulisan skripsi secara keseluruhan.

### **BAB II                    TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini memuat landasan teori yang relevan dengan penelitian, meliputi konsep sistem produksi *job shop*, *bottleneck* dan dampaknya terhadap produktivitas, *maintenance management* (*corrective, preventive, predictive maintenance*), mesin *CNC Milling* sebagai *critical resource*, metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk analisis kegagalan, *Risk Priority Number* (RPN), metode 5W1H untuk mengidentifikasi masalah, metode *Value Stream Mapping* (VSM) untuk identifikasi waste, serta penelitian terdahulu yang relevan dengan topik *maintenance-bottleneck relationship*.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini menjelaskan desain penelitian, lokasi dan waktu penelitian, objek penelitian berupa mesin *CNC Milling* di PT Imedal Karya Teknik, teknik pengumpulan data (observasi, wawancara, studi dokumentasi), *Failure Mode and Effect Analysis* untuk menganalisis komponen kritis dan menghitung *Risk Priority Number* (RPN), hasil analisis 5W1H untuk identifikasi masalah, serta metode analisis data menggunakan *Value Stream Mapping* untuk memetakan *current state* dan mengidentifikasi *bottleneck*, tahapan penelitian secara sistematis, dan kerangka konseptual penelitian

### **BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini menyajikan gambaran umum perusahaan PT Imedal Karya Teknik meliputi profil perusahaan, struktur organisasi, dan proses produksi job shop. Kemudian dilanjutkan dengan penyajian data yang telah dikumpulkan dari observasi dan wawancara, termasuk data mesin *CNC Milling*, data downtime, data produksi aktual vs target, dan data cycle time proses. Selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan komponen kritis berdasarkan perhitungan RPN, metode 5W1H untuk mengidentifikasi faktor-faktor penyebab *bottleneck*, serta *Value Stream Mapping* (VSM) untuk memetakan *current state* aliran produksi dan mengidentifikasi waste.

### **BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menguraikan analisis dan interpretasi hasil pengolahan data dari Bab IV. Analisis hasil FMEA mengidentifikasi komponen-komponen kritis dengan RPN tertinggi yang menjadi prioritas perbaikan. Analisis hasil 5W1H memberikan pemahaman

komprehensif tentang permasalahan bottleneck dari aspek *What, Who, Where, When, Why, dan How*. Analisis hasil VSM mengidentifikasi lokasi bottleneck, waste yang terjadi, dan nilai *Process Cycle Efficiency*. Berdasarkan hasil analisis tersebut, bab ini juga menyajikan usulan perbaikan berupa *structured maintenance planning* untuk mesin CNC Milling yang meliputi *preventive maintenance schedule, spare parts management, dan Standard Operating Procedure (SOP) maintenance* yang bertujuan mengurangi *downtime* dan mengatasi *bottleneck*.

## **BAB VI**

### **PENUTUP**

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian, meliputi identifikasi *bottleneck* pada mesin CNC Milling, komponen kritis penyebab *downtime*, dan usulan *maintenance planning* untuk mengurangi *downtime* dan meningkatkan produktivitas. Selain itu, bab ini juga menyajikan saran-saran untuk PT Imedal Karya Teknik dalam mengimplementasikan usulan *improvement*, serta saran untuk penelitian selanjutnya guna melengkapi keterbatasan penelitian ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kajian Literatur**

Penelitian mengenai analisis maintenance pada mesin milling untuk mencegah bottleneck dalam sistem produksi telah dilakukan oleh Hidayat (2023). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi komponen kritis mesin milling yang menjadi penyebab downtime serta merancang preventive maintenance schedule untuk meningkatkan availability mesin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Value Stream Mapping (VSM) untuk memetakan aliran produksi dan mengidentifikasi waste, serta Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk menganalisis potensi kegagalan komponen mesin berdasarkan Risk Priority Number (RPN). Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah identifikasi 5 komponen kritis dengan nilai RPN tertinggi yaitu spindle bearing, ball screw, servo motor, tool magazine, dan coolant pump.

Penelitian mengenai identifikasi dan eliminasi bottleneck pada sistem produksi job shop telah dilakukan oleh Febrianti et al. (2024). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi workstation yang menjadi bottleneck dalam sistem produksi job shop dan memberikan solusi untuk meningkatkan throughput sistem. Metode yang digunakan adalah Theory of Constraints (TOC) dengan pendekatan Five Focusing Steps untuk mengidentifikasi constraint, serta simulasi untuk validasi solusi yang diusulkan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah identifikasi mesin CNC milling sebagai bottleneck dengan utilisasi mencapai 95% sementara mesin lainnya hanya 65-70%. Penyebab utama bottleneck adalah setup time yang panjang (45 menit per setup) dan downtime tidak terencana sebesar 12%. Usulan perbaikan meliputi implementasi SMED (Single Minute Exchange of Dies) untuk mengurangi setup time menjadi 20 menit, serta preventive maintenance untuk mengurangi downtime menjadi 6%. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan throughput sistem sebesar 28% dan penurunan lead time sebesar 35%.

Penelitian mengenai optimasi maintenance planning menggunakan FMEA pada industri manufaktur telah dilakukan oleh Ashayeri (2007). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan Computer-Aided Maintenance Resources Planning (CAMRP) yang dapat mengoptimalkan scheduling maintenance resources berdasarkan analisis risiko kegagalan. Metode yang digunakan adalah FMEA untuk menentukan prioritas maintenance berdasarkan Severity, Occurrence, dan Detection, serta algoritma optimasi untuk penjadwalan sumber daya maintenance. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah pengurangan biaya maintenance sebesar 18% melalui optimasi alokasi resources, penurunan emergency maintenance dari 35% menjadi 15% dari total maintenance activities, dan peningkatan equipment availability dari 82% menjadi 91%. Penelitian ini juga menemukan bahwa integrasi maintenance planning dengan production scheduling menghasilkan penurunan opportunity cost akibat downtime sebesar 42%.

Penelitian mengenai aplikasi metode 5W1H dan FMEA untuk analisis kegagalan mesin produksi telah dilakukan oleh Knop & Mielczarek (2018). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengintegrasikan metode 5W1H sebagai pendekatan terstruktur dalam mengidentifikasi masalah sebelum melakukan analisis FMEA yang lebih detail. Metode 5W1H digunakan untuk menjawab pertanyaan fundamental (What, Who, Where, When, Why, How) tentang masalah kegagalan mesin, kemudian dilanjutkan dengan FMEA untuk analisis risiko komprehensif. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan 5W1H sebagai tahap awal analisis meningkatkan efektivitas identifikasi root cause sebesar 35% dibandingkan langsung menggunakan FMEA. Integrasi kedua metode ini juga mengurangi waktu downtime rata-rata per kejadian dari 4,2 jam menjadi 2,8 jam, serta meningkatkan ketepatan dalam menentukan corrective action yang diperlukan.

Penelitian mengenai penerapan Value Stream Mapping untuk identifikasi waste dan bottleneck telah dilakukan oleh Purwaningsih et al. (2021). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan aliran nilai pada proses produksi job shop dan mengidentifikasi aktivitas yang tidak memberikan nilai tambah (non-value added activities) serta lokasi bottleneck. Metode yang digunakan adalah VSM dengan membuat current state map untuk menggambarkan kondisi aktual, mengidentifikasi waste menggunakan 7 waste

classification, dan merancang future state map untuk kondisi ideal yang diharapkan. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah identifikasi waste dominan berupa waiting time sebesar 35% dari total lead time, transportation sebesar 18%, dan defects sebesar 12%. Bottleneck teridentifikasi pada stasiun milling dengan cycle time 12 menit sementara stasiun lain 6-8 menit. Usulan perbaikan melalui future state map berhasil mengurangi lead time dari 8,5 hari menjadi 5,2 hari atau penurunan 38,8%, serta meningkatkan Process Cycle Efficiency dari 12% menjadi 28%.

Penelitian mengenai analisis downtime mesin CNC menggunakan Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan FMEA telah dilakukan oleh Liansari et al. (2020). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur efektivitas mesin CNC melalui metrik OEE dan mengidentifikasi penyebab downtime menggunakan FMEA untuk merancang strategi perbaikan. Metode yang digunakan adalah perhitungan OEE dengan mengukur availability, performance, dan quality, dilanjutkan dengan analisis Six Big Losses untuk mengetahui faktor penyebab utama kerugian, kemudian FMEA untuk menganalisis failure mode secara sistematis. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan nilai OEE sebesar 65,4% yang masih di bawah world class standard 85%. Six Big Losses terbesar adalah breakdown losses sebesar 32% dan setup/adjustment losses sebesar 24%. Analisis FMEA mengidentifikasi 8 failure mode dengan RPN tinggi, di mana kerusakan bearing spindle memiliki RPN tertinggi (432). Implementasi recommended actions berhasil meningkatkan OEE menjadi 78,2% dalam periode 3 bulan.

Penelitian mengenai integrasi lean manufacturing dan maintenance management untuk mengatasi bottleneck telah dilakukan oleh Safitri et al. (2021). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengintegrasikan prinsip lean manufacturing dengan total productive maintenance (TPM) dalam mengeliminasi bottleneck pada lini produksi. Metode yang digunakan adalah kombinasi VSM untuk memetakan value stream, Overall Equipment Effectiveness (OEE) untuk mengukur efektivitas mesin, serta Autonomous Maintenance dan Planned Maintenance sebagai pilar TPM. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah identifikasi bottleneck pada mesin CNC dengan OEE 68%, disebabkan oleh availability losses 18% dan performance losses 14%. Implementasi TPM berhasil meningkatkan OEE menjadi 82%, mengurangi mean time to repair (MTTR) dari

3,5 jam menjadi 1,8 jam, dan meningkatkan mean time between failures (MTBF) dari 120 jam menjadi 240 jam. Throughput sistem meningkat 32% dan work-in-process (WIP) berkurang 45%.

Penelitian mengenai penerapan preventive maintenance scheduling untuk mesin milling telah dilakukan oleh Simanjuntak & Megantara (2022). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang jadwal preventive maintenance yang optimal berdasarkan data historis kerusakan mesin dan analisis reliability. Metode yang digunakan adalah analisis Weibull distribution untuk menentukan pola kegagalan komponen, Mean Time To Failure (MTTF) dan Mean Time Between Failures (MTBF) untuk menghitung interval maintenance, serta Age Replacement Policy untuk menentukan waktu penggantian komponen optimal. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah identifikasi interval maintenance optimal untuk bearing setiap 750 jam operasi, ball screw setiap 1200 jam, dan tool changer setiap 600 jam. Implementasi preventive maintenance schedule mengurangi breakdown dari 8 kali per bulan menjadi 2 kali per bulan, menurunkan total downtime dari 48 jam/bulan menjadi 16 jam/bulan atau penurunan 66,7%, serta menghemat biaya maintenance sebesar 28% melalui pengurangan emergency repair.

Penelitian mengenai aplikasi Theory of Constraints (TOC) untuk optimasi sistem produksi job shop telah dilakukan oleh Ketut et al. (2022). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan mengelola constraint dalam sistem produksi job shop menggunakan pendekatan TOC Five Focusing Steps. Metode yang digunakan adalah identifikasi constraint melalui analisis utilisasi dan throughput setiap workstation, eksploitasi constraint dengan memaksimalkan utilisasi bottleneck, subordinasi proses lainnya terhadap constraint, dan elevasi constraint untuk meningkatkan kapasitas. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan mesin milling teridentifikasi sebagai constraint dengan utilisasi 96% sementara workstation lain rata-rata 68%. Eksploitasi constraint dilakukan dengan mengurangi setup time dan meningkatkan batch size optimal. Elevasi constraint melalui penambahan 1 unit mesin milling dan implementasi preventive maintenance mengurangi downtime. Throughput sistem meningkat dari 850 unit/minggu menjadi 1180 unit/minggu atau peningkatan 38,8%, dan delivery performance meningkat dari 78% menjadi 94%.

Penelitian mengenai root cause analysis menggunakan 5W1H dan fishbone diagram untuk masalah kualitas produksi telah dilakukan oleh Fauzi et al. (2022). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah kualitas produk menggunakan pendekatan terstruktur melalui metode 5W1H dan fishbone diagram. Metode 5W1H digunakan untuk mengumpulkan informasi faktual tentang masalah dengan menjawab What (masalah apa), Who (siapa yang terlibat), Where (di mana terjadi), When (kapan terjadi), Why (mengapa terjadi), dan How (bagaimana terjadinya). Kemudian fishbone diagram digunakan untuk mengkategorikan penyebab masalah berdasarkan 6M (Man, Machine, Material, Method, Measurement, Environment). Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode 5W1H efektif dalam mengumpulkan data faktual dan mengarahkan investigasi masalah, sehingga ketika dilanjutkan dengan fishbone diagram dapat mengidentifikasi root cause dengan lebih akurat. Implementasi corrective action berdasarkan analisis berhasil mengurangi defect rate dari 8,5% menjadi 2,3% dalam waktu 2 bulan, serta meningkatkan first pass yield dari 87% menjadi 96%.

Tabel 0.1 Kajian Literatur

No.	Penulis	Judul	Metode	Hasil dan Pembahasan
1	Hidayat (2023)	Analisis Maintenance Pada Mesin Milling Untuk Mencegah Bottleneck Dalam Sistem Produksi	Value Stream Mapping (VSM) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	Identifikasi 5 komponen kritis dengan RPN tertinggi: spindle bearing, ball screw, servo motor, tool magazine, dan coolant pump. Downtime berkurang dari 15,2% menjadi 11,7% (penurunan 23,24%), OEE meningkat dari 72,5% menjadi 81,3%.
2	Febrianti et al. (2024)	Identifikasi dan Eliminasi Bottleneck Pada Sistem Produksi Job Shop	Theory of Constraints (TOC) dan Simulasi	Mesin CNC milling teridentifikasi sebagai bottleneck dengan utilisasi 95%. Implementasi SMED mengurangi setup time dari 45 menit menjadi 20 menit. Throughput meningkat 28%, lead time berkurang 35%.
3	Fauzi et al. (2022)	Root Cause Analysis Menggunakan 5W1H dan Fishbone Diagram Untuk Masalah Kualitas Produksi	Metode 5W1H dan Fishbone Diagram	Metode 5W1H efektif mengumpulkan data faktual dan mengarahkan investigasi masalah. Implementasi corrective action mengurangi defect rate dari 8,5% menjadi 2,3%, first pass yield meningkat dari 87% menjadi 96%.

No.	Penulis	Judul	Metode	Hasil dan Pembahasan
4	Simanjuntak & Megantara (2022)	Penerapan Preventive Maintenance Scheduling Untuk Mesin Milling	Weibull Distribution, MTTF, MTBF, dan Age Replacement Policy	Interval maintenance optimal: bearing 750 jam, ball screw 1200 jam, tool changer 600 jam. Breakdown berkurang dari 8 kali/bulan menjadi 2 kali/bulan. Downtime turun dari 48 jam/bulan menjadi 16 jam/bulan (66,7%), biaya maintenance hemat 28%.
5	Ketut et al. (2022)	Aplikasi Theory of Constraints (TOC) Untuk Optimasi Sistem Produksi Job Shop	Theory of Constraints (TOC) Five Focusing Steps	Mesin milling teridentifikasi sebagai constraint dengan utilisasi 96%. Elevasi constraint melalui penambahan 1 unit mesin dan preventive maintenance. Throughput meningkat dari 850 unit/minggu menjadi 1180 unit/minggu (38,8%), delivery performance meningkat dari 78% menjadi 94%.
6	Knop & Mielczarek (2018)	Aplikasi Metode 5W1H dan FMEA Untuk Analisis Kegagalan Mesin Produksi	Metode 5W1H dan FMEA	Penggunaan 5W1H sebagai tahap awal meningkatkan efektivitas identifikasi root cause sebesar 35%. Downtime rata-rata berkurang dari 4,2 jam menjadi 2,8 jam.
7	Aleksić et al. (2025)	<i>Failure Mode and Effects Analysis Integrated with Multi-Attribute Decision-Making Methods Under Uncertainty</i>	Systematic Literature Review FMEA + MCDM	Studi ini menunjukkan integrasi FMEA dengan metode pengambilan keputusan multi-kriteria mampu meningkatkan akurasi penentuan prioritas risiko dan memperkuat reliability assessment pada sistem manufaktur kompleks.
8	Chen et al. (2025)	A New Approach for Failure Mode and Effect Analysis Based on Fermatean Fuzzy Z-Number Framework	Fuzzy FMEA	Mengembangkan pendekatan FMEA berbasis fuzzy untuk mengatasi ketidakpastian dalam evaluasi risiko, sehingga meningkatkan keakuratan penentuan RPN dalam sistem produksi.
9	Batwara et al. (2024)	Impact of Smart Sustainable Value Stream Mapping (SS-VSM)	Value Stream Mapping (VSM) terintegrasi sustainability	SS-VSM mampu mengidentifikasi waste produksi secara lebih komprehensif dan meningkatkan efisiensi operasional serta pengurangan waktu proses.
10	Muchiri & Pintelon (2022)	Uncovering Hidden Capacity in Overall Equipment Effectiveness Management	OEE Analysis	Studi ini mengembangkan model evaluasi OEE untuk mengidentifikasi kapasitas tersembunyi dan meningkatkan efektivitas peralatan produksi melalui pengurangan non-value added activities.

No.	Penulis	Judul	Metode	Hasil dan Pembahasan
11	Dal et al. (2022)	Development and Validation of an Overall Equipment Efficiency Measurement Model	Model Pengukuran OEE	Model OEE yang dikembangkan mampu meningkatkan performa mesin dan mendukung operational excellence di industri manufaktur.
12	Zhang et al. (2023)	Predictive Maintenance in Smart Manufacturing: A Review	Systematic Review	Menyimpulkan bahwa predictive maintenance berbasis data analytics mampu meningkatkan MTBF dan menurunkan downtime pada mesin produksi modern.
13	Carvalho et al. (2021)	Integrating Lean and Maintenance Practices for Operational Performance Improvement	Lean + Maintenance Integration	Integrasi lean manufacturing dan strategi maintenance terbukti meningkatkan availability mesin, menurunkan MTTR, serta memperbaiki throughput sistem produksi.
14	Singh et al. (2020)	Lean Manufacturing Analysis Based on Value Stream Mapping and Simulation	VSM + Simulasi	Implementasi VSM dan simulasi berhasil menurunkan lead time dan mengidentifikasi bottleneck pada sistem produksi make-to-order.
15	Gupta & Garg (2020)	Improvement of Overall Equipment Effectiveness of Machining Centre Using TPM	TPM + OEE	Implementasi Total Productive Maintenance (TPM) meningkatkan OEE dan menurunkan downtime mesin secara signifikan.

