



TUGAS AKHIR – TI 184833

**REDUKSI SIX BIG LOSSES MENGGUNAKAN PENDEKATAN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) DAN TEORIJA RESENIJA ISOBRETATELSKIH ZADAC (TRIZ) PADA PABRIK HOT STRIP MILL (HSM) PT. KRAKATAU STEEL (PERSERO) TBK**

BAGAS SAESTU ADI PUTERA  
NRP. 02411640000193

DOSEN PEMBIMBING:  
Yudha Prasetyawan ST, M.Eng.  
NIP. 1977 0523 2000 03 1002

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020









FINAL PROJECT – TI 184833

**THE REDUCTION OF SIX BIG LOSSES USING OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) AND TEORIJA RESENIJA ISOBRETATELSKIH ZADAC (TRIZ) APPROACH IN HOT STRIP MILL (HSM) FACTORY PT. KRAKATAU STEEL (PERSERO) TBK**

BAGAS SAESTU ADI PUTERA  
NRP. 02411640000193

SUPERVISOR:  
Yudha Prasetyawan ST, M.Eng.  
NIP. 1977 0523 2000 03 1002

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL SYSTEM AND ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020









# LEMBAR PENGESAHAN

**REDUKSI SIX BIG LOSSES MENGGUNAKAN PENDEKATAN  
OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) DAN TEORIJA  
RESENIJA ISOBRETATELSKIH ZADAC (TRIZ) PADA PABRIK HOT  
STRIP MILL (HSM) PT. KRAKATAU STEEL (PERSERO) TBK**

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik pada Progam Studi S1 Departemen Teknik dan Sistem Industri.

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

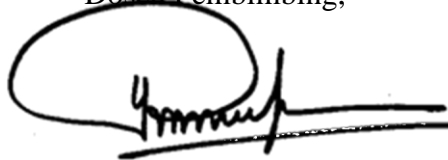
Oleh:

**BAGAS SAESTU ADI PUTERA**

**NRP. 02411640000193**

Mengetahui/menyetujui,

Dosen Pembimbing,



**Yudha Prasetyawan ST, M.Eng.**

NIP. 19770523 2000 03 1002

Surabaya, Agustus 2020





(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**REDUKSI SIX BIG LOSSES MENGGUNAKAN  
PENDEKATAN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS  
(OEE) DAN TEORIJA RESENIJA ISOBRETATELSKIH  
ZADAC (TRIZ) PADA PABRIK HOT STRIP MILL (HSM) PT.  
KRAKATAU STEEL (PERSERO) TBK**

Nama : Bagas Saestu Adi Putera  
NRP : 02411640000193  
Departemen : Teknik dan Sistem Industri – ITS  
Pembimbing : Yudha Prasetyawan ST, M.Eng.

**ABSTRAK**

Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) merupakan salah satu pabrik *Hot Rolled Coil* (HRC) yang bergerak di bawah naungan PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. Dalam proses produksi HRC, pabrik HSM mengalami beberapa permasalahan antara lain *defect product* yang melebihi target maksimum, seringnya penggantian *part* mesin, dan mesin mati secara mendadak. Hal ini terjadi karena Pabrik HSM memiliki enam mesin yang sudah tua dan bergerak secara seri dalam proses produksi *Hot Rolled Coil* (HRC), diantaranya yaitu mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*. Untuk itu pada penelitian ini akan dilakukan proses perbaikan menggunakan *framework Define-Measure-Analysis-Improve-Control* (DMAIC) sebagai acuan untuk memperbaiki proses produksi HRC. Dengan menggunakan parameter *availability*, *performance rate*, dan *quality rate* sebagai nilai ukur efektifitas performansi mesin dalam metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), parameter OEE tersebut akan diuraikan menjadi *Six Big Losses*. Selanjutnya akar permasalahan *Six Big Losses* digunakan sebagai input *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengetahui urutan prioritas dari permasalahan yang terjadi (*critical failure*), sehingga dapat menjadi acuan dalam merekomendasikan perbaikan. Rekomendasi perbaikan dilakukan menggunakan *TRIZ Method* yaitu menawarkan solusi yang terbaik melalui pendekatan baru dengan menemukan *tradeoff* di balik masalah tersebut. Rekomendasi perbaikan diestimasikan mampu meningkatkan nilai OEE pada mesin *reheating furnace* dari yang sebelumnya 66,34% menjadi 75,65%, mesin *sizing press* dari yang sebelumnya 52,44% menjadi 66,62%, mesin *roughing mill* dari yang sebelumnya 55,88% menjadi 69,42%, mesin *finishing mill* dari yang sebelumnya 45,82% menjadi 58,20%, mesin *laminar cooling* dari yang sebelumnya 50,57% menjadi 63,67%, dan mesin *down coiler* dari yang sebelumnya 50,36% menjadi 65,69%.

