

**ANALISIS PENINGKATAN PRODUKTIVITAS *SPINNING MACHINE/END BOX* MELALUI PENERAPAN *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* DENGAN PENDEKATAN *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* DAN *FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS*
(STUDI KASUS: PT. INDO-RAMA SYNTHETICS TBK)**

TUGAS AKHIR

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



Nama : Irfan Novaldi
No. Mahasiswa : 21522233

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025**

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, 19 - Desember - 2025



(Irfan Novaldi)
21522233

SURAT BUKTI PENELITIAN

INDORAMA

PT. Indo-Rama Synthetics Tbk

SURAT KETERANGAN

NO :008/858/PRS/PD/XI/2024

Yang bertanda tangan dibawah ini Pimpinan PT. Indo-Rama synthetics Tbk Divisi Polyester menerangkan bahwa :

Nama : Irvan Novaldi
NIM : 21522233
Sekolah/Univ. : Universitas Islam Indonesia
Program Studi : Teknologi Industri

Telah melaksanakan Program Praktik Kerja di PT. Indo-Rama synthetics Tbk Divisi Polyester, Departemen POY CP3 terhitung mulai tanggal 7 Oktober 2024 s/d 6 November 2024

Demikian Surat Keterangan ini, dibuat dengan sebenarnya untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Dikeluarkan di : Ubrug, Jatiluhur Purwakarta
Pada Tanggal : 6 November 2024

PT. Indo-Rama synthetics Tbk
Divisi Polyester



Datuk
AGM Personalia

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**ANALISIS PENINGKATAN PRODUKTIVITAS MESIN END BOX MELALUI
PENERAPAN *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* DENGAN
PENDEKATAN *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* DAN *FAILURE
MODE AND EFFECTS ANALYSIS*
(STUDI KASUS: PT. INDO-RAMA SYNTHETICS TBK)**



Menyetujui

Dosen Pembimbing

(Elanjati Worldailmi, S.T., M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

**ANALISIS PENINGKATAN PRODUKTIVITAS MESIN END BOX MELALUI
PENERAPAN *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* DENGAN
PENDEKATAN *OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS* DAN *FAILURE
MODE AND EFFECTS ANALYSIS***

TUGAS AKHIR**Disusun Oleh :****Nama : Irfan Novaldi****No. Mahasiswa : 21522233**

**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, 19 – Desember - 2025****Tim Penguji****Elanjati Worldailmi, S.T., M.Sc.****Ketua****Dr. Joko Sulistio, S.T., M.Sc., M.T.****Anggota I****Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc.****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.****NIK 015220101**

HALAMAN PERSEMBAHAN

Laporan Tugas Akhir ini disusun sebagai bentuk dedikasi atas perjuangan, pembelajaran, dan pencapaian penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Dengan penuh rasa syukur, laporan ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri atas proses panjang yang telah dilalui untuk kedua orang tua saya sebagai sumber kekuatan dan inspirasi untuk civitas akademika, institusi jurusan, fakultas, dan universitas yang telah menjadi rumah ilmu untuk para akademisi dan pelaku industri yang relevan sebagai kontribusi nyata terhadap pengembangan praktik manufaktur khususnya dalam keilmuan yang berkaitan dengan penelitian ini; serta untuk kemajuan ilmu pengetahuan di bidang teknik industri sebagai wujud tanggung jawab intelektual dan keberlanjutan pembela.

MOTTO

1. *"Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum hingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri."* (Q.S. Ar-Ra'd: 11)
2. *"Sesungguhnya Allah mencintai hamba yang apabila melakukan suatu pekerjaan, ia menyempurnakannya."* (HR. Al-Baihaqi)
3. *"Ilmu tanpa amal adalah kegilaan, amal tanpa ilmu adalah kesia-siaan."* (Imam Al-Ghazali)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa. Berkat rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umat beliau hingga akhir zaman.

Laporan Tugas Akhir ini disusun dengan tujuan untuk menganalisis dan memberikan rekomendasi solusi atas permasalahan produktivitas di sektor industri manufaktur dengan pendekatan keilmuan Teknik Industri yang terintegrasi dan komprehensif. Selama proses pelaksanaannya, penulis menghadapi berbagai tantangan, mulai dari pengumpulan data lapangan, proses observasi, analisis sistem produksi, hingga penyusunan laporan secara sistematis. Tantangan tersebut membutuhkan kesabaran, ketekunan, serta konsistensi yang tinggi.

Namun, berkat dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri.
4. Ibu Elanjati Worldailmi, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, motivasi, dan bimbingan yang sangat berharga selama proses penelitian dan penyusunan laporan ini.
5. Pimpinan dan seluruh jajaran manajemen PT Indo-Rama Synthetics Tbk yang telah memberikan kesempatan dan fasilitas dalam pelaksanaan penelitian.
6. Bapak Mulyadi, Bapak Wiwin Suhada, Bapak Sobri, dan Ibu Adinda selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan arahan teknis, wawasan lapangan, serta pendampingan selama proses pengambilan data berlangsung.
7. Kedua orang tua penulis, Bapak Daddy Rachyadi dan Ibu Tatty Yulastri, serta kakak-kakak dari penulis yang selalu memberikan cinta, doa, dukungan moral, dan semangat dalam setiap langkah perjalanan akademik penulis hingga akhir studi.
8. Teman-teman, sahabat, dan seluruh orang terdekat yang telah mendampingi dan menyemangati penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang mohon maaf tidak dapat di sebutkan satu persatu, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata, penulis berharap laporan ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu teknik industri, khususnya dalam optimalisasi sistem produksi di sektor manufaktur. Penulis juga menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan keberkahan bagi semua pihak yang terlibat dan semoga kebaikan yang diberikan oleh semua pihak kepada penulis menjadi amal shaleh yang senantiasa mendapat balasan dan kebaikan yang berlipat dari Allah Subhanhu Wa Ta'ala. Aamiin.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

ABSTRAK

Penelitian ini dilatar belakangi oleh kondisi *spinning machine/End Box* di PT Indo-Rama Synthetics Tbk yang menghadapi kondisi penurunan produktivitas mesin akibat tingginya *downtime* sehingga diperlukan strategi perbaikan yang tepat. Adapun penelitian ini bertujuan menganalisis, mengevaluasi, dan merekomendasikan strategi perbaikan untuk meningkatkan efektivitas mesin terkait berdasarkan akar masalah dan sumber kerugian terbesar. Penelitian ini mengadopsi kerangka terpadu yang terdiri dari: *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), *Six Big Losses* (SBL), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Root Cause Analysis (Diagram Fishbone)*, dan *Total Productive Maintenance* (TPM). Hasil pengukuran OEE menunjukkan nilai rata-rata 80,785%, yang berada di bawah standart JIPM 84,645%. Adapun hasil pengukuran SBL menunjukan kerugian dominannya adalah *equipment failure losses*, menyumbang 41,16% dari *total losses*. Melalui analisis risiko (FMEA) untuk mengidentifikasi komponen spin pack sebagai prioritas utama dengan nilai RPN tertinggi 120. Sementara analisis sumber masal (RCA) menunjukkan bahwa akar masalahnya yaitu kurangnya keterampilan *cleaning* (manusia) dan prosedur *warm-up serial* (metode) pada *spin pack*. Untuk mengatasi akar masalah tersebut, direkomendasikan implementasi strategi TPM, termasuk pilar *autonomous maintenance* (AM) & pilar *training & education* (T&E) dengan fokus pelatihan *specialized skill*, pelaksanaan proyek Kaizen SMED melalui *focused improvement* (*Kobetsu Kaizen*), serta adopsi *Condition-Based Monitoring* (CBM) pada pilar *planned maintenance* (PM). Strategi ini diharapkan berkontribusi nyata dalam meningkatkan OEE mesin dan menekan kerugian secara berkelanjutan.

Kata Kunci: *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), *Six Big Losses* (SBL), *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Root Cause Analysis* (RCA), *Total Productive Maintenance* (TPM).

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kajian Literatur	7
2.1.1 Penelitian Terdahulu	7
2.1.2 Relevansi Penelitian ini.....	12
2.2 Landasan Teori.....	12
2.2.1 Perawatan (Maintenance).....	12
2.2.2 Total Productive Maintenance (TPM)	13
2.2.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE)	14
2.2.4 Six Big Losses (SBL).....	16
2.2.5 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).....	19
2.2.6 Root Cause Analysis (RCA)	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Objek Penelitian.....	24
3.2 Subjek Penelitian	24
3.3 Metode Pengumpulan Data.....	25
3.4 Diagram Alur Penelitian	26
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	30
4.1 Pengumpulan Data	30
4.1.1 Alur Proses Produksi.....	30
4.1.2 Alur Proses Sistem	31
4.1.3 Available Time.....	32
4.1.4 Planned Downtime.....	32
4.1.5 Unplanned Downtime	33
4.1.6 Loading Time.....	33
4.1.7 Operating Time	34
4.1.8 Ideal Cycle Time.....	35
4.1.9 Actual Cycle Time	35
4.1.10 Planned Production	36
4.1.11 Actually Production	37

4.1.12 Defect Amount.....	37
4.1.13 Good Amount.....	38
4.1.14 Total Scrap or Yield.....	39
4.1.15 Setup and Adjustment Time.....	39
4.1.16 Non Productive Time	40
4.2 Pengolahan dan Hasil.....	41
4.2.1 Pengolahan Data Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	41
4.2.2 Pengolahan Data Six Big Losses (SBL)	44
4.2.3 Pengolahan Data Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	50
4.2.4 Pengolahan Data Root Cause Analysis (RCA).....	52
BAB V PEMBAHASAN DAN HASIL	54
5.1 Analisis dan Pembahasan.....	54
5.1.1 Analisis Pembahasan Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	54
5.1.2 Analisis Pembahasan analisis Six Big Losses (SBL)	62
5.1.3 Analisis Pembahasan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	68
5.1.4 Analisis Pembahasan Diagram Fishbone	70
5.2 Hasil Penelitian	74
5.2.1 Analisis Pembahasan Total Productive Maintenance (TPM)	74
BAB VI PENUTUP.....	79
6.1 Kesimpulan	79
6.2. Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	88

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Available Time x Total Downtime x Selisih Waktu	3
Tabel 1. 2 Planned Production x Actually Production x Defect Amount.....	3
Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	11
Tabel 2. 2 Nilai Severity	20
Tabel 2. 3 Nilai Occurence	21
Tabel 2. 4 Nilai Detection.....	22
Tabel 4. 1 <i>Data Available Time</i>	32
Tabel 4. 2 Data Planned Downtime	32
Tabel 4. 3 <i>Data Unplanned Downtime</i>	33
Tabel 4. 4 Data Loading Time	34
Tabel 4. 5 Data Operating Time	34
Tabel 4. 6 Data Ideal Cycle Time	35
Tabel 4. 7 Data Actual Cycle Time	36
Tabel 4. 8 Data Planned Production	36
Tabel 4. 9 Data Actually Production	37
Tabel 4. 10 Data Defect Amount	38
Tabel 4. 11 Data Good Amount.....	38
Tabel 4. 12 Data Total Scrap or Yield	39
Tabel 4. 13 Data Setup and Adjustment Time.....	40
Tabel 4. 14 Data Non Productive Time	40
Tabel 4. 15 Data Availability Rate	41
Tabel 4. 16 Data Performance Rate	42
Tabel 4. 17 Data Quality Rate	43
Tabel 4. 18 Data Overall Equipment Effectiveness (OEE)	44
Tabel 4. 19 Data Equipment Failure Losses	45
Tabel 4. 20 Data Setup and Adjustment Losses	46
Tabel 4. 21 Data Idle and Minor Stoppage Losses	47
Tabel 4. 22 Data Reduced Spees Losses.....	48
Tabel 4. 23 Data Defect Losses	49
Tabel 4. 24 Data Yield or Scrap Losses.....	49
Tabel 4. 25 Hasil Penilaian Kuesioner Metode FMEA	51
Tabel 5. 1 Hasil Analisis Nilai Kritis.....	70
Tabel 5.2 Hasil Analisis Spin Pack.....	71
Tabel 5. 3 Hasil Analisis Spin Finish Pump	72
Tabel 5.4 Hasil Analisis Spin Finish Nozzle	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Alur Penelitian	26
Gambar 4. 1 Proses Produksi POY Direct	30
Gambar 4. 2 Proses Produksi POY Indirect	31
Gambar 4. 3 Proses Sistem POY Direct System	31
Gambar 4. 4 Proses Sistem POY Indirect System	31
Gambar 4. 5 Diagram Fishbone Spin Pack	52
Gambar 4. 6 Diagram Fishbone Spin Finish Pump	53
Gambar 4. 7 Diagram Fishbone Spin Finish Nozzle	53
Gambar 5. 1 Grafik Availability Rate	54
Gambar 5. 2 Grafik Performance Rate	56
Gambar 5. 3 Grafik Quality Rate	58
Gambar 5. 4 Grafik Overall Equipment Effectiveness	59
Gambar 5. 5 Grafik Equipment Failure Losses	62
Gambar 5. 6 Grafik Setup Adjustment Losses	63
Gambar 5. 7 Grafik Idle and Minor Stoppage Losses	64
Gambar 5. 8 Grafik Reduces Speed Losses	65
Gambar 5. 9 Grafik Defect Losses	66
Gambar 5. 10 Grafik Yield or Scrap Losses	67

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam industri manufaktur modern, *unplanned downtime* maupun *planned downtime* yang dikelola secara buruk merupakan ancaman serius terhadap produktivitas dan efisiensi operasional produksi. Menurut Siemens (2024) satu jam *downtime* dapat menelan biaya sebesar US\$ 2,3 juta. Sementara itu di sisi lain, laporan serupa yaitu Siemens (2022) juga menyebut bahwa *unplanned downtime* maupun *planned downtime* yang dikelola dengan buruk dapat menggerus hingga 16% dari pendapatan tahunan perusahaan besar yang setara sekitar US \$1,4 triliun. Kemudian menurut Siemens (2024) memperkirakan *unplanned downtime* maupun *planned downtime* yang dikelola dengan buruk dapat menyerap sekitar 20% total waktu produksi. Namun, riset akademis terbaru oleh Agoro (2025) menunjukkan bahwa strategi seperti *maintenance* proaktif berbasis IoT, *predictive maintenance*, dan *preventive maintenance* yang dikelola dengan baik dapat menurunkan *downtime* sebesar 50%, sekaligus dapat meningkatkan nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) secara signifikan dan keseluruhan.

Berdasarkan survei David et al (2024) sekitar 80% pabrik menyatakan bahwa *aging equipment* atau *machine breakdowns* merupakan penyebab utama inefisiensi operasional termasuk *unplanned downtime* maupun *planned downtime* yang dikelola dengan buruk. Survei industri lainnya mengkonfirmasi bahwa *aging equipment* atau *machine breakdowns* adalah penyebab utama *unscheduled downtime* mencapai 44% kasus *downtime* (Plant Engineering, 2019). Sumber lainnya juga menyebut 42% fasilitas menegaskan *aging equipment* sebagai penyebab utama, disusul oleh *mechanical failure* (21%) dan *operator error* (11%) (Plant Engineering, 2021). Riset ilmiah Kaźmierczak et al (2025) menunjukkan *breakdowns* peralatan atau mesin secara signifikan mengganggu stabilitas jadwal produksi, karena menyebabkan penjadwalan ulang yang kompleks sehingga urgensi penanganan akar masalah *downtime* mesin melalui strategi *maintenance* yang tepat. Dari keseluruhan informasi tersebut ini menggaris bawahi perlunya pengelolaan strategi sistematis yang cermat untuk menjaga kinerja mesin tetap pada performa terbaik, mengurangi *waste time*, dan memaksimalkan proses produksi serta keseluruhan kualitas *output* produksi yang di hasilkan.

PT Indo-Rama Synthetics Tbk sebagai industri tekstil terbesar di Indonesia menghadapi situasi serupa dalam proses produksi produk benang jenis *POY Direct* (*Partially Oriented Yarns Direct*) hal kinerja mesin produksinya khususnya pada salah satu mesin yang menjadi fokus perhatian ini adalah *spinning machine/End Box*, yang merupakan bagian penting dalam proses produksi di *Department Production CP.3* (*Divisi Production Control POY*) yang posisi mesin dalam alur proses produksinya ada pada setelah proses *extruder* atau pelelehan dan sebelum proses *winding* atau penggulungan dan mesin tersebut di anggap bermaalah karena menyebabkan *bottleneck* pada alur proses selanjutnya adapun alur proses sebelumnya di indikasi tidak banyak permasalahan dalam hal *maintenance* di karenakan bersifat otomatis dan minim gangguan unsur eksternal yang menyebabkan kegagalan mesin. Mesin ini mengalami total *downtime* yang cukup tinggi yaitu sekitar 1.621 jam dari total waktu yang tersedia atau sekitar 18%-19% dari total waktu yang tersedia dalam setahun serta banyak aktivitas *non productive* selama *setup* atau pemeliharaan dan banyak waktu produksi terbuang karena tingginya waktu pemeliharaan yang disebabkan oleh buruknya manajemen *maintenance* khususnya pergantian antar komponen yang tidak saling terkoordinasi secara bersamaan sehingga mesin sering nonaktif untuk dilakukan perbaikan, pergantian, ataupun pembersihan *part-nya*. Kondisi seperti ini menurunkan produktivitas, efektivitas, dan efisiensi produksi yang berdampak langsung terhadap performa operasional perusahaan dan kualitas *output* produksinya. Berdasarkan data yang diperoleh dari PT. Indo-Rama Synthetics Tbk, tingkat produktivitas *spinning machine/End Box* di anggap masih rendah oleh pihak perusahaan, yang disebabkan oleh tingginya *downtime* serta banyaknya *waste time* yang terjadi dalam proses kerja, khususnya dalam kegiatan pemeliharaan mesin baik yang terjadwal maupun yang tidak terjadwal sehingga di ketahui pula pada beberapa bulan terakhir tidak tercapainya target *Key Performance Indicator* (KPI) produksi seperti pada periode bulan Oktober 2024 seharusnya dapat memproduksi sebanyak 12.492 unit namun di kenyataannya hanya dapat memproduksi sebanyak 9.827 unit yang menyebabkan kerugian bagi perusahaan sebanyak 2.665 unit tidak tercapai untuk di produksi. Sehingga permasalahan ini perlu segera diatasi agar perusahaan dapat meningkatkan tingkat produktivitas, efektivitas, dan efisiensi dapat meminimalisasi kerugian ataupun memaksimalkan keuntungan dan dapat bersaing lebih efektif di pasar global.

Tabel 1. 1 *Available Time x Total Downtime x Selisih Waktu*

Bulan Terkait	<i>Available Time</i> Satuan (jam)	<i>Total Downtime</i> Satuan (jam)	<i>Selisih Waktu</i> Satuan (jam)
Nov-23	720,0	138,0	582,0
Dec-23	744,0	117,0	627,0
Jan-24	744,0	130,0	614,0
Feb-24	696,0	145,0	551,0
Mar-24	744,0	152,0	592,0
Apr-24	720,0	122,0	598,0
May-24	744,0	124,0	620,0
Jun-24	720,0	138,0	582,0
Jul-24	744,0	114,0	630,0
Aug-24	744,0	146,0	598,0
Sep-24	720,0	144,0	576,0
Oct-24	744,0	151,0	593,0
(AMOUNT)	8.784,00	1.621,00	7.163,00
(AVERAGE)	732,00	135,08	596,92

Tabel 1. 2 *Planned Production x Actually Production x Defect Amount*

Bulan Terkait	<i>Planned Production</i>		<i>Actually Production</i>		<i>Defect Amount</i>	
	Satuan (unit)	Satuan (ton)	Satuan (unit)	Satuan (ton)	Satuan (unit)	Satuan (ton)
Nov-23	12.042,0	240,84	10.143,0	202,86	194,0	3,88
Dec-23	12.510,0	250,20	10.602,0	212,04	158,0	3,16
Jan-24	12.492,0	249,84	10.337,0	206,74	183,0	3,66
Feb-24	11.610,0	232,20	9.349,0	186,98	203,0	4,06
Mar-24	12.240,0	244,80	10.177,0	203,54	212,0	4,24
Apr-24	12.150,0	243,00	10.034,0	200,68	147,0	2,94
May-24	12.384,0	247,68	10.224,0	204,48	192,0	3,84
Jun-24	11.988,0	239,76	9.856,0	197,12	194,0	3,88
Jul-24	12.528,0	250,56	10.431,0	208,62	153,0	3,06
Aug-24	12.438,0	248,76	10.232,0	204,64	204,0	4,08
Sep-24	11.970,0	239,40	9.682,0	193,64	201,0	4,02
Oct-24	12.492,0	249,84	9.827,0	196,54	209,0	4,18
(AMOUNT)	146.844,00	2.936,880	120.894,00	2.417,880	2.250,00	45,000
(AVERAGE)	12.237,00	244,740	10.074,50	201,490	187,50	3,750

Untuk menangani permasalahan dalam penelitian ini, maka penulis mengadopsi *Total Productive Maintenance* (TPM). TPM berperan meningkatkan kesadaran *preventive maintenance* yang cermat di seluruh elemen organisasi dengan tepat (Pinto Zegarra & García Lopez, 2025). Selain itu, OEE menjadi alat utama untuk mengukur tingkat nilai

availability, *performance*, dan *quality*, serta mengidentifikasi *Six Big Losses* (SBL) yang menggerus performa mesin dan mengkategorikan kerugian (*breakdowns*, *setup*, *minor stops*, *speed losses*, *scrap* dan *rework*) yang memengaruhi nilai OEE (Al-Toubi et al., 2023) Selain itu pengukuran, *Failure mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk membantu menentukan serta menyusun skala prioritas perbaikan yang sistematis, terarah, dan sangat mendesak, kemudian *Root Cause Analysis* (RCA) digunakan untuk membantu mengidentifikasi akar masalah penyebab *downtime* terjadi (Pietsch et al., 2024).

Adapun maksud penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi serta meningkatkan produktivitas, efektivitas, dan efisiensi *spinning machine/End Box* yang diharapkan penelitian ini menghasilkan rekomendasi operasional yang aplikatif untuk PT Indo-Rama serta menjadi referensi strategis bagi industri tekstil lain dalam mengelola *downtime*, meningkatkan produktivitas, efektivitas, serta efisiensi mesin, memperbaiki *output* produksi, dan memperkuat efisiensi kompetitif. Oleh karena itu dengan latar belakang tersebut, penelitian ini menjadi krusial untuk memberikan kontribusi nyata meningkatkan produktivitas, efektivitas, efisiensi, dan mengurangi pemborosan (kerugian) secara berkelanjutan operasional proses produksi di perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini berangkat dari adanya indikasi penurunan produktivitas, efektivitas, serta efisiensi pada *spinning machine/End Box* di *Department Production CP.3 (Divisi Production Control POY)* PT Indo-Rama Synthetics Tbk yang ditunjukkan oleh tingginya *downtime*, kerugian produksi, serta efektivitas peralatan yang belum optimal yang menyebabkan tidak tercapainya target *Key Performance Indicator* (KPI) perusahaan terkait. Kondisi ini menuntut analisis mendalam mengenai tingkat OEE untuk mengetahui sejauh mana performa mesin berjalan dibandingkan dengan standar ideal. Selain itu, kondisi ini semakin diperburuk oleh kontribusi SBL yang dominan, seperti *downtime* akibat *breakdown*, kecepatan operasi yang tidak optimal, serta cacat produk yang menambah tingkat kerugian produksi. Untuk memahami lebih dalam sumber penyebab masalah, diperlukan analisis FMEA guna mengidentifikasi potensi kegagalan mesin yang paling kritis. Selanjutnya, dilakukan RCA untuk menelusuri akar penyebab utama dari permasalahan tersebut secara sistematis. Upaya perbaikan ini kemudian diarahkan pada penerapan prinsip TPM sebagai strategi utama. Berdasarkan latar

belakang pernyataan yang dipaparkan, maka ditentukan beberapa poin rumusan masalah yang perlu diselesaikan dalam penelitian ini, di antaranya sebagai berikut:

1. Berapakah nilai OEE *spinning machine/End Box* dan apa saja kerugian yang ditimbulkan akibat rendahnya nilai OEE *spinning machine/End Box* pada saat ini di PT Indo-Rama Synthetics Tbk?
2. Apa permasalahan utama yang perlu diatasi terlebih dahulu dan apa saja penyebab rendahnya nilai OEE *spinning machine/End Box* di PT Indo-Rama Synthetics Tbk berdasarkan permasalahan utamanya saat ini?
3. Bagaimana rekomendasi strategi perbaikan melalui pendekatan TPM yang dapat meningkatkan produktivitas, efektivitas, dan efisiensi *spinning machine/End Box* pada PT Indo-Rama Synthetics Tbk?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dipaparkan sebelumnya dalam penelitian ini, terdapat beberapa tujuan yang ingin dicapai, di antaranya sebagai berikut:

1. Mengetahui tingkat efektivitas *spinning machine/End Box* melalui pengukuran OEE, serta mengetahui kerugian apa saja yang ditimbulkan akibat rendahnya tingkat efektivitas *spinning machine/End Box* pada saat ini di PT Indo-Rama Synthetics Tbk.
2. Mengidentifikasi permasalahan utama yang menjadi prioritas perbaikan, serta mengevaluasi akar penyebab utama masalah rendahnya nilai OEE *spinning machine/End Box* di PT Indo-Rama Synthetics Tbk.
3. Merumuskan dan merekomendasikan melalui pendekatan metode TPM guna meningkatkan kinerja produktivitas, efektivitas, dan efisiensi *spinning machine/End Box* pada PT Indo-Rama Synthetics Tbk.

1.4 Manfaat Penelitian

Agar penelitian ini tetap memberikan manfaat maka dari awal dilakukannya penelitian ini penulis harap dapat memberikan dampak positif dari hasil penelitian ini terhadap beberapa aspek dengan rincian sebagai berikut:

1. Bagi Perusahaan
 - a. Menyediakan rekomendasi strategis berbasis TPM yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efektivitas *spinning machine/End Box*, mendukung keberlanjutan operasional, dan meningkatkan produktivitas.

- b. Mendukung optimalisasi proses produksi dengan mengurangi waktu henti *spinning machine/End Box (downtime)* serta meningkatkan efisiensi pemakaian sumber daya perusahaan secara keseluruhan.
2. Bagi Pembaca dan peneliti selanjutnya
- a. Menyediakan studi kasus yang dapat dijadikan bahan referensi dalam penelitian serupa, khususnya dalam konteks pengukuran OEE dan penerapan TPM di industri tekstil atau manufaktur.
 - b. Memberikan inspirasi bagi penelitian lanjutan, seperti pengembangan metode evaluasi efektivitas mesin yang lebih komprehensif atau strategi optimasi berbasis teknologi terbaru.