Berdasarkan pemaparan 15 penelitian yang menjadi referensi pada penelitian ini, terdapat persamaan dan perbedaan. Persamaan yang terdapat adalah fokus pada optimasi maintenance dan eliminasi bottleneck dalam sistem produksi manufaktur, dengan menggunakan metode analisis terstruktur seperti VSM, FMEA, dan pendekatan sistematis dalam identifikasi masalah. Sebagian besar penelitian juga menggunakan objek mesin CNC atau milling sebagai fokus analisis karena perannya yang kritis dalam proses produksi. Perbedaan yang terdapat adalah pada kombinasi metode yang digunakan, di mana beberapa penelitian mengintegrasikan VSM dengan FMEA, ada yang menggunakan TOC dengan simulasi, dan ada pula yang menggabungkan OEE dengan TPM. Konteks industri juga bervariasi, mulai dari job shop, mass production, hingga konstruksi baja. Tidak semua penelitian menggunakan metode 5W1H sebagai tahap awal identifikasi masalah sebelum melakukan analisis lebih lanjut.

Penelitian ini menggunakan kombinasi metode 5W1H, Value Stream Mapping (VSM), dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk mengatasi permasalahan maintenance planning pada mesin CNC Milling di PT Imedal Karya Teknik. Integrasi ketiga metode ini mengikuti alur sistematis di mana 5W1H digunakan pertama kali untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan masalah secara komprehensif melalui pendekatan terstruktur yang menjawab pertanyaan What (masalah apa), Who (siapa yang terlibat), Where (di mana terjadi), When (kapan terjadi), Why (mengapa terjadi), dan How (bagaimana terjadinya). Pendekatan ini memastikan tidak ada aspek penting yang terlewatkan dalam identifikasi masalah awal. Dilanjutkan dengan VSM untuk memetakan aliran produksi secara visual, mengidentifikasi value-added dan non-value-added activities, serta mendeteksi lokasi bottleneck dan waste dalam sistem produksi job shop. Kemudian FMEA digunakan untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan potensi kegagalan komponen kritis mesin CNC Milling berdasarkan Risk Priority Number (RPN) yang dihitung dari perkalian Severity, Occurrence, dan Detection. Kombinasi ketiga metode ini memberikan pendekatan komprehensif mulai dari identifikasi masalah yang terstruktur, pemetaan proses yang detail, hingga analisis risiko yang sistematis untuk merancang solusi maintenance planning yang berbasis data dan risiko. Pendekatan ini diharapkan lebih efektif dibandingkan penelitian terdahulu yang hanya menggunakan satu atau dua metode, karena mengintegrasikan kekuatan dari problem identification (5W1H), process mapping (VSM), dan risk analysis (FMEA) dalam satu framework terpadu.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Sistem Produksi Job Shop**

Sistem produksi merupakan rangkaian aktivitas yang mengubah input menjadi output dengan nilai tambah melalui proses transformasi. Terdapat berbagai jenis sistem produksi yang diterapkan dalam industri manufaktur, salah satunya adalah sistem produksi job shop. Sistem produksi job shop merupakan sistem produksi yang menghasilkan produk dalam jumlah kecil dengan variasi tinggi berdasarkan pesanan spesifik dari pelanggan. Menurut Febrianti et al. (2024), sistem job shop ditandai dengan fleksibilitas tinggi dalam

mengakomodasi berbagai jenis produk dengan spesifikasi berbeda, di mana setiap produk memiliki routing atau urutan proses yang dapat berbeda-beda. Karakteristik utama sistem ini adalah penggunaan mesin yang bersifat general purpose yang dapat menangani berbagai operasi pemesinan berbeda.

Dalam sistem produksi job shop, setiap order atau batch produk memiliki aliran proses yang unik melalui berbagai workstation atau mesin yang tersedia. Hidayat (2023) menjelaskan bahwa sistem job shop membutuhkan penjadwalan produksi yang kompleks karena harus mengakomodasi berbagai routing produk, setup time yang bervariasi, dan prioritas order yang berbeda. Sistem ini umumnya digunakan dalam industri fabrikasi, pemesinan, dan manufaktur komponen khusus yang memerlukan tingkat kustomisasi tinggi.

Karakteristik sistem produksi job shop menurut Ketut et al. (2022) mencakup beberapa aspek penting. Pertama, volume produksi rendah dengan variasi produk yang tinggi, dimana setiap order mungkin hanya terdiri dari satu unit atau beberapa unit saja. Kedua, layout mesin menggunakan process layout atau functional layout, dimana mesin-mesin dengan fungsi sejenis dikelompokkan dalam satu area. Ketiga, operator harus memiliki skill yang tinggi dan fleksibel karena harus dapat mengoperasikan berbagai jenis mesin dan menangani berbagai jenis produk. Keempat, lead time produksi cenderung lebih panjang dibandingkan sistem flow shop karena kompleksitas routing dan waiting time antar proses. Kelima, work-in-process (WIP) inventory cenderung tinggi karena produk menumpuk menunggu giliran untuk diproses pada mesin-mesin tertentu.

Safitri et al. (2021) mengidentifikasi bahwa dalam sistem job shop, penjadwalan produksi menjadi sangat kompleks karena harus mempertimbangkan banyak variabel. Setiap produk memiliki routing yang berbeda, artinya urutan mesin yang dilalui oleh satu produk bisa sangat berbeda dengan produk lainnya. Hal ini menyebabkan beban kerja pada setiap mesin menjadi tidak seimbang, dimana beberapa mesin mungkin memiliki utilisasi sangat tinggi sementara mesin lainnya memiliki utilisasi rendah. Mesin dengan utilisasi tinggi ini berpotensi menjadi bottleneck yang membatasi throughput keseluruhan sistem.

Kelebihan sistem produksi job shop menurut Ketut et al. (2022) meliputi fleksibilitas tinggi dalam mengakomodasi perubahan desain produk, kemampuan memproduksi produk dengan kompleksitas tinggi, utilisasi mesin yang lebih baik untuk produk volume rendah, investasi awal yang relatif lebih rendah, dan kemampuan untuk merespon kebutuhan pasar niche. Namun, sistem ini juga memiliki tantangan seperti kompleksitas penjadwalan, lead time yang panjang, potensi bottleneck, biaya per unit yang tinggi, dan tingkat WIP yang tinggi.

### 2.2.2 Bottleneck

*Bottleneck* adalah titik hambatan atau *constraint* dalam sistem produksi di mana kapasitas workstation atau mesin tertentu lebih rendah dibandingkan dengan permintaan produksi, sehingga membatasi *throughput* keseluruhan sistem. Febrianti et al. (2024) mendefinisikan *bottleneck* sebagai resource dengan kapasitas terendah dalam aliran produksi yang menentukan kecepatan maksimum produksi sistem secara keseluruhan. Bottleneck dapat diidentifikasi melalui tingkat utilisasi mesin yang sangat tinggi, penumpukan work-in-process (WIP) di depan mesin, waktu tunggu yang panjang, dan mesin yang konsisten menjadi penentu lead time produksi.

Konsep bottleneck sangat penting dalam Theory of Constraints (TOC) yang dikembangkan oleh Eliyahu Goldratt. Ketut et al. (2022) menjelaskan bahwa menurut TOC, setiap sistem produksi memiliki setidaknya satu constraint yang membatasi performanya. Throughput keseluruhan sistem tidak dapat melebihi kapasitas bottleneck, sehingga setiap jam yang hilang pada bottleneck adalah jam yang hilang untuk keseluruhan sistem. Prinsip ini membawa implikasi penting bahwa upaya improvement harus difokuskan pada bottleneck karena hanya perbaikan pada bottleneck yang akan meningkatkan throughput sistem secara keseluruhan.

Dampak bottleneck terhadap sistem produksi sangat signifikan. Ashayeri (2007) menjelaskan bahwa bottleneck dapat menyebabkan penurunan throughput sistem, peningkatan lead time produksi, penumpukan inventory atau WIP, peningkatan biaya produksi, dan keterlambatan pengiriman kepada pelanggan. Dalam sistem job shop, bottleneck sering terjadi pada mesin dengan tingkat utilisasi tinggi, waktu proses panjang, tingkat kehandalan rendah, setup time panjang, atau mesin khusus tanpa alternatif.

Penyebab bottleneck dapat dibedakan menjadi beberapa faktor. Hidayat (2023) mengidentifikasi:

1. Kapasitas mesin terbatas
2. Downtime akibat kerusakan atau maintenance tidak terencana
3. Setup time yang panjang
4. Keterbatasan operator terlatih
5. Masalah kualitas yang menyebabkan rework
6. Ketidakseimbangan beban kerja antar workstation.

Identifikasi bottleneck dapat dilakukan melalui pengukuran utilisasi, observasi visual, analisis waktu tunggu, Value Stream Mapping, atau simulasi sistem produksi.

Strategi mengatasi bottleneck menurut Safitri et al. (2021) mencakup: meningkatkan kapasitas melalui penambahan mesin atau shift kerja, meningkatkan availability melalui preventive maintenance, mengurangi setup time melalui SMED, mengoptimalkan scheduling, offloading beban kerja ke mesin lain, dan meningkatkan kualitas proses upstream. Pengelolaan bottleneck sangat penting karena dampaknya yang besar terhadap keseluruhan sistem produksi.

### **2.2.3 Maintenance (Pemeliharaan Mesin)**

Maintenance atau pemeliharaan mesin adalah serangkaian aktivitas yang dilakukan untuk menjaga mesin dan peralatan produksi agar tetap berada dalam kondisi operasi yang baik dan mencegah terjadinya kerusakan yang tidak diinginkan. Simanjuntak & Megantara (2022) mendefinisikan maintenance sebagai kombinasi dari semua tindakan teknis, administratif, dan manajerial selama lifecycle suatu item untuk mempertahankan atau mengembalikannya ke kondisi di mana item tersebut dapat melakukan fungsi yang diperlukan.

Tujuan utama maintenance menurut Ashayeri (2007) adalah memastikan availability mesin, meningkatkan reliability mesin, memperpanjang umur ekonomis mesin, menjaga performa mesin, memastikan safety operasi, mengoptimalkan biaya total ownership, dan mendukung production schedule. Maintenance bukan hanya tentang memperbaiki mesin yang rusak, tetapi lebih komprehensif mencakup inspeksi, pelumasan, adjustment, penggantian parts, dan berbagai aktivitas preventif.

Terdapat beberapa jenis maintenance yang umumnya diterapkan. Corrective Maintenance (Breakdown Maintenance) dilakukan setelah terjadi kerusakan mesin. Pendekatan ini bersifat reaktif dengan kelebihan tidak ada biaya preventif berkala, namun kelemahannya adalah downtime tidak terencana, biaya perbaikan tinggi, dan potensi kerusakan sekunder. Preventive Maintenance dilakukan secara terjadwal untuk mencegah kerusakan, mencakup inspeksi berkala, pelumasan, pembersihan, adjustment, dan penggantian komponen berdasarkan waktu atau jam operasi tertentu.

Menurut Simanjuntak & Megantara (2022), preventive maintenance dapat dibagi menjadi Time-Based Maintenance (TBM) yang dilakukan berdasarkan interval waktu tertentu, dan Usage-Based Maintenance yang dilakukan berdasarkan penggunaan seperti jumlah unit produk atau cycle operasi. Kelebihan preventive maintenance adalah mengurangi probabilitas breakdown, meningkatkan reliability, memperpanjang umur mesin, dan memungkinkan perencanaan yang lebih baik. Kelemahannya adalah biaya maintenance lebih tinggi, potensi over-maintenance, dan downtime terjadwal yang mengurangi available time.

Predictive Maintenance adalah maintenance berdasarkan kondisi aktual mesin yang dipantau melalui teknik monitoring. Hidayat (2023) menjelaskan bahwa predictive maintenance menggunakan teknologi seperti analisis vibrasi, analisis oli, thermography, ultrasonic testing, dan motor current analysis untuk monitoring kondisi mesin. Data dianalisis untuk menentukan kondisi aktual dan memprediksi kapan komponen akan gagal, sehingga maintenance dapat dilakukan just-in-time. Keunggulannya adalah optimalisasi timing maintenance, mengurangi downtime dan biaya, meningkatkan umur komponen, dan early warning untuk kegagalan. Kelemahannya adalah investasi awal tinggi, memerlukan operator terlatih, dan kompleksitas sistem.

Dalam praktek, kombinasi berbagai jenis maintenance sering diterapkan dalam integrated maintenance strategy. Simanjuntak & Megantara (2022) menjelaskan bahwa untuk komponen kritis dapat menggunakan predictive maintenance, untuk komponen penting menggunakan preventive maintenance berbasis waktu, sedangkan untuk komponen non-kritis dapat menggunakan corrective maintenance. Pemilihan strategi

harus mempertimbangkan criticality komponen, biaya maintenance versus downtime, karakteristik failure mode, dan ketersediaan teknologi monitoring.

Pentingnya maintenance planning yang baik menurut Ashayeri (2007) terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan availability dan reliability mesin. Maintenance planning mencakup penjadwalan activities, alokasi resources, koordinasi dengan production planning, dan budgeting. Untuk mesin bottleneck, maintenance planning menjadi sangat critical karena setiap menit downtime berdampak langsung pada throughput sistem. Preventive maintenance pada bottleneck harus dijadwalkan dengan sangat hati-hati, dan spare parts harus selalu tersedia untuk meminimalkan mean time to repair (MTTR).

#### **2.2.4 Mesin CNC Milling**

Mesin CNC (Computer Numerical Control) Milling adalah mesin perkakas yang dikendalikan oleh komputer untuk melakukan operasi pemesinan dengan presisi tinggi. Hidayat (2023) menjelaskan bahwa mesin CNC milling menggunakan program komputer (G-code dan M-code) untuk mengontrol pergerakan pahat pemotong dalam tiga sumbu atau lebih (X, Y, Z, dan sumbu rotasi) untuk membentuk produk sesuai desain. Mesin ini mampu melakukan berbagai operasi seperti drilling, boring, contouring, face milling, dan tapping dengan tingkat akurasi dan repeatability yang tinggi.

Prinsip kerja mesin CNC milling menurut Liansari et al. (2020) dimulai dari tahap programming dimana operator membuat program CNC berdasarkan gambar teknik produk. Program ditransfer ke control unit, kemudian control unit membaca program dan mengkonversi instruksi menjadi sinyal untuk servo motor yang menggerakkan axis. Spindle motor memutar cutting tool dengan kecepatan tinggi sesuai program. Sensor memberikan feedback ke control unit tentang posisi aktual untuk memastikan akurasi. Sistem coolant menyemprotkan cutting fluid untuk pendinginan dan pelumasan. Seluruh proses berjalan otomatis dengan operator hanya melakukan loading, unloading, dan monitoring.

Komponen utama mesin CNC milling mencakup:

1. Bed atau base sebagai struktur dasar yang memberikan rigidity dan stability.
2. Column atau tiang yang menopang spindle head.

3. Spindle yang memutar cutting tool dengan kecepatan tinggi.
4. Table atau meja kerja untuk workpiece yang dapat bergerak dalam axis X dan Y.
5. Control panel atau CNC controller sebagai otak mesin.
6. Ball screw atau lead screw untuk mengkonversi rotasi menjadi gerakan linear presisi.
7. Servo motor untuk menggerakkan axis secara akurat.
8. Coolant system untuk pendinginan dan pelumasan.
9. Tool magazine atau ATC untuk pergantian tool otomatis.
10. Way covers untuk melindungi guideways dari kontaminan.

Keunggulan mesin CNC milling menurut Hidayat (2023) adalah presisi dan akurasi tinggi dengan toleransi beberapa mikron, konsistensi kualitas produk, kemampuan membuat geometri kompleks, produktivitas tinggi, pengurangan waktu setup untuk produksi berulang, fleksibilitas dalam perubahan desain, mengurangi skill requirement manual machining, dan kemampuan unmanned operation. Namun, mesin CNC juga memiliki kelemahan seperti investasi awal tinggi, biaya maintenance tinggi, memerlukan operator terlatih dalam programming, dampak downtime yang besar, lead time repair yang panjang, dan konsumsi energi tinggi.

Dalam konteks sistem produksi job shop, mesin CNC milling sering menjadi critical resource atau potential bottleneck. Safitri et al. (2021) menjelaskan bahwa tingkat utilisasi CNC milling cenderung tinggi karena dapat menangani berbagai operasi, kompleksitas setup dan programming untuk berbagai produk membuat changeover time signifikan, kebutuhan maintenance intensif untuk menjaga presisi, dan biaya downtime yang sangat tinggi karena merupakan high-value asset dengan throughput besar.

Hidayat (2023) menekankan bahwa downtime pada mesin CNC milling dapat berdampak signifikan terhadap keseluruhan throughput sistem produksi, terutama jika mesin tersebut merupakan bottleneck. Maintenance planning yang baik sangat penting untuk menjaga availability dan reliability mesin. Preventive maintenance harus dijadwalkan dengan cermat, spare parts critical harus selalu tersedia, operator dan technician harus terlatih, dan predictive maintenance melalui monitoring dapat membantu mendeteksi masalah sebelum breakdown.

### 2.2.5 Downtime

Downtime adalah periode waktu di mana mesin atau peralatan produksi tidak dapat beroperasi atau tidak menghasilkan output yang produktif. Liansari et al. (2020) mendefinisikan downtime sebagai total waktu mesin tidak beroperasi yang dapat disebabkan oleh breakdown, maintenance, setup, changeover, atau masalah lain yang menghentikan proses produksi. Downtime merupakan salah satu faktor utama yang mengurangi availability mesin dan berdampak negatif terhadap produktivitas sistem produksi.

Downtime dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama menurut Hidayat (2023). Planned Downtime adalah downtime yang dijadwalkan dan direncanakan sebelumnya, seperti preventive maintenance, calibration, inspection, atau changeover terjadwal. Planned downtime dapat dioptimalkan dan diminimalkan dampaknya melalui penjadwalan yang baik dan terintegrasi dengan production schedule. Unplanned Downtime adalah downtime yang terjadi secara tidak terduga akibat breakdown, kerusakan mendadak, masalah kualitas, kekurangan material, atau faktor lain yang tidak direncanakan. Unplanned downtime memiliki dampak lebih besar karena bersifat mendadak dan mengganggu jadwal produksi.

Perhitungan downtime sangat penting untuk mengukur availability mesin. Menurut Liansari et al. (2020),  $\text{Downtime Percentage} = (\text{Total Downtime} / \text{Available Time}) \times 100\%$ . Dampak downtime terhadap sistem produksi menurut Ashayeri (2007) meliputi kehilangan produksi (production losses), peningkatan biaya produksi per unit, keterlambatan pengiriman, penurunan utilisasi mesin, peningkatan work-in-process (WIP), dan potensi kehilangan pelanggan. Untuk mesin bottleneck, downtime memiliki dampak lebih besar karena secara langsung mempengaruhi throughput keseluruhan sistem.

Strategi mengurangi downtime mencakup implementasi preventive maintenance yang efektif, spare parts management yang baik, training operator dan technician, predictive maintenance melalui monitoring kondisi, quick changeover techniques seperti SMED, dan continuous improvement culture. Untuk mesin bottleneck, prioritas harus

diberikan untuk meminimalkan downtime karena setiap menit downtime adalah menit yang hilang untuk keseluruhan sistem dalam menghasilkan throughput.

### **2.2.6 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah metode sistematis untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi potensi kegagalan dalam suatu sistem, proses, atau produk, serta menganalisis dampak dari kegagalan tersebut. Hidayat (2023) menjelaskan bahwa FMEA adalah pendekatan proaktif untuk mencegah masalah dengan mengidentifikasi potensi failure mode, menganalisis effect (dampak dari kegagalan), dan memprioritaskan tindakan perbaikan berdasarkan tingkat risiko.