**Kata Kunci:** DMAIC, OEE, *Six Big Losses*, TRIZ

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**THE REDUCTION OF SIX BIG LOSSES USING OVERALL  
EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) AND TEORIJA  
RESENJA ISOBRETATELSKIH ZADAC (TRIZ) APPROACH  
IN HOT STRIP MILL (HSM) FACTORY PT. KRAKATAU  
STEEL (PERSERO) TBK**

Name : Bagas Saestu Adi Putera  
NRP : 02411640000193  
Department : Industrial System and Engineering – ITS  
Supervisor : Yudha Prasetyawan ST, M.Eng.

**ABSTRAK**

The Hot Strip Mill (HSM) plant is one of the Hot Rolled Coil (HRC) factories which operates under the auspices of PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. In the HRC production process, the HSM plant experienced several problems including defect products that exceeded the maximum target, frequent replacement of engine parts, and sudden engine shutdown. This happens because the HSM plant has six old and running machines in series in the Hot Rolled Coil (HRC) production process, including reheating furnace machines, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, and down coiler. For this reason, this research will make a process of *improvement* using the *Define-Measure-Analysis-Improve-Control* (DMAIC) framework as a reference to *improve* the HRC production process. By using the availability, performance rate, and quality rate parameters as a measure of the effectiveness of engine performance in the Overall Equipment Effectiveness (OEE) method, the OEE parameters will be broken down into Six Big Losses. Furthermore, the root causes of Six Big Losses are used as input for Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to determine the priority order of problems that occur (critical failure), so that they can be a reference in recommending *improvements*. Recommendations for *improvement* are made using the TRIZ Method, which offers the best solution through a new approach by finding a tradeoff behind the problem. The recommended *improvement* is estimated to be able to increase the OEE value in the reheating furnace machine from 66.34% to 75.65%, sizing press from the previous 52.44% to 66.62%, roughing mill from the previous 55.88% to 69.42%, finishing mill from 45.82% to 58.20%, laminar cooling from 50.57% to 63.67%, and down coiler from 50.36% to 65.69%.

**Keywords:** DMAIC, OEE, *Six Big Losses*, TRIZ

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas rahmat, rizki dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Reduksi Six Big Losses Menggunakan Pendekatan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) dan *Teorija Resenija Isobretatelskih Zadac* (TRIZ) Pada Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk” sebagai syarat untuk menyelesaikan studi strata satu (S-1) di Departemen Teknik Industri ITS. Selama penyusunan Tugas Akhir ini penulis telah menerima baik bersifat moril maupun materil dari berbagai pihak. Maka dari itu penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak berikut ini:

1. Bapak Yudha Prasetyawan ST, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan nasihat selama dilakukannya penelitian Tugas Akhir ini.
2. Ibu Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D., Bapak Dody Hartanto, S.T., M.T. dan Ibu Dewanti Anggrahini, S.T., M.T. selaku penguji yang telah memberikan masukan dan saran selama seminar proposal.
3. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Industri ITS yang telah mendidik dan memberikan limpahan ilmu dan pelajaran berharga kepada penulis selama menjalani masa perkuliahan khususnya Bapak Nurhadi Siswanto, S.T. M.S.I.E., Ph.D., selaku Ketua Departemen, dan Bapak Dr. Adhitya Sudiarno selaku dosen koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Adi Nugroho dan seluruh pihak dari Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) yang telah membimbing dan membantu penulis dalam melakukan pengambilan data, wawancara dan konsultasi selama melaksanakan penelitian Tugas Akhir.
5. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan semangat dan doa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
6. Rekan – rekan perkuliahan di Program Sarjana Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dari berbagai angkatan, atas dukungan ilmu, diskusi, dan semangat yang diberikan.

7. Semua pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan dan bantuan serta motivasi yang diberikan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis telah berusaha mengerjakan tugas akhir ini dengan sebaik-baiknya. Namun demikian, penulis menyadari bahwa masih terdapat keterbatasan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan penelitian Tugas Akhir ini dapat dikembangkan menjadi lebih baik pada penelitian selanjutnya. Akhir kata, penulis mengharapkan laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat untuk seluruh pihak di kemudian hari.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	8
1.5.1 Batasan .....	8
1.5.2 Asumsi .....	8
1.6 Sistematika Penelitian .....	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	11
2.1 <i>Total Productive Maintenance (TPM)</i> .....	13
2.1.1 <i>Pilar Total Productive Maintenance</i> .....	13
2.2 <i>Define-Measure-Analysis-Improve-Control (DMAIC)</i> .....	15
2.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE).....	16
2.4 <i>Six Big Losses</i> .....	19
2.5 <i>Pemeliharaan (Maintenance)</i> .....	20
2.6 Keandalan .....	22
2.6.1 <i>Distribusi Probabilitas Keandalan</i> .....	22
2.7 <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> , .....	25
2.7.1 <i>Langkah-Langkah Pembuatan FMEA</i> .....	27