1.5 Batasan Penelitian

Agar penelitian ini tetap fokus pada objek yang akan atau sedang diteliti, serta agar pembahasannya tidak melebar secara acak atau keluar dari fokus pembahasan utama, peneliti menentukan batasan masalah penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di *Department Production CP.3 (Divisi Production Control POY)* pada perusahaan PT Indo-Rama Synthetics Tbk, yang dilaksanakan pada bulan Oktober 2024 sampai November 2024. Sehingga data yang digunakan berasal dari pengamatan, wawancara, dan dokumen yang tersedia sesuai dengan kondisi perusahaan pada periode tersebut. Adapun data yang ada sebelum atau setelah periode tersebut tidak dianggap dan tidak dimasukkan ke dalam variabel pengolahan, perhitungan, dan pengukuran keseluruhan (sesuai arahan perusahaan).
2. Penelitian hanya difokuskan mengetahui tingkat efisiensi *spinning machine/End Box*, mengetahui kerugian yang diakibatkan oleh rendahnya tingkat efisiensi *spinning machine/End Box*, serta mengetahui rekomendasi saran perbaikan untuk meningkatkan produktivitas, efektivitas, efisiensi, dan mengurangi pemborosan (kerugian) dalam keberlanjutan proses produksi pada operasional *spinning machine/End Box* terkait (tanpa membahas mengenai biaya dan politik internal).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

2.1.1 Penelitian Terdahulu

Pada bagian ini peneliti melakukan proses *brainstorming* yang berlandaskan kajian literatur yang di dapatkan peneliti yang relevan dengan *study case* dalam penelitian ini. Peneliti melakukan kajian literatur ini dengan menggunakan *keyword* peningkatan produktivitas pada mesin pemintalan benang. Adapun berikut ini beberapa metode utama yang ditemukan peneliti dari *journal* penelitian terdahulu yang membahas permasalahan serupa dengan *study case* pada penelitian ini seperti TPM, RCM, *Six Sigma*, dan *Lean Manufacturing*. TPM merupakan salah satu pilar atau metode kunci dalam filosofi *Lean Manufacturing* yang lebih luas namun makna luas disini bukan berarti tidak terfokus akan tetapi lebih ke pendekatan yang bersifat menyeluruh dan penyelesain yang cepat dan tepat sebagai langkah awal sebelum nantinya akan dilakukan pendekatan yang lebih terfokus sesuai dengan hasil identifikasi permasalahan yang di dapatkan. Kemudian RCM yang serupa dengan TPM yang mana keduanya menekankan pemeliharaan proaktif dan pencegahan kegagalan adapun pendefinisian RCM itu sendiri adalah proses sistematis untuk menentukan kebijakan pemeliharaan yang diperlukan untuk suatu peralatan fisik dalam konteks operasionalnya, fokus utama RCM adalah keandalan (*reliability*) sistem atau komponen untuk menjalankan fungsinya. Kemudian *Six Sigma* yang merupakan metode berbasis data yang berfokus pada pengurangan variasi dalam proses manufaktur dan bisnis untuk menghilangkan cacat (*zero defects*), hal ini secara langsung meningkatkan kualitas yang pada akhirnya peningkatan produktivitas mesin, kemudian *Lean manufacturing* yang serupa dengan TPM yang keduanya bertujuan untuk efisiensi maksimum dan melibatkan karyawan terkait, *Lean* berfokus pada penghapusan segala jenis pemborosan (*waste*) dalam proses produksi. adapun penerapan *Lean Manufacturing* itu sendiri dilakukan dengan beberapa *tools* seperti *Just In Time*, *5S*, dan *Kaizen*.

Penelitian oleh Dedimas et al (2020) yang berjudul *Application of Failure Mode Effect Analysis (FMEA) to Reduce Downtime in a Textile Share Company*, berfokus pada peningkatan keandalan mesin di lini produksi. Peneliti menggunakan kombinasi analisis risiko FMEA untuk memprioritaskan mode kegagalan, dan RCA untuk menemukan akar

masalah. Implementasi tersebut menghasilkan peningkatan signifikan pada mesin dan menurunkan *downtime* yang tidak terencana. Walaupun demikian, penelitian ini terdapat gap signifikan karena tidak menggunakan kerangka kerja strategis TPM sebagai implementasi perbaikan berkelanjutan. Kekurangan ini menyoroti perlunya integrasi aspek strategis TPM.

Penelitian oleh Chikwendu et al (2020) yang mengkaji *The Optimization of Overall Equipment Effectiveness Factors in a Pharmaceutical Company* membahas penerapan TPM dengan mengukur OEE pada proses produksi manufaktur umum. Peneliti mengombinasikan TPM dengan OEE, untuk mengidentifikasi kerugian dan merumuskan langkah perbaikan. Implementasi tersebut berhasil meningkatkan efisiensi proses secara keseluruhan dan membentuk budaya perawatan dasar di perusahaan. Namun, penelitian ini menyisakan gap metodologi yang signifikan karena tidak menyertakan analisis FMEA dan RCA, sehingga identifikasi mode kegagalan kritis dan penentuan akar masalah tidak dilakukan. Kesenjangan ini menunjukkan bahwa perlunya dilengkapi dengan analisis risiko FMEA serta RCA.

Penelitian oleh Caballero et al (2021) dalam jurnalnya *Total Productive Maintenance Model applying SMED and FMEA to increase the OEE in the food sector* menampilkan implementasi model TPM yang dirancang untuk meningkatkan OEE melalui penggunaan FMEA dan metode SMED. Peneliti menggunakan FMEA secara efektif untuk menilai risiko kegagalan, yang kemudian menjadi dasar untuk perbaikan fokus SMED. FMEA menunjukkan peranan penting dalam memprioritaskan perbaikan, tetapi penelitian ini memiliki gap karena tidak melanjutkan ke tahap RCA untuk menindaklanjuti mode kegagalan RPN tertinggi. Kekurangannya adalah analisis akar masalah yang terabaikan.

Studi oleh Lino Moreno et al (2025) dalam *Enhancement of Operational Efficiency in a Plastic Manufacturing Industry Through TPM, SMED, and Machine Learning*, yang memadukan pengukuran OEE dengan RCA dan prinsip *Lean Maintenance*. Peneliti menggunakan OEE untuk mengidentifikasi *losses* dan RCA untuk menemukan akar masalah pada proses produksi plastik. Kombinasi ini efektif dalam menemukan akar masalah spesifik akan tetapi, penelitian ini mengabaikan analisis risiko FMEA untuk memprioritaskan jenis kegagalan, dan tidak menggunakan kerangka TPM. Gap ini menunjukkan bahwa perbaikan yang diusulkan cenderung tidak didasarkan pada tingkat kekritisan risiko yang terstruktur.

Studi oleh Ramzan et al (2022) *Development and Evaluation of Overall Equipment Effectiveness of Knitting Machines Using Statistical Tools*. Peneliti fokus pada mesin *knitting* di industri tekstil dengan menggunakan OEE yang diperdalam dengan analisis faktor manusia dan SBL. Hasilnya menunjukkan *human factor* dan SOP menjadi penyebab utama kerugian namun, penelitian ini meninggalkan gap yang besar karena tidak mencakup FMEA, RCA, dan TPM. Kekurangan ini berarti perbaikan yang diusulkan sangat spesifik pada aspek SDM dan mengesampingkan identifikasi risiko teknis dan struktural mesin yang vital.

Studi oleh Sibarani et al (2020) *Improving The Overal Equipment Effectiveness (OEE) of Drum Testing Machine in Laboratory of Tire Manufacturing Using FMEA and PFMEA*, berhasil mengintegrasikan perhitungan OEE dan analisis FMEA pada mesin pengemasan. Peneliti menggunakan OEE untuk pengukuran dan FMEA untuk identifikasi serta prioritas risiko. Implementasi ini efektif dalam menemukan RPN tertinggi untuk mode kegagalan namun, penelitian ini memiliki gap karena tidak didukung oleh pengaplikasian kerangka strategis metode TPM dan tidak menggunakan pengaplikasian metode RCA untuk menganalisa akar penyebab dari RPN kritis tersebut yang di dapatkan dari analisis metode FMEA.

Kajian oleh Wolska et al (2023) *Implementation and Improvement of The Total Productive Maintenance Concept in an Organization*, mengkaji implementasi TPM yang diawali dengan perhitungan OEE dan identifikasi SBL. Kombinasi TPM-OEE ini membuktikan peningkatan produktivitas yang signifikan di sektor manufaktur. Akan tetapi, sama seperti beberapa penelitian sebelumnya, studi ini tidak memasukkan FMEA dan RCA sebagai alat diagnostik risiko dan akar masalah. Kekosongan pada FMEA dan RCA ini menyebabkan usulan perbaikan yang dihasilkan cenderung bersifat umum dan kurang fokus pada kegagalan yang paling berisiko tinggi.

Kajian oleh Martinjoe et al (2025) melalui *The Integrating TPM in SS-DMAIC Framework to Reduce Production Losses and Enhance Process Performance: a Case Study*, menggunakan TPM yang diperkuat dengan metodologi *Six Sigma* (DMAIC). Peneliti berhasil meningkatkan keandalan sistem melalui disiplin perbaikan proses *Six Sigma*. Meskipun demikian, penelitian ini secara eksplisit mengabaikan OEE sebagai *matrix* dasar efektivitas peralatan dan tidak menggunakan FMEA/RCA untuk analisis kegagalan spesifik mesin. Gap ini menunjukkan bahwa pendekatannya lebih berorientasi pada kualitas proses daripada efektivitas aset peralatan.

Kajian oleh Sumasto et al (2024) berjudul *Enhancing Overall Equipment Effectiveness in Indonesian Automotive SMES: a TPM Approach*, menyajikan kombinasi langsung antara OEE dan TPM untuk meningkatkan ketersediaan mesin. Peneliti berhasil menyelaraskan strategi perawatan dengan risiko kegagalan yang diprioritaskan oleh OEE. Namun, penelitian ini meninggalkan gap karena tidak adanya pengaplikasian metode FMEA untuk mengukur dampak losses secara kuantitatif dan tidak menggunakan metode RCA untuk menganalisis akar masalah RPN tertinggi yang di dapat dari FMEA.

Jurnal karya Pietsch et al (2024) yang berjudul *Root Cause Analysis in Industrial Manufacturing: A Scoping Review of Current Research, Challenges and The Promises of AI-Driven Approaches*, hanya memfokuskan implementasinya pada RCA. Mereka berhasil mengurangi *downtime* dengan menemukan akar masalah spesifik. Meskipun RCA adalah alat yang valid, penelitian ini sangat tidak lengkap karena tidak ada pengukuran OEE, FMEA, dan pengaplikasian kerangka strategis TPM, sehingga solusi yang dihasilkan cenderung spontan dan kurang terstruktur dalam manajemen perawatan.

Jurnal karya Ferdinand & Widiastih (2025) yang berjudul *Analisis Keandalan Mesin Blowing dengan OEE, RCA, dan Siklus PDCA*, memiliki relevansi tinggi karena mengkaji mesin *Blowing* di industri Tekstil menggunakan OEE dan RCA. Peneliti berhasil menemukan *losses* dan akar masalah melalui pendekatan siklus PDCA. Namun, gap utamanya adalah ketiadaan analisis FMEA untuk memprioritaskan mode kegagalan berdasarkan RPN. Dengan tidak adanya FMEA, rekomendasi perbaikan hanya didasarkan pada frekuensi kegagalan, bukan pada tingkat risiko yang valid.

Jurnal karya Anggraeni et al (2025) yang berjudul *Analisis OEE dan FMEA pada Mesin Packer juga menggunakan kombinasi OEE dan FMEA*, untuk memprioritaskan risiko di mesin manufaktur. Peneliti berhasil mengidentifikasi SBL dan RPN tertinggi dari penerapan metode FMEA. Namun, gapnya adalah tidak adanya pengaplikasian metode TPM sebagai strategi utama jangka panjang dan tidak adanya metode RCA untuk memvalidasi akar penyebab dari mode kegagalan yang memiliki RPN kritis.

Pembahasan oleh Kharisma (2024) yang berjudul *Penerapan Metode OEE dan FMEA pada Mesin SMCD 6 di PT.X*, menguatkan sinergi OEE dan FMEA yang efektif dalam mengukur performa dan risiko kegagalan pada mesin pengemasan. Peneliti menyediakan basis data yang kuat untuk perbaikan *preventive*. Namun, penelitian ini memiliki gap, yaitu tidak adanya pengaplikasian kerangka strategis metode TPM dan metode RCA untuk memverifikasi akar masalah sebelum perumusan solusi.

Pembahasan oleh Tasya & Widiasih, (2024) yang berjudul Analisis Perhitungan OEE untuk Meningkatkan Efisiensi Mesin Haloong. Fokus utamanya hanya pada perhitungan OEE dan identifikasi SBL yang paling dominan. Meskipun objeknya relevan, penelitian ini sangat minimalis karena tidak ada TPM, FMEA, atau RCA, sehingga hanya menyediakan data awal kinerja tanpa menyediakan mekanisme analisis risiko, diagnostik mendalam, atau strategi perbaikan berkelanjutan.

Pembahasan oleh Rafliadi et al., (2025) yang berjudul Menganalisis Produktivitas Kerja Menggunakan Metode Total Productive Maintenance (TPM dan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Mesin Moulding, menunjukkan inisiasi TPM yang diawali dengan pengukuran OEE dan SBL. Penelitian ini menunjukkan langkah awal yang baik dalam strategi perawatan total. Namun, tidak adanya metode FMEA dan metode RCA menyebabkan langkah dalam pilar TPM yang diusulkan kurang berfokus pada masalah kritis dan hanya bersifat umum. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan penelitian terdahulu.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Penulis	Industri		Metode			
	Manufaktur	Tekstil	TPM	RCM	Six Sigma	Lean Manufacturing
(Dedimas et al., 2020)	✓	-	-	✓	-	-
(Chikwendu et al., 2020)	✓	-	✓	-	-	✓
(Caballero et al., 2021)	✓	-	✓	-	✓	-
(Lino Moreno et al., 2025)	✓	-	-	-	-	✓
(Ramzan et al., 2022)	✓	✓	-	-	-	✓
(Sibarani et al., 2020)	✓	-	-	✓	-	-
(Wolska et al., 2023)	✓	-	✓	-	✓	-
(Martinjoe et al., 2025)	✓	-	✓	-	-	✓
(Sumasto et al., 2024)	✓	-	-	✓	-	-
(Pietsch et al., 2024)	✓	-	✓	-	✓	-
(Ferdinand & Widiasih, 2025)	✓	✓	-	✓	-	-
(Anggraeni et al., 2025)	✓	-	-	-	-	✓
(Kharisma, 2024)	✓	✓	-	-	✓	-
(Tasya & Widiasih, 2024a)	✓	-	✓	-	-	-
(Rafliadi et al., 2025)	✓	-	-	✓	-	-
Penelitian Ini	✓	✓	✓	-	-	-

2.1.2 Relevansi Penelitian ini

Secara keseluruhan, penelitian ini dilatar belakangi kondisi aktual *spinning machine/ End Box* (POY) di industri tekstil yang memiliki tingkat *downtime*, *nonproductive time*, dan *defect* tinggi, mengakibatkan nilai OEE di bawah *Standart World Class* (85%). Berdasarkan kondisi tersebut, rumusan masalah utamanya adalah bagaimana mengukur efektivitas mesin, mengidentifikasi akar penyebab kegagalan kritis, dan merumuskan usulan perbaikan yang terstruktur dalam kerangka TPM. Tujuan penelitian ini adalah mencapai OEE yang optimal, meminimalkan kerugian (*losses*), serta menyusun rekomendasi implementasi TPM yang berkelanjutan. Alasan dan relevansi pengambilan metode ini adalah TPM dipilih karena merupakan strategi menyeluruh yang melibatkan semua departemen untuk mencapai *zero defect* dan *zero breakdown*, dan membentuk budaya. Perhitungan OEE dan identifikasi SBL adalah tolak ukur kuantitatif yang diakui secara global untuk mengukur efektivitas dan memprioritaskan kerugian secara detail. FMEA dipilih karena menjadi alat analisis risiko proaktif yang wajib untuk memastikan perbaikan didasarkan tingkat kekritisannya (RPN). Terakhir, RCA menjamin solusi yang diusulkan dapat mengatasi akar masalah yang paling dominan dan kritis dari FMEA.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Perawatan (*Maintenance*)

Perawatan (*maintenance*) merupakan salah satu aspek krusial dalam sistem manufaktur *modern* karena berhubungan langsung dengan ketersediaan mesin, umur teknis peralatan, serta kontinuitas proses produksi. Secara konseptual, perawatan didefinisikan sebagai serangkaian aktivitas yang direncanakan maupun tidak direncanakan untuk mempertahankan kondisi peralatan agar tetap berfungsi optimal sesuai kapasitas rancangannya (Zineb Mouhib, 2025). Dalam konteks industri tekstil, kegagalan dalam perawatan mesin dapat berimplikasi pada meningkatnya *downtime*, kualitas produk yang tidak stabil, hingga tingginya biaya operasional. Oleh karena itu, manajemen perawatan tidak hanya sekadar memperbaiki mesin yang rusak, tetapi juga mencakup upaya preventif, prediktif, dan perbaikan berkesinambungan. Secara umum, terdapat beberapa jenis strategi perawatan yang sering diimplementasikan dalam industri, yaitu *corrective maintenance*, *preventive maintenance*, *predictive maintenance*, dan *proactive maintenance* (Enrico Zero, 2024). *Corrective maintenance* dilakukan ketika mesin sudah mengalami kerusakan, sementara *preventive maintenance* dijalankan secara terjadwal

untuk mencegah potensi kegagalan. *Predictive maintenance* memanfaatkan data kondisi mesin melalui sensor atau sistem monitoring untuk memprediksi kapan kegagalan mungkin terjadi, sehingga perawatan bisa dilakukan lebih tepat waktu. Sedangkan *proactive maintenance* berfokus pada eliminasi akar penyebab kerusakan untuk memperpanjang usia aset produksi. Kombinasi keempat pendekatan ini menjadi dasar dalam pengembangan konsep TPM, yang menekankan keterlibatan seluruh karyawan, mulai dari operator hingga manajer, dalam menjaga keandalan mesin.

Metode serupa lainnya dikesampingkan karena alasan spesifik RCM (*Reliability Centered Maintenance*) tidak diambil karena fokusnya yang lebih kompleks pada fungsi sistem dan komponen, serta membutuhkan data historis yang mendalam dan bersifat *top-down*, dan ini lebih berfokus pada telah diketahuinya kegagalan keandalan mesin (*unplanned downtime*) yang krusial dan jauh mempengaruhi nilai OEE yang kurang sesuai dengan tujuan penelitian untuk inisiasi TPM yang berorientasi perbaikan cepat. *Lean Maintenance* (*non-TPM*) tidak diambil karena meskipun berfokus pada penghilangan *waste*, ia tidak menyediakan kerangka kerja strategis TPM dalam manajemen perbaikan cepat yang melibatkan operator. SMED (*Single Minute Exchange of Die*) dikesampingkan sebagai fokus utama karena hanya berorientasi pada pengurangan waktu *setup*. PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) tidak dijadikan metode inti, melainkan dijadikan siklus implementasi dari strategi TPM, karena PDCA adalah kerangka perbaikan berulang, bukan alat analisis diagnostik. Dengan demikian, integrasi TPM, OEE, SBL, FMEA, dan RCA merupakan metodologi yang tepat untuk menutup gap, memberikan solusi berbasis risiko, dan menjamin perbaikan keberlanjutan.

2.2.2 Total Productive Maintenance (TPM)

Total Productive Maintenance (TPM) merupakan suatu pendekatan manajemen pemeliharaan yang bertujuan memaksimalkan efektivitas peralatan melalui keterlibatan seluruh karyawan, mulai dari level operator hingga manajemen puncak. Konsep ini berkembang dari sistem perawatan preventif di Jepang pada tahun 1970-an, dengan fokus utama pada upaya mengurangi kerugian yang timbul akibat *downtime*, *defect*, dan kerugian lainnya yang menghambat performa mesin. TPM bukan hanya sekadar aktivitas perawatan, tetapi menekankan bahwa setiap karyawan bertanggung jawab terhadap kondisi mesin yang digunakan, sehingga tercipta budaya kepemilikan (*ownership*) terhadap peralatan produksi. Melalui penerapan TPM, perusahaan dapat meningkatkan

keandalan mesin, memperpanjang umur peralatan, dan menekan biaya pemeliharaan jangka panjang (Mouhib et al., 2025).

TPM ada 8 pilar fondasi, yaitu: *autonomous maintenance*, *planned maintenance*, *quality maintenance*, *focused improvement (Kaizen)*, *early management*, *training and education*, *safety health & environment (SHE)*, serta *TPM in office*. Kedelapan pilar ini saling melengkapi dalam menciptakan sistem produksi yang bebas dari kerusakan mendadak (*zero breakdown*), bebas cacat (*zero defect*), dan bebas kecelakaan kerja (*zero accident*). Misalnya, pilar *autonomous maintenance* memungkinkan operator untuk melakukan inspeksi harian, pembersihan, dan tindakan sederhana yang mencegah kerusakan dini, sedangkan *planned maintenance* berfokus pada perencanaan perawatan jangka menengah hingga panjang untuk menghindari *unplanned downtime*. Dengan antar pilar ini, efektivitas mesin dapat dimaksimalkan melalui pengurangan kerugian atau SBL (*breakdown losses*, *setup and adjustment losses*, *idling and minor stoppages*, *reduced speed losses*, *defects losses*, dan *yield losses*) (Hussien, 2025).

Secara strategis, penerapan TPM berkaitan dengan *indicator OEE* yang digunakan untuk mengukur kinerja mesin dari aspek *availability*, *performance*, dan *quality*. Dengan mengintegrasikan TPM, perusahaan dapat meningkatkan nilai OEE, menekan *downtime*, serta mendorong tercapainya produktivitas yang lebih tinggi. Dalam konteks industri tekstil pada PT Indo-Rama Synthetics Tbk, pada *spinning machine/End Box* lini produksi POY, implementasi TPM penting karena mesin beroperasi *kontinu* dengan beban tinggi. Kerusakan kecil atau keterlambatan perawatan dapat berdampak besar terhadap *output* dan kualitas produk. Oleh karena itu, TPM menjadi pendekatan yang mendasar untuk menjaga keberlangsungan operasi, meningkatkan efisiensi, serta memastikan daya saing perusahaan dalam jangka panjang (Lucantoni et al., 2025).

2.2.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Overall Equipment Effectiveness (OEE) merupakan indikator yang digunakan untuk mengukur sejauh mana mesin produksi beroperasi efektif, dengan mempertimbangkan tiga hal utama, yaitu *availability*, *performance*, dan *quality*. Melalui perhitungan OEE, perusahaan dapat mengidentifikasi tingkat pemanfaatan aktual dibanding kondisi ideal, sehingga dapat diketahui adanya potensi kerugian akibat *downtime*, kecepatan produksi yang tidak optimal, maupun produk cacat. Studi menegaskan bahwa OEE berfungsi sebagai alat ukur komprehensif yang tidak hanya menilai kinerja mesin, tetapi juga

merefleksikan efisiensi proses secara keseluruhan dalam sistem manufaktur modern (Thiede, 2023). Dengan demikian, OEE menjadi fondasi penting dalam *benchmarking* serta sebagai indikator awal untuk merancang strategi peningkatan produktivitas.

OEE dipandang sebagai instrumen strategis dalam mendukung implementasi TPM maupun transformasi menuju *industry 4.0*. Integrasi OEE dengan teknologi digital, seperti *Digital Twin* dan *Industrial Internet of Things* (IIoT), memungkinkan monitoring kondisi mesin secara *real-time*, prediksi kegagalan, serta skenario pemeliharaan. Pendekatan ini membantu perusahaan mengurangi *unplanned downtime* dan meningkatkan keandalan sistem produksi. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan OEE berbasis digital mampu mendukung strategi perawatan preventif maupun prediktif yang adaptif, sehingga selaras dengan konsep TPM 4.0 yang mengedepankan pemanfaatan analitik data, *prescriptive maintenance*, dan automasi cerdas (Villegas et al., 2025). Oleh karena itu, OEE bukan sekadar alat evaluasi, tetapi juga instrumen perencanaan strategis dalam pengelolaan aset industri. Untuk menghitung nilai OEE, diperlukan tiga indikator utama: *availability rate*, *performance rate*, dan *quality rate* (Zaghloul et al., 2023). Berikut adalah penjelasan masing-masing indikator:

1. *Availability Rate (AR)*

Availability rate menunjukkan seberapa banyak waktu yang tersedia digunakan untuk menjalankan aktivitas operasional mesin peralatan. Perhitungan ini membutuhkan data waktu operasi (*operation time*), waktu persiapan Type equation here. (*loading time*), dan waktu henti (*downtime*) (Tasya & Widiasih, 2024) :

Rumus untuk menghitung *availability rate* adalah:

$$Availability Rate = \frac{Operation Time}{Loading Time} \times 100\% \quad (2.1)$$

2. *Performance Rate (PR)*

Performance rate menunjukkan keandalan peralatan memproduksi *output* sesuai kapasitasnya. Perhitungan indikator ini memerlukan data waktu siklus ideal (*ideal cycle time*), jumlah produk yang diproses (*processed amount*), dan waktu operasi mesin (*operation time*) (Tasya & Widiasih, 2024) :

Rumus untuk *performance rate* adalah:

$$Performance Rate = \frac{Processed Amount \times Ideal Cycle Time}{Operation Time} \times 100\% \quad (2.2)$$

3. *Quality Rate (QR)*

Quality rate mencerminkan kemampuan peralatan untuk menghasilkan produk sesuai standar kualitas. Perhitungan indikator ini menggunakan data jumlah produk yang diproses dan jumlah produk cacat (*defect*) (Tasya & Widiasih, 2024) :

Rumus untuk *quality rate* adalah:

$$Quality Rate = \frac{Processed Amount - Defect Amount}{Processed Amount} \times 100\% \quad (2.3)$$

4. Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Overall Equipment Effectiveness bertujuan mengevaluasi efisiensi peralatan dengan menggabungkan faktor waktu, performa, dan kualitas dalam proses produksi. Dalam penelitian, OEE digunakan menilai tingkat efektivitas mesin secara keseluruhan. Rumus untuk menghitung OEE adalah sebagai berikut (Tasya & Widiasih, 2024) :

Rumus *Overall Equipment Effectiveness* (OEE):

$$Overall Equipment Effectiveness (\%) \quad (2.4)$$

$$= AR (\%) \times PR (\%) \times QR (\%)$$

$$AR = Availability Rate (Tingkat Ketersediaan) [\%]$$

$$PR = Performance Rate (Tingkat Kenirja) [\%]$$

$$QR = Quality Rate (Tingkat Kualitas) [\%]$$

2.2.4 Six Big Losses (SBL)

Six Big Losses (SBL) merupakan konsep inti dalam TPM yang digunakan untuk menguraikan penyebab utama kehilangan efektivitas peralatan produksi. Kerangka ini dikembangkan sebagai turunan dari pengukuran OEE, sehingga setiap bentuk kerugian dapat dipetakan langsung pada tiga dimensi OEE, yaitu *availability*, *performance*, dan *quality*. Secara umum, enam kategori kerugian tersebut mencakup: *breakdown losses*, *setup and adjustment losses*, *idling and minor stoppages losses*, *reduced speed losses*, *defect losses*, serta *startup/yield losses*. Identifikasi keenam sumber kerugian ini membantu perusahaan memahami akar penyebab turunnya produktivitas dan menjadi dasar penyusunan strategi perbaikan yang lebih terfokus (Supriyati & Wiyatno, 2025).

Dalam industri modern, analisis SBL menjadi alat yang efektif dalam memetakan masalah operasional. Studi sektor manufaktur menegaskan *idling and minor stoppages* dan *equipment failure* adalah dua faktor yang dominan menyebabkan OEE turun di bawah *standart world-class benchmark*. Dengan TPM yang menekankan *autonomous maintenance* dan *planned maintenance*, perusahaan mampu menurunkan frekuensi

kerusakan sekaligus mengurangi variasi waktu setup, sehingga OEE dapat meningkat signifikan (Wolska et al., 2023). Hal ini menunjukkan SBL tidak hanya berperan sebagai alat analisis, tetapi juga sebagai panduan perbaikan yang berbasis data nyata.