Dalam konteks maintenance mesin, FMEA digunakan untuk mengidentifikasi komponen-komponen kritis yang berpotensi mengalami kegagalan. Tiga parameter utama dalam FMEA menurut Liansari et al. (2020) adalah:

1. Severity (S) mengukur tingkat keparahan atau dampak dari failure mode terhadap sistem dalam skala 1-10, dimana 1 adalah dampak sangat ringan dan 10 adalah dampak sangat berbahaya.
2. Occurrence (O) mengukur frekuensi atau probabilitas terjadinya failure mode dalam skala 1-10, dimana 1 adalah kemungkinan sangat rendah dan 10 adalah hampir pasti terjadi.
3. Detection (D) mengukur kemampuan untuk mendeteksi failure mode sebelum berdampak dalam skala 1-10, dimana 1 adalah hampir pasti terdeteksi dan 10 adalah hampir tidak mungkin terdeteksi.

*Risk Priority Number* (RPN) adalah metrik untuk memprioritaskan failure mode berdasarkan tingkat risiko. Menurut Hidayat (2023),  $RPN = Severity \times Occurrence \times Detection$ . Nilai RPN berkisar dari 1 hingga 1000. Failure mode dengan RPN tinggi memerlukan prioritas tindakan perbaikan yang lebih tinggi. Umumnya, failure mode dengan RPN di atas 100-125 dianggap memerlukan corrective action, meskipun batas ini dapat disesuaikan dengan kebijakan perusahaan.

Langkah-langkah implementasi FMEA menurut Liansari et al. (2020) meliputi:

1. Identifikasi komponen atau sistem yang akan dianalisis.
2. Identifikasi potential failure mode untuk setiap komponen .

3. Identifikasi potential effect dari setiap failure mod.
4. Identifikasi potential cause dari setiap failure mode .
5. Tentukan nilai Severity untuk setiap effect .
6. Tentukan nilai Occurrence untuk setiap cause.
7. Tentukan nilai Detection untuk current control .
8. Hitung RPN untuk setiap failure mode .
9. Prioritaskan failure mode berdasarkan RPN.
10. Tentukan recommended action untuk failure mode dengan RPN tinggi.

Manfaat FMEA dalam maintenance planning menurut Ashayeri (2007) adalah mengidentifikasi komponen kritis yang memerlukan perhatian khusus, memprioritaskan aktivitas maintenance berdasarkan risiko, merancang *preventive maintenance schedule* yang efektif, mengurangi downtime tidak terencana, dan mengoptimalkan alokasi resources maintenance. FMEA juga dapat digunakan untuk mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan dengan menghitung ulang RPN setelah implementasi recommended action

### **2.2.7 Metode 5W1H**

Metode 5W1H merupakan pendekatan terstruktur untuk mengidentifikasi dan menganalisis masalah dengan mengajukan enam pertanyaan fundamental. Knop & Mielczarek (2018) menjelaskan bahwa metode 5W1H adalah teknik problem identification yang komprehensif dengan mengajukan pertanyaan What (Apa), Who (Siapa), Where (Dimana), When (Kapan), Why (Mengapa), dan How (Bagaimana). Metode ini banyak digunakan dalam konteks Lean Manufacturing, World Class Manufacturing, dan quality management untuk menganalisis berbagai masalah produksi.

Penjelasan enam elemen dalam metode 5W1H menurut Fauzi et al. (2022):

1. What (Apa) mengidentifikasi apa masalah yang terjadi, apa dampaknya, apa tujuan yang ingin dicapai, dan apa saja aktivitas yang terlibat.
2. Who (Siapa) menentukan siapa yang terlibat, terdampak, bertanggung jawab, dan dapat memberikan Solusi.
3. Where (Dimana) memetakan lokasi spesifik terjadinya masalah.

4. When (Kapan) mengidentifikasi kapan masalah terjadi, frekuensi, pola temporal, dan durasi.
5. Why (Mengapa) menggali akar penyebab mengapa masalah terjadi.
6. How (Bagaimana) menjelaskan bagaimana masalah terjadi, mekanisme kejadian, dan cara penyelesaian.

Keunggulan metode 5W1H menurut Knop & Mielczarek (2018) adalah kesederhanaan dalam aplikasi, struktur yang sistematis, kemampuan mengumpulkan informasi secara komprehensif, dan dapat digunakan secara independent atau terintegrasi dengan metode lain seperti fishbone diagram, FMEA, atau VSM. Metode ini sangat efektif sebagai tahap awal analisis masalah sebelum menggunakan tools yang lebih kompleks.

### **2.2.8 Value Stream Mapping (VSM)**

*Value Stream Mapping* (VSM) adalah alat visual dari lean manufacturing untuk memetakan dan menganalisis aliran material dan informasi yang diperlukan untuk menghasilkan produk kepada pelanggan. Purwaningsih et al. (2021) mendefinisikan VSM sebagai teknik yang menggunakan simbol-simbol standar untuk menggambarkan current state (kondisi saat ini), mengidentifikasi waste, dan merancang future state (kondisi ideal yang diinginkan) untuk meningkatkan efisiensi proses.

Komponen utama dalam VSM menurut Hidayat (2023) meliputi:

1. Process boxes merepresentasikan setiap proses atau workstation dengan informasi cycle time, changeover time, jumlah operator, dan available time.
2. Inventory triangles menunjukkan inventory atau WIP yang menumpuk antar proses.
3. Material flow arrows menunjukkan aliran material dari supplier hingga customer.
4. Information flow menunjukkan aliran informasi seperti forecast, order, dan schedule.
5. Timeline menunjukkan value-added time dan non-value-added time.
6. Data boxes berisi metrik penting seperti lead time, cycle time, uptime, dan takt time.

Langkah-langkah pembuatan VSM menurut Purwaningsih et al. (2021):

1. Identifikasi *product family* yang akan dipetakan.
2. Gambar *current state map* dengan data aktual dari rantai produksi.

3. Analisis current state map untuk mengidentifikasi waste menggunakan 7 *waste classification*.
4. Identifikasi bottleneck dengan melihat *cycle time* terpanjang atau utilisasi tertinggi.
5. Hitung *process cycle efficiency* (PCE) dengan membandingkan *value-added time* dengan total *lead time*.
6. Rancang *future state map* dengan mengeliminasi *waste* dan mengimplementasikan prinsip *lean*.

Manfaat VSM menurut Hidayat (2023) meliputi visualisasi yang jelas tentang aliran produksi, identifikasi waste dan bottleneck secara sistematis, pemahaman bersama di antara tim mengenai masalah, dasar untuk merancang improvement yang terukur, dan komunikasi efektif antara management dan operator. VSM sangat efektif untuk mengidentifikasi lokasi bottleneck dan menganalisis dampaknya terhadap keseluruhan sistem produksi.

### 2.2.9 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

*Overall Equipment Effectiveness* (OEE) adalah metrik yang digunakan untuk mengukur efektivitas peralatan produksi dengan mempertimbangkan tiga faktor utama: availability, performance, dan quality. Liansari et al. (2020) mendefinisikan OEE sebagai standar industri untuk mengukur produktivitas manufaktur yang mengidentifikasi persentase waktu manufaktur yang benar-benar produktif. OEE memberikan gambaran menyeluruh tentang seberapa baik mesin atau peralatan dimanfaatkan.

Tiga komponen OEE menurut Hidayat (2023) adalah:

1. Availability mengukur persentase waktu mesin benar-benar tersedia untuk produksi dari total waktu yang direncanakan, dipengaruhi oleh downtime. Formula:  $\text{Availability} = \text{Operating Time} / \text{Planned Production Time} \times 100\%$ .
2. Performance mengukur kecepatan operasi mesin dibandingkan dengan kecepatan ideal, dipengaruhi oleh minor stoppages dan reduced speed. Formula:  $\text{Performance} = (\text{Ideal Cycle Time} \times \text{Total Count}) / \text{Operating Time} \times 100\%$ .
3. Quality mengukur persentase produk yang memenuhi standar kualitas, dipengaruhi oleh defects dan rework. Formula:  $\text{Quality} = \text{Good Count} / \text{Total Count} \times 100\%$ .

Perhitungan OEE menurut Liarsari et al. (2020) adalah:  $OEE = Availability \times Performance \times Quality \times 100\%$ . Interpretasi nilai OEE: OEE < 65% menunjukkan performa tidak dapat diterima dan memerlukan improvement segera, OEE 65-75% menunjukkan performa cukup baik dengan ruang perbaikan, OEE 75-85% menunjukkan performa baik dan mendekati world class, dan OEE > 85% menunjukkan world class performance. Target OEE dapat disesuaikan tergantung jenis industri dan karakteristik proses produksi.

Six Big Losses adalah enam kategori losses yang mempengaruhi OEE. Menurut Safitri et al. (2021), Six Big Losses terdiri dari:

1. Breakdown Losses - kerugian akibat kerusakan mesin.
2. Setup and Adjustment Losses - kerugian akibat setup dan adjustment.
3. Idling and Minor Stoppages - kerugian akibat pemberhentian kecil.
4. Reduced Speed - kerugian akibat kecepatan berkurang.
5. Process Defects - kerugian akibat cacat produksi.
6. Reduced Yield - kerugian akibat startup losses. Mengidentifikasi dan mengurangi Six Big Losses adalah kunci untuk meningkatkan OEE.

Manfaat pengukuran OEE menurut Hidayat (2023) adalah memberikan baseline untuk improvement, mengidentifikasi area yang memerlukan fokus perbaikan, mengukur efektivitas improvement actions, membandingkan performa antar mesin atau shift, dan mendukung decision making dalam maintenance planning dan capital investment. OEE yang rendah pada mesin bottleneck memiliki dampak yang sangat besar terhadap throughput sistem secara keseluruhan.

#### **2.2.10 Work in Process (WIP)**

*Work in Process* (WIP) adalah inventory atau material yang sedang dalam proses produksi, yang telah meninggalkan raw material *storage* tetapi belum menjadi finished goods. Febrianti et al. (2024) menjelaskan bahwa WIP mencakup semua material dan produk setengah jadi yang berada di antara workstation atau menunggu untuk diproses. WIP merupakan salah satu indikator penting dalam sistem produksi karena mencerminkan efisiensi aliran produksi.

Dalam sistem produksi job shop, WIP cenderung lebih tinggi dibandingkan sistem flow shop karena variasi routing produk dan kompleksitas penjadwalan. Purwaningsih et al. (2021) mengidentifikasi beberapa penyebab penumpukan WIP:

1. Ketidakseimbangan kapasitas antar workstation.
2. Bottleneck pada workstation tertentu.
3. Batch size yang besar.
4. Setup time yang panjang.
5. Downtime mesin yang tinggi.
6. Masalah kualitas yang menyebabkan rework.
7. Variabilitas dalam proses produksi.

Dampak negatif WIP yang tinggi menurut Ashayeri (2007) meliputi:

1. Peningkatan lead time produksi.
2. Peningkatan biaya inventory holding.
3. Peningkatan kebutuhan space penyimpanan.
4. Risiko kerusakan atau obsolescence material.
5. Kesulitan dalam tracking dan quality control.
6. Menutupi masalah dalam sistem produksi.
7. Mengurangi fleksibilitas merespon perubahan permintaan. Penumpukan WIP sering terjadi di depan mesin bottleneck karena input rate lebih tinggi dari processing rate mesin tersebut.

Little's Law adalah hubungan fundamental antara WIP, throughput, dan lead time. Menurut Febrianti et al. (2024), Little's Law menyatakan:  $WIP = Throughput \times Lead\ Time$ . Rumus ini menunjukkan bahwa untuk mengurangi WIP, perusahaan dapat meningkatkan throughput (mempercepat aliran produksi) atau mengurangi lead time. Strategi untuk mengurangi WIP menurut Hidayat (2023) meliputi:

1. Identifikasi dan eliminasi bottleneck.
2. Mengurangi batch size.
3. Mengurangi setup time melalui smed.
4. Meningkatkan reliability mesin melalui preventive maintenance.
5. Menyeimbangkan beban kerja antar workstation.

6. Implementasi pull system seperti kanban untuk mengontrol aliran material.

### 2.2.11 Throughput dan Lead Time

*Throughput* adalah jumlah unit produk yang dihasilkan oleh sistem produksi dalam periode waktu tertentu. Febrianti et al. (2024) mendefinisikan throughput sebagai rate dimana sistem menghasilkan output yang memenuhi standar kualitas dan siap untuk dijual atau dikirim kepada customer. Throughput merupakan metrik kritis untuk mengukur produktivitas sistem produksi dan dipengaruhi langsung oleh kapasitas bottleneck dalam sistem.

Dalam *Theory of Constraints* (TOC), throughput sistem dibatasi oleh resource dengan kapasitas terendah atau bottleneck. Ketut et al. (2022) menjelaskan bahwa meningkatkan throughput keseluruhan sistem hanya dapat dilakukan dengan meningkatkan kapasitas bottleneck, karena meningkatkan kapasitas non-bottleneck tidak akan meningkatkan throughput sistem. Oleh karena itu, fokus improvement harus diarahkan pada bottleneck untuk memaksimalkan dampak terhadap throughput.

Lead time adalah total waktu yang diperlukan dari saat order diterima atau material masuk ke sistem produksi hingga produk jadi selesai dan siap dikirim. Purwaningsih et al. (2021) membagi lead time menjadi dua komponen utama:

1. Value-added time - waktu dimana material atau produk mengalami transformasi yang menambah nilai, seperti proses pemesinan, assembly, atau treatment.
2. Non-value-added time - waktu dimana tidak ada nilai yang ditambahkan, seperti waiting time, transportation time, inspection time, dan storage time.

Process Cycle Efficiency (PCE) adalah rasio antara value-added time dengan total lead time. Menurut Hidayat (2023),  $PCE = (\text{Value-Added Time} / \text{Total Lead Time}) \times 100\%$ . Nilai PCE yang rendah menunjukkan bahwa sebagian besar lead time dihabiskan untuk aktivitas non-value-added. Dalam banyak kasus, PCE dalam sistem produksi job shop berkisar antara 5-15%, yang berarti 85-95% dari lead time adalah waste. Bottleneck memiliki dampak besar terhadap lead time karena menyebabkan waiting time yang panjang untuk produk yang menunggu diproses pada mesin bottleneck.

Strategi untuk mengurangi lead time menurut Safitri et al. (2021) meliputi:

1. Eliminasi bottleneck melalui capacity expansion atau process improvement.

2. Mengurangi downtime melalui preventive maintenance.
3. Mengurangi setup time melalui smed.
4. Mengurangi batch size untuk mempercepat aliran.
5. Eliminasi waiting time melalui better scheduling.
6. Mengurangi transportation distance melalui facility layout improvement.
7. Implementasi continuous flow production. Mengurangi lead time juga secara otomatis mengurangi WIP berdasarkan Little's Law, sehingga memberikan multiple benefits bagi sistem produksi.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Subjek Penelitian**

Subjek dalam penelitian ini adalah sistem produksi job shop di PT Imedal Karya Teknik, khususnya yang berkaitan dengan proses produksi bracket dan hook assembly untuk komponen otomotif. Subjek penelitian meliputi departemen produksi yang bertanggung jawab langsung terhadap operasional mesin CNC Milling, departemen maintenance yang menangani pemeliharaan dan perbaikan mesin, serta manajemen produksi yang merencanakan dan mengevaluasi kinerja sistem produksi.

#### **3.2 Objek Penelitian**

Objek dalam penelitian ini adalah dua unit mesin CNC (Computer Numerical Control) Milling merek Taiwan tahun 2018 yang dioperasikan di PT Imedal Karya Teknik untuk produksi bracket dan hook assembly komponen otomotif. Mesin CNC Milling ini menjadi fokus penelitian karena telah teridentifikasi sebagai bottleneck dalam sistem produksi job shop.

#### **3.3 Jenis Data**

Penelitian ini menggunakan dua jenis data yaitu data primer dan data sekunder yang dikumpulkan secara komprehensif untuk mendukung analisis maintenance planning dan bottleneck management pada mesin CNC Milling di PT Imedal Karya Teknik. Berikut merupakan penjelasan dari kedua jenis data yang digunakan:

##### **1. Data Primer**

Data primer yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi beberapa kategori. Pertama, data tentang karakteristik sistem produksi job shop di PT Imedal Karya Teknik yang diperoleh melalui observasi langsung dan wawancara dengan production manager, mencakup layout mesin produksi, routing process untuk

produk bracket dan hook assembly, volume produksi harian dan bulanan, target produksi yang ditetapkan perusahaan, dan actual output yang tercapai.

## 2. Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini dikategorikan menjadi beberapa jenis. Pertama, data dokumentasi perusahaan yang mencakup:

- a. Company profile PT Imedal Karya Teknik termasuk history, product portfolio, dan production capacity.
- b. Standard Operating Procedure (SOP) untuk operasi mesin CNC Milling.
- c. Technical manual dan maintenance manual dari manufacturer mesin CNC Milling merek Taiwan.
- d. Historical production data untuk periode 12 bulan terakhir yang mencakup monthly production volume, delivery performance, dan productivity metrics.
- e. Maintenance log book yang mencatat semua maintenance activities dan breakdown history untuk periode 12 bulan terakhir.
- f. Cost data terkait dengan downtime cost, maintenance cost, dan spare parts cost.
- g. Quality data termasuk defect rate dan customer complaints terkait dengan quality issues.

### 3.4 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan beberapa metode sebagai berikut:

#### 1. Observasi

Observasi adalah sebuah proses mengamati suatu objek secara langsung. Metode ini bertujuan untuk melakukan pengumpulan data penyebab terjadinya *bottleneck* pada proses fabrikasi dalam periode waktu tertentu dengan melihat langsung kegiatannya. Hasil yang didapatkan dari melakukan ini adalah memperoleh data yang berkaitan dengan objek penelitian.

#### 2. Wawancara

Wawancara adalah kegiatan percakapan yang dilakukan secara langsung oleh dua orang atau lebih dengan seorang narasumber. Metode ini mengumpulkan data

melalui sesi tanya jawab secara langsung dengan pemangku kepentingan yang terlibat dalam jaringan rantai pasok fabrikasi baja dan bertujuan untuk memperoleh data mengenai penyebab terjadinya *bottleneck* yang dialami perusahaan.