2.7.2	Tujuan <i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (FMEA) .....	27
2.7.3	Nilai <i>Risk Priority Number</i> (RPN) .....	27
2.8	<i>Teoriya Resenija Isobretatelskih Zadac</i> (TRIZ).....	30
2.8.1	TRIZ 40 <i>Inventive principles</i> .....	31
2.8.2	TRIZ 39 <i>Engineering Parameters</i> (Parameter Sistem).....	31
2.8.3	<i>Contradiction Matrix</i> .....	31
2.8.4	Prosedur Penggunaan TRIZ.....	32
2.9	Posisi Penelitian .....	33
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>37</b>
3.1	Tahap Identifikasi Awal.....	38
3.1.1	Identifikasi Masalah .....	38
3.1.2	Perumusan Masalah.....	39
3.1.3	Penentuan Tujuan Penelitian .....	39
3.2	Tahap <i>Define</i> .....	39
3.3	Tahap <i>Measure</i> .....	40
3.4	Tahap <i>Analysis</i> .....	41
3.5	Tahap <i>Improve</i> .....	41
3.6	Tahap Kesimpulan dan Saran .....	43
<b>BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>		<b>45</b>
4.1	Tahap <i>Define</i> .....	45
4.1.1	Gambaran Umum Perusahaan .....	45
4.1.2	Proses Produksi Perusahaan .....	50
4.2	Tahap <i>Measure</i> .....	66
4.2.1	Rekapitulasi Waktu Kerusakan Mesin .....	67
4.2.2	Perhitungan <i>Availability Rate</i> .....	72
4.2.3	Perhitungan <i>Performance Rate</i> .....	75

4.2.4	Perhitungan <i>Quality Rate</i> .....	79
4.2.5	Perhitungan <i>Overall Equipment Effectiveness (OEE)</i> .....	80
4.2.6	Perhitungan <i>Six Big Losses</i> .....	84
4.2.7	Rekapitulasi <i>Six Big Losses</i> .....	104
4.2.7	Identifikasi Jenis Failure Pada <i>Six Big Losses</i> .....	110
BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....		117
5.	Tahap <i>Analyzis</i> .....	117
5.1.1	Analisis Nilai <i>Availability Rate</i> .....	117
5.1.2	Analisis Nilai <i>Performance Rate</i> .....	118
5.1.3	Analisis Nilai <i>Quality Rate</i> .....	118
5.1.4	Analisis Nilai <i>Overall Equipment Effectiveness (OEE)</i> .....	119
5.1.5	Analisis Penyebab <i>Six Big Losses</i> Menggunakan <i>Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)</i> .....	120
5.2	Tahap <i>Improve</i> .....	142
5.2.1	Kontradiksi-Kontradiksi <i>Failure</i> Mesin.....	142
5.2.2	<i>Contradiction Matrix Failure</i> Mesin .....	164
5.2.3	<i>Inventive Principles</i> Mesin.....	167
5.2.4	Estimasi Peningkatan OEE Mesin .....	214
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN .....		223
6.1	Kesimpulan.....	223
6.2	Saran .....	225
6.2.1	Saran Untuk Perusahaan .....	225
6.2.2	Saran Untuk Penelitian Selanjutnya.....	226
Daftar Pustaka .....		227
Lampiran 1 – 40 <i>Inventive Principles (Inovatif)</i> .....		229
Lampiran 2 – 39 <i>Engineering Parameters</i> .....		237

Lampiran 3 – Contradiction Matrix.....	243
Lampiran 4 – Kuesioner FMEA .....	251

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Profil Bisnis PT Krakatau Steel .....	2
Gambar 1. 2 Kapasitas Produksi PT Krakatau Steel.....	2
Gambar 1. 3 Proses Produksi Hot Rolled Coil (HRC) pada Pabrik Hot Strip Mill (HSM) .....	3
Gambar 1. 4 Performansi Pabrik Hot Strip Mill (HSM).....	4
Gambar 1. 5 Gambar 1. 4 Performansi Pabrik Hot Strip Mill (HSM).....	5
Gambar 1. 6 Total Defect Produk Pabrik Hot Strip Mill (HSM).....	5
Gambar 2. 1 Hubungan antara Six Big Losses dengan OEE .....	11
Gambar 2. 2 Hubungan Six Big Losses Dengan Integrasi FMEA-TRIZ .....	12
Gambar 2. 3 World Class OEE .....	18
Gambar 2. 4 Contoh FMEA (Failure Mode And Effect Analysis).....	30
Gambar 3.1 Profil Bisnis PT Krakatau Steel .....	37
Gambar 3. 2 Profil Bisnis PT Krakatau Steel (lanjutan).....	38
Gambar 4. 1 Struktur Organisasi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk .....	49
Gambar 4. 2 Aliran Proses Produksi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk.....	50
Gambar 4. 3 Skema Proses Produksi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk.....	50
Gambar 4. 4 Proses Produksi Pabrik Besi Spons.....	53
Gambar 4. 5 Proses Pembuatan Baja Billet .....	54
Gambar 4. 6 Hasil Akhir Produksi Pabrik Billet Baja .....	54
Gambar 4. 7 Aliran Proses Produksi Slab Steel Plant.....	55
Gambar 4. 8 Hasil Akhir Produksi Pabrik Slab Steel Plant .....	56
Gambar 4. 9 Proses Produksi Hot Strip Mill (HSM) .....	57
Gambar 4. 10 Aliran Proses Produk Wire Rod Mill .....	63
Gambar 4. 11 Hasil Akhir Produksi Wire Rod Mill Plant .....	64
Gambar 4. 12 Hubungan antara Six Big Losses dengan OEE .....	84
Gambar 4. 13 Persentase Total Time Losses Mesin Reheating Furnace .....	107
Gambar 4. 14 Persentase Total Time Losses Mesin Sizing Press.....	107
Gambar 4. 15 Persentase Total Time Losses Mesin Roughing Mill.....	108
Gambar 4. 16 Persentase Total Time Losses Mesin Finishing Mill .....	108