Dengan mengukur kehilangan pada tingkat yang lebih spesifik, perusahaan dapat menghubungkan hasil analisis SBL dengan metode perbaikan lain seperti Kaizen, RCA, dan FMEA untuk menghasilkan solusi yang lebih berkelanjutan (Nisa et al., 2023). SBL ini diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama (Firmansyah et al., 2025) yaitu:

1. *Downtime Losses*

Downtime losses merujuk pada hilangnya waktu operasional yang disebabkan oleh penghentian atau penundaan aktivitas produksi. *Downtime losses* dibagi menjadi dua jenis (Tasya & Widiasih, 2024) yaitu:

a) *Equipment Failure Losses*

Kerugian yang terjadi akibat kegagalan mesin yang berakibat mesin tidak dapat beroperasi optimal. Kerusakan ini mencakup kegagalan komponen, struktural, kebocoran, atau mekanis lain. Perhitungan kerugian ini dilakukan dengan rumus yang mempertimbangkan durasi waktu henti dan frekuensi kegagalan mesin.

Rumus *equipment failure losses*:

$$\text{Equipment Failure Losses} = \frac{\text{Total Breakdown Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (2.5)$$

b) *Setup and Adjustment Losses*

Kerugian ini terjadi akibat waktu yang hilang selama proses setup dan penyesuaian mesin, termasuk pemasangan dan penyetelan parameter mesin. Waktu yang terbuang selama aktivitas ini dapat mengurangi efisiensi produksi.

Rumus *setup and adjustment losses*:

$$\begin{aligned} \text{Setup and Adjustment Losses} \\ = \frac{\text{Total Setup or Adjustment Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \end{aligned} \quad (2.6)$$

2. *Speed Losses*

Speed losses terjadi akibat gangguan pada kecepatan produksi, yang menghambat kapasitas mesin dan memperpanjang waktu siklus produksi. *Speed losses* dibagi menjadi dua jenis (Tasya & Widiasih, 2024) yaitu:

a) *Idle and Minor Stoppage Losses*

Merujuk pada penghentian sementara mesin untuk alasan *minor* seperti

penyesuaian atau perbaikan kecil. Meskipun tampak kecil, kerugian ini dapat terakumulasi dan memengaruhi efisiensi proses.

Rumus *idle and minor stoppage losses*:

$$\begin{aligned} & \text{Idle and Minor Stoppage Losses} \\ &= \frac{\text{Total Nonproductive Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \end{aligned} \quad (2.7)$$

b) *Reduced Speed Losses*

Terjadi saat mesin beroperasi di bawah kecepatan standar yang telah ditetapkan. Ini mengakibatkan penurunan kapasitas produksi dan memengaruhi efisiensi secara keseluruhan.

Rumus *reduced speed losses*:

$$\begin{aligned} & \text{Reduced Speed Losses} \\ &= \frac{\text{Operating Time} - (\text{Ideal Cycle Time} \times \text{Process Amount})}{\text{Loading Time}} \\ & \times 100\% \end{aligned} \quad (2.8)$$

3. *Quality Losses*

Quality losses adalah kerugian yang terjadi akibat produk yang dihasilkan tidak memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan. *Quality losses* dibagi menjadi dua jenis (Tasya & Widiasih, 2024) yaitu:

a) *Defect Losses*

Kerugian akibat produk cacat, baik dari segi ukuran, bentuk, maupun kualitas lainnya yang tidak sesuai standar. Ini menyebabkan pemborosan material dan biaya tambahan untuk perbaikan produk.

Rumus *defect losses*:

$$\text{Defect Losses} = \frac{\text{Ideal Cycle Time} \times \text{Defect Amount}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (2.9)$$

b) *Yiedl or Scrap Losses*

Kerugian yang terjadi akibat material yang tidak terpakai atau bahan baku yang terbuang pada tahap awal produksi. Kerugian ini sering disebabkan oleh kegagalan pada tahap awal pengolahan.

Rumus *yield or scrap losses*:

Yield or Scrap Losses

(2.10)

$$= \frac{\text{Ideal Cycle Time} \times \text{Scrap or Yield}}{\text{Loading Time}} \times 100\%$$

2.2.5 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) merupakan metode sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dalam suatu proses, menganalisis dampak yang ditimbulkan, dan menentukan prioritas penanganan berdasarkan tingkat risikonya. FMEA bersifat preventif karena fokus utamanya adalah menemukan potensi permasalahan sejak dini sebelum menimbulkan konsekuensi serius terhadap kualitas produk, maupun waktu produksi. FMEA menilai setiap potensi kegagalan melalui tiga parameter utama yaitu *severity* (tingkat keparahan dampak), *occurrence* (frekuensi peluang terjadinya kegagalan), dan *detection* (kemungkinan kegagalan terdeteksi sebelum menimbulkan dampak). Ketiga faktor ini kemudian dikalikan untuk menghasilkan *Risk Priority Number* (RPN), yang menjadi dasar untuk menentukan urutan prioritas penanganan risiko (Szczyrba & Ingaldi, 2024)

Penerapan FMEA penting karena membantu perusahaan melakukan perbaikan terarah pada faktor yang paling kritis. Dengan pendekatan ini, dapat mengurangi *downtime* mesin, menekan tingkat kecacatan, serta meningkatkan keandalan proses produksi. Studi menegaskan penggunaan FMEA relevan untuk industri manufaktur, khususnya ketika bertujuan mengidentifikasi akar permasalahan operasional yang berulang dan membutuhkan perbaikan segera. Misalnya, hasil FMEA dapat menunjukkan bahwa keausan komponen atau kesalahan saat setup memiliki RPN tinggi sehingga perlu menjadi prioritas dalam program pemeliharaan (Mazlan et al., 2023). Dengan demikian, FMEA berperan sebagai alat manajemen risiko yang sederhana namun efektif menjaga stabilitas proses produksi. Menurut Prasetya et al (2021), FMEA terdiri dari 6 tahapan penting dalam prosesnya, yaitu:

1. Failure mode

Merujuk pada jenis kegagalan yang terjadi pada mesin yang tidak dapat berfungsi dengan optimal. Identifikasi mode kegagalan ini dapat dilakukan melalui teknik wawancara untuk menggali informasi terkait potensi masalah (Prasetya et al., 2021)

2. Potential Effect

Menganalisis dampak yang dapat timbul akibat kegagalan. Dampak ini meliputi

kerusakan mesin, waktu untuk penyesuaian atau penyetelan, penurunan kecepatan operasi, dan produk yang ditolak karena cacat (Prasetya et al., 2021)

3. Severity

Mengukur tingkat keparahan dampak kegagalan, menggunakan skala 10 poin yang dikategorikan berdasarkan panduan *Automotive Industry Action Group* dan *Verband Der Automobilindustrie* (Prasetya et al., 2021). Tabel 2.2 menunjukkan nilai *severity*:

Tabel 2. 2 Nilai *Severity*

No	Effect	Severity of effect for FMEA	Rating
1	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berhenti total secara mendadak • Berakibat bahaya serius (tanpa peringatan) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin rusak kategori fatal • Kerusakan komponen di luar pengendalian dan membutuhkan perbaikan total. • Tingkat keselamatan tidak sesuai peraturan pemerintah yang tidak disertai peringatan • <i>Downtime</i> terjadi selama > 24 jam/set 	10
2	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berhenti total secara bertahap • Berakibat bahaya (dengan peringatan) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin rusak sangat parah • Kerusakan komponen di luar pengendalian dan membutuhkan banyak perbaikan. • Kegiatan perawatan tidak sesuai peraturan perusahaan yang disertai peringatan • <i>Downtime</i> terjadi selama 6-9 jam/set 	9
3	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berjalan dengan sangat lambat • Berakibat sangat tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin rusak parah • Proses perawatan kerusakan komponen telah berada di luar pengendalian, beberapa perawatan diperlukan • <i>Downtime</i> terjadi selama 3-6 jam/set 	8
4	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berjalan dengan lambat • Berakibat tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin rusak cukup parah • Proses perawatan kerusakan komponen telah berada di luar pengendalian, beberapa perawatan diperlukan • <i>Downtime</i> terjadi selama 2-3 jam/set 	7
5	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berjalan dengan perlakuan khusus • Berakibat sedang 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin rusak cukup/sedang (rutinan) • Proses perawatan kerusakan komponen memerlukan beberapa perawatan • <i>Downtime</i> terjadi selama 1-2 jam/set 	6
6	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berjalan dengan tersendat • Berakibat rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin rusak cukup ringan • Proses perawatan kerusakan komponen memerlukan beberapa perawatan • <i>Downtime</i> terjadi selama 30-60 menit/set 	5

No	Effect	Severity of effect for FMEA	Rating
7	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berjalan dengan sedikit tersendat • Berakibat sangat rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin rusak ringan • Proses perawatan kerusakan komponen berada di dalam pengendalian, sedikit perawatan diperlukan • <i>Downtime</i> terjadi selama 15-30 menit/set 	4
8	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berjalan dengan sedikit gangguan • Berakibat kecil 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin rusak sangat ringan • Proses perawatan kerusakan komponen berada di dalam pengendalian, sedikit perawatan diperlukan • <i>Downtime</i> terjadi selama 1-15 menit/set 	3
9	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berjalan dengan hampir tanpa gangguan • Hampir tanpa akibat 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin salah setting • Kerusakan komponen dalam pengendalian hanya membutuhkan sedikit penyesuaian. • Pengaturan atau pengendalian proses lainnya dibutuhkan selama produksi. 	2
10	<ul style="list-style-type: none"> • Kinerja sistem berjalan dengan baik dan tanpa gangguan • Tidak ada/tanpa akibat 	<ul style="list-style-type: none"> • Komponen mesin kotor • Kerusakan komponen dalam pengendalian hanya membutuhkan sedikit penyesuaian. • Pengaturan atau pengendalian proses dapat dilakukan selama <i>maintenance</i> rutin. 	1

4. Occurrence

Mengacu pada kemungkinan penyebab yang mengakibatkan kegagalan. Penyebab ini dinilai berdasarkan frekuensinya dengan menggunakan skala 10 poin yang standar menurut pedoman (Prasetya et al., 2021). Tabel 2.3 menunjukkan nilai *occurrence*:

Tabel 2. 3 Nilai *Occurence*

No	Effect	Occurrence of Effect for FMEA	Rating
1	Hampir selalu	• Hampir selalu terjadi kerusakan	10
2	Sangat sering	• Sangat sering terjadi kerusakan	9
3	Sering	• Sering terjadi kerusakan	8
4	Sangat tinggi	• Kondisi sangat tinggi terjadi kerusakan	7
5	Tinggi	• Kondisi tinggi terjadi kerusakan	6
6	Cukup	• kondisi cukup terjadi kerusakan	5

No	Effect	Occurrence of Effect for FMEA	Rating
7	Rendah	• kondisi rendah terjadi kerusakan	4
8	Sangat rendah	• Kondisi sangat rendah terjadi kerusakan	3
9	Jarang	• Jarang terjadi kerusakan	2
10	Sangat jarang	• Sangat jarang terjadi kerusakan	1

5. Detection

Menilai kemampuan untuk mendeteksi kemungkinan kegagalan sebelum dampaknya terjadi. Pengendalian ini diukur menggunakan skala 10 poin yang mencerminkan efektivitas deteksi (Prasetya et al., 2021). Tabel 2.4 menunjukkan nilai *detection*:

Tabel 2. 4 Nilai *Detection*

No	Detection	Criteria Likelihood of Detection	Rating
1	Hampir nihil	• Hampir nihil kemungkinannya informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan	10
2	Sangat jarang	• Sangat jarang kemungkinannya informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan	9
3	Jarang	• Jarang kemungkinannya informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan	8
4	Sangat rendah	• Kemampuan informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan sangat rendah	7
5	Rendah	• Kemampuan informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan rendah	6
6	Cukup	• Kemampuan informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan cukup	5
7	Tinggi	• Kemampuan informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan tinggi	4
8	Sangat tinggi	• Kemampuan informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan sangat tinggi	3
9	Sering	• Sering kemungkinannya informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan	2
10	Sangat sering	• Sangat sering kemungkinannya informasi lapangan dapat mendeteksi penyebab kerusakan	1

6. Risk Priority Number (RPN)

Metode menentukan prioritas penanganan kegagalan berdasarkan perkalian antara nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Nilai ini digunakan untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang perlu perbaikan paling mendesak (Prasetya et al., 2021).

Dengan pendekatan yang sistematis, FMEA tidak hanya menyediakan kerangka kerja yang terstruktur untuk mengidentifikasi potensi kegagalan sejak dini, tetapi juga membantu memprioritaskan risiko berdasarkan tingkat keparahan, kemungkinan terjadinya, serta kemampuan deteksi. Melalui analisis ini, perusahaan dapat merancang strategi pencegahan yang lebih tepat (Prasetya et al., 2021).

2.2.6 Root Cause Analysis (RCA)

Root Cause Analysis (RCA) adalah metode analisis sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab permasalahan. Tujuan utama RCA adalah memastikan bahwa solusi yang diterapkan dapat menghilangkan penyebab mendasar. Dalam industri manufaktur, RCA sering digunakan untuk mengatasi masalah seperti *downtime* mesin, cacat produk, dan inefisiensi proses. Dengan menemukan akar penyebab, perusahaan dapat meningkatkan keandalan peralatan, memperbaiki kualitas produk, dan mengoptimalkan efektivitas keseluruhan proses produksi. Selain itu, penerapan RCA juga berkontribusi dalam mengurangi pemborosan yang menjadi fokus utama pendekatan *Lean Manufacturing* serta meningkatkan nilai OEE (Fatmaria et al., 2024)

Seven Tools adalah seperangkat alat bantu statistik, mencakup teknik daftar inspeksi, histogram, dan peta kendali (Darsini et al., 2023). Alat *Seven Tools* yang digunakan pada penelitian ini adalah *Diagram Fishbone* (diagram sebab-akibat), yang merupakan teknik analitis yang efektif untuk mengidentifikasi dan memvisualisasikan hubungan sebab-akibat guna menemukan akar permasalahan yang diselidiki (Rufaidah & Rosyidi, 2022). *Diagram Fishbone* berguna untuk menganalisis faktor pemicu terjadinya suatu masalah, menjadikannya strategi perbaikan yang efektif sesuai prinsip sebab akibat. *Diagram Fishbone* dibuat dengan menempatkan masalah utama di kepala ikan, kemudian mengembangkan tulang utama (tulang belakang), dan menyertakan tulang cabang yang biasanya dikategorikan menjadi lima faktor pemicu utama, yaitu manusia, mesin, metode, material, dan peralatan (Sambodo & Cahyana, 2022). Diagram ini membantu memahami keterkaitan antar faktor dan prioritas perbaikan berpengaruh. RCA menjadi kerangka analisis yang kuat untuk mengatasi SBL, menurunkan tingkat kerusakan berulang, serta meningkatkan produktivitas perusahaan secara berkesinambungan (Kumah et al., 2024).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah tingkat produktivitas salah satu mesin yang memproduksi benang poliester *Partially Oriented Yarn* (POY) pada PT Indo-Rama Synthetics Tbk, yaitu *spinning machine/End Box* di *Department Production CP.3 (Divisi Production Control POY)*. *Spinning machine/End Box* yang menjadi fokus penelitian ini memiliki spesifikasi satu set *Box* yang terdiri dari 6 *End*, dan masing-masing *End* berfungsi memintal serta menggulung satu helai benang. Mesin ini termasuk kategori mesin generasi lama, namun masih digunakan dalam proses produksi karena fungsinya yang krusial. Permasalahan pada mesin ini meliputi tingginya *downtime*, fluktuasi efektivitas produksi, dan potensi *waste* yang besar terhadap performa keseluruhan lini produksi.

Pemilihan *spinning machine/End Box* sebagai objek penelitian didasarkan pada arahan perintah atau permintaan langsung dari kepala *Department Production CP.3 (Divisi Production Control POY)* dan juga dilandasi oleh Tingkat kinerja keandalan mesin di kenyataannya khususnya pada periode terakhir ini yang menyebabkan tidak tercapainya KPI produksi perusahaan. Pemilihan ini juga didukung oleh data historis perusahaan yang menunjukkan tingginya tingkat *downtime*, *waste time*, dan rendahnya produktivitas. Kondisi tersebut menimbulkan dampak signifikan terhadap efektivitas operasional proses produksi secara keseluruhan. Sehingga diperlukan upaya analisis dan evaluasi menyeluruh terhadap performa mesin untuk merancang solusi perbaikan yang terukur dan berkelanjutan untuk meningkatkan produktivitas, efektivitas, efisiensi, dan mengurangi kerugian dalam keberlanjutan proses produksi di perusahaan ini.

3.2 Subjek Penelitian

Subjek penelitian ini dilaksanakan di PT Indo-Rama Synthetics Tbk, yang merupakan perusahaan manufaktur tekstil yang memproduksi benang pital (*spun yarn*), benang filamen poliester (*Polyester Filament Yarn*), serat stapel poliester, resin PET, chip poliester, dan dikenal sebagai salah satu produsen benang poliester di Indonesia. PT Indo-Rama Synthetics Tbk berlokasi di Jl. Industri, Desa Kembang Kuning dan Desa Cibinong, Ubrug, Kecamatan Jatiluhur, Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat, Indonesia.

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan beberapa metode yang bertujuan untuk memperoleh informasi faktual, relevan, dan dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Metode yang digunakan meliputi:

1. Observasi Lapangan Langsung

Observasi dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap objek yang penelitian untuk memahami kondisi nyata di lapangan, meliputi alur proses kerja, aktivitas operator, serta kondisi teknis mesin. Observasi dilakukan pada *spinning machine/End Box* di *Department Production CP.3* untuk mengidentifikasi perilaku operasional mesin, kondisi fisik, siklus kerja, serta kejadian terkait *downtime* dan kerusakan. Hasil observasi digunakan untuk mendukung data kuantitatif dan memperkuat analisis produktivitas menggunakan metode OEE dan SBL.

2. Wawancara Formal dan Semi-Formal

Wawancara adalah metode pengumpulan data yang dilakukan dengan mengajukan pertanyaan kepada narasumber yang relevan dengan fokus penelitian. Wawancara formal menggunakan panduan pertanyaan tetap, sedangkan wawancara semi-formal memberikan ruang eksplorasi informasi tambahan. Dalam penelitian ini, wawancara dilakukan kepada 6 orang narasumber yaitu kepala departemen, wakil kepala departemen, koordinator *training*, serta 3 teknisi *spinning machine/End Box* bagian *maintenance part* meliputi unit *spinning extrusion head*, unit *quench system*, serta unit *spin finish/ drawing system*. Wawancara ini bertujuan memperoleh informasi mengenai jenis kegagalan mesin, frekuensi kerusakan, prosedur perawatan, dan pengalaman operasional. Data hasil wawancara digunakan dalam penyusunan FMEA.

3. Dokumentasi dan Data Sekunder

Dokumentasi adalah metode pengumpulan data melalui pencatatan dan informasi dokumen resmi yang tersedia. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari sumber yang relevan dan dapat dipertanggung jawabkan. Dalam penelitian ini, peneliti mengumpulkan dokumen perusahaan yang berkaitan dengan operasional *spinning machine/End Box*, termasuk data profil dan struktur organisasi perusahaan, data *output* produksi dan jumlah produk cacat, data catatan pemeliharaan dan jadwal perawatan mesin, data waktu kerja, *downtime*, dan jam operasional mesin, dokumen pendukung perhitungan OEE, identifikasi SBL, dan analisis FMEA. Dokumen tersebut digunakan sebagai data utama dalam analisis kuantitatif serta pembuktian kondisi aktual *spinning*

machine/End Box. Seluruh data sekunder dipadukan dengan data primer untuk meningkatkan validitas dan keakuratan analisis.

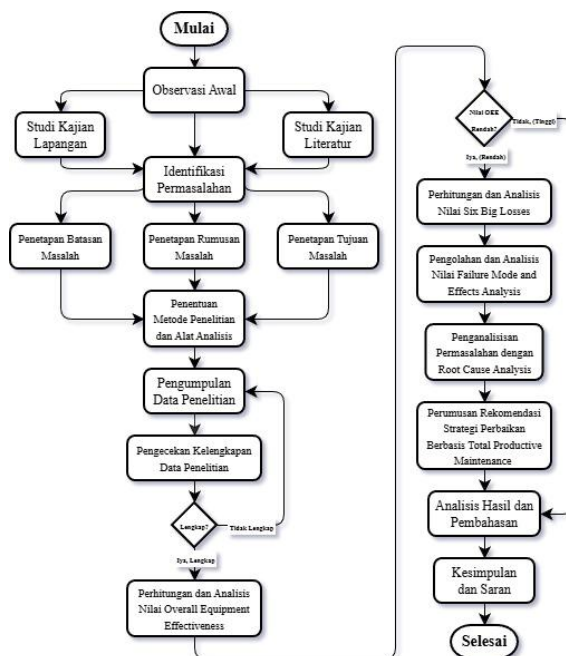
4. Studi Kajian Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh data sekunder yang relevan dengan permasalahan produktivitas mesin di lingkungan industri manufaktur. Peneliti mempelajari literatur seperti jurnal ilmiah, penelitian terdahulu, dan referensi akademik lainnya yang berkaitan dengan konsep TPM, OEE, SBL, FMEA, dan RCA. Studi ini bertujuan untuk memperkuat kerangka teori yang digunakan dalam penelitian, membantu merumuskan pendekatan analisis, serta menjadi landasan dalam menyusun rekomendasi perbaikan sistem pada objek yang diteliti. Dengan mengacu pada studi pustaka, peneliti dapat memahami prinsip dasar teori dan metode yang relevan, sehingga mampu merancang strategi yang sesuai untuk menyelesaikan permasalahan pada *spinning machine/End Box* di PT Indo-Rama Synthetics Tbk.

3.4 Diagram Alur Penelitian

Berikut ini adalah langkah-langkah alur penelitian pada PT. Indo-Rama Synthetics Tbk.

Gambar 3.1 menunjukkan rincian alur penelitian disajikan pada diagram berikut ini:



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

Berikut ini adalah narasi deskriptif penjelasannya dari *flowchart* setiap bagian langkah alur penelitian di atas pada PT. Indo-Rama Synthetics Tbk:

1. Mulai

Penelitian dimulai dengan penetapan niat, maksud, tujuan, dan keseluruhan rencana kerja penelitian berdasarkan permintaan langsung dari pihak perusahaan yang mengidentifikasi adanya masalah produktivitas pada *spinning machine/End Box* pada *Department Production CP.3 (Divisi Production Control POY)*.

2. Observasi Awal

Peneliti melakukan observasi langsung ke lapangan guna mengenali, mengetahui, dan memahami keseluruhan alur proses produksi secara umum, mengamati kondisi fisik *spinning machine/End Box*, serta mendapatkan gambaran awal mengenai masalah-masalah yang muncul dalam proses produksi.

3. Studi Kajian Lapangan

Studi lapangan dilakukan dengan mendalami sistem kerja aktual di lapangan, pola perawatan mesin secara *real time*, serta interaksi antara operator dan mesin. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi faktual di lapangan pada *Department Production CP.3 (Divisi Production Control POY)*.

4. Studi Kajian Literatur

Peneliti mengumpulkan dan mempelajari literatur yang relevan, seperti jurnal, artikel, serta laporan penelitian terdahulu yang berkorelasi dengan penelitian ini, untuk memahami konsep dasar awalan metode TPM, OEE, SBL, FMEA, dan RCA.

5. Identifikasi Permasalahan

Berdasarkan observasi dan kajian, peneliti mengidentifikasi permasalahan utama yang terjadi, yaitu rendahnya performa *spinning machine/End Box* (tingginya *downtime*), yang berdampak terhadap produktivitas (berdasarkan permintaan pihak perusahaan yang mengidentifikasi adanya masalah pada *spinning machine/End Box*).

6. Penetapan Batasan Masalah

Peneliti menetapkan batasan masalah untuk membatasi lingkup penelitian (pada unit *spinning machine/End Box* dengan spesifikasi enam End dalam satu set Box) pada *Department Production CP.3 (Divisi Production Control POY)* agar penelitian menjadi fokus dan terarah.

7. Penetapan Rumusan Masalah

Rumusan masalah disusun berdasarkan hasil identifikasi, latar belakang, dan batasan masalah, yang akan dijawab melalui proses pengolahan, perhitungan, pengalisan, dan pembahasan dalam penelitian ini.

8. Penetapan Tujuan Masalah

Tujuan penelitian dirumuskan secara spesifik dan terfokus, yaitu untuk menganalisis kondisi aktual mesin, mengidentifikasi akar masalah, serta memberikan rekomendasi strategi perbaikan berbasis TPM.

9. Penentuan Metode Penelitian dan Alat Analisis

Peneliti menentukan metode yang akan digunakan, yaitu pendekatan *mixed method* dengan dominasi kuantitatif di bandingkan kualitatif dengan analisis yang meliputi OEE, SBL, FMEA, dan RCA untuk menyempurnakan analisisnya.

10. Pengumpulan Data Penelitian

Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara langsung, diskusi spontan, komunikasi digital, serta dokumentasi dari perusahaan yang meliputi data *downtime*, *output* produksi, jam kerja, dan informasi *maintenance* mesin.

11. Pengecekan Kelengkapan Data Penelitian

Semua data yang telah dikumpulkan diperiksa kembali untuk memastikan kelengkapan dan kesesuaiannya sebelum dilakukan pengolahan dan analisis yang mana jika belum lengkap akan dilakukan pengumpulan data penelitian ulang.

12. Perhitungan dan Analisis Nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

Pengolahan data awal dilakukan dengan menghitung nilai OEE pada *spinning machine/End Box* untuk mengetahui tingkat efektivitas mesin apakah tinggi atau rendah berdasarkan tiga komponen utamanya serta memvalidasi keluhan perusahaan.

13. Evaluasi Nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

Hasil nilai OEE dibandingkan dengan JIPM. Jika nilai OEE rendah, maka proses dilanjutkan ke tahap analisis lanjutan untuk mengidentifikasi penyebabnya namun jika tinggi maka penelitian diasumsikan selesai karena tidak ada permasalahan.

14. Perhitungan dan Analisis Nilai *Six Big Losses* (SBL)

Peneliti menghitung enam jenis kerugian utama yang di sebabkan menurunnya produktivitas, efektivitas, efisiensi mesin, guna mengetahui jenis dan frekuensi *losses* yang paling dominan berdasarkan enam komponen utamanya.

15. Pengolahan dan Analisis Nilai *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA)

Berdasarkan wawancara dan data teknis, FMEA disusun untuk mengidentifikasi mode kegagalan yang paling kritis berdasarkan RPN sebagai dasar penentuan prioritas perbaikan agar peneliti dapat memfokuskannya.

16. Penganalisisan Permasalahan dengan *Root Cause Analysis* (RCA)

Akar permasalahan dianalisis secara mendalam dengan pendekatan metode RCA menggunakan *Tools Diagram Fishbone* untuk mengetahui penyebab dasar utama dari permasalahan mesin terkait dalam penelitian ini.

17. Perumusan Rekomendasi Strategi Perbaikan Berbasis TPM

Berdasarkan hasil analisis, peneliti menyusun rekomendasi strategi perbaikan operasional melalui penerapan konsep TPM untuk meningkatkan produktivitas, efektivitas, efisiensi, dan mengurangi pemborosan (kerugian).

18. Analisis Hasil dan Pembahasan

Peneliti menganalisis hasil yang diperoleh, lalu membahasnya berdasarkan teori dan studi sebelumnya untuk melihat sejauh mana rekomendasi strategi perbaikan berhasil menjawab rumusan masalah dan mencapai tujuan penelitian.

19. Kesimpulan dan Saran

Peneliti menyusun kesimpulan berdasarkan hasil penelitian serta memberikan saran dan rekomendasi strategi perbaikan yang dapat diimplementasikan dan dijadikan acuan oleh pihak perusahaan terkait maupun peneliti berikutnya.

20. Selesai

Penelitian diakhiri setelah seluruh tahapan selesai dijalankan sesuai alur penelitian yang telah dirancang dan rekomendasi strategi perbaikan yang di rekomendasikan kepada pihak perusahaan agar berdampak positif bagi perusahaan.