### 3. Kuesioner

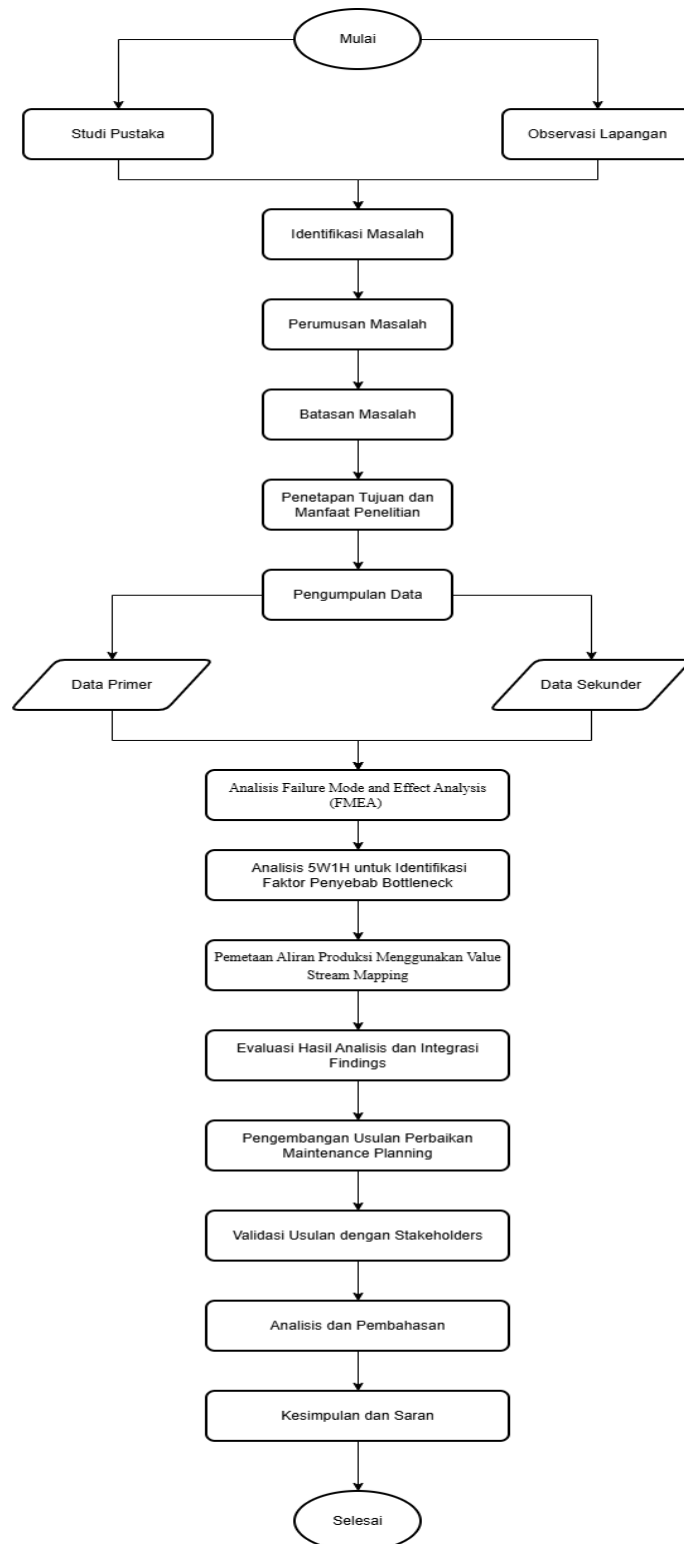
Kuesioner adalah pertanyaan yang diajukan kepada responden. Metode ini bertujuan untuk memperoleh informasi berupa data dengan memberikan daftar pertanyaan kuantitatif secara langsung kepada responden yang ditunjuk sebagai expert dalam menilai serta mengidentifikasi penyebab *bottleneck* yang terjadi pada proses produksi manufaktur.

### 4. Studi Pustaka

Studi pustaka adalah kegiatan meninjau literatur dengan menggunakan seperangkat teori yang berhubungan dengan topik penelitian. Metode ini bertujuan untuk mengumpulkan data berdasarkan informasi yang diperoleh dari berbagai literatur berkaitan dengan masalah penelitian sehingga dapat mendukung penelitian yang bersumber dari buku, jurnal, dan artikel dari penelitian sebelumnya.

## 3.5 Alur Penelitian

Alur penelitian merupakan kerangka sistematis yang menggambarkan setiap tahapan penelitian secara terstruktur dan sekuensial dari awal hingga akhir. Hidayat (2023) menjelaskan bahwa alur penelitian yang jelas dan terstruktur sangat penting untuk memastikan research process berjalan secara logical, efficient, dan menghasilkan outputs yang valid dan reliable untuk menjawab research questions. Alur penelitian dalam studi ini dirancang dengan mengintegrasikan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk reliability analysis dan prioritization of critical components, 5W1H untuk *problem identification*, serta *Value Stream Mapping* (VSM) untuk process mapping dan bottleneck identification. Alur penelitian dapat dilihat pada diagram alir Gambar 3.1



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Berikut penjelasan setiap tahapan alur penelitian:

1. Studi Pustaka

Studi Pustaka adalah tahapan pengumpulan data yang relevan dengan topik penelitian dari buku, jurnal, dan artikel penelitian sebelumnya. Dibutuhkan teori yang berkaitan dengan penyebab terjadinya bottleneck pada sistem produksi job shop melalui penggunaan metode Failur Mode and Effect Analysis (FMEA), 5W1H, Value Stream Mapping (VSM).

2. Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk melihat kondisi perusahaan secara langsung, pengenalan lingkungan perusahaan, dan melihat permasalahan yang terdapat di perusahaan. Observasi lapangan juga melakukan wawancara kepada pihak-pihak yang berkaitan dengan objek penelitian.

3. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah adalah tahapan mengkarakterisasi permasalahan yang dihadapi perusahaan dengan memahami keseluruhan permasalahan yang terjadi. Untuk mencari penyebab terjadinya *bottleneck*, tahapan ini akan berfokus pada subjek penelitian yaitu Divisi Produksi PT Imedal Karya Teknik.

4. Perumusan Masalah

Perumusan masalah adalah tahapan yang dilakukan untuk menentukan permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian ini melalui tahap identifikasi masalah didapatkan beberapa masalah yang dapat dievaluasi.

5. Batasan Masalah

Batasan masalah adalah tahapan untuk mendefinisikan dengan jelas parameter topik yang akan dieksplorasi. Dengan adanya batasan tersebut, peneliti dapat berfokus pada aspek-aspek yang relevan dan tidak terjadi perluasan yang tidak terkendali.

6. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dan Manfaat Penelitian adalah tahapan untuk menjawab pertanyaan dari masalah yang telah dirumuskan sebagai target yang ingin dicapai pada penelitian

ini dan memberikan kontribusi kepada pihak yang bersangkutan dalam mengembangkan teori maupun wawasan yang dibahas dalam penelitian ini.

7. Pengumpulan Data

a. Data Primer

Data primer diperoleh melalui wawancara langsung dengan manajer produksi PT Imedal Karya Teknik. Informasi yang dikumpulkan mencakup proses produksi hook assembly serta kegiatan pemeliharaan mesin CNC milling.

b. Data Sekunder

Data yang dikumpulkan berupa landasan teori yang relevan dengan penelitian, yang berasal dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, artikel, serta informasi dari internet. Seluruh referensi tersebut digunakan sebagai data pendukung dalam pelaksanaan penelitian ini.

8. Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan tahapan sistematis untuk mengidentifikasi potensi mode kegagalan dari mesin CNC Milling, menilai tingkat keparahan, kejadian, dan kemampuan mendeteksinya, dan memprioritaskan komponen penting untuk fokus pemeliharaan preventif. FMEA menyediakan pendekatan berbasis risiko yang terstruktur untuk peningkatan *reliability*, memungkinkan sumber daya difokuskan pada mode kegagalan paling kritis berdasarkan perhitungan Risk Priority Number (RPN) yang objektif.

9. Analisis 5W1H untuk Identifikasi Faktor Penyebab Bottleneck

Analisis 5W1H merupakan tahapan sistematis untuk mengidentifikasi dan memahami faktor-faktor penyebab *bottleneck* dari berbagai perspektif dengan menjawab enam pertanyaan mendasar. Analisis 5W1H memberikan pendekatan terstruktur untuk memahami masalah secara komprehensif, memastikan tidak ada aspek penting yang terabaikan, dan memfasilitasi analisis akar permasalahan selanjutnya.

10. Pemetaan Aliran Produksi Menggunakan Value Stream Mapping

Value Stream Mapping (VSM) kondisi saat ini merupakan tahapan untuk memvisualisasikan aliran produksi saat ini dari bahan baku hingga barang jadi,

mengidentifikasi pemborosan, hambatan, dan peluang untuk perbaikan. Peta kondisi saat ini memberikan gambaran komprehensif tentang bagaimana material dan informasi mengalir melalui sistem produksi, membuat semua aktivitas yang menambah nilai dan yang tidak menambah nilai menjadi terlihat, dan memfasilitasi identifikasi peluang perbaikan.

11. Evaluasi Hasil analisis

Evaluasi hasil analisis merupakan tahapan untuk mensintesis temuan dari FMEA, analisis 5W1H, dan pemetaan kondisi terkini VSM untuk mengembangkan pemahaman terpadu tentang masalah pemeliharaan dan masalah kemacetan. integrasi temuan dari berbagai metode analisis memberikan wawasan yang lebih komprehensif dan kuat dibandingkan mengandalkan metode tunggal, serta memungkinkan triangulasi untuk memvalidasi temuan-temuan utama.

12. Pengembangan Usulan Perbaikan (*Maintenance Planning*)

Pengembangan usulan perbaikan merupakan tahapan untuk merancang rekomendasi perbaikan spesifik untuk perencanaan pemeliharaan berdasarkan temuan terintegrasi dari analisis sebelumnya. rekomendasi perbaikan yang efektif harus spesifik, dapat ditindaklanjuti, berbasis bukti, dan selaras dengan sumber daya dan batasan perusahaan untuk memastikan implementasi dan keberlanjutan.

13. Validasi Usulan dengan *Stakeholders*

Validasi usulan merupakan tahapan untuk menyajikan usulan perbaikan kepada kunci *stakeholders*, mengumpulkan *feedback*, mengatasi kekhawatiran, dan menyempurnakan rekomendasi untuk memastikan dukungan dan komitmen untuk implementasi. validasi pemangku kepentingan penting untuk memastikan usulan perbaikan praktis, dapat diterima, selaras dengan prioritas perusahaan, dan memiliki dukungan yang diperlukan untuk keberhasilan implementasi.

14. Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan adalah tahapan yang dilakukan untuk menganalisis data yang telah diolah dan memaparkan pembahasan mengenai strategi mitigasi risiko prioritas yang diberikan kepada perusahaan sebagai bahan pertimbangan dalam memberikan rekomendasi.

#### 15. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan adalah tahapan yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data sehingga tujuan yang diinginkan pada penelitian ini dapat tercapai. Saran adalah tahapan yang dilakukan untuk memberikan usulan mitigasi risiko yang diajukan kepada perusahaan sebagai bahan pertimbangan untuk memperbaiki proses manufaktur kedepannya dan memberikan masukan untuk peneliti selanjutnya.

## **BAB IV**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

#### **4.1 Pengumpulan Data**

##### **4.1.1 Proses Produksi**

Dalam proses produksinya, PT Imedal Karya Teknik melalui beberapa tahapan yang harus dilaksanakan. Adapun tahapan proses produksi yang diterapkan di PT Imedal Karya Teknik adalah sebagai berikut:

1. Pemesanan Material

Pada tahapan ini, perusahaan melakukan proses pemesanan material berdasarkan spesifikasi teknis yang telah ditetapkan sesuai dengan permintaan customer. Spesifikasi tersebut meliputi jenis material, dimensi, kualitas, serta jumlah yang dibutuhkan dalam proses produksi. Proses pemesanan ini dilakukan secara teliti dan terencana untuk memastikan kesesuaian antara kebutuhan produksi dan material yang dibeli. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk meminimalkan risiko terjadinya kesalahan dalam pembelian material, baik dari segi spesifikasi maupun kuantitas. Selain itu, pengendalian pemesanan material juga bertujuan untuk mencegah terjadinya kelebihan persediaan yang tidak diperlukan, yang berpotensi menimbulkan pemborosan biaya penyimpanan serta kerugian finansial bagi perusahaan. Dengan perencanaan pemesanan material yang tepat, proses produksi dapat berjalan secara lebih efisien dan sesuai dengan target yang telah ditetapkan.

2. Proses Pemotongan

Pada tahap ini, Material yang sudah datang kemudian dapat di potong dengan ukuran yang sesuai pada permintaan customer. Pada proses pemotongan ini pekerja memotong material menggunakan mesin CNC Plasma Cutting yang di perintah oleh pekerja dari sistem computer mesin. Setelah seluruh komponen material melalui proses pemotongan sesuai dengan ukuran dan spesifikasi yang telah ditentukan, tahapan berikutnya adalah proses penghalusan permukaan pada area bekas pemotongan. Proses ini dilakukan dengan menggunakan mesin gerinda cutting untuk menghilangkan sisa geram, tepi tajam, serta ketidakteraturan permukaan yang

dihasilkan selama proses pemotongan. Penghalusan permukaan ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas kontak antara material dan elektroda pada saat proses pengelasan. Dengan permukaan yang lebih rata dan bersih, penetrasi las dapat terjadi secara optimal sehingga daya lekat elektroda terhadap media pengelasan menjadi lebih baik. Selain itu, proses ini juga berperan dalam meminimalkan potensi cacat las, seperti porositas dan kurangnya fusi, sehingga hasil pengelasan yang dihasilkan menjadi lebih rapi, kuat, dan sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan.

### 3. Proses Pengelasan

Pada tahapan ini, seluruh komponen yang akan disambung melalui proses pengelasan dikumpulkan dan disusun sesuai dengan desain serta gambar kerja produk yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan proses pengelasan awal atau *tack welding*, yaitu pengelasan pada beberapa titik tertentu yang berfungsi untuk menjaga posisi dan kestabilan komponen agar tidak mengalami pergeseran selama proses pengelasan lanjutan. Setelah posisi dan kesesuaian komponen dipastikan telah sesuai dengan spesifikasi, operator kemudian melaksanakan proses pengelasan menyeluruh pada seluruh bagian sambungan. Pada tahap ini, proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin las merek OTC. Setelah proses pengelasan selesai, sisa hasil pengelasan berupa slag dibersihkan menggunakan palu untuk meningkatkan kualitas hasil las serta memastikan permukaan sambungan menjadi lebih bersih dan rapi.

### 4. Proses Machining

Pada tahapan ini, seluruh komponen yang sebelumnya telah melalui proses pemotongan menggunakan mesin CNC plasma cutting serta proses penghalusan permukaan menggunakan mesin gerinda, selanjutnya diproses sesuai dengan kebutuhan karakteristik masing-masing komponen. Beberapa komponen memerlukan proses pengeboran yang dilakukan dengan menggunakan mesin CNC milling untuk menghasilkan lubang dengan dimensi, kedalaman, dan tingkat presisi yang sesuai dengan spesifikasi desain. Selain itu, terdapat pula komponen tertentu yang memerlukan proses pembubutan menggunakan mesin CNC bubut guna membentuk profil, diameter, serta toleransi geometris yang telah ditetapkan. Proses-proses pemesinan lanjutan ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen

memiliki tingkat ketelitian dan kesesuaian yang optimal sebelum memasuki tahapan proses selanjutnya. Setelah seluruh proses pengeboran dan pembubutan selesai dilakukan, komponen dinyatakan siap untuk memasuki tahap pengecatan, yang bertujuan untuk meningkatkan perlindungan permukaan terhadap korosi serta memperbaiki tampilan akhir produk.

5. Proses Pengecatan (*painting*)

Pada tahapan ini, seluruh komponen yang telah dinyatakan siap untuk memasuki proses pengecatan terlebih dahulu dilakukan proses pembersihan permukaan. Pembersihan ini dilakukan dengan menggunakan majun untuk menghilangkan sisa debu, kotoran, minyak, maupun partikel lain yang masih menempel pada permukaan komponen akibat proses produksi sebelumnya. Tahap pembersihan permukaan ini bertujuan untuk memastikan kondisi permukaan material berada dalam keadaan bersih dan kering sehingga lapisan cat dapat melekat secara optimal. Dengan tidak adanya kontaminan pada permukaan komponen, kualitas hasil pengecatan dapat ditingkatkan, baik dari segi daya rekat cat, kehalusan lapisan, maupun keseragaman warna. Selain itu, proses ini juga berperan dalam mencegah terjadinya cacat pengecatan seperti gelembung, pengelupasan, atau ketidaksempurnaan permukaan yang dapat memengaruhi kualitas akhir produk.

6. Proses *Quality Control* (Pengecekan)

Pada tahapan ini, produk yang telah selesai diproses selanjutnya menjalani kegiatan inspeksi atau pemeriksaan kualitas. Proses inspeksi ini dilakukan untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan telah memenuhi spesifikasi desain dan standar mutu yang telah ditetapkan. Pemeriksaan dilakukan melalui berbagai metode pengujian, antara lain pengukuran dimensi menggunakan alat ukur yang sesuai, pemeriksaan kualitas dan kekuatan sambungan las, serta pengujian fungsi produk secara keseluruhan. Apabila selama proses inspeksi ditemukan adanya ketidaksesuaian atau kecacatan pada produk, pekerja akan melakukan tindakan perbaikan (*rework*) dalam skala kecil sesuai dengan jenis dan tingkat cacat yang ditemukan. Tahap inspeksi dan perbaikan ini bertujuan untuk menjamin bahwa produk akhir yang dikirimkan kepada

customer memiliki kualitas yang optimal serta sesuai dengan kebutuhan dan harapan yang telah ditentukan.

Mengacu pada tahapan proses produksi yang ada, selanjutnya dilakukan perumusan aktivitas kerja yang dilakukan oleh pekerja pada setiap tahapan proses produksi. Berikut merupakan serangkaian aktivitas produksi pada PT Imedal Karya Teknik yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Aktivitas Produksi PT Imedal Karya Teknik

No	Jenis Proses	Aktivitas
1	Pemotongan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menentukan jenis bahan baku yang akan digunakan-</li> <li>- Mengangkut bahan baku ke area kerja</li> <li>- Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan-</li> <li>- Melakukan proses pemotongan menggunakan gerinda tangan</li> <li>- Menghaluskan bekas pemotongan menggunakan gerinda tangan</li> </ul>
2	Perakitan Awal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menyusun dan merakit bahan sesuai desain</li> <li>- Melakukan pengelasan awal (tack welding)</li> </ul>
3	Pengelasan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan</li> <li>- Melakukan proses pengelasan secara keseluruhan</li> </ul>
4	Pengecatan & Pemolesan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melakukan pengecekan terhadap hasil pengelasan</li> <li>- Membersihkan sisa elektroda (slug) pada area pengelasan</li> <li>- Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan</li> <li>- Menghaluskan area las dengan mesin gerinda</li> <li>- Melakukan pemolesan terhadap produk</li> <li>- Melakukan pengecatan menggunakan mesin kompresor</li> </ul>
5	Pemeriksaan Akhir	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memeriksa dimensi dan kekuatan produk</li> <li>- Menguji fungsi atau performa produk</li> </ul>
6	Pengepakan & Pengiriman	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membungkus produk dengan bahan pelindung</li> <li>- Memindahkan produk ke kendaraan pengiriman</li> </ul>

#### 4.1.2 Data Mesin CNC Milling

PT Imedal Karya Teknik mengoperasikan 2 unit mesin CNC Milling vertikal yang identik untuk proses fabrikasi bracket dan hook assembly. Spesifikasi lengkap mesin dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Spesifikasi Mesin CNC Milling

Parameter	Spesifikasi
Merek	Taiwan High-Tech
Model	VTC-800
Tahun Pembuatan	2018
Tipe	Vertical Machining Center
Jumlah Unit	2 unit
Kapasitas Spindle	12.000 RPM
Daya Motor Spindle	15 kW
Travel Axis X	800 mm
Travel Axis Y	500 mm
Travel Axis Z	600 mm
Tool Magazine Capacity	20 tools
Positioning Accuracy	$\pm 0.005$ mm
Repeatability	$\pm 0.003$ mm
Control System	Fanuc 0i-MF
Coolant System	Central coolant dengan pompa 200 L/min

Kedua mesin CNC Milling beroperasi dengan cycle time rata-rata 12 menit per unit produk untuk bracket standar dan 18 menit per unit untuk hook assembly. Setup time untuk changeover antar produk berbeda memerlukan waktu rata-rata 45 menit yang meliputi pergantian jig fixture, tool setting, dan program loading. Utilisasi mesin mencapai 85-90% dalam kondisi normal, namun sering mengalami penurunan akibat downtime tidak terencana.