Gambar 4. 17 Persentase Total Time Losses Mesin Laminar Cooling .....	109
Gambar 4. 18 Persentase Total Time Losses <i>Mesin</i> Down Coiler .....	109
Gambar 5. 1 Perbandingan OEE Aktual Pabrik HSM dengan Standar World Class .....	120
Gambar 5. 2 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin Reheating Furnace .....	218
Gambar 5. 3 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin Sizing Press ...	219
Gambar 5. 4 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin Roughing Mill	219
Gambar 5. 5 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin Finishing Mill	220
Gambar 5. 6 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin Laminar Cooling .....	220
Gambar 5. 7 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin Down Coiler ..	221
Gambar 5. 8 Matriks Hubungan Antara Input dan Output Dalam Aktivitas Produksi .....	221
Gambar 5. 9 Hubungan Six Big Losses Dengan Integrasi FMEA-TRIZ.....	222



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Ideal Perhitungan OEE.....	18
Tabel 2.2 Nilai-Nilai Parameter $\beta$ Distribusi Weibull .....	23
Tabel 2.3 Penilaian Severity .....	28
Tabel 2.4 Penilaian Occurrence .....	29
Tabel 2.5 Penilaian Detection .....	29
Tabel 4. 1 Fasilitas Utama Pabrik Besi Spons .....	52
Tabel 4. 2 Sistem Penunjang Proses HYL- III.....	52
Tabel 4. 3 Fasilitas Utama Pabrik Billet .....	54
Tabel 4. 4 Fasilitas Utama Pabrik Baja Slab.....	55
Tabel 4. 5 Fasilitas Utama Pabrik Batang Kawat .....	63
Tabel 4. 6 Fasilitas Utama Pabrik Baja Lembaran Dingin.....	65
Tabel 4. 7 Rekapitulasi Downtime Mesin Reheating Furnace Tahun 2019 .....	67
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Downtime Mesin Sizing Press Tahun 2019.....	68
Tabel 4. 9 Rekapitulasi Downtime Mesin Roughing Mill Tahun 2019.....	68
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Downtime Mesin Finishing Mill Tahun 2019 .....	69
Tabel 4. 11 Rekapitulasi Downtime Mesin Laminar Cooling Tahun 2019.....	70
Tabel 4. 12 Rekapitulasi Downtime Mesin Down Coiler Tahun 2019.....	71
Tabel 4. 13 Perhitungan Availability Mesin Reheating Furnace .....	72
Tabel 4. 14 Perhitungan Availability Mesin Sizing Press.....	73
Tabel 4. 15 Perhitungan Availability Mesin Roughing Mill.....	73
Tabel 4. 16 Perhitungan Availability Mesin Finishing Mill .....	74
Tabel 4. 17 Perhitungan Availability Mesin Laminar Cooling.....	74
Tabel 4. 18 Perhitungan Availability Mesin Down Coiler .....	75
Tabel 4. 19 Perhitungan Performance Rate Mesin Reheating Furnace .....	76
Tabel 4. 20 Perhitungan Performance Rate Mesin Sizing Press.....	76
Tabel 4. 21 Perhitungan Performance Rate Mesin Roughing Mill.....	77
Tabel 4. 22 Perhitungan Performance Rate Mesin Finishing Mill.....	77
Tabel 4. 23 Perhitungan Performance Rate Mesin Laminar Cooling .....	78
Tabel 4. 24 Perhitungan <i>Performance Rate</i> Mesin <i>Down Coiler</i> .....	79