BAB IV

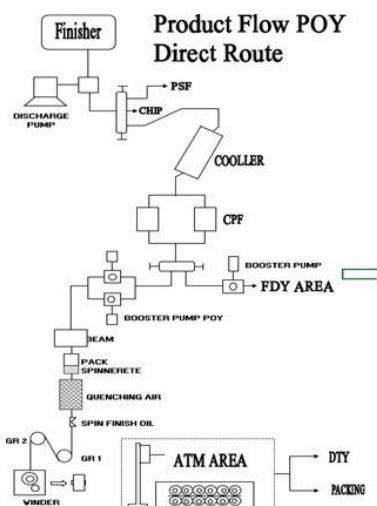
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui pendekatan yang menggabungkan data primer (kualitatif) dan data sekunder (kuantitatif). Data primer diperoleh melalui observasi langsung pada *spinning machine/End Box* di *Department Production POY CP.3* untuk memahami alur kerja dan kondisi *downtime* aktual. Wawancara formal serta diskusi spontan dengan kepala departemen, koordinator *maintenance*, dan teknisi mesin dilakukan untuk mengidentifikasi mode kegagalan (FMEA) dan akar masalah (RCA). Data sekunder diperoleh melalui dokumentasi resmi perusahaan meliputi data *downtime* mesin, *output* produksi, dan jadwal *maintenance*, serta studi pustaka untuk memperkuat landasan teoretis. Seluruh data yang terkumpul kemudian diolah untuk mengevaluasi performa mesin, menentukan akar penyebab masalah, dan merumuskan strategi perbaikan berbasis TPM.

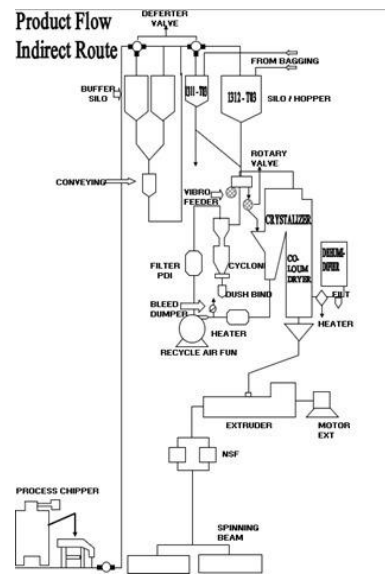
4.1.1 Alur Proses Produksi

Gambar 4.1 menunjukkan alur proses produksi produk benang jenis POY Direct (Partially Oriented Yarns Direct):



Gambar 4. 1 Proses Produksi POY Direct

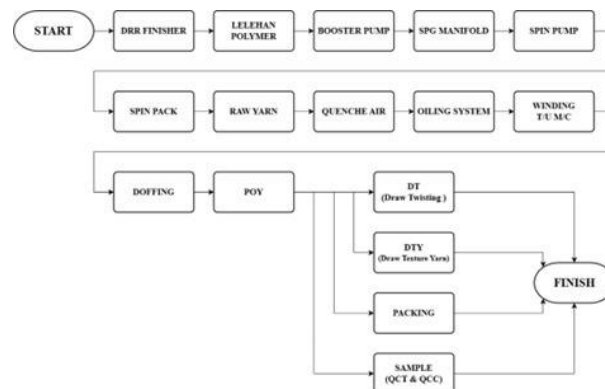
Gambar 4.2 menunjukkan alur proses produksi produk benang jenis POY Indirect (Partially Oriented Yarns Indirect):



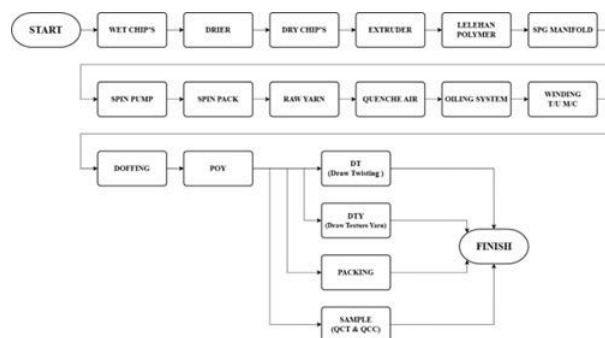
Gambar 4. 2 Proses Produksi POY Indirect

4.1.2 Alur Proses Sistem

Gambar 4.3 menunjukkan alur proses sistem produk benang jenis POY (*Partially Oriented Yarns*) *Direct System*:

Gambar 4. 3 Proses Sistem POY *Direct System*

Gambar 4.4 menunjukkan alur proses sistem produk benang jenis POY (*Partially Oriented Yarns*) *Indirect System*:

Gambar 4. 4 Proses Sistem POY *Indirect System*

4.1.3 Available Time

Data *available time* atau data total waktu tersedia pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.1 menunjukkan data *available time* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 1 *Data Available Time*

<i>Data Available Time</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
Nov-23	720,0	43.200,0
Dec-23	744,0	44.640,0
Jan-24	744,0	44.640,0
Feb-24	696,0	41.760,0
Mar-24	744,0	44.640,0
Apr-24	720,0	43.200,0
May-24	744,0	44.640,0
Jun-24	720,0	43.200,0
Jul-24	744,0	44.640,0
Aug-24	744,0	44.640,0
Sep-24	720,0	43.200,0
Oct-24	744,0	44.640,0
(AMOUNT)	8.784,00	527.040,00
(AVERAGE)	732,00	43.920,00

4.1.4 Planned Downtime

Data *planned downtime* atau data waktu *maintenance* terjadwal pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.2 menunjukkan data *planned downtime* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 2 *Data Planned Downtime*

<i>Data Planned Downtime</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
Nov-23	51,0	3.060,0
Dec-23	49,0	2.940,0
Jan-24	50,0	3.000,0
Feb-24	51,0	3.060,0
Mar-24	64,0	3.840,0
Apr-24	45,0	2.700,0

<i>Data Planned Downtime</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
May-24	56,0	3.360,0
Jun-24	54,0	3.240,0
Jul-24	48,0	2.880,0
Aug-24	53,0	3.180,0
Sep-24	55,0	3.300,0
Oct-24	50,0	3.000,0
(AMOUNT)	626,00	37.560,00
(AVERAGE)	52,17	3.130,00

4.1.5 Unplanned Downtime

Data *unplanned downtime* atau data waktu *maintenance* tidak terjadwal (*breakdown time*) pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.3 menunjukkan data *unplanned downtime* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 3 *Data Unplanned Downtime*

<i>Data Unplanned Downtime</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
Nov-23	87,0	5.220,0
Dec-23	68,0	4.080,0
Jan-24	80,0	4.800,0
Feb-24	94,0	5.640,0
Mar-24	88,0	5.280,0
Apr-24	77,0	4.620,0
May-24	68,0	4.080,0
Jun-24	84,0	5.040,0
Aug-24	93,0	5.580,0
Sep-24	89,0	5.340,0
Oct-24	101,0	6.060,0
(AMOUNT)	995,00	59.700,00
(AVERAGE)	82,92	4.975,00

4.1.6 Loading Time

Data *loading time* atau data *available time* dikurangi data *planned downtime* pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.4 menunjukkan data *loading time* yang

diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 4 *Data Loading Time*

<i>Data Loading Time</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
Nov-23	669,0	40.140,0
Dec-23	695,0	41.700,0
Jan-24	694,0	41.640,0
Feb-24	645,0	38.700,0
Mar-24	680,0	40.800,0
Apr-24	675,0	40.500,0
May-24	688,0	41.280,0
Jun-24	666,0	39.960,0
Jul-24	696,0	41.760,0
Aug-24	691,0	41.460,0
Sep-24	665,0	39.900,0
Oct-24	694,0	41.640,0
(AMOUNT)	8.158,00	489.480,00
(AVERAGE)	679,83	40.790,00

4.1.7 *Operating Time*

Data *operating time* atau data *loading time* dikurangi data *unplanned downtime* pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.5 menunjukkan data *operating time* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 5 *Data Operating Time*

<i>Data Operating Time</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
Nov-23	582,0	34.920,0
Dec-23	627,0	37.620,0
Jan-24	614,0	36.840,0
Feb-24	551,0	33.060,0
Mar-24	592,0	35.520,0
Apr-24	598,0	35.880,0
May-24	620,0	37.200,0
Jun-24	582,0	34.920,0
Jul-24	630,0	37.800,0
Aug-24	598,0	35.880,0
Sep-24	576,0	34.560,0

Data Operating Time		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
Oct-24	593,0	35.580,0
(AMOUNT)	7.163,00	429.780,00
(AVERAGE)	596,92	35.815,00

4.1.8 Ideal Cycle Time

Data *ideal cycle time* atau data waktu tercepat yang secara teoritis dapat dicapai oleh mesin untuk memproduksi satu unit dalam kondisi paling optimal (nilai standar pabrikan atau desain mesin) pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.6 menunjukkan data *ideal cycle time* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 6 *Data Ideal Cycle Time*

Data Ideal Cycle Time		
Bulan Terkait	Satuan (jam/unit)	Satuan (menit/unit)
Nov-23	0,0556	3,3333
Dec-23	0,0556	3,3333
Jan-24	0,0556	3,3333
Feb-24	0,0556	3,3333
Mar-24	0,0556	3,3333
Apr-24	0,0556	3,3333
May-24	0,0556	3,3333
Jun-24	0,0556	3,3333
Jul-24	0,0556	3,3333
Aug-24	0,0556	3,3333
Sep-24	0,0556	3,3333
Oct-24	0,0556	3,3333
(AMOUNT)	0,66667	40,00000
(AVERAGE)	0,05556	3,33333

4.1.9 Actual Cycle Time

Data *actual cycle time* atau data waktu rata-rata yang sebenarnya (*real time*) dibutuhkan mesin untuk memproduksi satu unit di lapangan, dengan mempertimbangkan kecepatan operasi aktual dan waktu berhenti kecil (*minor stops*) pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.7 menunjukkan data *actual cycle time* yang diperoleh dari *Department*

Production POY CP.3 dan Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk:

Tabel 4. 7 *Data Actual Cycle Time*

<i>Data Actual Cycle Time</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam/unit)	Satuan (menit/unit)
Nov-23	0,0574	3,4428
Dec-23	0,0591	3,5484
Jan-24	0,0594	3,5639
Feb-24	0,0589	3,5362
Mar-24	0,0582	3,4902
Apr-24	0,0596	3,5758
May-24	0,0606	3,6385
Jun-24	0,0591	3,5430
Jul-24	0,0604	3,6238
Aug-24	0,0584	3,5066
Sep-24	0,0595	3,5695
Oct-24	0,0603	3,6206
(AMOUNT)	0,71099	42,65945
(AVERAGE)	0,05925	3,55495

4.1.10 *Planned Production*

Data *planned production* atau data jumlah target produk yang seharusnya dihasilkan oleh mesin dalam waktu yang direncanakan (*loading time*), asumsi mesin berjalan pada kecepatan ideal dan tidak ada kerugian (*losses*) pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.8 menunjukkan data *planned production* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3 dan Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk:*

Tabel 4. 8 *Data Planned Production*

<i>Data Planned Production (Amount to be Processed)</i>			
Bulan Terkait	Satuan (unit)	Satuan (kg)	Satuan (ton)
Nov-23	12.042,0	240.840,0	240,84
Dec-23	12.510,0	250.200,0	250,20
Jan-24	12.492,0	249.840,0	249,84
Feb-24	11.610,0	232.200,0	232,20
Mar-24	12.240,0	244.800,0	244,80
Apr-24	12.150,0	243.000,0	243,00
May-24	12.384,0	247.680,0	247,68
Jun-24	11.988,0	239.760,0	239,76

<i>Data Planned Production (Amount to be Processed)</i>			
Bulan Terkait	Satuan (unit)	Satuan (kg)	Satuan (ton)
Jul-24	12.528,0	250.560,0	250,56
Aug-24	12.438,0	248.760,0	248,76
Sep-24	11.970,0	239.400,0	239,40
Oct-24	12.492,0	249.840,0	249,84
(AMOUNT)	146.844,00	2.936.880,00	2.936,880
(AVERAGE)	12.237,00	244.740,00	244,740

4.1.11 *Actually Production*

Data *actually production* atau *processed amount* atau data jumlah produk yang sebenarnya dihasilkan (termasuk produk bagus (*good amount*) dan produk cacat (*defect amount*) yang masih terhitung sebagai *output* yang diproses) oleh mesin dalam waktu yang sebenarnya (*operating time*), asumsi mesin berjalan pada kecepatan nyata dan ada kerugian (*losses*) pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.9 menunjukkan data *actual production* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 9 *Data Actually Production*

<i>Data Actually Production (Processed Amount)</i>			
Bulan Terkait	Satuan (unit)	Satuan (kg)	Satuan (ton)
Nov-23	10.143,0	202.860,0	202,86
Dec-23	10.602,0	212.040,0	212,04
Jan-24	10.337,0	206.740,0	206,74
Feb-24	9.349,0	186.980,0	186,98
Mar-24	10.177,0	203.540,0	203,54
Apr-24	10.034,0	200.680,0	200,68
May-24	10.224,0	204.480,0	204,48
Jun-24	9.856,0	197.120,0	197,12
Jul-24	10.431,0	208.620,0	208,62
Aug-24	10.232,0	204.640,0	204,64
Sep-24	9.682,0	193.640,0	193,64
Oct-24	9.827,0	196.540,0	196,54
(AMOUNT)	120.894,00	2.417.880,00	2.417,880
(AVERAGE)	10.074,50	201.490,00	201,490

4.1.12 *Defect Amount*

Data *defect amount* atau data jumlah produk akhir yang dihasilkan tetapi gagal memenuhi standar kualitas (*reject*), termasuk produk cacat parah atau produk yang terpaksa

diturunkan *grade*-nya untuk tetap dijual pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.10 menunjukkan data *defect amount* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 10 *Data Defect Amount*

<i>Data Defect Amount</i>			
Bulan Terkait	Satuan (unit)	Satuan (kg)	Satuan (ton)
Nov-23	194,0	3.880,0	3,88
Dec-23	158,0	3.160,0	3,16
Jan-24	183,0	3.660,0	3,66
Feb-24	203,0	4.060,0	4,06
Mar-24	212,0	4.240,0	4,24
Apr-24	147,0	2.940,0	2,94
May-24	192,0	3.840,0	3,84
Jun-24	194,0	3.880,0	3,88
Jul-24	153,0	3.060,0	3,06
Aug-24	204,0	4.080,0	4,08
Sep-24	201,0	4.020,0	4,02
Oct-24	209,0	4.180,0	4,18
(AMOUNT)	2.250,00	45.000,00	45,000
(AVERAGE)	187,50	3.750,00	3,750

4.1.13 *Good Amount*

Data *good amount (processed amount)* atau data jumlah produk akhir yang dihasilkan dan sepenuhnya memenuhi semua standar kualitas (*grade* tertinggi) dan siap jual pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.11 menunjukkan data *good amount* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 11 *Data Good Amount*

<i>Data Good Amount</i>			
Bulan Terkait	Satuan (unit)	Satuan (kg)	Satuan (ton)
Nov-23	9.949,0	198.980,0	198,98
Dec-23	10.444,0	208.880,0	208,88
Jan-24	10.154,0	203.080,0	203,08
Feb-24	9.146,0	182.920,0	182,92
Mar-24	9.965,0	199.300,0	199,30
Apr-24	9.887,0	197.740,0	197,74
May-24	10.032,0	200.640,0	200,64

<i>Data Good Amount</i>			
Bulan Terkait	Satuan (unit)	Satuan (kg)	Satuan (ton)
Jun-24	9.662,0	193.240,0	193,24
Jul-24	10.278,0	205.560,0	205,56
Aug-24	10.028,0	200.560,0	200,56
Sep-24	9.481,0	189.620,0	189,62
Oct-24	9.618,0	192.360,0	192,36
(AMOUNT)	118.644,00	2.372.880,00	2.372,880
(AVERAGE)	9.887,00	197.740,00	197,740

4.1.14 *Total Scrap or Yield*

Data *total scrap or yield* atau data rasio yang mengukur efisiensi material: *yield* adalah persentase bahan baku yang berhasil menjadi produk yang layak jual, sedangkan *scrap* adalah persentase bahan baku yang terbuang sebagai limbah atau sisa proses pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.12 menunjukkan data *total scrap or yield* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 12 *Data Total Scrap or Yield*

<i>Data Total Scrap or Yield</i>			
Bulan Terkait	Satuan (unit)	Satuan (kg)	Satuan (ton)
Nov-23	138,0	2.760,0	2,76
Dec-23	117,0	2.340,0	2,34
Jan-24	130,0	2.600,0	2,60
Feb-24	145,0	2.900,0	2,90
Mar-24	152,0	3.040,0	3,04
Apr-24	122,0	2.440,0	2,44
May-24	124,0	2.480,0	2,48
Jun-24	138,0	2.760,0	2,76
Jul-24	114,0	2.280,0	2,28
Aug-24	146,0	2.920,0	2,92
Sep-24	144,0	2.880,0	2,88
Oct-24	151,0	3.020,0	3,02
(AMOUNT)	1.621,00	32.420,00	32,420
(AVERAGE)	135,08	2.701,67	2,702

4.1.15 *Setup and Adjustment Time*

Data *setup and adjustment time* atau data waktu yang hilang karena mesin harus berhenti dan disiapkan untuk beroperasi, termasuk penggantian *tool*, kalibrasi, penyesuaian

(*adjustment*), dan pembersihan (*cleaning*) sebelum produksi normal dimulai pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.13 menunjukkan data *setup and adjustment* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 13 *Data Setup and Adjustment Time*

<i>Data Setup and Adjustment Time</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
Nov-23	46,00	2.760,0
Dec-23	39,00	2.340,0
Jan-24	43,33	2.600,0
Feb-24	48,33	2.900,0
Mar-24	50,67	3.040,0
Apr-24	40,67	2.440,0
May-24	41,33	2.480,0
Jun-24	46,00	2.760,0
Jul-24	38,00	2.280,0
Aug-24	48,67	2.920,0
Sep-24	48,00	2.880,0
Oct-24	50,33	3.020,0
(AMOUNT)	540,333	32.420,00
(AVERAGE)	45,028	2.701,67

4.1.16 *Non Productive Time*

Data *non productive time* atau data waktu henti singkat yang tidak terencana di mana mesin tidak menghasilkan produk karena gangguan kecil (*minor stops*) atau operator menganggur (*idle*) sambil menunggu material, *tool*, atau penyesuaian (*adjustment*), dan waktu henti tersebut tidak tercatat sebagai *downtime* besar pada *spinning machine/End Box* dalam proses produksi benang *polyester* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024. Tabel 4.14 menunjukkan data *non productive time* yang diperoleh dari *Department Production POY CP.3* dan *Department Quality Control POY CP3 PT. Indo-Rama Synthetics Tbk*:

Tabel 4. 14 *Data Non Productive Time*

<i>Data Non Productive Time</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
Nov-23	9,25	555,00
Dec-23	19,00	1.140,00
Jan-24	19,86	1.191,67

<i>Data Non Productive Time</i>		
Bulan Terkait	Satuan (jam)	Satuan (menit)
Feb-24	15,81	948,33
Mar-24	13,31	798,33
Apr-24	20,28	1.216,67
May-24	26,00	1.560,00
Jun-24	17,22	1.033,33
Jul-24	25,25	1.515,00
Aug-24	14,78	886,67
Sep-24	19,06	1.143,33
Oct-24	23,53	1.411,67
(AMOUNT)	223,333	13.400,000
(AVERAGE)	18,611	1.116,667

4.2 Pengolahan dan Hasil

Data yang diperoleh dari perusahaan kemudian diolah untuk merubah data mentah menjadi informasi yang dibutuhkan. Proses pengolahan dilakukan untuk mengukur tingkat efektivitas *spinning machine/End Box* dengan pendekatan OEE. Apabila hasil pengukuran menunjukkan efektivitas *spinning machine/End Box* belum mencapai standar, langkah berikutnya adalah menghitung tingkat kerugian (SBL) yang ditimbulkan mesin terhadap kelancaran proses produksi.

4.2.1 Pengolahan Data *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

4.2.1.1 *Availability Rate*

Availability rate merupakan parameter metode OEE yang berfungsi mengukur tingkat ketersediaan mesin selama waktu operasional. Parameter ini menunjukkan sejauh mana mesin beroperasi tanpa mengalami *downtime* akibat kerusakan, perawatan, atau faktor lain yang menghambat kelancaran produksi. Perhitungan *availability rate* bertujuan mengidentifikasi waktu non produktif dan meminimalkan terjadinya gangguan tersebut. Rumus *availability rate*:

$$\text{Availability Rate} = \frac{\text{Operation Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Tabel 4.15 menunjukan hasil dari pengolahan data *availability rate*:

Tabel 4. 15 *Data Availability Rate*

<i>Data Availability Rate</i>			
Bulan Terkait	<i>Availability Rate</i>	<i>Standart (JIPM)</i>	Ket
Nov-23	86,996%	90,00%	no

Data Availability Rate			
Bulan Terkait	Availability Rate	Standart (JIPM)	Ket
Dec-23	90,216%	90,00%	yes
Jan-24	88,473%	90,00%	no
Feb-24	85,426%	90,00%	no
Mar-24	87,059%	90,00%	no
Apr-24	88,593%	90,00%	no
May-24	90,116%	90,00%	yes
Jun-24	87,387%	90,00%	no
Jul-24	90,517%	90,00%	yes
Aug-24	86,541%	90,00%	no
Sep-24	86,617%	90,00%	no
Oct-24	85,447%	90,00%	no
(AVERAGE)	87,7823%	-2,21774%	

4.2.1.2 Performance Rate

Performance rate merupakan parameter metode OEE yang berfungsi mengukur tingkat kecepatan produksi aktual dibandingkan kecepatan produksi ideal yang ditetapkan. Perhitungan *performance rate* berfungsi mengetahui sejauh mana efektivitas kecepatan kerja mesin dan mengidentifikasi potensi ketidakefisienan seperti *minor stoppage*, *speed losses*, atau lainnya yang menyebabkan *output* tidak sesuai kapasitas ideal.

Rumus *performance rate*:

Performance Rate

$$= \frac{\text{Processed Amount} \times \text{Ideal Cycle Time}}{\text{Operation Time}} \times 100\% \quad (4.1)$$

Tabel 4.16 menunjukkan hasil dari pengolahan data *performance rate*:

Tabel 4. 16 Data Performance Rate

Data Performance Rate			
Bulan Terkait	Performance Rate	Standart (JIPM)	Ket
Nov-23	96,821%	95,00%	Yes
Dec-23	93,939%	95,00%	no
Jan-24	93,531%	95,00%	no
Feb-24	94,263%	95,00%	no
Mar-24	95,505%	95,00%	yes
Apr-24	93,218%	95,00%	no
May-24	91,613%	95,00%	no
Jun-24	94,082%	95,00%	no
Jul-24	91,984%	95,00%	no

<i>Data Performance Rate</i>			
Bulan Terkait	<i>Performance Rate</i>	<i>Standart (JIPM)</i>	Ket
Aug-24	95,058%	95,00%	yes
Sep-24	93,383%	95,00%	no
Oct-24	92,065%	95,00%	no
(AVERAGE)	93,7885%	-1,21151%	

4.2.1.3 *Quality Rate*

Quality rate adalah parameter metode OEE yang digunakan mengukur persentase hasil produksi yang sesuai standar (*good product*) dibandingkan total *output* yang dihasilkan. Perhitungan *quality rate* bertujuan mengevaluasi kemampuan mesin menghasilkan produk yang konsisten dan sesuai standar tanpa menghasilkan produk cacat berlebih.

Rumus *quality rate*:

$$\text{Quality Rate} = \frac{\text{Processed Amount} - \text{Defect Amount}}{\text{Processed Amount}} \times 100\% \quad (4.3)$$

Tabel 4.17 menunjukkan hasil dari pengolahan data *quality rate*:

Tabel 4. 17 *Data Quality Rate*

<i>Data Quality Rate</i>			
Bulan Terkait	<i>Quality Rate</i>	<i>Standart (JIPM)</i>	Ket
Nov-23	98,087%	99,00%	no
Dec-23	98,510%	99,00%	no
Jan-24	98,230%	99,00%	no
Feb-24	97,829%	99,00%	no
Mar-24	97,917%	99,00%	no
Apr-24	98,535%	99,00%	no
May-24	98,122%	99,00%	no
Jun-24	98,032%	99,00%	no
Jul-24	98,533%	99,00%	no
Aug-24	98,006%	99,00%	no
Sep-24	97,924%	99,00%	no
Oct-24	97,873%	99,00%	no
(AVERAGE)	98,1331%	-0,86687%	

4.2.1.4 *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*

Overall Equipment Effectiveness (OEE) adalah indikator utama untuk mengukur efektivitas operasional mesin atau peralatan produksi secara menyeluruh. OEE mengevaluasi sejauh mana mesin dapat beroperasi secara optimal dengan mengacu pada

tiga parameter utama, yakni *availability rate*, *performance rate*, dan *quality rate*. Gabungan ketiga parameter tersebut memberikan gambaran menyeluruh tentang tingkat ketersediaan, efisiensi, dan kualitas hasil produksi. Nilai OEE yang tinggi menandakan bahwa mesin beroperasi optimal, dengan kinerja maksimal serta menghasilkan produk berkualitas sesuai dengan target yang telah ditetapkan. Sebaliknya, nilai OEE yang rendah menunjukkan adanya peluang untuk perbaikan dalam hal manajemen perawatan, efisiensi proses, dan kontrol kualitas.

Rumus *Overall Equipment Effectiveness* (OEE):

$$\text{Overall Equipment Effectiveness (\%)} \quad (4.4)$$

$$= AR (\%) \times PR (\%) \times QR (\%)$$

$AR = \text{Availability Rate (Tingkat Ketersedian)}[\%]$

$PR = \text{Performance Rate (Tingkat Kinerja)}[\%]$

$QR = \text{Quality Rate (Tingkat Kualitas)}[\%]$

Tabel 4.18 menunjukkan hasil dari pengolahan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

Tabel 4. 18 *Data Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

<i>Data Overall Equipment Effectiveness (OEE)</i>						
Bulan Terkait	<i>Availability Rate</i>	<i>Performance Rate</i>	<i>Quality Rate</i>	<i>OEE Value</i>	<i>Standart (JIPM)</i>	Ket
Nov-23	86,996%	96,821%	98,087%	82,6192%	84,645%	no
Dec-23	90,216%	93,939%	98,510%	83,4852%	84,645%	no
Jan-24	88,473%		98,230%	81,2840%	84,645%	no
Feb-24	85,426%	94,263%	97,829%	78,7769%	84,645%	no
Mar-24	87,059%	95,505%	97,917%	81,4134%	84,645%	no
Apr-24	88,593%	93,218%	98,535%	81,3745%	84,645%	no
May-24	90,116%	91,613%	98,122%	81,0078%	84,645%	no
Jun-24	87,387%	94,082%	98,032%	80,5973%	84,645%	no
Jul-24	90,517%	91,984%	98,533%	82,0402%	84,645%	no
Aug-24	86,541%	95,058%	98,006%	80,6239%	84,645%	no
Sep-24	86,617%	93,383%	97,924%	79,2063%	84,645%	no
Oct-24	85,447%	92,065%	97,873%	76,9933%	84,645%	no
(AVERAGE)	87,7823%	93,7885%	98,1331%	80,78516%		
(Toleransi)	-2,21774%	-1,21151%	-0,86687%	-3,85984%	-3,85984%	

4.2.2 Pengolahan Data *Six Big Losses* (SBL)

4.2.2.1 *Equipment Failure Losses*

Equipment failure losses adalah salah satu kategori kerugian utama dalam metode SBL, yang berfokus pada *downtime*. Kerugian ini muncul akibat kerusakan atau kegagalan peralatan yang tidak terduga, yang menghentikan totalitas proses produksi. Dampaknya

tidak hanya mengurangi waktu operasional mesin, tetapi juga berpotensi menyebabkan kerugian finansial, seperti keterlambatan produksi, biaya perbaikan, dan gangguan pada alur kerja yang telah direncanakan. Dalam analisis efektivitas mesin, pengukuran dan identifikasi *equipment failure losses* menjadi hal yang krusial untuk menilai kontribusi kerusakan mesin terhadap *downtime*. Hal ini akan membantu dalam merumuskan strategi pemeliharaan yang lebih terencana dan terintegrasi guna meminimalkan potensi kerugian di masa mendatang.