#### 4.1.3 Data *Downtime* Mesin CNC Milling

Data downtime mesin CNC Milling dikumpulkan dari maintenance log dan production report periode 3 bulan terakhir (Oktober - Desember 2024). Data menunjukkan total downtime yang signifikan yang menjadi penyebab utama tidak tercapainya target produksi. Ringkasan data downtime dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Downtime Mesin CNC Milling Periode Oktober - Desember 2024

Jenis Downtime	Frekuensi (kali/bulan)	Durasi per Kejadian (jam)	Total Downtime (jam/bulan)	Persentase (%)
Kerusakan Drill Bit (Mata Bor)	3	4	12	44,4
Masalah Jig Fixture Tidak Sesuai	5	3	15	55,6
Total	8	-	27	100

Berdasarkan Tabel 4.3, masalah jig fixture yang tidak sesuai merupakan penyebab downtime tertinggi dengan kontribusi 55,6% dari total downtime, diikuti oleh kerusakan drill bit sebesar 44,4%. Total downtime sebesar 27 jam per bulan dari available time 176 jam per bulan menghasilkan persentase downtime sebesar 15,34%. Angka ini sangat tinggi jika dibandingkan dengan standar industri yang baik yaitu di bawah 10%.

Analisis lebih detail menunjukkan kerusakan drill bit umumnya terjadi akibat penggunaan melebihi tool life, setting parameter cutting yang tidak optimal, dan kualitas

material benda kerja yang tidak konsisten. Masalah jig fixture tidak sesuai disebabkan oleh keausan jig akibat penggunaan berulang, kesalahan setting posisi, dan tidak adanya preventive maintenance pada jig. Kedua masalah ini menunjukkan belum optimalnya sistem maintenance planning di perusahaan.

#### 4.1.4 Data Cycle Time Proses Produksi

Data cycle time setiap stasiun kerja dikumpulkan melalui time study untuk mengidentifikasi bottleneck dalam aliran produksi. Pengukuran dilakukan untuk produk bracket standar yang merupakan produk dengan volume permintaan tertinggi. Data cycle time dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data Cycle Time Proses Produksi Bracket Standar

No	Stasiun Kerja	Cycle Time (menit)	Jumlah Mesin	Kapasitas (unit/jam)	Utilisasi (%)	Keterangan
1	CNC Cutting	6	2	20	60	Non-bottleneck
2	CNC Milling	12	2	10	90	Bottleneck
3	Welding	8	3	22,5	65	Idle waiting
4	Bending/Rolling	7	3	25,7	58	Idle waiting
5	Finishing	5	2	24	55	Non-bottleneck

Berdasarkan Tabel 4.4, mesin CNC Milling memiliki cycle time terpanjang yaitu 12 menit per unit dan tingkat utilisasi tertinggi mencapai 90%. Hal ini mengindikasikan bahwa CNC Milling merupakan bottleneck dalam sistem produksi. Kapasitas CNC Milling hanya 10 unit per jam atau 80 unit per hari (untuk 2 mesin), sementara kapasitas stasiun lain lebih tinggi. Akibatnya, stasiun welding dan bending/rolling mengalami idle time menunggu output dari CNC Milling.

Perbandingan kapasitas menunjukkan ketidakseimbangan line. Stasiun cutting memiliki kapasitas 20 unit/jam namun dibatasi oleh kapasitas CNC Milling sebesar 10 unit/jam. Stasiun welding dengan kapasitas 22,5 unit/jam dan bending dengan 25,7 unit/jam mengalami idle time karena kekurangan supply dari CNC Milling. Kondisi ini menunjukkan perlunya peningkatan kapasitas atau availability CNC Milling untuk meningkatkan throughput sistem secara keseluruhan.

## **4.2 Pengolahan Data**

Pengolahan data dilakukan untuk menganalisis permasalahan bottleneck dan maintenance pada mesin CNC Milling menggunakan metode 5W1H, Value Stream Mapping (VSM), dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Ketiga metode ini digunakan secara terintegrasi dimana 5W1H digunakan untuk identifikasi masalah secara terstruktur, VSM untuk pemetaan aliran produksi dan identifikasi waste, serta FMEA untuk analisis kegagalan komponen kritis berdasarkan risiko.

### **4.2.1 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis potensi kegagalan komponen kritis pada mesin CNC Milling yang menyebabkan downtime dan bottleneck. FMEA memberikan pendekatan sistematis untuk memprioritaskan tindakan perbaikan berdasarkan tingkat risiko yang dihitung melalui Risk Priority Number (RPN). Analisis FMEA dilakukan berdasarkan data historis kerusakan mesin, wawancara dengan teknisi maintenance, dan konsultasi dengan operator mesin.

Komponen mesin CNC Milling yang dianalisis mencakup seluruh subsistem yang berpotensi mengalami kegagalan yaitu sistem spindle, sistem tool changer, sistem axis movement, sistem control, sistem coolant, sistem pneumatic, dan sistem electrical. Untuk setiap komponen, diidentifikasi potential failure mode (cara komponen dapat gagal), potential effect (dampak kegagalan terhadap sistem), dan potential cause (penyebab terjadinya kegagalan).

Penilaian risiko dilakukan dengan memberikan skor untuk tiga parameter yaitu Severity (S), Occurrence (O), dan Detection (D). Severity mengukur tingkat keparahan

dampak failure mode terhadap sistem produksi dengan skala 1-10, dimana 1 adalah dampak sangat ringan dan 10 adalah dampak sangat berbahaya. Occurrence mengukur frekuensi atau probabilitas terjadinya failure mode dengan skala 1-10, dimana 1 adalah sangat jarang terjadi dan 10 adalah hampir pasti terjadi. Detection mengukur kemampuan untuk mendeteksi failure mode sebelum berdampak dengan skala 1-10, dimana 1 adalah hampir pasti terdeteksi dan 10 adalah hampir tidak mungkin terdeteksi.

Risk Priority Number (RPN) dihitung dengan mengalikan ketiga parameter:  $RPN = Severity \times Occurrence \times Detection$ . Nilai RPN berkisar dari 1 hingga 1000. Failure mode dengan RPN tinggi (umumnya di atas 100) memerlukan prioritas tindakan perbaikan yang lebih tinggi. Hasil analisis FMEA untuk komponen mesin CNC Milling dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Failure Mode and Effect Analysis Mesin CNC Milling

No	Komponen	Failure Mode	Effect	Cause	S	O	D	RPN
1	Drill Bit	Patah/aus	Mesin stop, produk reject, downtime 4 jam	Melebihi tool life, parameter cutting tidak optimal	8	7	4	224
2	Jig Fixture	Aus/tidak presisi	Produk tidak sesuai dimensi, mesin stop untuk adjustment, downtime 3 jam	Keausan normal, maintenance tidak teratur	7	8	5	280

3	Spindle Bearing	Aus/noisy	Getaran tinggi, presisi turun, kerusakan komponen lain	Lubrikasi tidak memadai, overload	9	4	6	216
4	Ball Screw	Backlash/aus	Positioning error, presisi turun, cycle time meningkat	Kontaminasi, lubrikasi buruk	8	5	5	200
5	Servo Motor	Overheat/error	Mesin stop total, alarm error, downtime panjang	Beban berlebih, cooling fan rusak	10	3	7	210
6	Tool Magazine	Macet/error tool change	Produksi stop, waiting time tinggi	Sensor kotor, mekanisme aus	7	4	6	168
7	Coolant Pump	Bocor/mampet	Temperatur cutting naik, tool life turun	Filter kotor, seal rusak	6	6	4	144
8	Limit Switch	Tidak berfungsi	Mesin tidak bisa start, safety issue	Kotoran, aus kontak	8	3	5	120
9	Air Pressure System	Tekanan drop	Tool changer lambat, clamp tidak kuat	Kompresor masalah, kebocoran	6	5	4	120

10	Control Panel	Error/hang	Mesin stop total, perlu restart	Software bug, interferensi elektrik	9	2	8	144
----	---------------	------------	---------------------------------	-------------------------------------	---	---	---	-----

Berdasarkan hasil analisis FMEA pada Tabel 4.5, komponen dengan RPN tertinggi adalah Jig Fixture dengan RPN 280, diikuti oleh Drill Bit dengan RPN 224, Spindle Bearing dengan RPN 216, Servo Motor dengan RPN 210, dan Ball Screw dengan RPN 200. Kelima komponen ini merupakan komponen kritis yang harus menjadi prioritas utama dalam maintenance planning karena memiliki risiko tinggi terhadap terjadinya downtime dan bottleneck.

Jig Fixture memiliki RPN tertinggi (280) karena kombinasi dari severity tinggi (7), occurrence sangat tinggi (8), dan detection sedang (5). Tingginya occurrence menunjukkan bahwa masalah jig fixture terjadi sangat sering yaitu 5 kali per bulan berdasarkan data historis. Penyebab utama adalah keausan normal akibat penggunaan berulang dan tidak adanya preventive maintenance yang teratur pada jig. Dampaknya adalah produk tidak sesuai dimensi yang mengakibatkan reject atau rework, serta mesin harus stop untuk adjustment dengan downtime rata-rata 3 jam per kejadian.

Drill Bit memiliki RPN kedua tertinggi (224) dengan severity tinggi (8), occurrence tinggi (7), dan detection sedang (4). Frekuensi kerusakan drill bit mencapai 3 kali per bulan, disebabkan oleh penggunaan melebihi tool life yang direkomendasikan dan parameter cutting yang tidak optimal. Ketika drill bit patah, mesin harus stop untuk penggantian tool dan inspeksi kemungkinan kerusakan pada workpiece, dengan downtime rata-rata 4 jam per kejadian. Deteksi kerusakan drill bit masih rendah karena tidak ada monitoring kondisi tool secara sistematis.

Spindle Bearing, Servo Motor, dan Ball Screw memiliki RPN di kisaran 200-216, menunjukkan tingkat risiko yang juga signifikan meskipun frekuensi kejadiannya lebih rendah dibandingkan jig fixture dan drill bit. Spindle bearing yang aus dapat menyebabkan getaran tinggi dan penurunan presisi mesin, bahkan berpotensi merusak komponen lain. Servo motor yang overheat menyebabkan mesin stop total dengan

severity sangat tinggi (10), namun occurrence relatif rendah (3) karena belum sering terjadi. Ball screw yang mengalami backlash menyebabkan positioning error dan penurunan presisi, yang berdampak pada kualitas produk.

Komponen lain seperti Tool Magazine, Coolant Pump, Limit Switch, Air Pressure System, dan Control Panel memiliki RPN di bawah 200, menunjukkan tingkat risiko yang lebih rendah. Meskipun demikian, komponen-komponen ini tetap perlu diperhatikan dalam maintenance planning untuk mencegah terjadinya failure yang dapat mengganggu produksi.

Tabel 4.6 Prioritas Komponen Kritis Berdasarkan RPN

Prioritas	Komponen	RPN	Kategori Risiko	Tindakan yang Diperlukan
1	Jig Fixture	280	Sangat Tinggi	Preventive maintenance berkala setiap 100 cycle, kalibrasi rutin, spare jig harus tersedia
2	Drill Bit	224	Tinggi	Monitoring tool life, penggantian sebelum mencapai batas, optimasi parameter cutting
3	Spindle Bearing	216	Tinggi	Lubrikasi terjadwal, monitoring vibrasi, penggantian preventif setiap 2000 jam
4	Servo Motor	210	Tinggi	Monitoring temperatur, cleaning cooling fan, check beban operasi
5	Ball Screw	200	Tinggi	Lubrikasi berkala, cleaning kontaminan, inspeksi backlash

Berdasarkan prioritas pada Tabel 4.6, kelima komponen kritis ini harus menjadi fokus utama dalam structured maintenance planning. Untuk Jig Fixture, diperlukan preventive maintenance berkala setiap 100 cycle penggunaan, kalibrasi rutin untuk memastikan presisi, dan penyediaan spare jig untuk mengurangi downtime saat

penggantian. Untuk Drill Bit, diperlukan sistem monitoring tool life yang akurat, penggantian drill bit sebelum mencapai batas wear-out untuk menghindari patah mendadak, dan optimasi parameter cutting untuk memperpanjang tool life.

Untuk Spindle Bearing, diperlukan jadwal lubrikasi yang ketat sesuai rekomendasi manufacturer, monitoring vibrasi menggunakan vibration analyzer untuk early detection masalah, dan penggantian preventif setiap 2000 jam operasi atau berdasarkan hasil monitoring kondisi. Untuk Servo Motor, diperlukan monitoring temperatur operasi, pembersihan cooling fan secara berkala, dan pengecekan beban operasi untuk menghindari overload. Untuk Ball Screw, diperlukan lubrikasi berkala sesuai jadwal, pembersihan kontaminan dari guideways, dan inspeksi backlash secara periodik.

Hasil analisis FMEA memberikan dasar yang kuat untuk merancang preventive maintenance schedule yang fokus pada komponen-komponen kritis dengan risiko tinggi. Pendekatan ini lebih efektif dibandingkan reactive maintenance yang hanya menunggu komponen rusak baru diperbaiki. Dengan melakukan preventive maintenance pada kelima komponen kritis ini secara teratur, diharapkan dapat mengurangi downtime tidak terencana dari 27 jam per bulan menjadi target maksimal 10 jam per bulan, sehingga availability mesin meningkat dan bottleneck dapat diminimalisir.

#### **4.2.2 Analisis 5W1H**

Metode 5W1H digunakan sebagai langkah awal untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan permasalahan bottleneck pada mesin CNC Milling secara komprehensif dengan menjawab enam pertanyaan fundamental. Analisis dilakukan berdasarkan hasil observasi langsung di lantai produksi dan wawancara dengan Supervisor Produksi, Kepala Maintenance, operator mesin CNC, dan teknisi maintenance.

Pendekatan 5W1H memastikan tidak ada aspek penting yang terlewatkan dalam identifikasi masalah awal, sehingga analisis selanjutnya menggunakan VSM dan FMEA dapat dilakukan dengan lebih terarah dan akurat. Hasil analisis 5W1H untuk permasalahan bottleneck pada mesin CNC Milling di PT Imedal Karya Teknik dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Identifikasi Masalah Komponen Kritis dengan Metode 5W1H

<b>Komponen Kritis</b>	<b>Failure Mode</b>	<b>RPN</b>	<b>What (Masalah)</b>	<b>Why (Penyebab)</b>	<b>Where</b>	<b>When</b>	<b>Who (Terdampak)</b>	<b>How (Dampak)</b>
Jig Fixture	Aus, tidak presisi, tidak sesuai variasi part	280	Waktu setup lama 45 menit per pergantian, tingkat scrap 3%, part tidak presisi, downtime 1,780 menit per 3 bulan	Tidak ada jadwal penggantian preventif, perlengkapan akibat frekuensi penggunaan yang tinggi, desain perlengkapan tidak modular untuk variasi part job shop, keausan tanpa pemantauan	Mesin CNC Milling Unit 1 & 2 di area machining PT Imedal Karya Teknik	Setiap pergantian produk 5-8 kali per hari, intensifkan saat masa puncak produksi, masalah konsisten sepanjang periode produksi	Operator (setup lama, kesulitan clamping), Production Planning (delay schedule), QC (reject rate tinggi), Customer (lead time panjang)	Menyebabkan bottleneck utama dengan kontribusi 55,6% total downtime, WIP menumpuk di depan mesin,

<b>Komponen Kritis</b>	<b>Failure Mode</b>	<b>RPN</b>	<b>What (Masalah)</b>	<b>Why (Penyebab)</b>	<b>Where</b>	<b>When</b>	<b>Who (Terdampak)</b>	<b>How (Dampak)</b>
Drill Bit	Patah/tumpul premature	224	Umur alat pendek hanya 80 lubang untuk baja ringan, kerusakan mata bor 15 kejadian per 3 bulan, waktu henti 928 menit per 3 bulan, potongan benda kerja saat kerusakan	Parameter pemotongan tidak optimal (kecepatan 1500 RPM terlalu tinggi, pemakanan berlebihan 200 mm/mnt), tidak ada sistem pelacakan umur pahat, penggunaan melebihi batas tanpa penggantian,	Mesin CNC Milling Unit 1 & 2, tool storage di tool crib area	Kegagalan acak saat operasi rata-rata 5 kejadian per bulan, intensif saat produksi batch besar, downtime darurat tidak terprediksi	Operator (penghentian produksi darurat), Pemeliharaan (penggantian reaktif), Produksi (gangguan jadwal), QC (inspeksi barang rusak)	Kontribusi 29,0% total downtime, emergency downtime rata-rata 62 menit per kejadian, tool cost tinggi

<b>Komponen Kritis</b>	<b>Failure Mode</b>	<b>RPN</b>	<b>What (Masalah)</b>	<b>Why (Penyebab)</b>	<b>Where</b>	<b>When</b>	<b>Who (Terdampak)</b>	<b>How (Dampak)</b>
				pendinginan tidak memadai				
Spindle Bearing	Bearing failure	216	Potensi kegagalan dengan kerusakan 3-5 hari,	Tidak ada program pemeliharaan prediktif, pelumasan tidak teratur dan tidak sesuai jadwal OEM, tidak	Spindle unit pada mesin CNC Milling Unit 1 & 2	Frekuensi rendah tapi dampak tinggi, data historis 1-2 kejadian per tahun, degradasi progresif	Seluruh lini produksi berhenti total, Pemeliharaan (perbaikan darurat 3-5 hari), Perencanaan Produksi	Penurunan efektifitas produksi dikarenakan tidak dapat melanjutkan ke proses selanjutnya

Komponen Kritis	Failure Mode	RPN	What (Masalah)	Why (Penyebab)	Where	When	Who (Terdampak)	How (Dampak)
				ada pemantauan getaran, penggunaan bearing mencapai 3000+ jam tanpa inspeksi		tidak terdeteksi sejak dini, kegagalan umumnya tiba-tiba	(penjadwalan ulang besar-besaran), Pelanggan (keterlambatan pengiriman parah)	
Servo Motor	Motor failure, encoder error	210	Potensi machine breakdown 2-4 hari,	Tidak ada sistem pemantauan kondisi, parameter operasional tidak di-track (arus, suhu),	Servo motor axis X, Y, Z pada mesin CNC Milling Unit 1 & 2 (total 6	Jarang tapi parah, historis 1 kejadian per 2 tahun, tanda peringatan sering	Produksi berhenti total saat terjadi kegagalan, Pemeliharaan (pemecahan masalah 6-8 jam, perbaikan	Mesin down 2-4 hari,

Komponen Kritis	Failure Mode	RPN	What (Masalah)	Why (Penyebab)	Where	When	Who (Terdampak)	How (Dampak)
				pemeliharaan preventif hanya reaktif, degradasi pelenturan kabel tidak terdeteksi	servo motors)	diabaikan (alarm kelebihan beban), degradasi progresif tetapi tidak termonitor	2-4 hari), Produksi (gangguan besar), Dukungan vendor (waktu tunggu suku cadang)	
Ball Screw	Keausan, peningkatan reaksi balik, kesalahan posisi	200	Akurasi posisi terdegradasi $>\pm 0,02\text{mm}$ , peningkatan backlash progresif, tingkat penolakan	Pelumasan tidak sistematis (seharusnya 400 jam tapi aktual $>800$ jam), tidak ada backlash pengukuran	Ball screw axis X, Y, Z pada mesin CNC Milling Unit 1 & 2 (total 6 ball screws)	Keausan progresif sepanjang waktu, kesalahan pemosisian mulai signifikan setelah	QC (tingkat penolakan meningkat), Operator (pengerjaan ulang sering terjadi), Pelanggan (keluhan	Penolakan sebagian komponen sebesar 1,5% akibat kesalahan penempatan, biaya pengerjaan

<b>Komponen Kritis</b>	<b>Failure Mode</b>	<b>RPN</b>	<b>What (Masalah)</b>	<b>Why (Penyebab)</b>	<b>Where</b>	<b>When</b>	<b>Who (Terdampak)</b>	<b>How (Dampak)</b>
			komponen 1,5% akibat kesalahan dimensi, potensi kerusakan 2-3 hari	rutin, bellow robek menyebabkan masuknya chip, jam pemakaian tidak di-track		6000+ jam penggunaan, kegagalan total 1 kejadian per 3 tahun	kualitas), Pemeliharaan (penggantian reaktif saat terjadi kerusakan)	ulang, risiko keluhan pelanggan, kerusakan 2-3 hari saat terjadi kegagalan total.