Tabel 4. 25 Perhitungan Quality Rate pada Pabrik Hot Strip Mill (HSM) .....	80
Tabel 4. 26 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin Reheating Furnace .....	81
Tabel 4. 27 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin Sizing Press.....	81
Tabel 4. 28 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin Roughing Mill.....	82
Tabel 4. 29 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin Finishing Mill .....	82
Tabel 4. 30 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin Laminar Cooling.....	83
Tabel 4. 31 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin Down Coiler.....	83
Tabel 4. 32 Pengukuran Breakdown Time Losses Pada Mesin Reheating Furnace .....	85
Tabel 4. 33 Pengukuran Breakdown Time Losses Pada Mesin Sizing Press.....	86
Tabel 4. 34 Pengukuran Breakdown Time Losses Pada Mesin Roughing Mill...	86
Tabel 4. 35 Pengukuran Breakdown Time Losses Pada Mesin Finishing Mill ...	87
Tabel 4. 36 Pengukuran Breakdown Time Losses Pada Mesin Laminar Cooling	87
Tabel 4. 37 Pengukuran <i>Breakdown Time Losses Pada Mesin</i> Down Coiler .....	88
Tabel 4. 38 Pengukuran Setup and Adjustment Time Pada Mesin Sizing Press...	89
Tabel 4. 39 Pengukuran Setup and Adjustment Time Pada Mesin Roughing Mill .....	90
Tabel 4. 40 Pengukuran Setup and Adjustment Time Pada Mesin Finishing Mill	90
Tabel 4. 41 Pengukuran Setup and Adjustment Time Pada Mesin Laminar Cooling .....	91
Tabel 4. 42 Pengukuran Setup and Adjustment Time Pada Mesin Down Coiler .	91
Tabel 4. 43 Pengukuran Idling and Minor Stoppage Losses Pada Mesin Sizing Press .....	92
Tabel 4. 44 Pengukuran Idling and Minor Stoppage Losses Pada Mesin Roughing Mill .....	93
Tabel 4. 45 Pengukuran Idling and Minor Stoppage Losses Pada Mesin Finishing Mill .....	93
Tabel 4. 46 Pengukuran Idling and Minor Stoppage Losses Pada Mesin Laminar Cooling .....	94
Tabel 4. 47 Pengukuran Idling and Minor Stoppage Losses Pada Mesin Down Coiler .....	95
Tabel 4. 48 Pengukuran Reduced Speed Losses Pada Mesin Reheating Furnace	96

Tabel 4. 49 Pengukuran Reduced Speed Losses Pada Mesin Sizing Press .....	96
Tabel 4. 50 Pengukuran Reduced Speed Losses Pada Mesin Roughing Mill .....	97
Tabel 4. 51 Pengukuran Reduced Speed Losses Pada Mesin Finishing Mill .....	98
Tabel 4. 52 Pengukuran Reduced Speed Losses Pada Mesin Laminar Cooling...	98
Tabel 4. 53 Pengukuran <i>Reduced Speed Losses Pada Mesin Down Coiler</i> .....	99
Tabel 4. 54 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Reheating Furnace .....	100
Tabel 4. 55 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Sizing Press.....	100
Tabel 4. 56 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Roughing Mill.	101
Tabel 4. 57 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Finishing Mill .	102
Tabel 4. 58 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Laminar Cooling .....	102
Tabel 4. 59 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Down Coiler ...	103
Tabel 4. 60 Perhitungan Six Big Losses pada mesin Reheating Furnace .....	104
Tabel 4. 61 Perhitungan Six Big Losses pada mesin Sizing Press .....	104
Tabel 4. 62 Perhitungan Six Big Losses pada mesin Roughing Mill .....	105
Tabel 4. 63 Perhitungan Six Big Losses pada mesin Finishing Mill .....	105
Tabel 4. 64 Perhitungan Six Big Losses pada mesin Laminar Cooling.....	106
Tabel 4. 65 Perhitungan <i>Six Big Losses</i> pada mesin <i>Down Coiler</i> .....	106
Tabel 4. 66 Failure untuk Masing-masing Losses pada mesin Reheating Furnace .....	110
Tabel 4. 67 Failure untuk Masing-masing Losses pada mesin Sizing Press.....	111
Tabel 4. 68 Failure untuk Masing-masing Losses pada mesin Roughing Mill...	112
Tabel 4. 69 Failure untuk Masing-masing Losses pada mesin Finishing Mill ...	113
Tabel 4. 70 Failure untuk Masing-masing Losses pada mesin Laminar Cooling	114
Tabel 4. 71 Failure untuk Masing-masing Losses pada mesin Down Coiler.....	114
Tabel 5. 1 Rata-Rata Performansi Mesin Di Pabrik HSM.....	119
Tabel 5. 2 Penilaian Severity .....	121
Tabel 5. 3 Penilaian Occurance.....	122
Tabel 5. 4 Penilaian Detection .....	123
Tabel 5. 5 FMEA Untuk Mesin Reheating Furnace .....	124
Tabel 5. 6 FMEA Untuk Mesin Sizing Press.....	126