Rumus *equipment failure losses*:

$$\text{Equipment Failure Losses} = \frac{\text{Total Breakdown Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (4.5)$$

Tabel 4.19 menunjukkan hasil dari pengolahan *equipment failure losses*

Tabel 4. 19 Data Equipment Failure Losses

Data Equipment Failure Losses				
Bulan Terkait	Equipment Failure Losses		Toleransi (JIPM)	Ket
Nov-23	0,130	13,004%	10,00%	no
Dec-23	0,098	9,784%	10,00%	yes
Jan-24	0,115	11,527%	10,00%	no
Feb-24	0,146	14,574%	10,00%	no
Mar-24	0,129	12,941%	10,00%	no
Apr-24	0,114	11,407%	10,00%	no
May-24	0,099	9,884%	10,00%	yes
Jun-24	0,126	12,613%	10,00%	no
Jul-24	0,095	9,483%	10,00%	yes
Aug-24	0,135	13,459%	10,00%	no
Sep-24	0,134	13,383%	10,00%	no
Oct-24	0,146	14,553%	10,00%	no
(AVERAGE)	0,1222	12,2177%	-2,21774%	

4.2.2.2 Setup and Adjustment Losses

Setup and adjustment losses merupakan salah satu kategori dalam SBL yang berkontribusi terhadap *downtime*, terutama saat mesin perlu disesuaikan atau diatur ulang. Kerugian ini muncul ketika mesin harus dihentikan untuk mengganti alat, menyesuaikan parameter, atau melakukan kalibrasi agar dapat memproduksi produk tertentu. Meskipun langkah-langkah ini diperlukan untuk memastikan kualitas produk, waktu yang digunakan dalam proses *setup* dan *adjustment* sering kali mengurangi efisiensi operasional. Oleh karena itu, penting untuk memahami dan mengelola *setup and*

adjustment losses guna meningkatkan efektivitas mesin. Hal ini bertujuan untuk meminimalkan waktu yang tidak produktif dan memaksimalkan penggunaan mesin secara optimal, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kinerja produksi secara keseluruhan

Rumus *setup and adjustment losses*:

Setup and Adjustment Losses

$$= \frac{\text{Total Setup and Adjustment Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (4.6)$$

Tabel 4.20 menunjukan hasil dari pengolahan *setup and adjustment losses*:

Tabel 4. 20 *Data Setup and Adjustment Losses*

<i>Data Setup and Adjustment Losses</i>				
Bulan Terkait	<i>Setup and Adjustment Losses</i>		Toleransi (JIPM)	Ket
Nov-23	0,069	6,876%	10,00%	yes
Dec-23	0,056	5,612%	10,00%	yes
Jan-24	0,062	6,244%	10,00%	yes
Feb-24	0,075	7,494%	10,00%	yes
Mar-24	0,075	7,451%	10,00%	yes
Apr-24	0,060	6,025%	10,00%	yes
May-24	0,060	6,008%	10,00%	yes
Jun-24	0,069	6,907%	10,00%	yes
Jul-24	0,055	5,460%	10,00%	yes
Aug-24	0,070	7,043%	10,00%	yes
Sep-24	0,072	7,218%	10,00%	yes
Oct-24	0,073	7,253%	10,00%	yes
(AVERAGE)	0,0663	6,6324%	3,36761%	

4.2.2.3 *Idle and Minor Stoppage Losses*

Idle and minor stoppage losses adalah salah satu kategori dalam SBL yang termasuk dalam kelompok *speed losses* yang terjadi ketika mesin berhenti sejenak atau mengalami gangguan kecil, seperti material tersendat, kesalahan operasional, atau perlambatan akibat intervensi operator. Walaupun durasi kerugian ini tergolong singkat, frekuensinya yang tinggi dapat mempengaruhi kecepatan operasi dan kinerja mesin secara keseluruhan. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi dan menganalisis *Idle and minor stoppage losses* guna memastikan mesin beroperasi dengan lancar dan mencapai kecepatan optimal tanpa gangguan berulang

Rumus *idle and minor stoppage losses*:

Idle and Minor Stoppage Losses (4.7)

$$= \frac{\text{Total Nonproductive Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\%$$

Tabel 4.21 menunjukan hasil dari pengolahan *idle and minor stoppage losses*:

Tabel 4. 21 *Data Idle and Minor Stoppage Losses*

<i>Data Idle and Minor Stoppage Losses</i>				
Bulan Terkait	<i>Idle Minor and Stoppage Losses</i>	Toleransi (JIPM)	Ket	
Nov-23	0,014	1,383%	5,00%	yes
Dec-23	0,027	2,734%	5,00%	yes
Jan-24	0,029	2,862%	5,00%	yes
Feb-24	0,025	2,450%	5,00%	yes
Mar-24	0,020	1,957%	5,00%	yes
Apr-24	0,030	3,004%	5,00%	yes
May-24	0,038	3,779%	5,00%	yes
Jun-24	0,026	2,586%	5,00%	yes
Jul-24	0,036	3,628%	5,00%	yes
Aug-24	0,021	2,139%	5,00%	yes
Sep-24	0,029	2,865%	5,00%	yes
Oct-24	0,034	3,390%	5,00%	yes
(AVERAGE)	0,0273	2,7314%	2,26861%	

4.2.2.4 Reduce Speed Losses

Reduced speed losses merupakan salah satu kategori dalam SBL yang termasuk dalam kelompok *speed losses*. Kerugian ini terjadi ketika mesin beroperasi di bawah kecepatan optimalnya, biasanya disebabkan oleh kondisi peralatan yang kurang baik, penggunaan alat yang telah aus, atau kurangnya perawatan yang memadai. Sebagai hasilnya, meskipun mesin tetap beroperasi, produktivitasnya tetap menurun. *Reduced speed losses* berdampak langsung pada performa mesin dan efisiensi produksi secara keseluruhan. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi dan mengatasi faktor penyebabnya guna memastikan mesin beroperasi pada kecepatan optimalnya, sehingga dapat meningkatkan efektivitas produksi secara lebih baik

Rumus *reduced speed losses*:

$$\text{Reduced Speed Losses} = \frac{\text{Operating Time} - (\text{Ideal Cycle Time} \times \text{Process Amount})}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (4.8)$$

Tabel 4.22 menunjukkan hasil dari pengolahan *reduced speed losses*:

Tabel 4. 22 *Data Reduced Spees Losses*

<i>Data Reduced Speed Losses</i>				
Bulan Terkait	<i>Reduced Speed Losses</i>		Toleransi (JIPM)	Ket
Nov-23	0,028	2,765%	5,00%	yes
Dec-23	0,055	5,468%	5,00%	no
Jan-24	0,057	5,724%	5,00%	no
Feb-24	0,049	4,901%	5,00%	yes
Mar-24	0,039	3,913%	5,00%	yes
Apr-24	0,060	6,008%	5,00%	no
May-24	0,076	7,558%	5,00%	no
Jun-24	0,052	5,172%	5,00%	no
Jul-24	0,073	7,256%	5,00%	no
Aug-24	0,043	4,277%	5,00%	yes
Sep-24	0,057	5,731%	5,00%	no
Oct-24	0,068	6,780%	5,00%	no
(AVERAGE)	0,0546	5,4628%	-0,46279%	

4.2.2.5 Defect Losses

Defect losses merupakan salah satu kategori utama dalam kerugian terkait kualitas (*quality losses*) yang termasuk dalam SBL. Kerugian ini terjadi ketika produk yang dihasilkan tidak memenuhi standar atau spesifikasi yang ditetapkan, yang mengarah pada peningkatan jumlah produk cacat (*defective products*) atau yang memerlukan perbaikan ulang (*rework*). Dampak dari *defect losses* tidak hanya menyebabkan pemborosan sumber daya, seperti bahan baku dan energi, tetapi juga menurunkan efisiensi operasional dan menambah biaya produksi. Oleh karena itu, analisis terhadap *defect losses* sangat penting untuk mengidentifikasi penyebab utama dari produk cacat, yang selanjutnya dapat digunakan untuk merancang langkah-langkah perbaikan yang efektif guna meminimalkan kerugian ini dan meningkatkan kinerja proses manufaktur.

Rumus *defect losses*:

$$Defect Losses = \frac{Ideal Cycle Time \times Defect Amount}{Loading Time} \times 100\% \quad (4.9)$$

Tabel 4.23 menunjukkan hasil dari pengolahan *defect losses*:

Tabel 4. 23 *Data Defect Losses*

<i>Data Defect Losses</i>				
Bulan Terkait	<i>Defect Losses</i>		Toleransi (JIPM)	Ket
Nov-23	0,016	1,611%	1,00%	no
Dec-23	0,013	1,263%	1,00%	no
Jan-24	0,015	1,465%	1,00%	no
Feb-24	0,017	1,748%	1,00%	no
Mar-24	0,017	1,732%	1,00%	no
Apr-24	0,012	1,210%	1,00%	no
May-24	0,016	1,550%	1,00%	no
Jun-24	0,016	1,618%	1,00%	no
Jul-24	0,012	1,221%	1,00%	no
Aug-24	0,016	1,640%	1,00%	no
Sep-24	0,017	1,679%	1,00%	no
Oct-24	0,017	1,673%	1,00%	no
(AVERAGE)	0,0153	1,5343%	-0,53431%	

4.2.2.6 *Yield or Scrap Losses*

Yield or scrap losses merupakan bagian dari *quality losses* yang termasuk dalam SBL. Kerugian ini terjadi ketika bahan baku tidak dapat digunakan karena tidak memenuhi standar atau kriteria produksi, terutama pada tahap awal proses manufaktur. *Yield or scrap losses* sering mencerminkan adanya inefisiensi dalam pengelolaan material serta proses produksi, yang dapat berujung pada peningkatan limbah dan biaya operasional. Oleh karena itu, identifikasi dan analisis terhadap *yield or scrap losses* sangat penting untuk mengurangi pemborosan material, meningkatkan efisiensi proses, dan memastikan hasil produksi sesuai dengan spesifikasi kualitas yang diinginkan.

Rumus *yield or scrap losses*:

$$\text{Yield or Scrap Losses} = \frac{\text{Ideal Cycle Time} \times \text{Scrap or Yield}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (4.10)$$

Tabel 4.24 menunjukkan hasil dari pengolahan *yield or scrap losses*:

Tabel 4. 24 *Data Yield or Scrap Losses*

<i>Data Yield or Scrap Losses</i>				
Bulan Terkait	<i>Yiedl or Scrap Losses</i>		Toleransi (JIPM)	Ket
Nov-23	0,011	1,146%	1,00%	no
Dec-23	0,009	0,935%	1,00%	yes
Jan-24	0,010	1,041%	1,00%	no
Feb-24	0,012	1,249%	1,00%	no

<i>Data Yield or Scrap Losses</i>				
Bulan Terkait	<i>Yiedl or Scrap Losses</i>		Toleransi (JIPM)	Ket
Mar-24	0,012	1,242%	1,00%	no
Apr-24	0,010	1,004%	1,00%	no
May-24	0,010	1,001%	1,00%	no
Jun-24	0,012	1,151%	1,00%	no
Jul-24	0,009	0,910%	1,00%	yes
Aug-24	0,012	1,174%	1,00%	no
Sep-24	0,012	1,203%	1,00%	no
Oct-24	0,012	1,209%	1,00%	no
(AVERAGE)	0,0111	1,1054%	-0,10540%	

4.2.3 Pengolahan Data *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) adalah metode analisis yang berfungsi menilai keandalan mesin, atau komponen dalam proses manufaktur. Tujuannya adalah mengidentifikasi potensi kegagalan, menilai dampaknya, dan menentukan penyebabnya. Metode ini berfokus pada tiga elemen utama. Pertama, *Failure Mode*, yaitu berbagai kemungkinan cara atau mekanisme yang dapat menyebabkan kegagalan dalam sistem berdasarkan spesifikasi yang telah ditetapkan. Kedua, *Effect*, yang menggambarkan dampak atau konsekuensi dari kegagalan tersebut terhadap kinerja sistem. Ketiga, *Cause*, yaitu faktor penyebab yang berhubungan dengan proses atau operasional yang dapat memicu kegagalan. Dalam penelitian ini, wawancara dilakukan kepada enam orang narasumber secara FGD yang terdiri dari kepala beserta wakil departemen produksi POY CP.3, koordinator *training*, serta tiga teknisi *spinning machine/End Box* dari bagian *maintenance part* meliputi unit pembentukan dan pemintalan filamen/ *spinning extrusion head*, unit pendinginan dan pemadatan filamen/ *quench system*, serta unit pelumasan dan penarikan filamen/ *spin finish/ drawing system*. Pelaksanaannya melibatkan beberapa bagian untuk memastikan akurasi dan objektivitas data sehingga FMEA dapat berfungsi sebagai alat untuk meningkatkan keandalan sistem, mencegah kegagalan, serta memperbaiki kualitas proses dan produk.

Tabel 4.25 menunjukkan hasil penilaian kuesioner metode FMEA:

Tabel 4. 25 Hasil Penilaian Kuesioner Metode FMEA

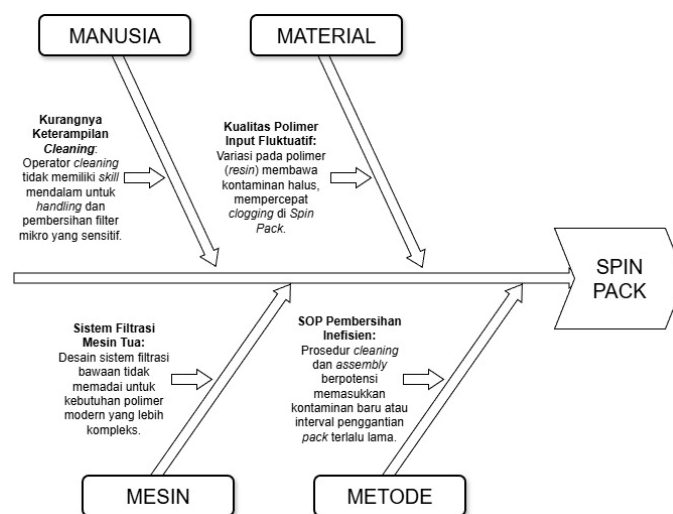
<u>Jenis Kerugian</u>	<u>Part</u>	<u>Failure Mode</u>	<u>Failure Effect</u>	<u>(S)</u>	<u>(O)</u>	<u>(D)</u>	<u>RPN</u>
<u>Equipment Failure Losses</u>	<u>Spin Pump</u>	Spin pump berhenti/gagal berfungsi (gangguan fungsi) di sebabkan penyumbatan atau overload	Perlunya dilakukan maintenance dan trial-start (unplanned downtime) yang menyebabkan kerugian waktu produksi.	6	4	4	<u>96</u>
	<u>Spin Pack</u>	Spin pack berhenti/gagal berfungsi (gangguan fungsi) di sebabkan penyumbatan atau overload	Perlunya dilakukan pembersihan dan trial-start (unplanned downtime) yang menyebabkan kerugian waktu produksi.	5	6	4	<u>120</u>
<u>Setup Adjustment Losses</u>	<u>Spin Beam</u>	Waktu untuk mencapai suhu normal operasional melebihi batas waktu yang ditetapkan.	Kinerja mesin menurun disebabkan setup dan adjustment time yang berlebih, mengakibatkan kerugian signifikan.	4	4	5	<u>80</u>
	<u>Spin Finish Pump</u>	Waktu untuk menghangatkan memanaskan oil melebihi batas waktu yang ditetapkan.	Kinerja mesin menurun disebabkan setup dan adjustment time yang berlebih, mengakibatkan kerugian signifikan.	5	4	5	<u>100</u>
<u>Reduce Speed Losses</u>	<u>Quench Duct</u>	Aliran udara pendingin tidak teratur/stabil yang di sebabkan oleh kotoran atau settingan sejenisnya	Menyebabkan kerugian waktu produksi karena tingginya peluang benang putus, yang mengharuskan operator menurunkan kecepatan mesin sebagai solusi sementara.	4	3	6	<u>72</u>
	<u>Spin Finish Nozzle</u>	Aliran dosis finish oil tidak merata yang di sebabkan oleh kotoran atau settingan sejenisnya	Menyebabkan kerugian waktu produksi karena tingginya peluang benang putus, yang mengharuskan operator menurunkan kecepatan mesin sebagai solusi sementara.	5	4	5	<u>100</u>

4.2.4 Pengolahan Data *Root Cause Analysis* (RCA)

4.2.4.1 Pengolahan Diagram Fishbone

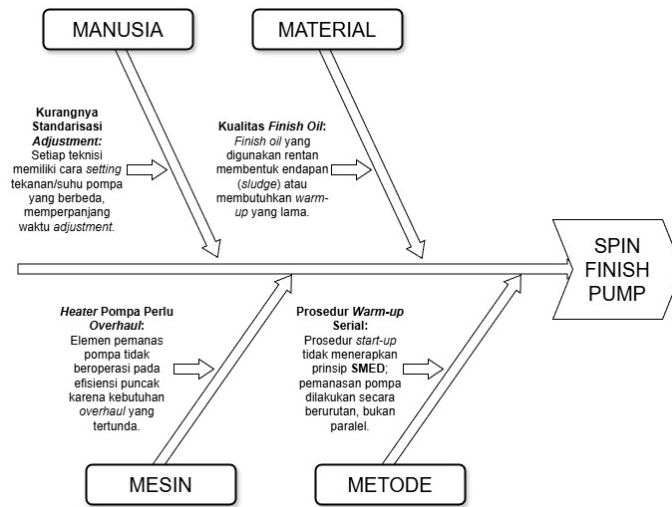
Diagram Fishbone atau diagram sebab-akibat berfungsi sebagai alat esensial dalam metode RCA yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan memvisualisasikan hubungan sebab-akibat guna menemukan akar penyebab utama dari suatu masalah, seperti tingginya *downtime* pada *spinning machine/End Box*. Penggunaan metode *Fishbone* ini sangat berguna untuk menganalisis dan memetakan berbagai faktor pemicu yang menyebabkan timbulnya suatu kendala. Dalam penerapannya, masalah utama ditempatkan di kepala ikan, sementara faktor-faktor penyebab dikelompokkan pada tulang-tulang cabang di sepanjang tulang belakang. Dalam penelitian ini, faktor pemicu kegagalan dikategorikan menjadi empat elemen utama (4M): Manusia (*People*), Mesin (*Machine*), Metode (*Method*), dan *Material*.

Gambar 4.5 menunjukkan hasil pengolahan *Diagram Fishbone spin pack*:



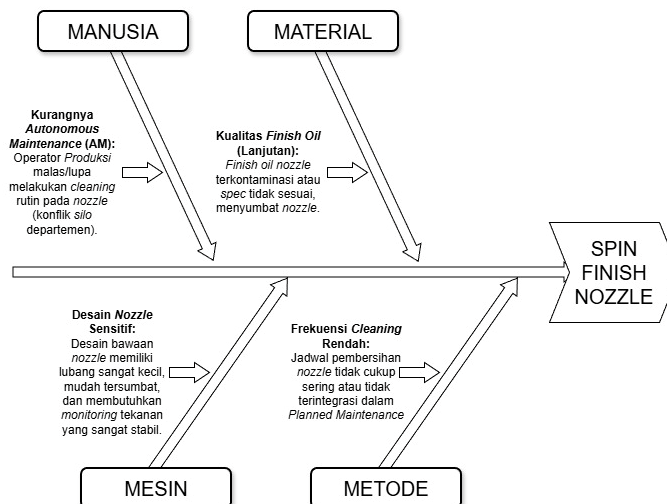
Gambar 4. 5 *Diagram Fishbone Spin Pack*

Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengolahan *Diagram Fishbone spin finish pump*:



Gambar 4. 6 Diagram Fishbone Spin Finish Pump

Gambar 4.7 menunjukkan hasil pengolahan *Diagram Fishbone spin finish nozzle*:



Gambar 4. 7 Diagram Fishbone Spin Finish Nozzle

BAB V

PEMBAHASAN DAN HASIL

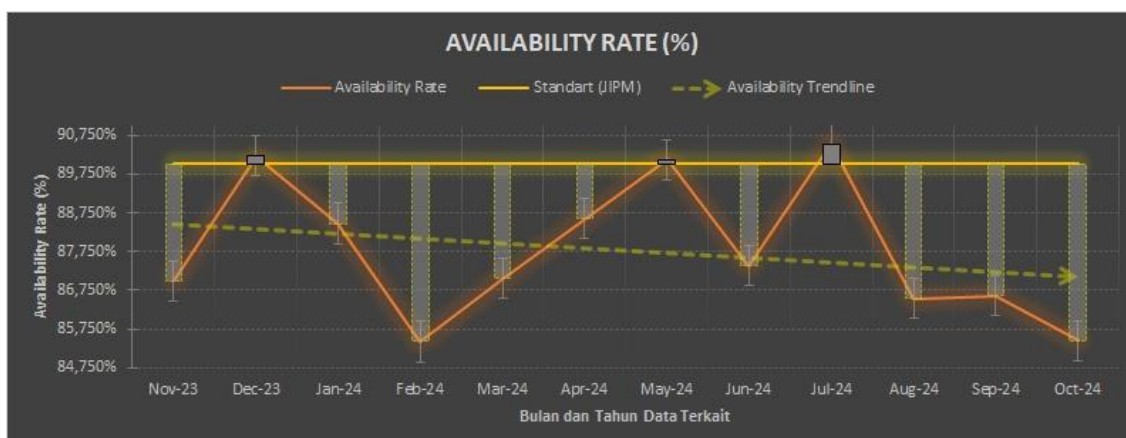
5.1 Analisis dan Pembahasan

5.1.1 Analisis Pembahasan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*

Untuk mengukur tingkat efektivitas *spinning machine/End Box*, digunakan metode OEE. Metode ini memberikan pendekatan komprehensif dengan tiga parameter utama, yaitu: *availability rate* untuk menilai ketersediaan mesin, *performance rate* untuk mengevaluasi kecepatan dan kapasitas mesin, serta *quality rate* yang mengukur persentase produk berkualitas yang dihasilkan. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi faktor-faktor utama yang memengaruhi efektivitas mesin, sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk merumuskan rekomendasi perbaikan yang lebih terarah dan terukur.

5.1.1.1 *Availabelity Rate*

Gambar 5.1 menunjukkan grafik analisis dari hasil perhitungan *availability rate*:



Gambar 5. 1 Grafik *Availability Rate*

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai *availability rate spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah *standart* yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai *availability rate* selama periode tersebut tercatat dalam setahun dari yang seharusnya memproduksi 146.844 unit gulungan benang seberat 2.937 ton namun hanya terealisasi sebanyak 120.894 unit gulungan benang seberat 2.418 ton atau jika dikonversi dalam persentase nilai *availability rate* sebesar 87,7823%, yang mana dari informasi ini di ketahui bahwa realita jumlah *operating time* nya adalah 7.163 jam waktu produksi yang mana seharusnya jumlah *loading time* nya adalah 8.158 jam

waktu produksi, yang mana dari informasi ini dapat di ketahui bahwa jumlah terjadinya *unplanned downtime* adalah 995 jam waktu produksi yang terbuang dalam kurun waktu periode tersebut yang berarti tingkat penurunan keandalan mesin rendah sehingga terdapat sejumlah gap yang mempengaruhi penurunan keandalan mesin tersebut diluar batas toleransinya yang cukup jauh. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Februari 2024, mesin seharusnya dapat beroperasi selama 645 jam waktu produksi namun pada kenyataannya hanya dapat beroperasi selama 551 jam waktu produksi atau jika dikonversi dalam persentase nilai *availability rate* sebesar 85,426%. Kemudian sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan Juli 2024, mesin seharusnya dapat beroperasi selama 696 jam waktu produksi namun pada kenyataannya hanya dapat beroperasi selama 630 jam waktu produksi atau jika dikonversi dalam persentase nilai *availability rate* sebesar 90,517%.

Kondisi ini menunjukkan bahwa mesin beroperasi dengan cukup, masih terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi total waktu produksi mesin beroperasi, seperti kesalahan manusia, kondisi mesin, variabel eksternal yang tidak terduga, seperti fluktuasi operasional atau gangguan tak terencana dalam proses produksi yang belum sepenuhnya teridentifikasi. Selain itu, rendahnya total waktu produksi mesin beroperasi juga bisa disebabkan oleh kerusakan mesin yang telah usang atau ketidak sempurnaan dalam proses produksi yang perlu mendapatkan perhatian khusus, karena total waktu produksi mesin beroperasi cukup namun masih terdapat sejumlah total waktu gangguan produksi mesin beroperasi yang diluar batas toleransinya. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan analisis lebih lanjut untuk mencari penyebab utama penurunan keandalan kinerja mesin ini, seperti masalah pada peralatan, proses produksi yang tidak optimal, kualitas bahan baku yang digunakan, atau metode *maintenance* yang di terapkan.

Secara keseluruhan, meskipun nilai *availability rate spinning machine/End Box* selama periode tersebut menunjukkan kinerja yang cukup dengan rata-rata 87,7823%, hasil ini masih belum memenuhi *standart JIPM* yang mengharuskan nilai *availability rate* mencapai 90%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun mesin beroperasi dengan cukup, masih ada ruang untuk perbaikan dalam hal mengurangi tingkat total waktu gangguan produksi mesin beroperasi. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perbaikan dan peningkatan berkelanjutan dalam proses produksi, dengan fokus pada pemeliharaan dan monitoring mesin yang lebih cermat, pelatihan operator, serta pengawasan keandalan kinerja mesin yang lebih ketat. Sebagai catatan tambahan, pemeliharaan yang terjadwal

dan evaluasi rutin terhadap faktor eksternal dan internal yang dapat mempengaruhi kinerja mesin menjadi langkah penting untuk hasil yang optimal. Langkah ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan kinerja mesin secara konsisten dan mencapai target KPI yang ditetapkan, yang pada gilirannya nanti akan meningkatkan efisiensi operasional dan memaksimalkan keuntungan yang timbul akibat tercapainya target KPI.

5.1.1.2 Performance Rate

Gambar 5.2 menunjukkan grafik analisis dari hasil perhitungan *performance rate*:



Gambar 5. 2 Grafik *Performance Rate*

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai *performance rate spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah *standart* yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai *performance rate* selama periode tersebut tercatat dalam setahun dari yang seharusnya memproduksi 146.844 unit gulungan benang seberat 2.937 ton namun hanya terealisasi sebanyak 120.894 unit gulungan benang seberat 2.418 ton atau jika dikonversi dalam persentase nilai *performance rate* sebesar 93,7885%, yang mana dari informasi ini diketahui bahwa realita rata-rata *actual cycle time* nya adalah 43 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang mana seharusnya rata-rata *ideal cycle time* nya adalah 40 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang berarti walaupun tingkat penurunan keandalan mesin rendah namun masih terdapat sejumlah gap yang mempengaruhi penurunan keandalan mesin tersebut diluar batas toleransinya. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Mei 2024, mesin seharusnya memproduksi 12.384 unit gulungan benang seberat 248 ton namun hanya terealisasi sebanyak 10.224 unit gulungan benang seberat 205 ton atau jika dikonversi dalam persentase nilai *performance rate* sebesar 91,613%. Kemudian sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan November 2023, mesin

seharusnya memproduksi 12.042 unit gulungan benang seberat 241 ton namun hanya terealisasi sebanyak 10.143 unit gulungan benang seberat 203 ton atau jika dikonversi dalam persentase nilai *performance rate* sebesar 96,821%.

Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun mesin beroperasi dengan cukup baik, masih terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi keandalan kinerja mesin, seperti kesalahan manusia, kondisi mesin, variabel eksternal yang tidak terduga, seperti fluktuasi operasional atau gangguan tak terencana dalam proses produksi yang belum sepenuhnya teridentifikasi. Selain itu, penurunan keandalan kinerja mesin juga bisa disebabkan oleh kerusakan mesin yang telah usang atau ketidak sempurnaan dalam proses produksi yang perlu mendapatkan perhatian khusus, karena walaupun tingkat keandalan kinerjanya tidak terlalu rendah namun masih terdapat sejumlah keandalan kinerja mesin yang diluar batas toleransinya. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan analisis lebih lanjut untuk mencari penyebab utama penurunan keandalan kinerja mesin ini, seperti masalah pada peralatan, proses produksi yang tidak optimal, kualitas bahan baku yang digunakan, atau metode *maintenance* yang di terapkan.

Secara keseluruhan, meskipun nilai *performance rate spinning machine/End Box* selama periode tersebut menunjukkan kinerja yang cukup baik dengan rata-rata 93,7885%, hasil ini masih belum memenuhi *standart JIPM* yang mengharuskan nilai *performance rate* mencapai 95%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun mesin beroperasi dengan cukup baik, masih ada ruang untuk perbaikan dalam hal mengurangi tingkat penurunan keandalan kinerja mesin. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perbaikan dan peningkatan berkelanjutan dalam proses produksi, dengan fokus pada pemeliharaan dan monitoring mesin yang lebih cermat, pelatihan operator, serta pengawasan keandalan kinerja mesin yang lebih ketat. Sebagai catatan tambahan, pemeliharaan yang terjadwal dan evaluasi rutin terhadap faktor eksternal dan internal yang dapat mempengaruhi kinerja mesin menjadi langkah penting untuk hasil yang optimal. Langkah ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan kinerja mesin secara konsisten dan mencapai target KPI yang ditetapkan, yang pada gilirannya nanti akan meningkatkan efisiensi operasional dan memaksimalkan keuntungan yang timbul akibat tercapainya target KPI.

5.1.1.3 *Quality Rate*

Gambar 5.3 menunjukkan grafik analisis dari hasil perhitungan *quality rate*:



Gambar 5. 3 Grafik *Quality Rate*

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai *quality rate spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah *standart* yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai *quality rate* selama periode tersebut tercatat dalam setahun dari 120.894 unit gulungan benang seberat 2.418 ton di antaranya sebanyak 2.250 unit gulungan benang seberat 45 tonnya di anggap cacat atau jika dikonversi dalam persentase nilai *quality rate* sebesar 98,1331%, yang mana dari informasi ini dapat di ketahui bahwa jumlah produk tidak cacatnya sebanyak 118.644 unit gulungan benang seberat 2.373 ton yang berarti walaupun tingkat kecacatannya rendah namun masih terdapat sejumlah produk cacat yang dihasilkan diluar batas toleransinya. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Februari 2024, mesin menghasilkan 9.349 unit gulungan benang seberat 186 ton di antaranya sebanyak 203 unit gulungan benang seberat 4 tonnya di anggap cacat atau jika dikonversi dalam bentuk persentase nilai *quality rate* sebesar 97,829%. Kemudian sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan April 2024, mesin menghasilkan 10.034 unit gulungan benang seberat 201 ton di antaranya sebanyak 147 unit gulungan benang seberat 3 tonnya di anggap cacat atau jika dikonversi dalam bentuk persentase nilai *quality rate* sebesar 98,535%.

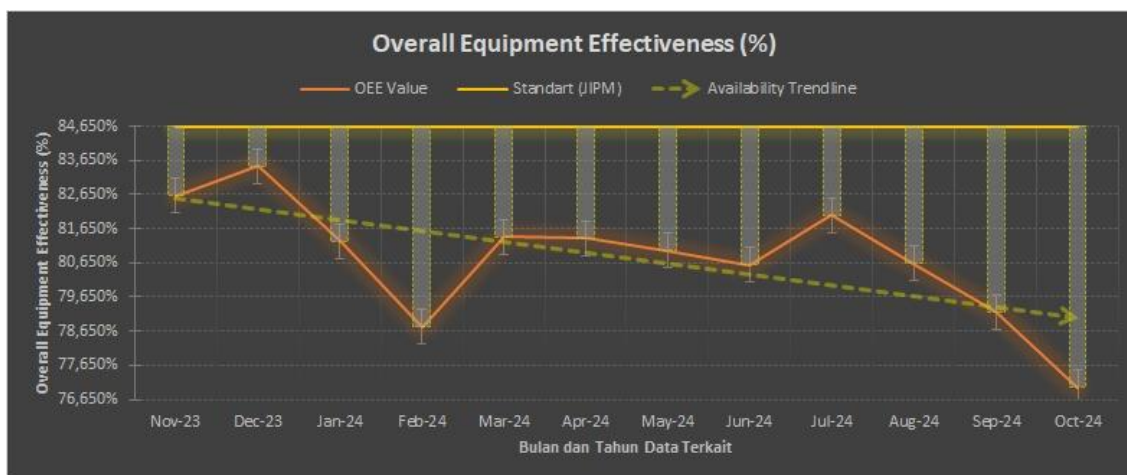
Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun mesin beroperasi dengan baik, masih terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk, seperti kesalahan manusia, kondisi mesin, atau variabel lainnya yang belum sepenuhnya teridentifikasi. Selain itu, penurunan kualitas produk juga bisa disebabkan oleh kerusakan mesin yang telah usang atau ketidak sempurnaan dalam proses produksi yang perlu mendapatkan perhatian lebih lanjut, karena walaupun tingkat kecacatannya rendah namun masih terdapat sejumlah

produk cacat yang dihasilkan diluar batas toleransinya. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan analisis lebih lanjut untuk mencari penyebab utama peningkatan jumlah produk cacat ini, seperti masalah pada peralatan, proses produksi yang tidak optimal, kualitas bahan baku yang digunakan, atau metode *maintenance* yang di terapkan.

Secara keseluruhan, meskipun nilai *quality rate spinning machine/End Box* selama periode tersebut menunjukkan kinerja yang baik dengan rata-rata 98,1331%, hasil ini masih belum memenuhi *standart* JIPM yang mengharuskan nilai *quality rate* mencapai 99%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun mesin beroperasi dengan baik, masih ada ruang untuk perbaikan dalam hal mengurangi jumlah produk cacat. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perbaikan dan peningkatan berkelanjutan dalam proses produksi, dengan fokus pada pemeliharaan mesin yang lebih optimal, pelatihan operator, serta pengawasan kualitas produk yang lebih ketat. Langkah ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas produk secara konsisten dan memenuhi standar yang ditetapkan, yang pada gilirannya nanti akan meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya yang timbul akibat produk cacat.

5.1.1.4 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Gambar 5.4 menunjukkan grafik analisis dari hasil *Overall Equipment Effectiveness*



Gambar 5. 4 Grafik *Overall Equipment Effectiveness*

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai OEE *spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah standar yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai OEE selama periode tersebut tercatat dalam setahun rata-rata nilai *availability rate* sebesar 87,7823%, nilai rata-rata *performance rate* sebesar 93,7885%,

dan nilai rata-rata *quality rate* sebesar 98,1331% atau jika dikonversi dalam persentase nilai OEE sebesar 80,78516%, yang mana dari informasi ini di ketahui bahwa selisih nilai rata-rata *availability rate* dengan *standart* JIPM nya adalah sebesar -2,21774%, selisih nilai rata-rata *performance rate* dengan *standart* JIPM nya adalah sebesar -1,21151%, dan selisih nilai rata-rata *quality rate* dengan *standart* JIPM nya adalah sebesar -0,86687% yang mana dari informasi ini dapat di ketahui bahwa semakin besar nilai selisih nya dari masing-masing *standart* JIPM nya maka semakin besar pula pengaruh terhadap rendahnya nilai oee dari hasil perkaliannya yang mana disini dapat di ketahui bahwa yang menyumbang pengaruh terbesar terhadap rendahnya nilai OEE ini adalah *availability rate* dengan rata-rata total nilai selisihnya dengan *standart* JIPM nya adalah sebesar -2,21774% yang berarti tingkat efektivitas mesin rendah sehingga terdapat sejumlah gap yang mempengaruhi penurunan efektivitas mesin tersebut diluar batas toleransinya yang cukup jauh. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Oktober 2024, selama bulan tersebut tercatat dalam setahun rata-rata nilai *availability rate* sebesar 85,447%, nilai rata-rata *performance rate* sebesar 92,065%, dan nilai rata-rata *quality rate* sebesar 97,873% atau jika dikonversi dalam persentase nilai OEE sebesar 76,9933%. Kemudian sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan Desember 2023, selama bulan tersebut tercatat dalam setahun rata-rata nilai *availability rate* sebesar 90,216%, nilai rata-rata *performance rate* sebesar 93,939%, dan nilai rata-rata *quality rate* sebesar 98,510% atau jika dikonversi dalam persentase nilai OEE sebesar 83,4852%.

Kondisi ini menunjukkan bahwa mesin beroperasi dengan cukup, masih terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi total waktu produksi mesin beroperasi, seperti kesalahan manusia, kondisi mesin, variabel eksternal yang tidak terduga, seperti fluktuasi operasional atau gangguan tak terencana dalam proses produksi yang belum sepenuhnya teridentifikasi. Selain itu, rendahnya total waktu produksi mesin beroperasi juga bisa disebabkan oleh kerusakan mesin yang telah usang atau ketidak sempurnaan dalam proses produksi yang perlu mendapatkan perhatian khusus, karena total waktu produksi mesin beroperasi cukup namun masih terdapat sejumlah total waktu gangguan produksi mesin beroperasi yang diluar batas toleransinya. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan analisis lebih lanjut untuk mencari penyebab utama penurunan keandalan kinerja mesin ini, seperti masalah pada peralatan, proses produksi yang tidak optimal, kualitas bahan baku yang digunakan, atau metode *maintenance* yang di terapkan.

Melihat tren tersebut, penurunan kinerja mesin terjadi terutama pada rendahnya nilai *availability rate* pada bulan-bulan tertentu, yang menunjukkan adanya pemborosan waktu produksi yang signifikan. Kinerja mesin yang tidak optimal dapat dilihat dari penurunan rasio-rasio utama seperti *performance rate* dan *quality rate*, yang berpengaruh langsung terhadap tingkat efisiensi operasional. Dari data yang ada, perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut untuk mengidentifikasi penyebab utama penurunan kinerja ini, seperti adanya kerusakan pada mesin, proses yang tidak efisien, atau permasalahan dalam pengaturan waktu produksi. Untuk memperbaiki kinerja mesin secara keseluruhan, disarankan untuk melakukan analisis lebih mendalam terhadap kerugian yang terjadi akibat waktu yang terbuang atau *downtime losses*, seperti pemborosan akibat *equipment failure losses* dan *setup and adjustment losses*. Menggunakan pendekatan TPM dapat membantu mengurangi pemborosan waktu dan meningkatkan efektivitas mesin, sehingga kinerja OEE dapat diperbaiki dan konsisten dalam mencapai atau bahkan melampaui *standart JIPM*. Dalam hal ini, analisis terhadap SBL sangat diperlukan untuk menentukan area mana yang perlu diperbaiki agar dapat meningkatkan kinerja mesin secara keseluruhan dan menurunkan tingkat pemborosan.

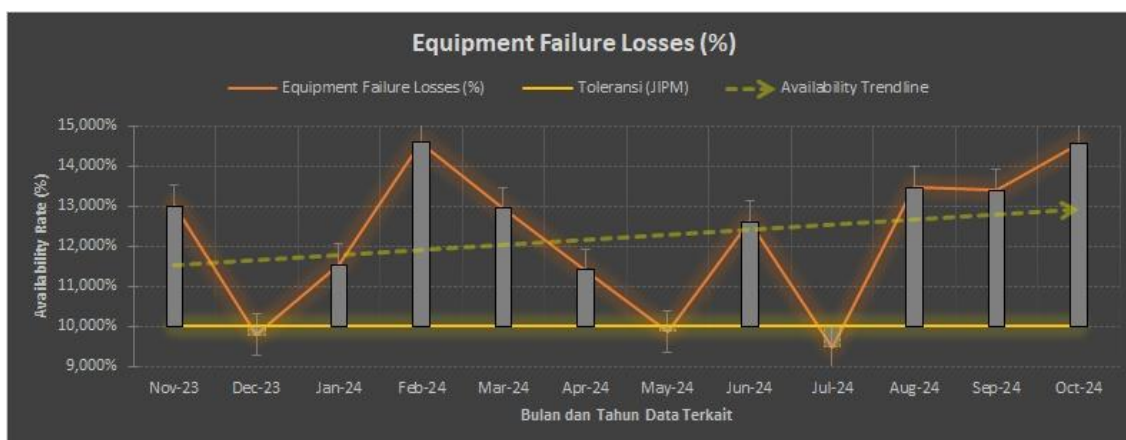
Secara keseluruhan, meskipun nilai OEE *spinning machine/End Box* selama periode tersebut menunjukkan kinerja yang cukup dengan rata-rata 80,78516%, hasil ini masih belum memenuhi *standart JIPM* yang mengharuskan nilai OEE mencapai 85%. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun mesin beroperasi dengan cukup, masih ada ruang untuk perbaikan dalam hal mengurangi tingkat total waktu gangguan produksi mesin beroperasi. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perbaikan dan peningkatan berkelanjutan dalam proses produksi, dengan fokus pada pemeliharaan dan monitoring mesin yang lebih cermat, pelatihan operator, serta pengawasan keandalan kinerja mesin yang lebih ketat. Sebagai catatan tambahan, pemeliharaan yang terjadwal dan evaluasi rutin terhadap faktor eksternal dan internal yang dapat mempengaruhi kinerja mesin menjadi langkah penting untuk hasil yang optimal. Langkah ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan kinerja mesin secara konsisten dan mencapai target KPI yang ditetapkan, yang pada gilirannya nanti akan meningkatkan efisiensi operasional dan memaksimalkan keuntungan yang timbul akibat tercapainya target KPI.

5.1.2 Analisis Pembahasan analisis *Six Big Losses* (SBL)

Berdasarkan hasil pengukuran efektivitas *spinning machine/End Box*, dapat disimpulkan bahwa kinerja mesin tersebut masih kurang optimal. Kondisi ini mengakibatkan *output* produksi yang dihasilkan tidak sebanding dengan waktu operasional yang tersedia, sehingga target produksi perusahaan tidak tercapai. Dampak dari rendahnya efektivitas ini tidak hanya terbatas pada hilangnya peluang produksi, tetapi juga mencakup kerugian dalam aspek waktu produksi dan kualitas produk. Penurunan produktivitas mesin sering kali disebabkan oleh penggunaan mesin yang tidak efisien, yang umumnya berkaitan dengan enam kategori kerugian utama, yang dikenal sebagai SBL. Oleh karena itu, analisis mendalam terhadap SBL diperlukan untuk mengidentifikasi dan memahami penyebab kerugian akibat rendahnya efektivitas *spinning machine/End Box*. Langkah ini sangat penting untuk merumuskan strategi perbaikan yang relevan, guna meningkatkan kinerja mesin dan mendukung pencapaian target produksi perusahaan.

5.1.2.1 Pembahasan *Equipment Failure Losses*

Gambar 5.5 merupakan grafik analisis dari hasil *equipment failure losses*:



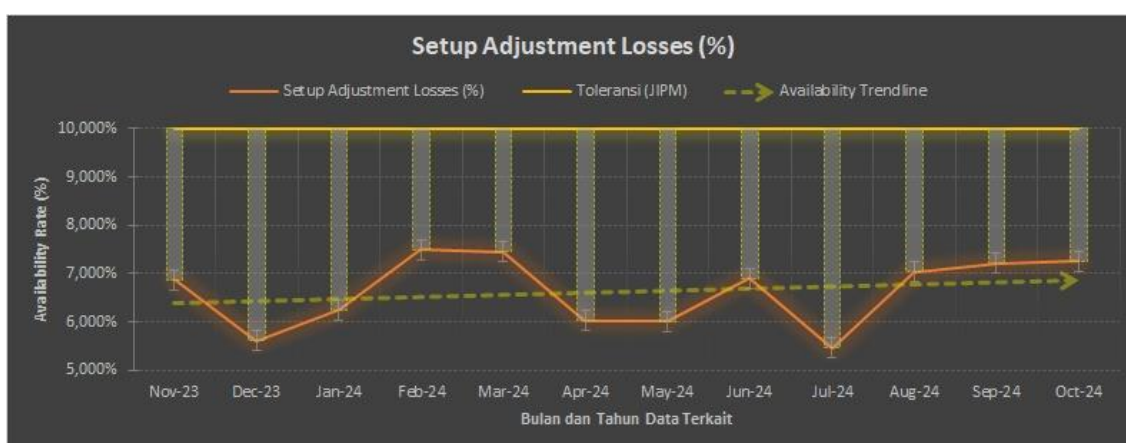
Gambar 5. 5 Grafik *Equipment Failure Losses*

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai *equipment failure losses spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah *standart* toleransi yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai *equipment failure losses* selama periode tersebut tercatat dalam setahun dari informasi ini di ketahui bahwa realita jumlah *operating time* nya adalah 7.163 jam waktu produksi yang mana seharusnya jumlah *loading time* nya adalah 8.158 jam waktu produksi, yang mana dari informasi ini dapat di ketahui bahwa jumlah terjadinya *unplanned downtime* adalah 995 jam waktu produksi

yang terbangun dalam kurun waktu periode tersebut yang berarti tingkat penurunan keandalan mesin rendah sehingga terdapat sejumlah gap yang mempengaruhi penurunan keandalan mesin tersebut diluar batas toleransinya yang cukup jauh. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Februari 2024, mesin seharusnya dapat beroperasi selama 645 jam waktu produksi namun pada kenyataannya hanya dapat beroperasi selama 551 jam waktu produksi atau jika dikonversi dalam persentase nilai *equipment failure losses* sebesar 14,574%. Kemudian sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan Juli 2024, mesin seharusnya dapat beroperasi selama 696 jam waktu produksi namun pada kenyataannya hanya dapat beroperasi selama 630 jam waktu produksi atau jika dikonversi dalam persentase nilai *equipment failure losses* sebesar 9,483%.

5.1.2.2 Pembahasan Setup and Adjustment Losses

Gambar 5.6 merupakan grafik analisis dari hasil *setup and adjustment losses*:



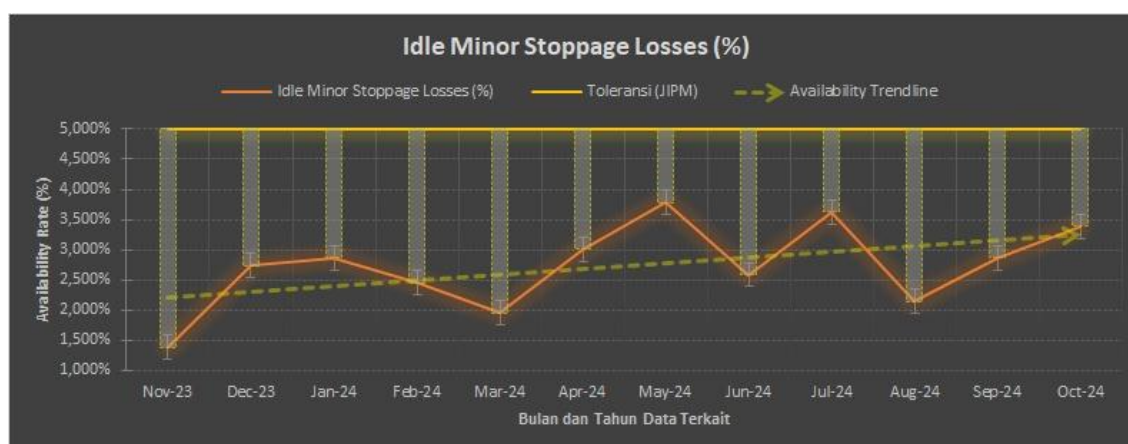
Gambar 5. 6 Grafik Setup Adjustment Losses

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai *setup and adjustment losses spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah *standart* toleransi yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai *setup and adjustment losses* selama periode tersebut tercatat dalam setahun dari informasi ini di ketahui bahwa realita jumlah *setup and adjustment time* nya adalah 541 jam waktu produksi yang mana seharusnya jumlah *loading time* nya adalah 8.158 jam waktu produksi, yang mana dari informasi ini dapat di ketahui bahwa jumlah terjadinya *unplanned downtime* adalah 995 jam waktu produksi yang terbangun dalam kurun waktu periode tersebut yang berarti tingkat penurunan keandalan mesin rendah sehingga terdapat sejumlah gap yang mempengaruhi

penurunan keandalan mesin tersebut diluar batas toleransinya yang cukup jauh. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Februari 2024, jumlah *setup and adjustment time* nya adalah 49 jam waktu produksi yang mana seharusnya jumlah *loading time* nya adalah 645 jam waktu produksi, yang mana dari informasi ini dapat di ketahui bahwa jumlah terjadinya *unplanned downtime* adalah 94 jam waktu produksi yang terbuang dalam kurun waktu periode tersebut atau jika dikonversi dalam persentase nilai *setup and adjusment losses* sebesar 7,494%. Kemudian sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan Juli 2024, jumlah *setup and adjustment time* nya adalah 38 jam waktu produksi yang mana seharusnya jumlah *loading time* nya adalah 696 jam waktu produksi, yang mana dari informasi ini dapat di ketahui bahwa jumlah terjadinya *unplanned downtime* adalah 66 jam waktu produksi yang terbuang dalam kurun waktu periode tersebut atau jika dikonversi dalam persentase nilai *setup and adjusment losses* sebesar 5,460%%.

5.1.2.3 Pembahasan *Idle and Minor Stoppage Losses*

Gambar 5.7 merupakan grafik analisis dari hasil *idle and minor stoppage losses*:



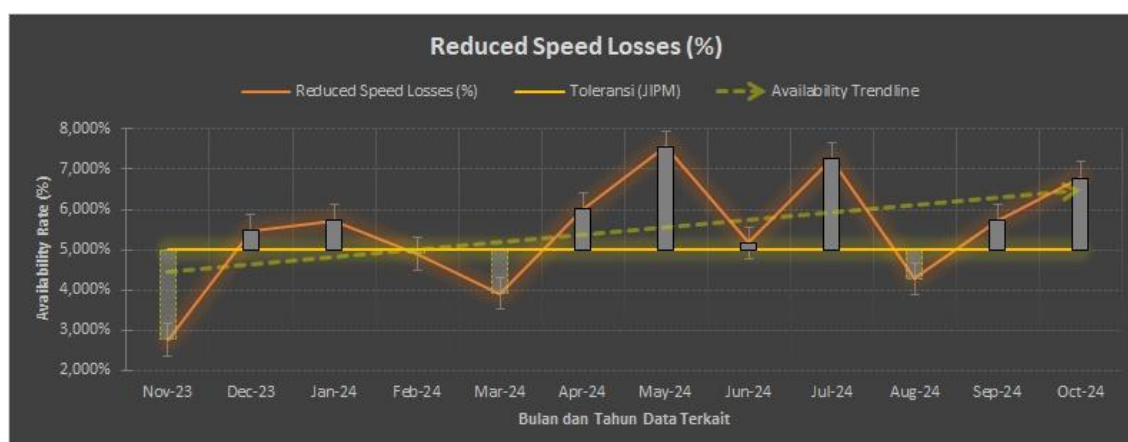
Gambar 5. 7 Grafik *Idle and Minor Stoppage Losses*

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai *idle and minor stoppage losses spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah *standart* toleransi yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai *idle and minor stoppage losses* selama periode tersebut tercatat dalam setahun dari informasi ini di ketahui bahwa realita jumlah *total nonproductive time* nya adalah 224 jam waktu produksi yang mana seharusnya jumlah *loading time* nya adalah 8.158 jam waktu produksi, yang mana dari informasi ini di ketahui bahwa realita rata rata *actual cycle time* nya adalah 3,6 menit/unit

gulungan benang seberat 20 kg yang mana seharusnya rata-rata *ideal cycle time* nya adalah 3,3 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang berarti walaupun tingkat penurunan keandalan mesin rendah namun masih terdapat sejumlah gap yang mempengaruhi penurunan keandalan mesin tersebut diluar batas toleransinya. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Mei 2024, *total nonproductive time* nya adalah 26 jam waktu produksi yang mana seharusnya jumlah *loading time* nya adalah 645 jam waktu produksi, yang mana dari informasi ini di ketahui bahwa realita rata rata *actual cycle time* nya adalah 3,6 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang mana seharusnya rata-rata *ideal cycle time* nya adalah 3,3 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang berarti ada waktu produksi yang terbuang dalam kurun waktu periode tersebut atau jika dikonversi dalam persentase nilai *idle and minor stoppage losses* sebesar 3,779%. Kemudian Sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan November 2023, *total nonproductive time* nya adalah 10 jam waktu produksi yang mana seharusnya jumlah *loading time* nya adalah 645 jam waktu produksi, yang mana dari informasi ini di ketahui bahwa realita rata rata *actual cycle time* nya adalah 3,4 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang mana seharusnya rata-rata *ideal cycle time* nya adalah 3,3 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang berarti ada waktu produksi yang terbuang dalam kurun waktu periode tersebut atau jika dikonversi dalam persentase nilai *idle and minor stoppage losses* sebesar 1,383%.

5.1.2.4 Pembahasan *Reduce Speed Losses*

Gambar 5.8 merupakan grafik analisis dari hasil *reduced speed losses*:

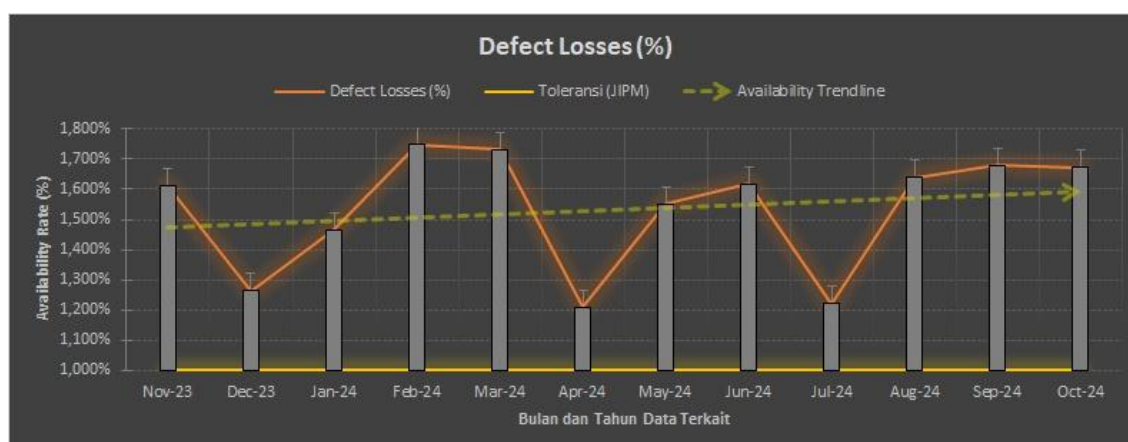


Gambar 5. 8 Grafik *Reduces Speed Losses*

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai *reduce speed losses spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah *standart* toleransi yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai *reduce speed losses* selama periode tersebut tercatat dalam setahun dari informasi ini di ketahui bahwa realita rata rata *actual cycle time* nya adalah 3,6 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang mana seharusnya rata-rata *ideal cycle time* nya adalah 3,3 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang berarti walaupun tingkat penurunan keandalan mesin rendah namun masih terdapat sejumlah gap yang mempengaruhi penurunan keandalan mesin tersebut diluar batas toleransinya. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Mei 2024, realita rata rata *actual cycle time* nya adalah 3,6 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang mana seharusnya rata-rata *ideal cycle time* nya adalah 3,3 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang berarti ada waktu produksi yang terbuang dalam kurun waktu periode tersebut atau jika dikonversi dalam persentase nilai *reduce speed losses* sebesar 7,558%. Kemudian Sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan November 2023, realita rata rata *actual cycle time* nya adalah 3,4 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang mana seharusnya rata-rata *ideal cycle time* nya adalah 3,3 menit/unit gulungan benang seberat 20 kg yang berarti ada waktu produksi yang terbuang dalam kurun waktu periode tersebut atau jika dikonversi dalam persentase nilai *reduce speed losses* sebesar 2,765%.