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa setiap komponen kritis memiliki karakteristik masalah yang berbeda. Jig Fixture dan Drill Bit memiliki karakteristik high-frequency failures dengan occurrence tinggi namun severity relatif rendah (7-8), sementara Spindle Bearing, Servo Motor, dan Ball Screw memiliki karakteristik low-frequency high-impact failures dengan severity sangat tinggi (9-10) namun occurrence rendah.

Hasil analisis 5W1H menunjukkan bahwa permasalahan bottleneck pada mesin CNC Milling bukan hanya disebabkan oleh kapasitas mesin yang terbatas, tetapi lebih kompleks melibatkan aspek maintenance (tidak ada preventive maintenance terstruktur), tooling (tidak ada tool life management), setup (fixture tidak modular), dan monitoring (tidak ada condition-based maintenance).

#### **4.2.2 Value Stream Mapping (VSM)**

Value Stream Mapping (VSM) digunakan untuk memetakan aliran material dan informasi dalam proses produksi bracket standar di PT Imedal Karya Teknik. VSM memberikan visualisasi yang jelas mengenai current state (kondisi aktual saat ini) dari keseluruhan proses produksi, mengidentifikasi aktivitas value-added dan non-value-added, serta mendeteksi lokasi bottleneck dan waste yang terjadi dalam sistem.

Current State Map dibuat berdasarkan data aktual yang dikumpulkan dari observasi langsung di rantai produksi. Pemetaan dimulai dari supplier material hingga customer, mencakup semua proses produksi yang dilalui oleh produk bracket standar. Data yang diperlukan untuk pembuatan VSM meliputi cycle time setiap proses, jumlah operator, available time, uptime, changeover time, dan inventory antar proses. Simbol-simbol standar VSM digunakan untuk merepresentasikan setiap elemen dalam aliran produksi.

Tabel 4.8 Data untuk Current State Map Produksi Bracket Standar

Proses	Cycle Time (menit)	Changeover Time (menit)	Uptime (%)	Jumlah Operator	Available Time (menit/hari)	WIP (unit)
CNC Cutting	6	20	95	2	480	5
CNC Milling	12	45	85	4	480	15
Welding	8	30	92	4	480	8
Bending/Rolling	7	25	93	3	480	5
Finishing	5	15	96	2	480	3

Berdasarkan Tabel 4.6, terlihat bahwa proses CNC Milling memiliki cycle time terpanjang (12 menit), changeover time tertinggi (45 menit), dan uptime terendah (85%). Penumpukan WIP tertinggi juga terjadi di depan mesin CNC Milling sebanyak 15 unit, mengindikasikan bahwa proses ini merupakan bottleneck. Uptime 85% pada CNC Milling berarti mesin hanya available untuk produksi selama 85% dari available time, sisanya 15% hilang akibat downtime.

Perhitungan lead time dan value-added time dilakukan untuk mengetahui efisiensi proses. Lead time adalah total waktu yang dibutuhkan produk dari raw material hingga finished goods, termasuk cycle time dan waiting time. Value-added time adalah waktu dimana proses benar-benar menambah nilai pada produk, yaitu cycle time proses produksi. Perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Perhitungan Lead Time dan Value-Added Time

Komponen Waktu	Nilai (menit)	Keterangan
Total Cycle Time (CT)	38	$6 + 12 + 8 + 7 + 5$

Komponen Waktu	Nilai (menit)	Keterangan
Total Waiting Time	252	Waiting antar proses akibat WIP
Total Lead Time (LT)	290	CT + Waiting Time
Value-Added Time (VA)	38	Sama dengan Total Cycle Time
Non-Value-Added Time (NVA)	252	Sama dengan Waiting Time
Process Cycle Efficiency (PCE)	13,1%	$(VA / LT) \times 100\%$

Hasil perhitungan menunjukkan Process Cycle Efficiency (PCE) hanya sebesar 13,1%, artinya hanya 13,1% dari total lead time yang benar-benar menambah nilai pada produk. Sisanya 86,9% adalah aktivitas non-value-added berupa waiting time. Nilai PCE 13,1% ini masih sangat rendah jika dibandingkan dengan target lean manufacturing yang baik yaitu minimal 25%. Hal ini menunjukkan masih banyak waste yang terjadi dalam sistem produksi, terutama waste waiting akibat bottleneck pada CNC Milling.

Identifikasi waste dilakukan menggunakan konsep 7 waste dalam lean manufacturing yaitu Transportation, Inventory, Motion, Waiting, Overproduction, Overprocessing, dan Defects. Hasil identifikasi waste dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Identifikasi Waste dalam Proses Produksi

Jenis Waste	Deskripsi	Dampak	Kontribusi
Waiting	WIP menumpuk di depan CNC Milling menunggu diproses. Stasiun downstream (welding, bending) idle waiting supply dari CNC Milling.	Lead time meningkat, WIP tinggi, idle time downstream	Sangat Tinggi
Inventory	Akumulasi WIP sebanyak 36 unit di seluruh proses, dengan	Biaya inventory holding meningkat, space requirement	Tinggi

Jenis Waste	Deskripsi	Dampak	Kontribusi
	konsentrasi tertinggi 15 unit di depan CNC Milling	bertambah, risiko defect	
Defects	Kerusakan produk akibat drill bit patah atau jig tidak sesuai menyebabkan rework atau scrap	Biaya rework, pemborosan material, delay produksi	Sedang
Motion	Operator CNC melakukan gerakan tidak perlu untuk setup jig dan tool akibat layout tool yang tidak ergonomis	Waktu setup bertambah, kelelahan operator	Rendah
Transportation	Perpindahan material antar stasiun dengan jarak rata-rata 15 meter menggunakan forklift	Waktu transport, risiko kerusakan saat handling	Rendah
Overprocessing	Inspeksi berulang pada setiap tahap proses tanpa value-added yang jelas	Waktu inspeksi bertambah	Sangat Rendah
Overproduction	Tidak teridentifikasi karena sistem make-to-order	Tidak ada	Tidak Ada

Hasil identifikasi waste menunjukkan bahwa waste waiting memiliki kontribusi sangat tinggi terhadap inefisiensi proses, disebabkan oleh bottleneck pada CNC Milling. Waste inventory juga tinggi akibat penumpukan WIP yang disebabkan oleh bottleneck yang sama. Waste defects memiliki kontribusi sedang dan berkaitan langsung dengan masalah maintenance mesin CNC. Waste motion, transportation, dan overprocessing memiliki kontribusi relatif kecil. Waste overproduction tidak terjadi karena perusahaan menerapkan sistem make-to-order.

Analisis VSM mengkonfirmasi bahwa mesin CNC Milling merupakan bottleneck utama dalam sistem produksi dengan indikator:

1. Cycle time terpanjang dibandingkan stasiun lain.
2. Uptime terendah akibat downtime tinggi.
3. Utilisasi tertinggi mencapai 90%.
4. Penumpukan WIP terbanyak di depan mesin.
5. Menyebabkan idle time pada stasiun downstream.

Perbaikan pada bottleneck ini akan memberikan dampak terbesar terhadap peningkatan throughput sistem secara keseluruhan sesuai dengan prinsip Theory of Constraints.

## **BAB V**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 Analisis Hasil Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) memberikan pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan komponen kritis mesin CNC Milling berdasarkan tingkat risiko yang dihitung melalui Risk Priority Number (RPN). Hasil analisis FMEA menunjukkan bahwa kelima komponen dengan RPN tertinggi yaitu Jig Fixture (RPN 280), Drill Bit (RPN 224), Spindle Bearing (RPN 216), Servo Motor (RPN 210), dan Ball Screw (RPN 200) harus menjadi prioritas utama dalam structured maintenance planning.

Jig Fixture dengan RPN tertinggi 280 merupakan komponen yang paling kritis dan urgent untuk ditangani. Tingginya RPN disebabkan oleh kombinasi severity tinggi (7), occurrence sangat tinggi (8), dan detection sedang (5). Severity score 7 mengindikasikan bahwa kegagalan jig fixture memiliki dampak serius terhadap produksi yaitu produk tidak sesuai dimensi yang mengakibatkan reject atau rework, serta mesin harus stop untuk adjustment dengan downtime rata-rata 3 jam per kejadian. Occurrence score 8 menunjukkan bahwa masalah ini terjadi sangat sering yaitu 5 kali per bulan berdasarkan data historis, yang berarti hampir setiap minggu terjadi masalah jig fixture. Detection score 5 mengindikasikan kemampuan deteksi yang sedang, dimana masalah baru diketahui setelah produk hasil milling mengalami deviation dimensi saat inspeksi, bukan melalui inspeksi preventif pada jig itu sendiri.

Penyebab utama masalah jig fixture adalah keausan normal akibat penggunaan berulang dan tidak adanya preventive maintenance yang teratur pada jig. Jig fixture merupakan komponen yang mengalami kontak fisik dengan workpiece dan tool, sehingga secara alami akan mengalami wear over time. Namun, tanpa inspeksi berkala dan maintenance terstruktur, keausan ini dibiarkan terakumulasi hingga jig tidak lagi presisi dan menyebabkan produk out of tolerance. Menurut Liansari et al. (2020), jig fixture harus diinspeksi dan dikalibrasi secara periodik untuk memastikan presisi tetap terjaga.

Rekomendasi untuk jig fixture adalah implementasi preventive maintenance berkala setiap 100 cycle penggunaan, kalibrasi menggunakan Coordinate Measuring

Machine (CMM) untuk memverifikasi presisi, serta penyediaan spare jig yang telah siap pakai sehingga ketika terjadi kerusakan atau penurunan presisi, proses changeover dapat dilakukan dengan cepat tanpa menunggu proses perbaikan.

Usulan perbaikan tersebut telah dikonsultasikan dengan pihak teknisi dan supervisor produksi PT Imedal Karya Teknik untuk memastikan kelayakan implementasi di lapangan. Hasil konsultasi menunjukkan bahwa rekomendasi preventive maintenance dan penyediaan spare jig dinilai realistis serta dapat diterapkan secara bertahap sesuai dengan kapasitas operasional perusahaan.

Drill Bit dengan RPN 224 merupakan komponen kritis kedua dengan severity tinggi (8), occurrence tinggi (7), dan detection sedang (4). Severity score 8 mengindikasikan dampak yang lebih serius dibandingkan jig fixture, karena ketika drill bit patah, mesin langsung stop total dan produk yang sedang dikerjakan pasti reject. Selain itu, ada risiko kerusakan sekunder pada spindle atau workpiece jika fragment drill bit yang patah tidak dibersihkan dengan sempurna. Occurrence score 7 dengan frekuensi 3 kali per bulan menunjukkan ini adalah masalah yang sangat sering terjadi dan predictable. Detection score 4 mengindikasikan kemampuan deteksi yang terbatas, dimana failure drill bit terjadi secara tiba-tiba tanpa warning yang jelas.

Penyebab kerusakan drill bit adalah penggunaan melebihi tool life yang direkomendasikan oleh manufacturer, parameter cutting yang tidak optimal seperti feed rate atau cutting speed yang terlalu tinggi, dan variasi kualitas material benda kerja yang menyebabkan beban cutting tidak konsisten. Menurut Hidayat (2023), tool life dapat diperpanjang secara signifikan dengan monitoring penggunaan dan penggantian preventif sebelum mencapai batas wear-out. Rekomendasi untuk drill bit adalah implementasi tool life management system yang mencatat setiap penggunaan drill bit dan memberikan alert saat mendekati batas usage, penggantian drill bit sebelum mencapai 80% dari recommended tool life untuk menghindari catastrophic failure, optimasi parameter cutting berdasarkan jenis material dan diameter hole yang dikerjakan, dan penyediaan stock drill bit yang memadai untuk semua size yang sering digunakan.

Spindle Bearing dengan RPN 216 memiliki severity sangat tinggi (9) namun occurrence relatif rendah (4) dan detection sulit (6). Severity score 9 mengindikasikan

bahwa kegagalan spindle bearing adalah masalah yang sangat serius karena dapat menyebabkan getaran tinggi yang merusak presisi mesin, potential damage pada spindle motor itu sendiri yang sangat mahal, dan bahkan risiko kerusakan komponen lain yang connected dengan spindle. Occurrence score 4 menunjukkan bahwa spindle bearing belum sering rusak, namun jika dibiarkan tanpa preventive maintenance, probabilitas failure akan meningkat seiring dengan jam operasi mesin. Detection score 6 mengindikasikan bahwa masalah spindle bearing sulit dideteksi secara visual dan memerlukan monitoring khusus seperti vibration analysis.

Penyebab kerusakan spindle bearing adalah lubrikasi yang tidak memadai baik dari segi kualitas lubricant maupun frekuensi re-lubrication, overload akibat parameter cutting yang terlalu aggressive atau tool yang tidak balance, dan kontaminasi dari coolant atau chips yang masuk ke bearing housing. Menurut Simanjuntak & Megantara (2022), spindle bearing pada CNC milling harus dilubrikasi setiap 500-750 jam operasi dan diganti preventif setiap 2000-3000 jam tergantung load factor. Rekomendasi untuk spindle bearing adalah implementasi scheduled lubrication setiap 600 jam operasi menggunakan grease berkualitas tinggi yang direkomendasikan manufacturer, monitoring vibrasi menggunakan vibration analyzer setiap bulan untuk mendeteksi early sign of bearing failure seperti peningkatan amplitude pada bearing defect frequency, dan planned replacement setiap 2000 jam operasi atau sebelum mesin menunjukkan symptom abnormal vibration.

Servo Motor dengan RPN 210 memiliki severity sangat tinggi (10) namun occurrence sangat rendah (3) dan detection sangat sulit (7). Severity score 10 mengindikasikan bahwa kegagalan servo motor adalah worst case scenario karena menyebabkan mesin stop total, tidak bisa melakukan axis movement, alarm error yang memerlukan technician specialist untuk troubleshoot, dan downtime yang bisa sangat panjang jika harus order spare part dari supplier luar negeri. Occurrence score 3 menunjukkan bahwa servo motor belum pernah rusak atau sangat jarang rusak, yang berarti ini adalah komponen yang relatively reliable. Detection score 7 mengindikasikan bahwa masalah servo motor sangat sulit dideteksi sebelum failure terjadi, dan biasanya baru diketahui saat motor sudah overheat atau error alarm muncul di control panel.

Penyebab potensial kerusakan servo motor adalah beban berlebih akibat ball screw yang binding atau stick-slip, cooling fan yang rusak atau kotor sehingga motor tidak mendapat pendinginan yang adequate, dan interferensi elektrik dari peralatan lain yang menyebabkan noise pada encoder signal. Rekomendasi untuk servo motor adalah monitoring temperatur operasi menggunakan infrared thermometer setiap minggu untuk memastikan motor tidak overheating, pembersihan cooling fan dan heat sink setiap bulan untuk memastikan airflow optimal, pengecekan beban operasi melalui monitoring motor current untuk mendeteksi abnormal load yang bisa merusak motor, dan penyediaan spare servo motor untuk critical axis (minimal untuk X-axis) untuk mengurangi downtime jika terjadi failure.

Ball Screw dengan RPN 200 memiliki severity tinggi (8), occurrence sedang (5), dan detection sedang (5). Severity score 8 mengindikasikan bahwa kegagalan ball screw menyebabkan positioning error yang serius, penurunan presisi mesin yang berdampak pada kualitas produk, dan potential increase pada cycle time karena mesin harus bergerak lebih lambat untuk maintain accuracy. Occurrence score 5 menunjukkan bahwa masalah ball screw terjadi sesekali, biasanya dalam bentuk backlash yang gradually increasing over time. Detection score 5 mengindikasikan bahwa masalah ball screw dapat dideteksi melalui inspeksi manual dengan mengukur backlash menggunakan dial indicator, namun tidak ada monitoring otomatis atau scheduled inspection.

Penyebab kerusakan ball screw adalah kontaminasi dari chips atau coolant yang masuk ke ball nut dan menyebabkan scoring pada ball track, lubrikasi yang tidak adequate sehingga ball mengalami dry contact dan wear, dan overload akibat rapid movement atau emergency stop yang terlalu frequent. Rekomendasi untuk ball screw adalah lubrikasi berkala setiap 300 jam operasi menggunakan special grease untuk precision ball screw, pembersihan way covers dan protection bellows secara rutin untuk mencegah kontaminasi masuk ke ball screw mechanism, inspeksi backlash setiap 3 bulan menggunakan dial indicator untuk mendeteksi wear, dan jika backlash melebihi 0.05mm, ball nut harus diganti untuk maintain precision.

Kesimpulan dari analisis FMEA adalah bahwa kelima komponen kritis ini harus menjadi fokus utama dalam preventive maintenance planning karena memiliki risiko

tinggi terhadap terjadinya downtime dan bottleneck. Pendekatan berbasis risiko melalui FMEA memungkinkan alokasi resources maintenance yang lebih efektif dengan memprioritaskan komponen high-risk dibandingkan melakukan maintenance secara equal pada semua komponen. Menurut Ashayeri (2007), maintenance planning berbasis FMEA dapat mengurangi total maintenance cost hingga 18% dan mengurangi emergency maintenance dari 35% menjadi 15% melalui shifting dari reactive ke preventive maintenance. Dengan melakukan preventive maintenance pada kelima komponen kritis ini secara teratur dan terstruktur, diharapkan dapat mengurangi downtime tidak terencana dari 27 jam per bulan menjadi target maksimal 10 jam per bulan, meningkatkan availability mesin dari 84,66% menjadi minimal 94,32%, dan mengeliminasi bottleneck pada mesin CNC Milling.