Tabel 5. 7 FMEA Untuk Mesin Roughing Mill .....	129
Tabel 5. 8 FMEA Untuk Mesin Finishing Mill .....	131
Tabel 5. 9 FMEA Untuk Mesin Laminar Cooling .....	132
Tabel 5. 10 FMEA Untuk Mesin <i>Down Coiler</i> .....	134
Tabel 5. 11 Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing Failure Pada Mesin Reheating Furnace .....	136
Tabel 5. 12 Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing Failure Pada Mesin Sizing Press.....	137
Tabel 5. 13 Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing Failure Pada Mesin Roughing Mill .....	138
Tabel 5. 14 Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing Failure Pada Mesin Finishing Mill .....	139
Tabel 5. 15 Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing Failure Pada Mesin Laminar Cooling .....	140
Tabel 5. 16 Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing Failure Pada Mesin Down Coiler .....	141
Tabel 5. 17 Parameter Konflik Permasalahan Failure Mesin Reheating Furnace .....	143
Tabel 5. 18 Parameter Konflik Permasalahan Failure Mesin Sizing Press .....	148
Tabel 5. 19 Parameter Konflik Permasalahan Failure Mesin Roughing Mill .....	151
Tabel 5. 20 Parameter Konflik Permasalahan Failure Mesin Finishing Mill .....	155
Tabel 5. 21 Parameter Konflik Permasalahan Failure Mesin Laminar Cooling .....	158
Tabel 5. 22 Parameter Konflik Permasalahan Failure Mesin Down Coiler .....	160
Tabel 5. 23 Contradiction Matrix Mesin Reheating Furnace .....	164
Tabel 5. 24 Contradiction Matrix Mesin Sizing Press .....	165
Tabel 5. 25 Contradiction Matrix Mesin Roughing Mill .....	165
Tabel 5. 26 Contradiction Matrix Mesin Finishing Mill .....	166
Tabel 5. 27 Contradiction Matrix Mesin Laminar Cooling.....	166
Tabel 5. 28 Contradiction Matrix Mesin Down Coiler .....	167
Tabel 5. 29 Penentuan Solusi Ideal Mesin Reheating Furnace .....	168
Tabel 5. 30 Penentuan Solusi Ideal Mesin Sizing Press.....	174
Tabel 5. 31 Penentuan Solusi Ideal Mesin Roughing Mill.....	181

Tabel 5. 32 Penentuan Solusi Ideal Mesin Finishing Mill .....	189
Tabel 5. 33 Penentuan Solusi Ideal Mesin Laminar Cooling.....	197
Tabel 5. 34 Penentuan Solusi Ideal Mesin <i>Down Coiler</i> .....	205
Tabel 5. 35 Peningkatan Availability Mesin Pabrik Hot Strip Mill (HSM) .....	214
Tabel 5. 36 Peningkatan Performance Rate Mesin Pabrik Hot Strip Mill (HSM) .....	215
Tabel 5. 37 Peningkatan Quality Rate Mesin Pabrik Hot Strip Mill (HSM).....	217
Tabel 5. 38 Nilai OEE Mesin Sebelum Perbaikan .....	217
Tabel 5. 39 Nilai OEE Mesin Setelah Perbaikan .....	218

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB 1

## PENDAHULUAN

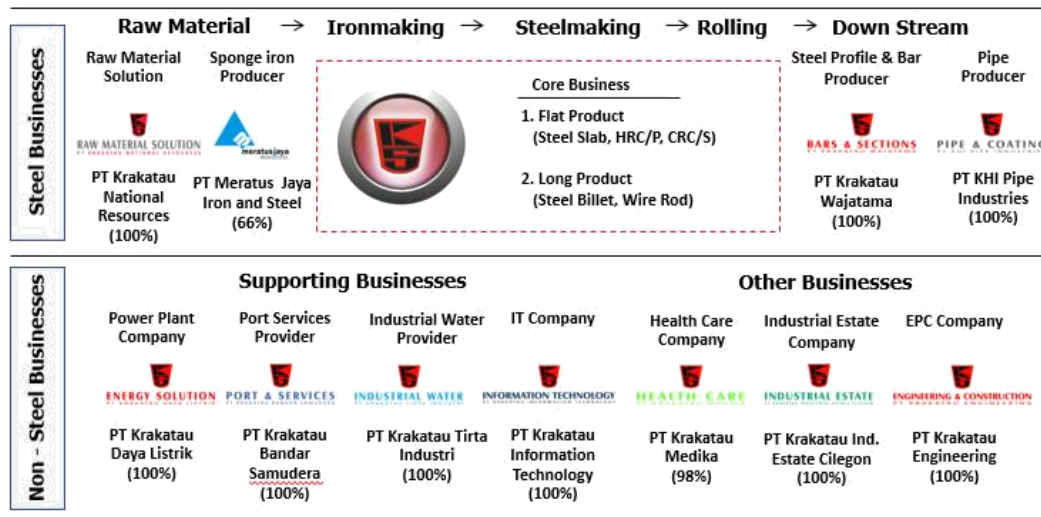
Pada bab pendahuluan ini akan dijelaskan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian.