5.1.2.5 Pembahasan *Defect Losses*

Gambar 5.9 menunjukkan grafik analisis dari hasil *defect losses*:

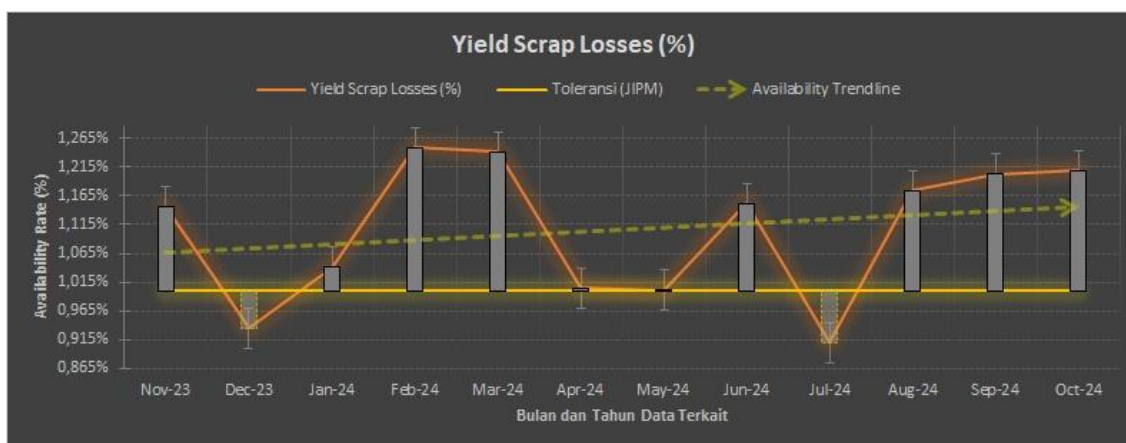


Gambar 5. 9 Grafik *Defect Losses*

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai *defect losses spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah *standart* toleransi yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai *defect losses* selama periode tersebut tercatat dalam setahun dari 120.894 unit gulungan benang seberat 2.418 ton di antaranya sebanyak 2.250 unit gulungan benang seberat 45 tonnya di anggap cacat, yang mana dari informasi ini dapat di ketahui bahwa jumlah produk tidak cacatnya sebanyak 118.644 unit gulungan benang seberat 2.373 ton yang berarti walaupun tingkat kecacatannya rendah namun masih terdapat sejumlah produk cacat yang dihasilkan diluar batas toleransinya. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Februari 2024, mesin menghasilkan 9.349 unit gulungan benang seberat 186 ton di antaranya sebanyak 203 unit gulungan benang seberat 4 tonnya di anggap cacat atau jika dikonversi dalam bentuk persentase nilai *defect losses* sebesar 1,748%. Kemudian sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan April 2024, mesin menghasilkan 10.034 unit gulungan benang seberat 201 ton di antaranya sebanyak 147 unit gulungan benang seberat 3 tonnya di anggap cacat atau jika dikonversi dalam bentuk persentase nilai *defect losses* sebesar 1,210%.

5.1.2.6 Pembahasan *Yield or Scrap Losses*

Gambar 5.10 menunjukkan grafik analisis dari hasil *yield or scrap losses*:



Gambar 5. 10 Grafik *Yield or Scrap Losses*

Berdasarkan hasil yang telah dilakukan pengolahan, nilai *yield or scrap losses spinning machine/End Box* selama periode November 2023 hingga Oktober 2024 menunjukkan hasil yang bervariasi namun sebagian besar masih berada di bawah *standart* toleransi yang ditetapkan oleh JIPM. Rata-rata nilai *yield or scrap losses* selama periode tersebut

tercatat dalam setahun dari 120.894 unit gulungan benang seberat 2.418 ton di antaranya sebanyak 1.621 unit gulungan benang seberat 33 tonnya di anggap *scrap*, yang berarti walaupun tingkat jumlah *scrap* nya rendah namun masih terdapat sejumlah *scrap* yang dihasilkan diluar batas toleransinya. Sebagai contoh kondisi terburuknya dalam periode tersebut ada pada bulan Februari 2024, mesin menghasilkan 9.349 unit gulungan benang seberat 186 ton di antaranya sebanyak 145 unit gulungan benang seberat 3 tonnya di anggap *scrap* atau jika dikonversi dalam bentuk persentase nilai *yield or scrap losses* sebesar 1,249%. Kemudian sebagai contoh kondisi terbaiknya dalam periode tersebut ada pada bulan April 2024, mesin menghasilkan 10.034 unit gulungan benang seberat 201 ton di antaranya sebanyak 122 unit gulungan benang seberat 2 tonnya di anggap *scrap* atau jika dikonversi dalam bentuk persentase nilai *yield or scrap losses* sebesar 1,004%.

5.1.3 Analisis Pembahasan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Berdasarkan dari Tabel 4.26 *Analisis Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA) merupakan instrumen krusial yang digunakan untuk mengevaluasi dan menetapkan prioritas risiko kegagalan pada *mesin End Box*, dengan fokus pada kerugian dominan yang teridentifikasi. Pengukuran risiko ini didasarkan pada perhitungan Risk Priority Number (RPN), yang diperoleh dari perkalian parameter *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D). Berdasarkan data terbaru, total RPN dikelompokkan menjadi tiga area fungsi utama mesin: Unit pembentukan dan pemintalan filamen/*spinning extrusion head* (meliputi *spin pump*, *spin pack*, *spin beam*) dengan total RPN 296, Unit pelumasan dan penarikan filamen /*spin finish/drawing system* (meliputi *spin finish pump* dan *spin finish nozzle*) dengan total RPN 200, dan Unit pendinginan dan pemadatan filamen/*quench system* (meliputi *quench duct*) dengan RPN 72. Data ini secara jelas menunjukkan bahwa area pembentukan filamen memiliki risiko tertinggi. Urutan prioritas kerugian ini selaras dengan temuan OEE dan SBL yang menggaris bawahi urgensi pencegahan *unplanned downtime* yang bersumber dari kegagalan fungsi di area *spinning extrusion head*.

Untuk menajamkan fokus perbaikan, identifikasi diarahkan pada mode-mode kegagalan individu dengan nilai RPN tertinggi. Dari keseluruhan *failure mode* yang teridentifikasi, dua risiko menonjol sebagai prioritas utama. Mode kegagalan kritis pertama adalah kegagalan *spin pack*, yang disebabkan oleh *clogging* atau *overload*, dengan nilai RPN mencapai 120. Nilai RPN yang sangat tinggi ini didorong oleh nilai *severity* (S=5) dan nilai *occurrence* (O=6) yang tinggi, mengindikasikan bahwa

kegagalan *spin pack* cukup sering terjadi dan dampaknya terhadap kerugian waktu dan kualitas sangat serius. Mode kegagalan kritis kedua adalah kegagalan *spin finish pump* yang berkaitan dengan inefisiensi *setup* dan *maintenance*, dengan nilai RPN 100. Nilai ini menunjukkan bahwa waktu *downtime* yang disebabkan oleh pompa ini seringkali melampaui batas toleransi. Selain itu, kegagalan *spin finish nozzle* juga memiliki RPN 100 dan kegagalan *spin pump* memiliki RPN 96, menunjukkan bahwa hampir seluruh komponen di area *spinning extrusion head* dan *spin finish/drawing system* memiliki risiko kegagalan yang tinggi dan harus menjadi target utama.

Temuan FMEA ini menjadi landasan terukur bagi pelaksanaan RCA. Prioritas utama RCA ditujukan pada kegagalan *spin pack* (RPN 120) untuk menggali akar masalah sistemik di baliknya (misalnya, kegagalan sistem filtrasi, SOP pembersihan, atau kualitas material). Kedua, fokus harus diarahkan pada inefisiensi *spin finish pump* (RPN 100). Oleh karena itu, strategi TPM yang diusulkan wajib memprioritaskan: Pertama, penguatan *planned maintenance*, yang mencakup penyusunan jadwal pembersihan dan penggantian filter *spin pack* yang lebih akurat, untuk mengurangi risiko *clogging* dan *unplanned downtime*. Kedua, Peningkatan efisiensi *setup*, melalui analisis dan penyederhanaan prosedur *setup* dan *adjustment spin finish pump*, yang bertujuan langsung untuk mengurangi *setup and adjustment losses* dan meningkatkan *availability rate* mesin.

Analisis mendalam terhadap komponen RPN menegaskan perbedaan sifat masalah yang dihadapi. Pada kegagalan *spin pack* (RPN 120), nilai *occurrence* (O=6) yang tertinggi di antara semua komponen menggarisbawahi bahwa masalah ini adalah masalah kronis yang sering terjadi, menuntut intervensi *autonomous maintenance* dan *planned maintenance* secara intensif. Sebaliknya, pada kegagalan *quench duct* (RPN 72), meskipun dampaknya relatif rendah (*severity* S=4 dan *occurrence* O=3), nilai *detection* (D=6) yang tinggi mengindikasikan bahwa ketidakstabilan aliran udara pendingin paling sulit dideteksi secara cepat oleh operator, berpotensi menghasilkan produk yang rusak dalam jumlah besar sebelum masalah diidentifikasi, sehingga membutuhkan alat monitoring dan sensor yang lebih canggih. Secara keseluruhan, kegagalan *spin pack* dan *spin finish pump* yang mendominasi daftar risiko menunjukkan bahwa perusahaan perlu fokus pada keterampilan pembersihan dan perawatan filtrasi yang lebih baik untuk secara efektif meningkatkan OEE.

Tabel 5. 1 Hasil Analisis Nilai Kritis

Jenis Kerugian	Part	RPN	Keterangan
<i>Equipment Failure Losses</i>	<i>Spin Pump</i>	96	Tidak Kritis
<i>Equipment Failure Losses</i>	<i>Spin Pack</i>	120	Kritis
<i>Setup Adjustment Losses</i>	<i>Spin Beam</i>	80	Tidak Kritis
<i>Setup Adjustment Losses</i>	<i>Spin Finish Pump</i>	100	Kritis
<i>Reduce Speed Losses</i>	<i>Quench duct</i>	72	Tidak Kritis
<i>Reduce Speed Losses</i>	<i>Spin Finish Nozzle</i>	100	Kritis
Rata-Rata (Batas Toleransi Kritis)		96	>96 (Kondisi Kritis)

5.1.4 Analisis Pembahasan *Diagram Fishbone*

5.1.4.1 Pembahasan *Spin Pack*

Berdasarkan dari Gambar 4.2 analisis akar penyebab (RCA) yang dilakukan terhadap kegagalan fungsi atau terjadinya penyumbatan (*clogging*) pada *spin pack* (RPN 120) yang merupakan *failure mode* dengan nilai RPN tertinggi di area *equipment failure losses* mengungkap adanya masalah sistemik yang didominasi oleh faktor manusia dan metode, yang diperparah oleh keterbatasan mesin dan material. Dari sisi manusia, akar masalah utamanya adalah kurangnya keterampilan *cleaning*, yang mengindikasikan bahwa operator atau tim *cleaning* belum memiliki kompetensi mendalam terkait handling dan pembersihan filter mikro yang sangat sensitif, sehingga secara keseluruhan meninggalkan risiko sisa kotoran yang mempercepat penyumbatan kronis. Kondisi ini diperburuk oleh kategori metode, di mana SOP pembersihan tidak efisien diterapkan, karena prosedur *cleaning* dan *assembly* yang berlaku berpotensi memasukkan kotoran baru, serta interval pergantian *pack* tidak optimal, yang memperpendek *lifetime* efektif komponen. Sementara itu, fluktuasi kualitas polimer *input* (material) yang membawa kotoran halus menjadi pemicu eksternal yang mempercepat *clogging*, dan dari sisi mesin, sistem filtrasi mesin tua meskipun masih dioperasikan menunjukkan adanya diskrepansi antara desain bawaan (mesin) dengan tuntutan polimer modern saat ini. Secara keseluruhan, fakta bahwa akar penyebab terpusat pada human skill dan SOP menunjukkan bahwa perusahaan besar perlu fokus pada standarisasi kompetensi dan prosedur perawatan sebagai langkah pencegahan *unplanned downtime* yang paling mendesak.

Analisis lebih lanjut berdasarkan *diagram fishbone* menegaskan bahwa *clogging spin pack* adalah masalah kronis yang berasal dari kurangnya investasi pada pengetahuan

dan sistem kontrol prosedur, bukan hanya kegagalan acak. RPN yang tinggi didominasi oleh nilai *occurrence* (O=6) yang tinggi, menandakan frekuensi kejadian yang sering, menuntut intervensi TPM yang terstruktur. Oleh karena itu, rekomendasi solusi harus berfokus pada perbaikan sistemik: Pertama, penguatan *jishu hozen* (*autonomous maintenance*) dan pelatihan *specialized skill* bagi operator cleaning untuk menutup celah kurangnya keterampilan *cleaning* (manusia), sehingga mereka mampu mencegah kontaminasi residu. Kedua, implementasi *Single-Minute Exchange of Dies* (SMED) pada prosedur *pack changing* untuk memastikan *cleaning* dan *assembly* dilakukan secepat dan sebersih mungkin, menstandarisasi SOP yang inefisien (metode). Ketiga, meskipun mesin tua, perusahaan harus mempertimbangkan pemasangan *pre-filter* tambahan atau pemutakhiran sistem monitoring tekanan untuk mengatasi keterbatasan sistem filtrasi mesin tua dan fluktuasi kualitas polimer *input*, mengubah *maintenance* dari reaktif menjadi *proactive* dan *predictive*. Langkah-langkah ini, yang berfokus pada perbaikan manusia dan metode, akan menjadi manfaat utama untuk secara efektif mengurangi *unplanned downtime* yang disebabkan oleh *spin pack*. Tabel 5.2 menunjukkan rangkuman hasil analisis fishbone pada *part spin pack*:

Tabel 5.2 Hasil Analisis *Spin Pack*

Komponen (<i>Part</i>)		Masalah	Solusi	Sumber
<i>Spin Pack</i>	Manusia	Kurangnya keterampilan <i>cleaning</i>	Pelatihan <i>specialized skill</i> operator	(Ahmad Gunawan, 2025)
	Material	Buruknya kualitas polimer	Penerapan <i>quality control</i> yang ketat	(Izza, 2021)
	Metode	Tidak teraplikasinya SOP yang ada	Penerapan SOP dan proyek SMED	(Setiafindari, 2021)
	Mesin	Kondisi sistem mesin sudah usang	pemasangan <i>pre-filter</i> tambahan	(Dewi, 2024)

5.1.4.2 Pembahasan *Spin Finish Pump*

Berdasarkan dari Gambar 4.3 analisis akar penyebab (RCA) terhadap *failure mode* waktu untuk menghangatkan *oil* melebihi batas toleransi pada *spin finish pump* (RPN 100) secara jelas mengidentifikasi masalah ini sebagai kontributor utama *setup and adjustment losses* yang bersifat inefisien dan sistemik. Akar masalah terkuat berasal dari kategori

metode dan manusia. Pada kategori metode, prosedur *warm-up serial* menjadi penyebab dominan, di mana proses *start-up* tidak menerapkan prinsip *Single-Minute Exchange of Dies* (SMED), memaksa pemanasan pompa dilakukan secara berurutan dan terpisah dari kegiatan persiapan lain, sehingga secara signifikan memperpanjang *downtime* yang tidak produktif. Keterlambatan ini diperburuk oleh faktor manusia, yaitu kurangnya standarisasi *adjustment*, yang ditunjukkan dengan kecenderungan setiap teknisi memiliki cara setting tekanan dan suhu pompa yang berbeda-beda, secara langsung memperpanjang waktu *adjustment* hingga kondisi operasional ideal tercapai. Sementara itu, faktor mesin dan material turut berkontribusi: akar *heater* pompa perlu *overhaul* menunjukkan elemen pemanas pompa tidak beroperasi pada efisiensi puncak, dan kualitas *finish oil* (material) yang rentan membentuk endapan (*sludge*) juga membutuhkan waktu *warm-up* yang lebih lama untuk mencapai kekentalan yang ideal.

Analisis lebih lanjut dari *Diagram Fishbone* ini menegaskan bahwa nilai RPN 100, yang disumbang oleh tingginya *severity* dan *detection*, adalah cerminan dari kerugian waktu yang dapat dihindari jika manajemen prosedur ditingkatkan. Kehadiran akar masalah prosedur *warm-up serial* dan kurangnya standarisasi *adjustment* pada perusahaan besar mengindikasikan bahwa fokus perbaikan harus diarahkan pada rekayasa ulang sistem kerja. Rekomendasi solusi yang paling strategis adalah implementasi prinsip SMED pada *setup area spin finish*, di mana proses *warm-up* pompa harus diubah dari elemen internal (*internal exchange*) menjadi elemen eksternal (*external exchange*), sehingga pemanasan dapat dilakukan secara paralel dengan persiapan bagian mesin lainnya. Selanjutnya, untuk mengatasi masalah manusia, diperlukan penyusunan dan sosialisasi *standard operating procedure* (SOP) kalibrasi pompa yang baku, didukung dengan pelatihan intensif untuk memastikan seluruh teknisi menggunakan metode *setting* yang seragam. Secara bersamaan, penundaan *overhaul* harus dihindari, dan standar kualitas *finish oil* harus diperketat untuk mengurangi pembentukan *sludge*, sehingga *spin finish pump* dapat mencapai kondisi operasional optimal dalam waktu yang jauh lebih singkat, menekan *setup and adjustment losses* secara signifikan. Tabel 5.3 menunjukkan rangkuman hasil analisis fishbone pada *part spin finish pump*:

Tabel 5. 3 Hasil Analisis *Spin Finish Pump*

Komponen (<i>Part</i>)	Masalah	Solusi	Sumber
Manusia	Rendahnya standarisasi <i>setup</i>	Penerapan SOP dan proyek SMED	(Setiafindari, 2021)

Komponen (<i>Part</i>)		Masalah	Solusi	Sumber
<i>Spin Finish Pump</i>	Material	Buruknya kualitas <i>finish oil</i>	Penerapan <i>quality control</i> yang ketat	(Izza, 2021)
	Metode	Tidak tepatnya prosedur <i>warm up</i>	Penetapan SOP yang baku dan seragam	(Purwanggono, 2024)
	Mesin	Kondisi <i>system heater pump</i> usang	Perancangan ulang jadwal <i>maintenance</i>	(Affandi, 2021)

5.1.4.3 Pembahasan *Spin Finish Nozzle*

Berdasarkan dari Gambar 4.4 analisis akar penyebab terhadap *failure mode* aliran dosis *finish oil* tidak merata pada *spin finish nozzle* (RPN 100) yang berkontribusi signifikan pada *reduce speed losses* menunjukkan bahwa akar masalahnya berpusat pada kegagalan operasional dan manajemen pemeliharaan, didorong oleh tingginya *severity* dan *detection*. Dari sudut pandang manusia, akar masalah utama adalah kurangnya *autonomous maintenance*, di mana operator produksi sering lalai atau lupa melakukan *cleaning* rutin pada *nozzle*. Kelalaian ini merupakan indikasi nyata dari konflik silo departemen yang memisahkan tanggung jawab produksi dari pemeliharaan harian, sehingga tugas *cleaning* dianggap bukan prioritas utama operator. Keterbatasan ini didukung oleh kategori metode yang menetapkan frekuensi *cleaning* rendah pada jadwal pembersihan *nozzle*, yang mana intervalnya tidak cukup sering untuk mengatasi *flying dust* dan serabut di lingkungan pabrik. Lebih lanjut, dari sisi material, akar masalah kualitas *finish oil* yang rentan terkontaminasi atau *spec* yang tidak sepenuhnya sesuai menjadi pemicu kritis penyumbatan *nozzle* yang sangat kecil. Terakhir, desain bawaan mesin yang memiliki desain *nozzle* sensitif dengan lubang yang sangat kecil menuntut monitoring tekanan yang sangat stabil dan ketat, yang sayangnya tidak diimbangi dengan *maintenance* yang memadai.

Analisis lanjutan berdasarkan temuan *Fishbone* menegaskan bahwa masalah RPN 100 ini adalah kerugian yang terjadi secara berulang (*occurrence* S=4) dan sulit terdeteksi di awal (*detection* D=5), yang memaksa operator menurunkan kecepatan mesin sebagai solusi sementara (*failure effect*). Intervensi perbaikan yang paling strategis harus berfokus pada integrasi tanggung jawab dan kontrol material. Rekomendasi pertama adalah mengimplementasikan program pelatihan *autonomous maintenance* yang ketat untuk menanamkan disiplin *cleaning* harian pada *nozzle* kepada operator produksi, secara

efektif menutup celah konflik silo departemen (manusia). Kedua, revisi jadwal PM diperlukan untuk meningkatkan frekuensi *cleaning* (metode) *nozzle* dan mengintegrasikannya ke dalam *planned shutdown* yang ada. Ketiga, untuk mengatasi akar masalah material, perusahaan perlu melakukan peninjauan ulang standar kualitas dan filtrasi *finish oil* yang digunakan, guna memastikan *oil* bebas dari endapan yang dapat menyumbat *nozzle* yang sensitif. Dengan menargetkan perbaikan pada disiplin operasional dan kontrol input material, perusahaan dapat mengurangi *reduce speed losses* secara signifikan dan menjaga stabilitas aliran *finish oil* yang krusial untuk kualitas benang. Tabel 5.4 menunjukkan rangkuman hasil analisis fishbone *part spin finish nozzle*:

Tabel 5.4 Hasil Analisis *Spin Finish Nozzle*

Komponen (Part)		Masalah	Solusi	Sumber
<i>Spin Finish Nozzle</i>	Manusia	Kurangnya <i>autonomus maintenance</i>	Penerapan <i>autonomus maintenance</i>	(Casban, 2025)
	Material	Buruknya kualitas <i>finish oil</i>	Penerapan <i>quality control</i> yang ketat	(Izza, 2021)
	Metode	Rendahnya frekuensi <i>cleaning</i>	Perancangan ulang jadwal <i>maintenance</i>	(Affandi, 2021)
	Mesin	Kondisi desain <i>nozzle</i> sensitif	Pembaruan desain <i>nozzle</i> terkait	(Dewi, 2024)

5.2 Hasil Penelitian

5.2.1 Analisis Pembahasan Total Productive Maintenance (TPM)

Total Productive Maintenance (TPM) adalah pendekatan pemeliharaan yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas mesin dengan melibatkan seluruh karyawan di perusahaan. Tujuan utama TPM adalah memaksimalkan OEE, yang mengoptimalkan ketersediaan mesin, performa, dan kualitas produksi. TPM berfokus pada pencegahan kerusakan, pemeliharaan preventif yang efektif, serta peningkatan keterlibatan operator dalam perawatan mesin sehari-hari. Prinsip dasarnya adalah bahwa operator dan teknisi tidak hanya bertanggung jawab atas proses produksi, tetapi juga menjaga peralatan agar tetap dalam kondisi optimal melalui kegiatan perawatan rutin, perbaikan kecil, dan deteksi masalah lebih awal. Dengan demikian, TPM meminimalkan *downtime*, memperpanjang usia mesin, dan mengurangi kerugian yang terjadi selama proses

produksi. Dalam konteks *spinning machine/End Box* yang sedang dianalisis, penerapan TPM sangat relevan mengingat penurunan OEE yang signifikan. Berdasarkan data yang dianalisis menggunakan FMEA, ditemukan beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap rendahnya kinerja mesin, seperti *downtime* akibat kerusakan mesin, masalah *setup*, dan penurunan kecepatan mesin. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan kinerja mesin, pendekatan TPM yang menyeluruh sangat diperlukan.

Dengan mengimplementasikan setidaknya 5 pilar dari 8 Pilar TPM, perusahaan dapat mengatasi masalah yang terjadi pada *spinning machine/End Box*. Pemeliharaan preventif yang lebih efisien, peningkatan keterlibatan operator dalam pemeliharaan, serta perbaikan dalam proses *setup* dan pengendalian kualitas produk akan secara langsung mengurangi kerugian waktu yang terjadi pada *equipment failure losses*, *setup and adjustment losses*, dan *reduce speed losses*. Dengan penerapan TPM yang berfokus pada perbaikan berkelanjutan, diharapkan OEE mesin dapat meningkat, yang pada akhirnya akan meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi secara keseluruhan. Dengan demikian demi mendukung keberhasilan dalam penerapan TPM maka diperlukan setidaknya 5 Pilar TPM yang diantaranya:

5.2.1.1 Autonomous Maintenance

Autonomous maintenance merupakan pilar pertama dalam TPM yang bertujuan memberdayakan operator untuk terlibat langsung dalam pemeliharaan rutin dan deteksi dini masalah pada mesin. Melalui pelatihan, operator dapat mengenali tanda-tanda kerusakan kecil sebelum berkembang menjadi kerusakan besar yang menyebabkan *downtime*. Kegiatan pemeliharaan dasar seperti pembersihan, pelumasan, dan pemeriksaan komponen utama membantu mempercepat identifikasi masalah dan memungkinkan perbaikan dilakukan lebih awal, sehingga mencegah kerusakan mendadak yang menjadi penyebab utama *equipment failure losses* serta menurunkan *availability* mesin.

Penerapan *autonomous maintenance* pada *spinning machine/End Box* berperan penting dalam mengurangi *downtime* akibat kerusakan mesin. Keterlibatan operator dalam pemeliharaan harian mengurangi ketergantungan pada teknisi dan mempercepat penanganan masalah. Operator juga lebih proaktif dalam menjaga kondisi mesin dan mengidentifikasi potensi kerusakan sebelum menjadi gangguan yang lebih besar. Dengan demikian, *autonomous maintenance* meningkatkan *availability*, memperpanjang umur mesin, mengurangi kerugian waktu, dan pada akhirnya meningkatkan OEE. Pendekatan

ini menciptakan lingkungan produksi yang lebih stabil dan efisien, dengan operator sebagai bagian penting dalam menjaga kinerja mesin.

5.2.1.2 *Planned Maintenance*

Pilar kedua dalam TPM, yaitu *planned maintenance*, menekankan pentingnya pemeliharaan preventif yang direncanakan secara cermat sesuai kondisi aktual mesin. Pemeliharaan tanpa jadwal yang tepat atau tanpa mempertimbangkan kondisi mesin sering menimbulkan kerugian waktu dan menurunkan produktivitas. Karena itu, perusahaan perlu menyusun jadwal pemeliharaan preventif yang terstruktur dan berbasis analisis kondisi mesin, bukan hanya rutinitas. Pendekatan ini memastikan mesin mendapat perawatan sesuai kebutuhan, mengurangi risiko kerusakan yang tidak terdeteksi, serta meminimalkan *downtime* yang mengganggu proses produksi.