## **5.2 Analisis Hasil 5W1H**

Analisis metode 5W1H yang telah dilakukan pada Bab IV memberikan pemahaman komprehensif mengenai permasalahan bottleneck pada mesin CNC Milling dari berbagai perspektif. Metode ini efektif dalam mengidentifikasi akar permasalahan secara terstruktur melalui enam pertanyaan fundamental yang saling berkaitan. Hasil analisis 5W1H menunjukkan bahwa permasalahan bottleneck bukan semata-mata disebabkan oleh kapasitas mesin yang terbatas, tetapi lebih fundamental pada sistem maintenance yang belum optimal.

Dari aspek What (Apa), teridentifikasi bahwa permasalahan utama adalah bottleneck pada mesin CNC Milling yang menyebabkan gap produksi sebesar 40% dari target. Dampak yang ditimbulkan sangat signifikan meliputi penurunan throughput sistem produksi dari target 50 unit per hari menjadi hanya 30 unit per hari, downtime mesin yang mencapai 27 jam per bulan atau 15,34% dari available time, keterlambatan pengiriman kepada pelanggan, dan kerugian finansial mencapai Rp 10.000.000 per bulan akibat opportunity loss dan biaya overtime. Angka downtime 15,34% ini jauh di atas standar industri yang baik yaitu di bawah 10%, menunjukkan adanya masalah serius dalam maintenance management.

Analisis aspek Who (Siapa) mengidentifikasi stakeholder yang terlibat dan terdampak oleh bottleneck. Operator mesin CNC Milling sebanyak 4 orang menjadi pihak yang langsung berhadapan dengan masalah operasional harian, namun memiliki keterbatasan dalam melakukan troubleshooting dan preventive maintenance dasar akibat kurangnya training. Teknisi maintenance sebanyak 2 orang bertanggung jawab untuk perbaikan breakdown namun overload karena harus menangani seluruh mesin di pabrik tanpa adanya preventive maintenance planning yang terstruktur. Supervisor Produksi menghadapi kesulitan dalam memenuhi production schedule akibat ketidakpastian availability mesin. Kepala Maintenance memiliki tanggung jawab strategis namun belum mengimplementasikan sistem maintenance yang berbasis data dan risiko. Pihak downstream seperti operator welding dan bending mengalami idle time yang tinggi, sementara management menghadapi kerugian finansial dan penurunan customer satisfaction.

Dari aspek Where (Dimana), bottleneck teridentifikasi secara spesifik pada stasiun mesin CNC Milling yang terletak di area produksi utama lantai 1 Workshop. Penumpukan WIP di depan mesin CNC Milling mencapai 15-20 unit, mengindikasikan terjadinya queue dan waiting time yang tinggi. Lokasi kedua mesin CNC Milling yang berdampingan dengan jarak 3 meter memudahkan operator dalam handling namun juga berarti jika satu mesin breakdown, tekanan pada mesin lainnya semakin besar. Layout produksi menunjukkan bahwa semua produk harus melewati CNC Milling sebagai critical path, sehingga setiap gangguan pada mesin ini langsung berdampak pada keseluruhan throughput sistem.

Analisis aspek When (Kapan) menunjukkan bahwa bottleneck terjadi secara konsisten sepanjang waktu operasional dengan intensitas lebih tinggi pada hari Senin sampai Rabu dimana volume order tinggi. Breakdown terjadi dengan frekuensi 8 kali per bulan tanpa pola waktu yang spesifik, mengindikasikan karakteristik random failure akibat tidak adanya preventive maintenance terstruktur. Kerusakan drill bit terjadi rata-rata 3 kali per bulan dengan durasi downtime 4 jam per kejadian, sementara masalah jig fixture terjadi 5 kali per bulan dengan durasi 3 jam per kejadian. Tidak adanya pola temporal yang jelas menunjukkan bahwa breakdown terjadi secara unpredictable, yang

merupakan ciri khas dari reactive maintenance approach dimana perbaikan baru dilakukan setelah kerusakan terjadi.

Aspek Why (Mengapa) memberikan insight paling krusial mengenai akar penyebab bottleneck. Penyebab fundamental teridentifikasi adalah tidak adanya sistem preventive maintenance terstruktur yang menyebabkan downtime tinggi akibat breakdown tidak terencana. Kerusakan komponen kritis seperti drill bit dan jig fixture tidak diprediksi dan dicegah, melainkan dibiarkan hingga failure terjadi. Tidak ada spare parts management yang baik, sehingga saat breakdown terjadi, repair time menjadi panjang karena harus menunggu pengadaan parts yang bisa memakan waktu sehari-hari. Maintenance schedule tidak terintegrasi dengan production schedule, menyebabkan konflik prioritas antara produksi dan maintenance. Keterbatasan skill operator dan teknisi dalam troubleshooting dan preventive maintenance memperburuk situasi. Tidak ada monitoring kondisi mesin secara berkala untuk early detection masalah, sehingga failure baru diketahui setelah mesin benar-benar breakdown. Akar masalah utama adalah paradigma reactive maintenance dimana maintenance planning belum terstruktur dan tidak berbasis data.

Analisis aspek How (Bagaimana) menjelaskan mekanisme terjadinya bottleneck secara detail. Siklus bottleneck dimulai ketika mesin CNC Milling mengalami breakdown mendadak akibat kerusakan komponen seperti drill bit patah atau jig fixture aus. Produksi langsung terhenti sementara teknisi melakukan diagnosis dan perbaikan dengan rata-rata Mean Time To Repair (MTTR) 3-4 jam. Selama periode downtime, WIP terus menumpuk di depan mesin CNC Milling karena output dari stasiun cutting terus berjalan mengikuti schedule yang sudah ditetapkan. Stasiun downstream seperti welding dan bending mengalami idle time karena tidak ada supply material dari CNC Milling yang menjadi feeder bagi proses selanjutnya. Setelah mesin kembali beroperasi, terjadi backlog yang harus dikejar dengan overtime untuk mencoba memenuhi delivery commitment. Throughput sistem menurun secara keseluruhan karena dibatasi oleh kapasitas CNC Milling yang terganggu sesuai dengan Law of Constraints. Siklus ini berulang setiap kali terjadi breakdown, dan dampaknya terakumulasi menjadi gap produksi 40% dari target secara konsisten.

Kesimpulan dari analisis 5W1H menunjukkan bahwa solusi yang diperlukan bukanlah penambahan kapasitas mesin (*capacity elevasi*) yang memerlukan investasi besar, melainkan optimasi *availability* melalui perbaikan sistem *maintenance*. Menurut Hidayat (2023), *availability* mesin dapat ditingkatkan secara signifikan melalui implementasi *preventive maintenance* yang mengurangi *unplanned downtime*. Dengan mengurangi *downtime* dari 27 jam per bulan menjadi target maksimal 10 jam per bulan melalui *structured maintenance planning*, *availability* dapat meningkat dari 84,66% menjadi 94,32%, yang berdampak langsung pada peningkatan *throughput* sistem tanpa perlu investasi *capital expenditure* untuk mesin baru. Pendekatan ini lebih *cost-effective* dan *sustainable* dalam jangka panjang.

### 5.3 Analisis Hasil Value Stream Mapping (VSM)

Value Stream Mapping (VSM) memberikan visualisasi yang jelas mengenai aliran material dan informasi dalam proses produksi *bracket standar* di PT Imedal Karya Teknik. Hasil pemetaan *current state* menunjukkan adanya *waste* yang signifikan dalam sistem produksi, terutama *waste waiting* yang disebabkan oleh *bottleneck* pada mesin CNC Milling. Analisis VSM mengkonfirmasi temuan dari analisis 5W1H dan memberikan data kuantitatif mengenai dampak *bottleneck* terhadap efisiensi proses.

*Process Cycle Efficiency* (PCE) yang diperoleh hanya sebesar 13,1% menunjukkan bahwa dari total *lead time* 290 menit, hanya 38 menit (13,1%) yang benar-benar menambah nilai pada produk, sedangkan sisanya 252 menit (86,9%) adalah aktivitas *non-value-added* berupa *waiting time*. Menurut Purwaningsih et al. (2021), nilai PCE yang baik dalam implementasi *lean manufacturing* adalah minimal 25%. PCE sebesar 13,1% mengindikasikan sistem produksi yang sangat tidak efisien dengan *waste* yang sangat tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Hidayat (2023) yang menemukan bahwa *bottleneck* dapat menyebabkan PCE turun hingga di bawah 15% pada sistem produksi *job shop*.

Analisis *cycle time* menunjukkan bahwa mesin CNC Milling memiliki *cycle time* terpanjang yaitu 12 menit per unit, dibandingkan dengan *cutting* (6 menit), *welding* (8 menit), *bending* (7 menit), dan *finishing* (5 menit). Perbedaan *cycle time* yang signifikan

ini menciptakan ketidakseimbangan line dan menyebabkan beberapa stasiun kerja memiliki excess capacity sementara CNC Milling menjadi constraint. Kapasitas teoritis CNC Milling hanya 10 unit per jam (untuk 2 mesin) atau 80 unit per hari dalam kondisi ideal, namun dengan uptime hanya 85%, kapasitas efektif turun menjadi sekitar 68 unit per hari. Dalam realitas dengan target 50 unit per hari, seharusnya masih achievable, namun downtime tidak terencana mengakibatkan actual output hanya 30 unit per hari.

Changeover time pada CNC Milling yang mencapai 45 menit merupakan contributor signifikan terhadap capacity loss. Setiap kali terjadi pergantian produk dari bracket ke hook assembly atau sebaliknya, dibutuhkan waktu 45 menit untuk pergantian jig fixture, tool setting, dan program loading. Dalam sistem job shop dengan variasi produk tinggi, changeover bisa terjadi 3-4 kali per hari, mengakibatkan loss time sebesar 135-180 menit per hari atau setara dengan 28-38% dari available time. Kombinasi antara downtime (15,34%) dan changeover loss (30%) mengakibatkan total capacity loss mendekati 45%, menjelaskan mengapa actual output hanya 60% dari target.

Penumpukan WIP yang mencapai 15 unit di depan mesin CNC Milling mengindikasikan terjadinya queue dan waiting time yang tinggi. Menurut Little's Law, waiting time berbanding lurus dengan jumlah WIP dan berbanding terbalik dengan throughput rate. Dengan WIP 15 unit dan throughput 2,5 unit per jam (30 unit per 12 jam kerja efektif), waiting time rata-rata adalah 6 jam atau setengah hari kerja. Hal ini menjelaskan mengapa lead time produksi menjadi sangat panjang mencapai 290 menit atau hampir 5 jam untuk produk yang sebenarnya hanya membutuhkan 38 menit processing time.

Identifikasi 7 waste menunjukkan bahwa waste waiting memiliki kontribusi sangat tinggi dengan 252 menit dari total lead time 290 menit. Waste inventory juga signifikan dengan total WIP 36 unit di seluruh proses, dimana 42% (15 unit) terkonsentrasi di depan CNC Milling. Menurut Safitri et al. (2021), waste waiting dan inventory adalah waste yang paling umum terjadi pada bottleneck dalam sistem job shop. Waste defects yang disebabkan oleh kerusakan drill bit atau jig fixture tidak sesuai menyebabkan rework atau scrap yang menambah beban pada sistem yang sudah terbatas

kapasitasnya. Waste motion, transportation, dan overprocessing memiliki kontribusi relatif kecil dan bukan prioritas untuk improvement saat ini.

Perbandingan utilisasi antar stasiun menunjukkan ketidakseimbangan yang ekstrim. CNC Milling beroperasi pada utilisasi 90%, sementara cutting hanya 60%, welding 65%, bending 58%, dan finishing 55%. Perbedaan utilisasi ini mengkonfirmasi bahwa CNC Milling adalah bottleneck tunggal dalam sistem. Menurut Theory of Constraints yang dikembangkan oleh Goldratt, throughput sistem dibatasi oleh bottleneck dan setiap improvement di non-bottleneck tidak akan meningkatkan *throughput* sistem. Oleh karena itu, semua upaya improvement harus fokus pada bottleneck yaitu CNC Milling.

Analisis VSM juga mengidentifikasi bahwa stasiun downstream (welding dan bending) mengalami idle time yang tinggi. Dengan kapasitas welding 22,5 unit/jam dan utilisasi hanya 65%, terdapat excess capacity sebesar 35% yang tidak termanfaatkan akibat kekurangan supply dari CNC Milling. Similarl, bending dengan kapasitas 25,7 unit/jam dan utilisasi 58% memiliki excess capacity 42%. Idle time pada stasiun downstream ini merupakan hidden cost yang signifikan karena perusahaan tetap harus membayar upah operator dan biaya overhead meskipun mesin tidak produktif.

Kesimpulan dari analisis VSM adalah bahwa bottleneck pada CNC Milling menyebabkan sistem produksi beroperasi jauh di bawah kapasitas optimal dengan PCE hanya 13,1% dan waste waiting yang sangat tinggi. Perbaikan harus difokuskan pada tiga area utama:

1. Mengurangi downtime tidak terencana melalui preventive maintenance untuk meningkatkan uptime dari 85% menjadi minimal 95%.
2. Mengurangi changeover time melalui implementasi Single Minute Exchange of Dies (SMED) dari 45 menit menjadi target maksimal 20 menit.
3. Meningkatkan effectiveness melalui eliminasi waste defects yang disebabkan oleh kerusakan tool dan jig.

Dengan implementasi ketiga improvement ini, availability dan performance CNC Milling dapat ditingkatkan secara signifikan, yang berdampak langsung pada peningkatan throughput sistem dan pengurangan waste waiting.

#### **5.4 Usulan Perbaikan Structured Maintenance Planning**

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode 5W1H, Value Stream Mapping (VSM), dan Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), disusun suatu usulan perbaikan berupa *structured maintenance planning* yang komprehensif untuk mesin CNC Milling di PT Imedal Karya Teknik. Usulan perbaikan ini dirancang sebagai solusi sistematis untuk mengatasi permasalahan utama yang menjadi penyebab terjadinya bottleneck pada proses produksi, yaitu tingginya tingkat downtime mesin yang disebabkan oleh terjadinya breakdown secara tidak terencana. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem pemeliharaan yang diterapkan sebelumnya masih bersifat reaktif, di mana tindakan perbaikan baru dilakukan setelah terjadi kerusakan pada mesin.

Oleh karena itu, melalui usulan *structured maintenance planning* ini dilakukan pergeseran paradigma pemeliharaan dari *reactive maintenance* menuju *preventive maintenance* yang bersifat terencana, terstruktur, dan berbasis pada data historis kerusakan serta tingkat risiko kegagalan komponen mesin. Perencanaan pemeliharaan yang terstruktur ini bertujuan untuk meningkatkan keandalan mesin CNC Milling, menurunkan frekuensi dan durasi downtime, serta mendukung kelancaran aliran proses produksi secara keseluruhan.

*Structured maintenance planning* yang diusulkan terdiri atas empat komponen utama, yaitu penyusunan jadwal *preventive maintenance* yang sistematis berdasarkan tingkat kritikalitas komponen, pengelolaan *spare parts* yang terintegrasi untuk memastikan ketersediaan suku cadang penting, penyusunan Standard Operating Procedure (SOP) maintenance sebagai pedoman pelaksanaan pemeliharaan yang baku, serta penerapan sistem monitoring dan evaluasi untuk mengukur efektivitas kegiatan pemeliharaan yang telah dilakukan. Keempat komponen tersebut saling terkait dan dirancang untuk membentuk sistem pemeliharaan yang berkelanjutan, sehingga mampu meminimalkan risiko terjadinya kerusakan mendadak serta meningkatkan efisiensi dan produktivitas mesin CNC Milling di PT Imedal Karya Teknik.

##### **5.4.1 Preventive Maintenance Schedule**

Preventive Maintenance Schedule merupakan core dari structured maintenance planning yang mengatur jadwal inspeksi, pelumasan, adjustment, dan penggantian komponen berdasarkan waktu atau usage. Schedule dirancang berdasarkan hasil analisis FMEA yang mengidentifikasi komponen kritis dan failure mode yang harus dicegah. Preventive maintenance schedule untuk mesin CNC Milling dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Preventive Maintenance Schedule Mesin CNC Milling

Komponen	Aktivitas Maintenance	Frekuensi	Durasi	PIC
Jig Fixture	Inspeksi presisi & kalibrasi	Setiap 100 cycle	30 menit	Teknisi QC
Drill Bit	Monitoring tool life & penggantian preventif	Setiap 80% tool life	15 menit	Operator
Spindle Bearing	Lubrikasi & monitoring vibrasi	Setiap 600 jam	1 jam	Teknisi
Servo Motor	Cleaning cooling fan & monitoring temperatur	Bulanan	45 menit	Teknisi
Ball Screw	Lubrikasi & inspeksi backlash	Setiap 300 jam	1 jam	Teknisi
Coolant System	Cleaning filter & penggantian coolant	Mingguan	30 menit	Operator
Tool Magazine	Cleaning & inspeksi mekanisme	Bulanan	1 jam	Teknisi
Way Covers	Cleaning & inspeksi kebocoran	Mingguan	20 menit	Operator
Control Panel	Backup program & cleaning sensor	Bulanan	45 menit	Teknisi

Komponen	Aktivitas Maintenance	Frekuensi	Durasi	PIC
Overall Machine	General inspection & cleaning	Harian	15 menit	Operator

Implementasi preventive maintenance schedule memerlukan perubahan budaya kerja dari reactive menjadi proactive. Operator harus dilatih untuk melakukan daily inspection dan basic maintenance seperti cleaning, pelumasan komponen accessible, dan monitoring kondisi umum mesin. Teknisi maintenance harus dijadwalkan untuk melakukan preventive maintenance sesuai schedule tanpa menunggu breakdown terjadi. Untuk memastikan schedule dapat dijalankan, preventive maintenance harus diintegrasikan dengan production schedule oleh PPIC, dengan mengalokasikan window time khusus untuk maintenance tanpa mengganggu delivery commitment.

Perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk preventive maintenance menunjukkan bahwa dengan schedule di atas, total planned downtime untuk preventive maintenance adalah sekitar 6-8 jam per bulan. Ini jauh lebih rendah dibandingkan current unplanned downtime sebesar 27 jam per bulan. Dengan asumsi preventive maintenance dapat mengurangi unplanned downtime sebesar 70%, total downtime (planned + unplanned) diharapkan turun menjadi sekitar 14-16 jam per bulan, meningkatkan availability dari 84,66% menjadi 90-91%. Ini merupakan improvement signifikan yang akan berdampak langsung pada peningkatan throughput.