### 1.1 Latar Belakang

Baja merupakan material yang paling banyak digunakan sebagai bahan industri, karena baja mempunyai sifat-sifat fisis dan mekanis yang bervariasi (Purboputro, 2009). Kebutuhan baja sebagai material utama untuk menunjang berbagai keperluan industri terus meningkat, dimulai dari industri otomotif, perkapalan, pemesinan, dan industri lainnya. Ketatnya persaingan mengharuskan perusahaan untuk dapat memenuhi kebutuhan konsumen sebaik mungkin. Pemenuhan kebutuhan tersebut dilihat dari segi kualitas, harga, maupun ketepatan waktu pemenuhan kebutuhan konsumen tersebut.

Salah satu perusahaan penghasil baja terbesar di Indonesia adalah PT Krakatau Steel (Persero) Tbk. PT Krakatau Steel merupakan perusahaan baja terpadu dan terbesar di Indonesia. BUMN yang berlokasi di Cilegon, Banten ini berdiri pada tanggal 31 Agustus 1970. Bisnis utama PT Krakatau Steel adalah menghasilkan baja *flat* produk (*Steel Slab*, HRC/P, CRC/S) dan baja *long* produk (*Steel Billet*, *Wire Rod*). PT Krakatau Steel (Persero) Tbk memiliki enam pabrik yang saling mendukung dalam proses produksi besi dan baja, diantaranya pabrik besi spons (*Direct Reduction Plant*), pabrik bilet baja (*Billet Steel Plant*), pabrik baja slab (*Slab Steel Plant*), pabrik baja lembaran panas (*Hot Strip Mill*), pabrik baja lembaran dingin (*Cold Rolling Mill*), dan pabrik baja batang kawat (*Wire Rod Mill*).

Selain menjalankan bisnis utama PT Krakatau Steel juga memiliki beberapa anak perusahaan dan *join venture* yang bergerak di bidang baja dan non baja. Contohnya adalah PT Krakatau Daya Listrik yang bergerak dibidang pembangkit listrik, PT KHI yang bergerak di bidang fabrikasi *piping* dan lain-lain seperti bisa dilihat pada gambar 1.1.



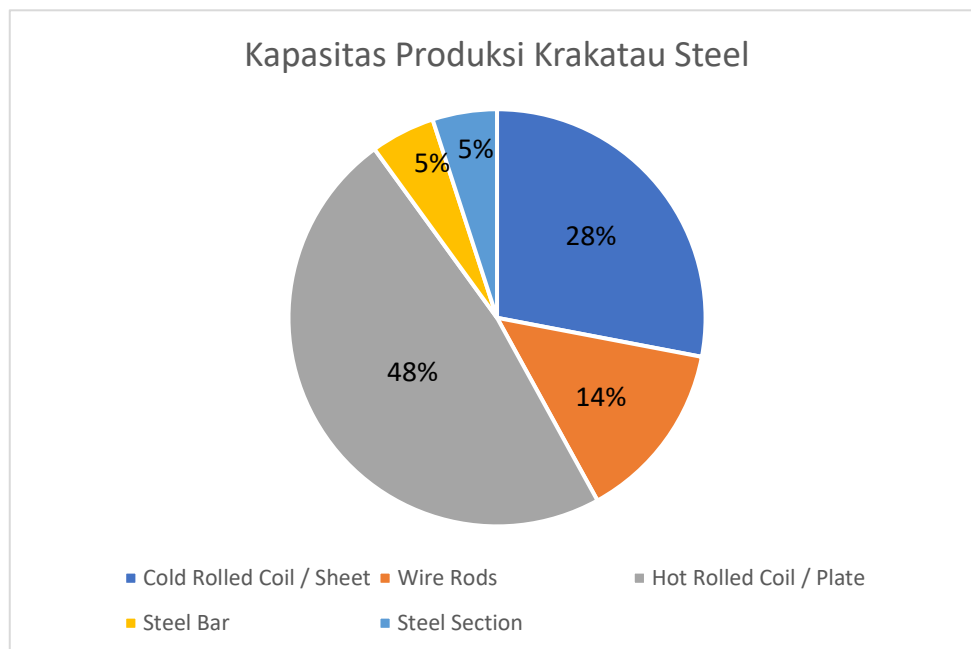
Major JV Companies:

- PT Latinusa (20%);
- PT Krakatau Posco (30%)
- PT Krakatau Osaka Steel (30%)
- PT Kerimas Witikco Makmur (30%)
- PT Krakatau Nippon Steel Sumikin (20%)

Gambar 1. 1 Profil Bisnis PT Krakatau Steel

Sumber: *Annual Report* PT Krakatau Steel

Sebagai salah satu perusahaan besi baja terbesar di Indonesia PT Krakatau Steel (Persero) Tbk mendapatkan banyak permintaan dari dalam dan luar negeri oleh karena itu PT Krakatau Steel (Persero) Tbk selalu berusaha keras untuk menjaga kredibilitas perusahaannya agar tidak terdapat komplain dari konsumen. Hal ini dilakukan di semua pabrik yang ada di PT Krakatau Steel (Persero) Tbk.