Selain itu, jadwal pemeliharaan harus dirancang lebih efisien untuk menurunkan frekuensi kerusakan dan meningkatkan *availability* serta *performance* mesin. Penerapan *planned maintenance* yang efektif perlu didukung teknologi pemantauan kondisi, seperti *vibration monitoring* atau termografi, yang membantu mendeteksi potensi kerusakan sebelum berkembang menjadi masalah besar. Dengan pemeliharaan berbasis analisis kondisi secara berkala, kerusakan dapat diminimalkan dan mesin beroperasi lebih optimal. Perencanaan pemeliharaan yang terukur ini terbukti efektif mengurangi *equipment failure losses*, salah satu penyebab utama penurunan OEE. Melalui pendekatan ini, tingkat kegagalan mesin menurun, kinerja meningkat, dan produktivitas perusahaan secara keseluruhan bertambah.

5.2.1.3 *Focused Improvement*

Pilar ketiga dalam TPM, *focused improvement*, menekankan perbaikan berkelanjutan untuk meningkatkan efisiensi proses dan mengurangi kerugian waktu. Pada *spinning machine/End Box*, fokus utamanya adalah meminimalkan waktu *setup* yang selama ini menjadi penyebab utama rendahnya *availability* dan penurunan OEE. Proses *setup* yang lama memperlambat persiapan produksi berikutnya dan meningkatkan *setup and adjustment losses*. Dengan meningkatkan efisiensi proses *set-up*, waktu persiapan dapat dipangkas sehingga *downtime* berkurang dan kinerja mesin lebih optimal.

Menghadapi masalah *setup* dan *adjustment losses*, *focused improvement* perlu diarahkan pada perbaikan sistematis terhadap proses *setup*. Analisis menunjukkan bahwa

durasi *setup* yang panjang pada *spinning machine/End Box* memberikan kontribusi besar terhadap kerugian waktu. Penerapan metode *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) atau penyempurnaan prosedur *setup* lainnya sangat diperlukan untuk mempercepat transisi antar proses produksi. Dengan memperpendek waktu *set-up*, mesin dapat kembali beroperasi lebih cepat dalam kondisi optimal, sehingga meningkatkan *availability* dan mempercepat aliran produksi. Perbaikan berkelanjutan pada aspek ini akan mengurangi kerugian waktu yang tidak perlu dan mendorong peningkatan OEE secara menyeluruh.

5.2.1.4 Early Equipment Management

Pilar keempat dalam TPM, *early equipment management*, menekankan pentingnya perencanaan, desain, dan instalasi mesin yang sejak awal mempertimbangkan aspek pemeliharaan dan perbaikan. Penerapan prinsip ini membantu mengurangi kerugian waktu akibat masalah teknis yang sebenarnya dapat dicegah pada tahap desain. Mesin yang dirancang dengan kemudahan pemeliharaan akan lebih mudah dikelola, lebih tahan lama, dan memiliki frekuensi kerusakan lebih rendah. Desain yang optimal juga memungkinkan pemeliharaan dan penggantian komponen dilakukan lebih cepat, sehingga *downtime* akibat kerusakan mendadak dapat diminimalkan. Hal ini tidak hanya memperpanjang umur mesin, tetapi juga meningkatkan performa operasional dan ketersediaan mesin.

Dalam konteks *spinning machine/End Box*, penerapan *early equipment management* sangat relevan terutama untuk mengatasi kendala akibat desain mesin yang kurang mendukung pemeliharaan. Pada tahap perancangan dan instalasi, perusahaan perlu memastikan adanya akses yang memadai untuk pemeriksaan rutin serta penggantian komponen kritis. Dengan merancang mesin agar lebih mudah dipelihara, risiko kerusakan tiba-tiba dapat dikurangi dan waktu henti mesin berkurang secara signifikan. Pendekatan ini akan meningkatkan *availability* mesin dalam jangka panjang serta mengurangi *equipment failure losses*. Penerapan EEM membantu meningkatkan efektivitas operasional dan menekan pemborosan waktu maupun biaya akibat pemeliharaan yang tidak efisien.

5.2.1.5 Training and Education

Pilar kelima dalam TPM, *training and education*, berperan penting dalam memastikan seluruh karyawan, khususnya operator mesin, memiliki pengetahuan dan keterampilan

yang diperlukan untuk menjaga kondisi mesin tetap optimal. Melalui pelatihan yang tepat, operator mampu melakukan perawatan dasar, mendeteksi masalah sejak dini, dan menangani isu kecil pada mesin. Kemampuan ini membantu meminimalkan kerusakan yang tidak terdeteksi, mengurangi *downtime*, serta meningkatkan *availability* dan *performance* mesin. Pelatihan juga memperkuat keterampilan operator dalam mengendalikan kualitas produk, sehingga berkontribusi pada penurunan *defect losses*. Operator yang kompeten dapat menjaga konsistensi kualitas produk dan memastikan proses berjalan sesuai standar.

Untuk mencapai hasil tersebut, perusahaan perlu meningkatkan kompetensi operator dalam menangani masalah mesin secara efektif. Program *training and education* yang intensif tidak hanya membekali operator dengan kemampuan mengoperasikan mesin, tetapi juga keterampilan melakukan perawatan preventif, seperti pemeriksaan rutin, pembersihan, dan pelumasan. Kemampuan mengidentifikasi dan mengatasi masalah sejak awal memungkinkan operator mencegah kerusakan kecil berkembang menjadi gangguan besar yang menyebabkan *downtime*. Dengan demikian, operator dapat berkontribusi langsung dalam menurunkan *equipment failure losses* dan menjaga kualitas produk. Pelatihan berkelanjutan memiliki peran strategis dalam meningkatkan keterlibatan operator, memperbaiki efisiensi operasional, dan mengurangi kerugian terkait kegagalan peralatan maupun mutu produk.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Setelah melakukan penelitian di PT. Indo-Rama Synthetic Tbk pada *Department Production CP.3 (Divisi Production Control POY)* dapat ditarik kesimpulan secara umum yang menjawab dari rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Tingkat efektivitas *spinning machine/End Box* menurut Standart JIPM bisa dikatakan belum baik hal ini bisa dilihat dari perolehan nilai OEE dengan rata-rata presentase 80.785% dimana menurut JIPM dianggap efektif kelas dunia apabila berada diatas 84,645%, dengan rincian rata-rata nilai *availability rate* nya 87,782%, nilai *performance rate* nya 93,789%, dan nilai *quality rate* nya 98,133% yang mana artinya kinerja dari *spinning machine/End Box* pada periode November 2023 sampai Oktober 2024 belum maksimal. Dengan rendahnya nilai OEE pada *spinning machine/End Box* tentunya hal tersebut dapat merugikan bagi perusahaan dari segi waktu yang tersedia, untuk itu dilakukan perhitungan SBL. Hasilnya kerugian terbesar diakibatkan oleh *equipment failure losses*, *setup losses*, dan *reduce speed losses* dengan rata-rata nilai keseluruhan masing-masing 41,159%, 22,343%, dan 18,403% pada periode November 2023 sampai Oktober 2024 yang dikarenakan mesin mengalami *shutdown* karena adanya kegiatan *maintenance* ringan maupun berat (*unplanned downtime*).
2. Permasalahan utama yang menjadi prioritas perbaikan adalah kegagalan pada komponen Spin Pack, ditunjukkan oleh nilai Risk Priority Number (RPN) tertinggi sebesar 120, menjadikannya sumber utama Equipment Failure Losses. Berdasarkan Root Cause Analysis (RCA), akar penyebab utama dari rendahnya nilai OEE bersumber dari kegagalan sistemik pada faktor Manusia dan Metode: (a) Pada Spin Pack (RPN 120), akar masalahnya adalah Kurangnya Keterampilan Cleaning (Manusia) dan SOP Pembersihan Inefisien (Metode), memicu clogging kronis; (b) Pada Spin Finish Pump (RPN 100) yang menyebabkan Setup and Adjustment Losses, akar masalahnya adalah Prosedur Warm-up Serial (Metode - Non-SMED) dan Kurangnya Standardisasi Adjustment (Manusia); dan (c) Pada Spin Pump (RPN 96), akar masalahnya adalah Silo Departemen (Manusia) yang menyebabkan kegagalan monitoring dini dan Jadwal Overhaul Tidak Akurat (Metode). Keseluruhan temuan FMEA dan RCA ini secara jelas menunjukkan bahwa masalah OEE kronis tidak hanya

disebabkan oleh kerusakan mesin tua, melainkan oleh faktor gagalnya standarisasi kompetensi dan prosedur perawatan.

3. Rekomendasi strategi perbaikan yang paling efektif untuk meningkatkan produktivitas, efektivitas, dan efisiensi spinning machine/End Box adalah melalui pendekatan Total Productive Maintenance (TPM) yang terintegrasi, berfokus pada lima pilar kunci untuk mengatasi akar masalah yang telah diidentifikasi. Autonomous Maintenance (AM) dan Training & Education (T&E) harus diprioritaskan untuk menutup celah Manusia melalui Pelatihan Specialized Skill pada cleaning filter mikro dan penerapan Monitoring Real-Time pada tekanan Spin Pump dan aliran udara Quench Duct. Focused Improvement (Kobetsu Kaizen) harus segera melaksanakan Proyek Kaizen SMED untuk menghilangkan Prosedur Warm-up Serial dan Prosedur Start-up Tidak Paralel, didukung dengan penyusunan SOP Kalibrasi Tekanan/Suhu yang Baku untuk menekan Setup and Adjustment Losses. Sementara itu, Planned Maintenance (PM) harus bertransisi ke Condition-Based Monitoring (CBM) pada Spin Pump untuk memprediksi kegagalan komponen dan mengatasi Jadwal Overhaul Tidak Akurat, yang kemudian dilengkapi dengan pilar EEM/SHE untuk mengontrol Kualitas Material Input Fluktuatif dan melakukan Peningkatan Filtrasi, sehingga dapat menjaga performa mesin dan secara signifikan meningkatkan OEE.

6.2. Saran

Setelah mendapatkan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan di PT. Indo-Rama Synthetic Tbk pada *Department Production CP.3 (Divisi Production Control POY)*. Selaku peneliti memberi saran bagi perusahaan sebagai mana rincian berikut ini:

1. Peningkatan Kompetensi dan Disiplin Operasional (AM dan T&E)

Saran ini ditujukan untuk menutup celah kurangnya keterampilan *cleaning* pada *spin pack* (RPN 120) dan menghilangkan silo departemen (manusia) pada *spin pump* (RPN 96), sehingga operator dapat berperan aktif dalam perawatan (*jishu hozen*).

- Pelatihan *Specialized Skill* dan Sertifikasi T&E: Perusahaan wajib melaksanakan program sertifikasi *specialized skill* T&E bagi operator dan tim *cleaning*. Kurikulum harus berfokus intensif pada teknik *handling* dan pembersihan mikrofilter untuk *spin pack* dan *spin finish nozzle*, guna menjamin kualitas *cleaning* nol-kontaminasi, yang secara langsung menyerang akar penyebab *clogging* kronis.

- Penerapan *Monitoring Real-Time* (AM): Mengimplementasikan SOP *autonomous maintenance* yang mewajibkan operator produksi mencatat dan melaporkan fluktuasi tekanan *spin pump* dan aliran udara *quench duct* secara *real-time*. Ini adalah solusi untuk mengatasi masalah silo departemen dan gagal monitoring aliran udara yang menyebabkan masalah sulit terdeteksi (*detection D=6*).

2. Rekayasa Ulang Proses dan Prosedur (*Focused Improvement*)

Saran ini bertujuan sebagai jalur cepat untuk menghilangkan *setup and adjustment losses* dan masalah prosedural (metode) dengan menanamkan efisiensi waktu.

- Proyek Kaizen SMED (*Focused Improvement*): Harus segera dilaksanakan proyek *single minute exchange of dies* (SMED) untuk merombak prosedur *setup*. Target utamanya adalah mengubah prosedur *warm-up serial* pada *spin finish pump* (RPN 100) dan prosedur *start-up* tidak paralel pada *spin beam* (RPN 80) menjadi proses paralel (*external exchange*), sehingga waktu *setup* yang terbuang (*setup and adjustment losses*) dapat dipangkas secara drastis.
- Standardisasi Kalibrasi: Menyusun dan memberlakukan SOP kalibrasi tekanan/suhu yang baku untuk *spin finish pump*. Hal ini didukung pelatihan (T&E) untuk menghilangkan akar masalah kurangnya standardisasi *adjustment* antar teknisi, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi operasional ideal menjadi seragam dan cepat.

3. Peningkatan Keandalan dan Prediksi Kegagalan (*Planned Maintenance*)

Saran ini difokuskan pada peningkatan *availability* dan pergeseran dari perawatan reaktif ke prediktif untuk komponen presisi.

- Adopsi CBM (*Condition-Based Monitoring*): Strategi *planned maintenance* wajib beralih ke sistem *Condition-Based Monitoring* (CBM), khususnya pada *spin pump* (RPN 96). Pemasangan sensor getaran atau tekanan diperlukan untuk memprediksi *lifetime* toleransi komponen presisi dan mengatasi masalah kronis jadwal *overhaul* tidak akurat sebelum terjadi *jamming*.
- Revisi Jadwal PM Komprehensif: Melakukan revisi total pada jadwal PM untuk meningkatkan frekuensi pembersihan *quench duct* dan *spin finish nozzle* secara signifikan (mengatasi SOP pembersihan jarang), serta menstandarisasi SOP *assembly spin pack* untuk menghilangkan masalah SOP Pembersihan Inefisien.

4. Kontrol Kualitas *Input* dan Desain (EEM / SHE)

Saran ini ditujukan untuk mengontrol kualitas *input* (Material) yang menjadi pemicu *clogging* dan mengatasi keterbatasan desain mesin.

- Kontrol Mutu Material Input: Melakukan peninjauan ulang standar spesifikasi kualitas polimer *input* fluktuatif dan kualitas *finish oil* untuk meminimalkan *sludge* dan kontaminan halus. Tindakan ini sangat krusial untuk mencegah *clogging* pada *spin pack* dan *spin finish nozzle*.
- Peningkatan Sistem Filtrasi: Melaksanakan audit dan *upgrade* pada filter *pra-spin pump* dan *blower quench duct* (EEM) untuk memastikan daya filtrasi memadai, sehingga dapat melindungi komponen presisi dan menjaga stabilitas aliran udara pendingin, yang secara langsung berkontribusi pada penurunan *reduce speed losses*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agoro, H. (2025). *Reducing Downtime in Production Lines Through Proactive Maintenance Strategies*. <https://www.researchgate.net/publication/389891476>
- Aguirre, P. A. G., Pérez-Domínguez, L., Luviano-Cruz, D., Noriega, J. J. S., Gómez, E. M., & Callejas-Cuervo, M. (2021). PFDA-FMEA, an integrated method improving FMEA assessment in product design. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/app11041406>
- Ahmad, N., Hossen, J., & Ali, S. M. (2018). Improvement of overall equipment efficiency of ring frame through total productive maintenance: a textile case. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1–4), 239–256. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0783-2>
- Al-Toubi, S., Alkali, B., Harrison, D., & Sudhir, C. V. (2023). Evaluating and Predicting Overall Equipment Effectiveness for Deep Water Disposal Pump using ANN-GA Analysis Approach. *Journal of Mechanical Engineering*, 20(2), 199–225. <https://doi.org/10.24191/jmeche.v20i2.22063>
- Anggraeni, S. N., Dewanto, D. L., & Jaya, D. S. (2025). Analisis Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) pada Mesin Packer. *Jurnal Trisintik*, 04(1), 18–23. <https://doi.org/10.20895/trinistik.V4i1.1822>
- Caballero, K. R., Palacios, O. A., & Altamirano, E. F. (2021). *Total Productive Maintenance Model applying SMED and FMEA to increase the overall efficiency of equipment (OEE) in the food sector*. <https://openaccess.cms-conferences.org/#/publications/book/978-1-7923-8987-0>
- Chikwendu, O. C., Chima, A. S., & Edith, M. C. (2020). The optimization of overall equipment effectiveness factors in a pharmaceutical company. *Heliyon*, 6(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03796>
- Darsini, Adj, S., & Wijianto. (2023). *Perencanaan Ulang Terencanaan Ulang Tata Letak Menggunakan Metode SLP (Systematic Layout Planing) Dan Craft (Computerized Reletive Allocation Of Facilities Teqchniques) Pada Pabrik Plywood Tunas Subur Pacian*. www.semubis.com:
- David, C. E., Uche, R., Nwufu, O., Ekpechi, D. A., & Kingsley, C. C. (2024). Integrating Machine Availability and Preventive Maintenance to Improve Productive Efficiency in a Manufacturing Industry. *Asian Journal of Current Research*, 9(2), 91–109. <https://doi.org/10.56557/ajocr/2024/v9i28610>
- Dedimas, T. B., Geremewgebeyehu, S., Mengistu, A. T., & Management, P. (2018). Application of Failure Mode Effect Analysis (FMEA) to Reduce Downtime in a Textile Share Company. In *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 8(1), 21–32.

- Fatmaria, S. T., Eltivia, N., & Djajanto, L. (2024). *Application Of Fishbone Diagram In Using Root Cause Analysis (RCA) For Developing Of Revenue And Expenditure System In Manufacturing Company*. 4(1). <https://doi.org/10.53067/ije3.v4i1>
- Ferdinand, A., & Widiasih, W. (2025). Analisis Keandalan Mesin Blowing dengan OEE, RCA, dan Pendekatan Siklus PDCA. *Jurnal Tekstil: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Bidang Tekstil dan Manajemen Industri*, 8(1), 11-20.
- Firmansyah, M. M., Susanty, A., Puspitasari, D., & Korespondensi, P. (2025). *Analisis Overall Equipment Effectiveness dan Six Big Losses pada Mesin Pencelupan Benang (Studi Kasus PT. Pismatex Textile Industry)*.
- Gomaa, A. H. (2025). Enhancing Lean Performance through TPM–VSM Integration: A Case Study in Spare Parts Production. *International Journal of Darshan Institute on Engineering Research and Emerging Technologies*, 14(1), 1–14. <https://doi.org/10.32692/ijdi-eret/14.1.2025.2501>
- Hussien, A. G. (2025). Advancing Total Productive Maintenance in Smart Manufacturing: From Methodology to Implementation. *Intelligent and Sustainable Manufacturing*, 2(2), 10019. <https://doi.org/10.70322/ism.2025.10019>
- Kaźmierczak, P., Żywicki, K., & Rewers, P. (2025). The Impact of Downtime on the Stability of the Production Schedule. *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(1), 150. <https://doi.org/10.3390/app15010150>
- Kharisma, Y. (2024). Penerapan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) And Effect Analysis (FMEA) Pada Mesin SMCD 6 Di PT.X. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 2(9), 128-141.
- Klaric, K., Peric, I., Vukman, K., Papic, F., Klaric, M., & Groselj, P. (2025). Hybrid MCDM-FMEA Model for Process Optimization: A Case Study in Furniture Manufacturing. *Systems*, 13(1), 14. <https://doi.org/10.3390/systems13010014>
- Kumah, A., Nwogu, C. N., Issah, A. R., Obot, E., Kanamitie, D. T., Sifa, J. S., & Aidoo, L. A. (2024). Cause-and-Effect (Fishbone) Diagram: A Tool for Generating and Organizing Quality Improvement Ideas. *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare*, 7(2), 85–87. <https://doi.org/10.36401/JQSH-23-42>
- Lestyanszka, K. S., Fidlerova, H., Niciejewska, M., & Idzikowski, A. (2023). Quality Improvement of the Forging Process Using Pareto Analysis and 8D Methodology in Automotive Manufacturing: A Case Study. *Standards*, 3(1), 84–94. <https://doi.org/10.3390/standards3010008>
- Lino Moreno, S. E., Navarro Ayola, B. L., Salas, R., & Nallusamy, S. (2025). Enhancement of Operational Efficiency in a Plastic Manufacturing Industry Through TPM, SMED, and Machine Learning—Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 17(16), 7446. <https://doi.org/10.3390/su17167446>
- Lucantoni, L., Antomarioni, S., Ciarapica, F. E., & Bevilacqua, M. (2025). A data-driven framework for supporting the total productive maintenance strategy. *Expert Systems with Applications*, 26, 126283. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.126283>

- Marlina, W. alna. (2023). Quality Control of Cement Bags Using Pareto Diagrams and Analytical Hierarchy Process (AHP). *Jurnal Manajemen*, 14(3), 455–470. <https://doi.org/10.32832/jm-uika.v14i3.9048>
- Martinjoe, C. U.-D. c, Orji, I. J., Onwurah, U. O., & Augustine, N. M. (2025). The Integration of TPM in SS-DMAIC Framework to Reduce Production Losses and Enhance Process Performance: a Case Study-Chukwuebuka Martinjoe U-Dominic, et.al The Integration of TPM in SS-DMAIC Framework to Reduce Production Losses and Enhance Process Performance: a Case Study. *Journal Majelis Paspama*, 3(1), 37-55.
- Mazlan, M. R., Yassin, A., & Kamaruddin, A. M. N. A. (2023). Failure Mode Effect Analysis in Turning of Mild Steel Under MQL Condition. *International Journal of Integrated Engineering*, 15(5), 13–27. <https://doi.org/10.30880/ijie.2023.15.05.003>
- Mouhib, Z., Gallab, M., Merzouk, S., Soulhi, A., & Di Nardo, M. (2025). Total Productive Maintenance and Industry 4.0: A Literature-Based Path Toward a Proposed Standardized Framework. In *Applied System Innovation*, 8(4), 98. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/asi8040098>
- Nisa, K. S., Melyna, E., Maulana, M. I., & Ridwan, M. A. A. (2023). Perbaikan Kualitas Produksi dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di PT. ABC. *Journal of Community Services in Sustainability*, 1(1), 37–46. <https://doi.org/10.52330/jocss.v1i1.139>
- Peralta, R. P., Zamora, F., Quiroz, J. F., Collao, M. D., & Flores, A. P. (2023). Application of Lean-Total Productive Maintenance Tools to Reduce Setup Times and Machine Stoppages on the Molding Line of an SME in the Food Industry. *International Journal of Engineering and Technology*, 15(4), 138–143. <https://doi.org/10.7763/ijet.2023.v15.1236>
- Pietsch, D., Matthes, M., Wieland, U., Ihlenfeldt, S., & Munkelt, T. (2024). Root Cause Analysis in Industrial Manufacturing: A Scoping Review of Current Research, Challenges and the Promises of AI-Driven Approaches. In *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 8(6), 277. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/jmmp8060277>
- Pinto Zegarra, D. R., & García Lopez, Y. J. (2025, April 8). *Application of Lean and TPM Tools to Improve OEE: A Case Study in Peruvian Metalworking SMEs*. <https://doi.org/10.46254/ba07.20240057>
- Plant Engineering. (2019). *Facilities Maintenance*.
- Plant Engineering. (2021). 6. *Maintenance Report 2021 _Plant Engineering (2021)*.
- Prasetya, R. Y., Suhermanto, S., & Muryanto, M. (2021). Implementasi FMEA dalam Menganalisis Risiko Kegagalan Proses Produksi Berdasarkan RPN. *Performa: Media Ilmiah Teknik Industri*, 20(2), 133. <https://doi.org/10.20961/performa.20.2.52219>

- Rafliadi, M. N., Ramadhan, B. B., Danar, A., Ariya, R., & Prastyo, Y. (2025). Menganalisis Produktivitas Kerja Menggunakan Metode Total Productive Maintenance (TPM) dan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Pada Mesin Moulding. *Asian Journal Of Multidisciplinary Research Asian Journal Of Multidisciplinary Research*, 2(1), 24-32.
- Ramzan, M. B., Jamshaid, H., Usman, I., & Mishra, R. (2022). Development and Evaluation of Overall Equipment Effectiveness of Knitting Machines Using Statistical Tools. *SAGE Open*, 12(2), 1-8. <https://doi.org/10.1177/21582440221091249>
- Rufaidah, A., & Rosyidi, M. R. (2022). *Analisis Pengendalian Kualitas Kerupuk dengan Metode Seven Tools*, 8(2).
- Sambodo, P., & Cahyana, A. S. (2022). Desember 2022 Seminar Nasional & Call Paper Fakultas Sains dan Teknologi (SENASAINS 5 th. *Procedia of Engineering and Life Science*, 3.
- Setiya, D. W., & Wahyudi, L. (2024). *Production Process Analysis to Reduce Defective Products through the Application of Pareto Diagram and The Eight Disciplines Problem Solving Method*. 21(2), 1693–8232.
- Sibarani, P., Sofianti, T. D., & Pratama, A. T. (2020). *Improving the Overall Equipment Effectiveness (OEE) of Drum Testing Machine in Laboratory of Tire Manufacturing Using FMEA and PFMEA*.
- Siemens. (n.d.). *SENSEYE PREDICTIVE MAINTENANCE The True Cost of Downtime 2024 How much do leading manufacturers lose through inefficient maintenance? Find out more: [siemens.com/senseye-predictive-maintenance](https://www.siemens.com/senseye-predictive-maintenance)*.
- Siemens. (2022). *Siemens · Data sheet · A4 portrait*.
- Sumasto, F., Safitri, I. N., Imansuri, F., Pratama, I. R., Wulansari, I., Solih, E. S., & Dzulfikar, A. (2024). Enhancing Overall Equipment Effectiveness in Indonesian Automotive SMEs: A TPM Approach. *Journal Europeen Des Systemes Automatises*, 57(2), 383–396. <https://doi.org/10.18280/jesa.570208>
- Supriyati, S., & Wiyatno, T. N. (2025). Improving press machine efficiency using a TPM approach and Six Big Losses analysis. *Journal Industrial Servicess*, 10(2), 347. <https://doi.org/10.62870/jiss.v10i2.28344>
- Szczyrba, A., & Ingaldi, M. (2024). IMPLEMENTATION OF THE FMEA METHOD AS A SUPPORT FOR THE HACCP SYSTEM IN THE POLISH FOOD INDUSTRY. *Management Systems in Production Engineering*, 32(3), 357–371. <https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0034>
- Tasya, A. K., & Widiasih, W. (2024). *Analisis Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) untuk Meningkatkan Efisiensi Mesin Haloong (Studi Kasus: PT Benteng Api Technic, Gresik)* (Vol. 7, Issue 1).

- Thiede, S. (2023). Advanced energy data analytics to predict machine overall equipment effectiveness (OEE): a synergetic approach to foster sustainable manufacturing. *Procedia CIRP*, 116, 438–443. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.02.074>
- Villegas, W. C., Gutierrez, R., & Govea, J. (2025). Digital twin integration in metalworking: enhancing efficiency and predictive maintenance. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 11. Article 1655565 <https://doi.org/10.3389/fmech.2025.1655565>
- Wolska, M., Gorewoda, T., Roszak, M., & Gajda, L. (2023). Implementation and Improvement of the Total Productive Maintenance Concept in an Organization. *Encyclopedia*, 3(4), 1537–1564. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3040110>
- Yashini, J. (2020). 16. *An Analysis on Minimization of Product Error 2020*.
- Zaghloul, M. S., Halbas, A. M., Hamza, R. A., & Elbeshbishy, E. (2023). Review on Digestibility of Aerobic Granular Sludge. In *Processes*, 11(2), Article 326 Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pr11020326>

LAMPIRAN

Memuat kelengkapan yang mendukung pelaksanaan penelitian seperti tabel, gambar, manual penggunaan alat, kuesioner, hasil wawancara, dan hal lain yang perlu dilampirkan untuk memperjelas uraian dalam laporan TA. Adapun contoh penulisan lampiran ditunjukkan pada halaman selanjutnya.

Lampiran diberi judul sesuai dengan isinya. Judul lampiran ditulis rata tengah dengan dicetak tebal. Apabila lebih dari satu jenis data lampiran, maka judul lampiran dimulai dengan huruf abjad besar A-Judul lampiran, B-Judul lampiran, dan seterusnya. Apabila ada sub lampiran dalam sebuah lampiran, maka diberi nomor dengan aturan sama dengan aturan pemberian nomor sub bab. Bagian lampiran diberi nomor halaman dengan menuliskan huruf awal lampiran, diikuti tanda strip (*dash*) dan diikuti nomor urut halaman.