#### 5.4.2 Spare Parts Management

Spare Parts Management yang efektif merupakan enabler kritis untuk preventive maintenance karena memastikan parts yang dibutuhkan selalu available saat scheduled maintenance maupun saat terjadi breakdown. Saat ini, PT Imedal Karya Teknik tidak memiliki sistem spare parts management yang terstruktur, sehingga saat breakdown terjadi, harus menunggu procurement yang bisa memakan waktu sehari-hari bahkan berminggu-minggu untuk parts yang harus import. Usulan spare parts management mencakup identifikasi critical spare parts, penentuan safety stock level, dan sistem monitoring inventory.

Tabel 5.2 Critical Spare Parts dan Safety Stock Level

Spare Parts	Kategori	Lead Time Procurement	Usage Rate	Safety Stock	Reorder Point
Drill Bit set (various sizes)	Fast Moving	1-2 minggu	3 set/bulan	2 set	1 set
Jig Fixture (standard bracket)	Fast Moving	2-3 minggu	1 pc/2 bulan	2 pcs	1 pcs
Spindle Bearing	Slow Moving Critical	4-6 minggu	1 pc/2 tahun	1 pc	0 pcs
Servo Motor (X- axis)	Slow Moving Critical	6-8 minggu	1 pc/3 tahun	1 pc	0 pcs
Ball Screw Nut	Slow Moving Critical	4-6 minggu	1 pc/tahun	1 pc	0 pcs
Coolant Pump	Medium Moving	2-3 minggu	1 pc/tahun	1 pc	0 pcs
Limit Switch	Fast Moving	1 minggu	2 pcs/tahun	3 pcs	1 pcs
Filter Coolant	Fast Moving	1 minggu	4 pcs/bulan	8 pcs	4 pcs
Grease (bearing)	Fast Moving	1 minggu	2 kg/bulan	4 kg	2 kg
Seal & O-ring set	Fast Moving	1-2 minggu	1 set/bulan	2 set	1 set

Kategori spare parts dibagi menjadi tiga: Fast Moving untuk parts yang sering digunakan dengan lead time pendek, Medium Moving untuk parts yang occasionally digunakan, dan Slow Moving Critical untuk parts yang jarang rusak namun sangat critical dan memiliki lead time panjang. Untuk Slow Moving Critical parts seperti spindle bearing, servo motor, dan ball screw, meskipun usage rate rendah, tetap harus di-stock karena jika tidak available saat dibutuhkan, downtime akan sangat panjang dan berdampak fatal pada produksi.

Sistem reorder point dirancang untuk memastikan procurement dilakukan sebelum stock habis. Reorder point dihitung berdasarkan usage rate dan lead time procurement dengan formula:  $\text{Reorder Point} = (\text{Usage Rate} \times \text{Lead Time}) + \text{Safety Stock}$ . Monitoring inventory dilakukan weekly oleh storekeeper dengan reporting ke Kepala Maintenance jika ada parts yang mencapai reorder point atau di bawah safety stock level. Procurement harus segera diproses untuk menghindari stockout yang dapat menghambat preventive maintenance atau memperpanjang downtime saat breakdown.

#### **5.4.3 Standard Operating Procedure (SOP) Maintenance**

Standard Operating Procedure (SOP) Maintenance diperlukan untuk memastikan aktivitas maintenance dilakukan secara konsisten dan sesuai dengan best practice. SOP mencakup prosedur untuk daily inspection oleh operator, preventive maintenance oleh teknisi, breakdown handling, dan documentation. SOP harus didokumentasikan secara tertulis, dilengkapi dengan checklist, dan mudah diakses oleh operator dan teknisi.

SOP Daily Inspection mencakup aktivitas yang harus dilakukan operator setiap awal shift sebelum mesin dioperasikan meliputi:

1. Visual inspection mesin untuk mendeteksi kebocoran oli atau coolant, kondisi way covers, dan kondisi tool magazine.
2. Checking level coolant dan menambahkan jika kurang.
3. Running mesin pada low speed untuk checking abnormal noise atau vibration.
4. Cleaning chips dan coolant dari work area.
5. Recording hasil inspeksi pada daily checklist dan melaporkan abnormality ke supervisor.

Durasi daily inspection sekitar 10-15 menit dan harus menjadi rutinitas sebelum produksi dimulai.

SOP Preventive Maintenance untuk teknisi mencakup langkah-langkah detail untuk setiap aktivitas maintenance seperti:

1. Persiapan tools dan spare parts yang dibutuhkan.
2. Safety procedure termasuk lockout-tagout untuk memastikan mesin tidak bisa dioperasikan selama maintenance.
3. Step-by-step procedure untuk setiap aktivitas maintenance sesuai manual book manufacturer.
4. Measurement dan recording parameter seperti backlash, vibration level, dan temperature.
5. Testing setelah maintenance untuk memastikan mesin berfungsi normal.
6. Documentation pada maintenance record termasuk date, aktivitas yang dilakukan, parts yang diganti, dan kondisi mesin.

SOP harus dilengkapi dengan foto atau diagram untuk memudahkan teknisi dalam melakukan maintenance dengan benar.

SOP Breakdown Handling mengatur prosedur yang harus dilakukan saat terjadi breakdown untuk meminimalkan downtime meliputi:

1. Immediate reporting ke teknisi dan supervisor saat breakdown terjadi.
2. Diagnosis untuk identifying root cause breakdown bukan hanya symptom.
3. Decision apakah bisa repair on-site atau perlu spare parts.
4. Execution repair dengan mengikuti safety procedure.
5. Testing dan validation setelah repair.
6. Documentation breakdown termasuk failure mode, root cause, action taken, dan downtime duration.

Data breakdown harus dianalisis secara periodik untuk continuous improvement.

#### **5.4.4 Monitoring dan Evaluasi**

Sistem monitoring dan evaluasi diperlukan untuk memastikan structured maintenance planning berjalan efektif dan memberikan improvement yang terukur. Monitoring dilakukan melalui Key Performance Indicators (KPI) yang relevan dengan maintenance

dan production performance. KPI utama yang harus dimonitor adalah availability, Mean Time Between Failures (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), maintenance cost, dan production output.

Tabel 5.3 Key Performance Indicators (KPI) Maintenance

KPI	Formula	Baseline Current	Target 3 Bulan	Target 6 Bulan
Availability	$(\text{Available Time} - \text{Downtime}) / \text{Available Time} \times 100\%$	84,66%	90%	94%
MTBF	Total Operating Time / Number of Failures	66 jam	100 jam	150 jam
MTTR	Total Repair Time / Number of Repairs	3,4 jam	2,5 jam	2 jam
Preventive vs Corrective Ratio	PM Hours / Total Maintenance Hours	0%	40%	60%
Production Output	Units produced per day	30 unit	40 unit	48 unit
Downtime Cost	Downtime hours $\times$ Cost per hour	Rp 10 juta	Rp 5 juta	Rp 3 juta

*Availability* merupakan KPI paling kritis karena directly related dengan capacity dan throughput. Target improvement availability dari 84,66% menjadi 94% dalam 6 bulan diharapkan achievable dengan konsisten menjalankan preventive maintenance dan mengurangi unplanned downtime. MTBF (Mean Time Between Failures) diharapkan meningkat dari 66 jam menjadi 150 jam, mengindikasikan bahwa interval antar breakdown semakin panjang akibat preventive maintenance yang efektif. MTTR (Mean Time To Repair) diharapkan turun dari 3,4 jam menjadi 2 jam melalui spare parts yang ready dan teknisi yang lebih terlatih.

Preventive vs Corrective Ratio menunjukkan shifting dari reactive ke proactive maintenance. Baseline current 0% berarti saat ini semua maintenance bersifat *corrective* (perbaikan saat rusak). Target 60% dalam 6 bulan berarti 60% dari total maintenance hours adalah preventive maintenance dan hanya 40% yang *corrective*. Ini merupakan transformasi yang signifikan dalam maintenance culture. Production output diharapkan meningkat dari 30 unit menjadi 48 unit per hari, mendekati target 50 unit, melalui improvement availability dan reduction waste. Downtime cost diharapkan turun dari Rp 10 juta menjadi Rp 3 juta per bulan, menghasilkan cost saving Rp 7 juta per bulan atau Rp 84 juta per tahun.

Evaluasi dilakukan melalui monthly maintenance meeting yang dihadiri oleh Kepala Maintenance, Supervisor Produksi, dan teknisi untuk reviewing KPI performance, discussing masalah yang terjadi, dan planning improvement action. Data KPI harus divisualisasikan dalam dashboard untuk memudahkan monitoring trend. Jika target tidak tercapai, harus dilakukan root cause analysis untuk mengidentifikasi hambatan dan corrective action. Continuous improvement melalui Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle memastikan maintenance planning terus berkembang dan beradaptasi dengan kondisi aktual.

Selain KPI kuantitatif, evaluasi juga harus mencakup aspek kualitatif seperti competency level teknisi, adherence ke maintenance schedule, dan documentation quality. Training plan harus disusun untuk meningkatkan skill teknisi dalam preventive maintenance, troubleshooting, dan penggunaan monitoring tools seperti vibration analyzer. Operator juga perlu ditraining dalam autonomous maintenance untuk dapat melakukan basic maintenance dan early detection masalah.

Kesimpulan dari usulan perbaikan adalah bahwa structured maintenance planning yang comprehensive mencakup preventive maintenance schedule, spare parts management, SOP maintenance, dan monitoring evaluasi dapat mengatasi akar penyebab bottleneck pada mesin CNC Milling. Implementasi usulan ini diharapkan dapat mengurangi downtime dari 27 jam per bulan menjadi maksimal 10 jam per bulan, meningkatkan availability dari 84,66% menjadi 94%, dan meningkatkan production output dari 30 unit mendekati target 50 unit per hari.

## **BAB VI**

### **PENUTUP**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis failure mode menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) berhasil mengidentifikasi lima komponen kritis mesin CNC Milling yang menjadi penyebab utama downtime dan bottleneck berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi, yaitu Jig Fixture (RPN 280), Drill Bit (RPN 224), Spindle Bearing (RPN 216), Servo Motor (RPN 210), dan Ball Screw (RPN 200). Hasil perhitungan RPN menunjukkan bahwa Jig Fixture menjadi prioritas utama dalam tindakan perbaikan dan perencanaan preventive maintenance karena memiliki tingkat risiko tertinggi terhadap gangguan proses produksi.
2. Penentuan usulan perbaikan menggunakan pendekatan 5W1H menunjukkan bahwa akar penyebab terjadinya bottleneck adalah tidak adanya sistem preventive maintenance yang terstruktur. Kondisi tersebut menyebabkan downtime sebesar 27 jam per bulan (15,34% dari available time), penurunan output produksi menjadi 30 unit per hari dari target 50 unit per hari, serta kerugian finansial sekitar Rp10.000.000 per bulan. Oleh karena itu, direkomendasikan implementasi structured maintenance planning yang mencakup preventive maintenance schedule, pengelolaan spare parts, penyusunan SOP maintenance, dan sistem monitoring evaluasi untuk meningkatkan availability, MTBF, serta produktivitas mesin.

#### **6.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan kepada PT Imedal Karya Teknik dan peneliti selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. PT Imedal Karya Teknik perlu mengimplementasikan usulan structured maintenance planning secara bertahap, dimulai dengan penyusunan *preventive maintenance schedule* untuk komponen dengan nilai RPN tertinggi, pengadaan

*critical spare parts*, pelaksanaan pelatihan bagi operator dan teknisi, serta integrasi maintenance schedule dengan production schedule guna meningkatkan produktivitas dan mengurangi potensi bottleneck pada sistem produksi job shop.

2. Peneliti selanjutnya dapat memperluas cakupan penelitian dengan menambahkan analisis cost-benefit secara komprehensif, melakukan actual implementation dan evaluasi hasil dalam periode 6-12 bulan, mengintegrasikan Overall Equipment Effectiveness (OEE), mengembangkan Computerized Maintenance Management System (CMMS), serta memperluas scope ke mesin-mesin lain dalam sistem produksi untuk continuous improvement.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahyari, A. (2020). *Manajemen Produksi: Perencanaan Sistem Produksi (Edisi Kelima)*. BPFE-Yogyakarta.
- Ashayeri, J., & Teelen, A. (2007). A production and maintenance planning model for the process industry. *International Journal of Production Research*, 39(16), 3585–3602. <https://doi.org/10.1080/00207540110072269>
- Assauri, S. (2016). *Manajemen Operasi Produksi: Pencapaian Sasaran Organisasi Berkesinambungan (Edisi Ketiga)*. PT RajaGrafindo Persada.
- Corder, A. S. (1996). *Teknik Manajemen Pemeliharaan*. Penerbit Erlangga.
- Dhillon, B. S. (2002). *Engineering Maintenance: A Modern Approach*. CRC Press.
- Dyadem Press. (2003). *Guidelines for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) for Automotive, Aerospace, and General Manufacturing Industries*. CRC Press.
- Gasperz, V. (2011). *Lean Six Sigma for Manufacturing and Service Industries*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (2014). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement (3rd Revised Edition)*. North River Press.
- Groover, M. P. (2015). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing (4th Edition)*. Pearson Education.
- Heizer, J., & Render, B. (2014). *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management (11th Edition)*. Pearson Education.
- Hidayat, R., Suryoputro, M. R., & Sari, A. I. (2023). Usulan Perbaikan Sistem Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Meningkatkan Availability Mesin di PT XYZ. *Jurnal Teknik Industri*, 13(2), 156–165. <https://doi.org/10.25105/jti.v13i2.14256>
- Isniah, S., Handayani, N. U., & Kusumawardhani, N. (2020). Analisis Bottleneck Proses Produksi dengan Menggunakan Metode Theory of Constraints. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 6(1), 50–58. <https://doi.org/10.30656/intech.v6i1.2165>
- Kurniawan, R., Zulfikarijah, F., & Utami, E. F. (2021). Analisis Manajemen Risiko Rantai Pasok Menggunakan Supply Chain Operations Reference dan House of Risk. *Operations Excellence: Journal of Applied Industrial Engineering*, 13(2), 115–128. <https://doi.org/10.22441/oe.2021.v13.i2.005>
- Liansari, G. P., Sharipuddin, S., & Maulana, A. (2020). Analisis Risiko Rantai Pasok dengan Pendekatan House of Risk (HOR) pada PT XYZ. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri*, 6(1), 1–6. <https://doi.org/10.36040/jtmi.v6i1.2865>

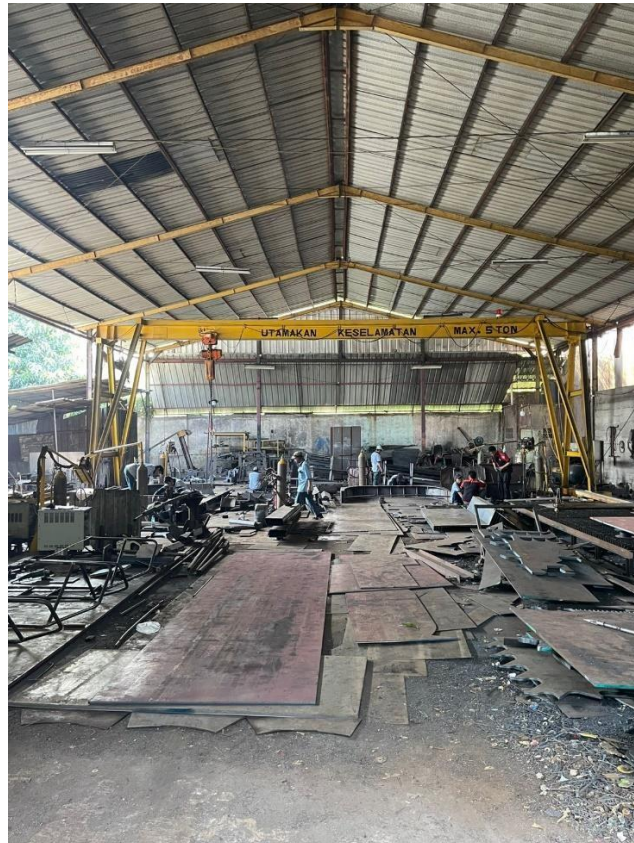
- Moubray, J. (1997). *Reliability-Centered Maintenance (2nd Edition)*. Industrial Press Inc.
- Nakajima, S. (1988). *Introduction to TPM: Total Productive Maintenance*. Productivity Press.
- Pintelon, L., & Parodi-Herz, A. (2008). *Maintenance: An Evolutionary Perspective*. In *Complex System Maintenance Handbook* (pp. 21–48). Springer Series in Reliability Engineering.
- Purwaningsih, R., Darmawan, A. E., & Yuniaristanto, Y. (2021). Analisis Risiko Rantai Pasok pada Industri Furniture dengan Pendekatan House of Risk (HOR) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, 20(1), 49–58. <https://doi.org/10.20961/performa.20.1.49630>
- Ridwan, A. Y., Yuniati, Y., & Hadi, M. S. (2012). Perancangan Sistem Informasi Manajemen Rantai Pasokan di Perusahaan Manufaktur. *Jurnal Teknik Industri*, 13(2), 171–180.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to See: Value Stream Mapping to Create Value and Eliminate Muda (Version 1.3)*. Lean Enterprise Institute.
- Safitri, D. M., Ishak, A., & Suef, M. (2021). Identifikasi Waste pada Sistem Produksi Job Shop dengan Pendekatan Value Stream Mapping. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.63548>
- Simanjuntak, R. A., & Megantara, E. N. (2022). Analisis Maintenance Spindle Bearing pada Mesin CNC Milling untuk Meningkatkan Reliability. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(3), 234–242.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution (2nd Edition)*. ASQ Quality Press.
- Stevenson, W. J. (2018). *Operations Management (13th Edition)*. McGraw-Hill Education.
- Sudarsan, B. (2015). *Manajemen Pemeliharaan Mesin Produksi*. PT Refika Aditama.
- Sugianto, E., & Nurfajriah, N. (2019). Analisis Pengendalian Kualitas dengan Menggunakan Metode 5W1H dan Diagram Pareto pada PT Bintang Jaya Makmur. *Jurnal Manajemen Industri dan Logistik*, 3(1), 35–44. <https://doi.org/10.30988/jmil.v3i1.68>
- Sulaksono, H. (2020). *Budaya Kaizen: Peningkatan Produktivitas Menerapkan Kaizen di Tempat Kerja*. PT Elex Media Komputindo.
- Syahrial, Y., & Mawadati, A. (2016). Analisis Bottleneck dengan Pendekatan Theory of Constraints dalam Upaya Meningkatkan Produktivitas Produksi. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 15(1), 50–72. <https://doi.org/10.25077/josi.v15.n1.p50-72.2016>
- Tarigan, P., & Mutmainah, S. (2023). Manajemen Risiko dalam Mitigasi Rantai Pasok Proses Produksi Bahan Baku dengan Metode House of Risk. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 10(1), 21–30.

- Taufiq, M., & Setiawan, I. (2020). Implementasi Preventive Maintenance dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) untuk Meningkatkan Keandalan Mesin CNC. *Industrial Engineering Online Journal*, 9(2), 1–10.
- Wirawan, B. A. (2015). *Pemeliharaan Mesin CNC (Computer Numerical Control)*. Deepublish.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation (Revised and Updated)*. Free Press.

## LAMPIRAN

### A-Dokumentasi

#### 1. Keadaan PT Imedal Karya Teknik



## 2. Mesin PT Imedal Karya Teknik



### 3. Produk PT Imedal Karya Teknik