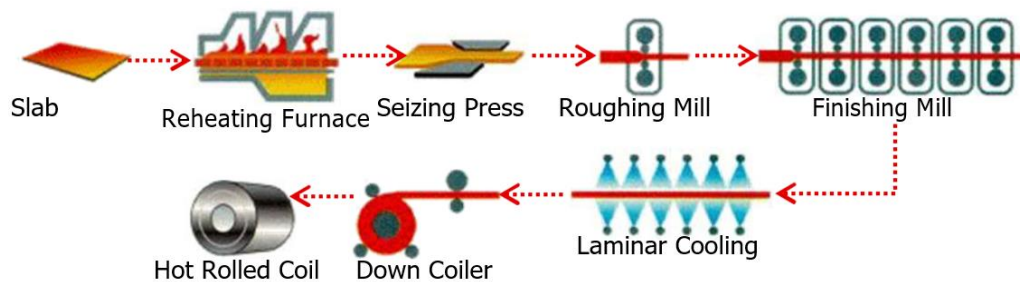


Gambar 1. 2 Kapasitas Produksi PT Krakatau Steel

Sumber: *Annual Report 2018* PT Krakatau Steel



Berdasarkan gambar 1.2 diketahui kapasitas produktivitas PT Krakatau Steel yang paling besar adalah *Hot Rolled Coil* yaitu sebesar 48% yang dihasilkan oleh pabrik *Hot Strip Mill* (HSM). *Hot Rolled Coil* (HRC) yang sudah diproduksi oleh pabrik HSM digunakan menjadi baja-baja plat pada *body* otomotif. Selain itu juga bisa diolah menjadi genteng dan lain-lain. Untuk menghasilkan HRC, HSM menggunakan bahan baku baja slab yang diperoleh dari pabrik SSP (*Slab Steel Plant*), Krakatau Posco, dan impor.



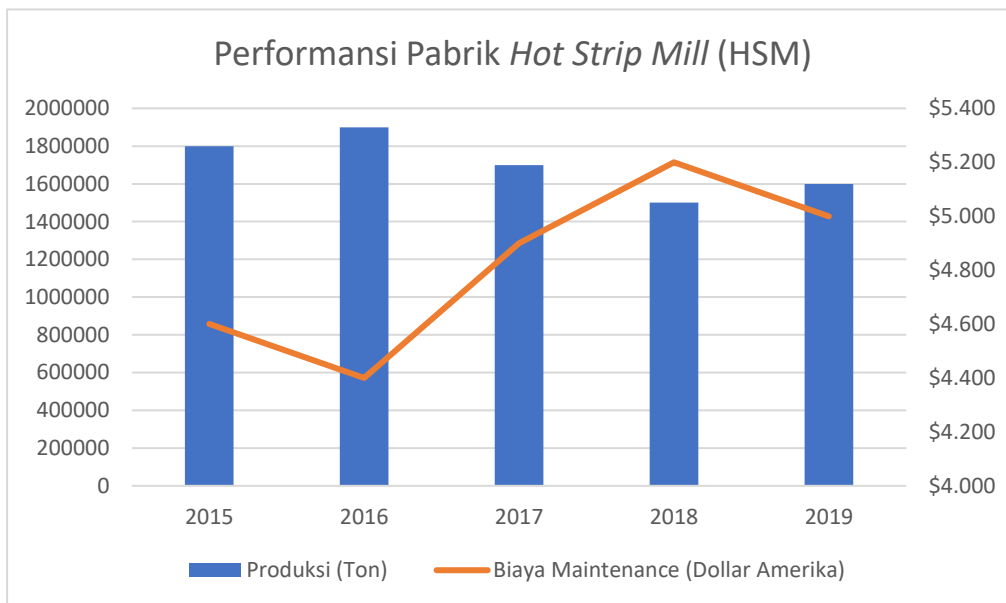
Gambar 1. 3 Proses Produksi *Hot Rolled Coil* (HRC) pada Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM)

Berdasarkan gambar 1.3 pabrik HSM memiliki enam mesin utama yaitu *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*. Proses awal pembentukan *Hot Rolled Coil* (HRC) dimulai dari proses pemanasan *slab* dengan tebal 220-250 milimeter di *reheating furnace*, hingga mencapai suhu 1250 derajat celcius. Selanjutnya *slab* mengalami reduksi lebar sesuai kebutuhan konsumen di *sizing press* dengan maksimum reduksi 250 milimeter. Proses reduksi tebal awal dilakukan di *roughing mill* dengan bertahap secara bolak balik. Tebal baja setelah proses reduksi di *roughing mill* berkisar 30 sampai 50 milimeter. Proses reduksi tebal akhir dilakukan di *finishing mill* yang memiliki enam *stand* secara tandem. Tebal baja hasil proses reduksi di *finishing mill* adalah tebal akhir sesuai kebutuhan konsumen. Proses berikutnya adalah *laminar cooling* yaitu proses pendinginan baja untuk memperoleh sifat mekanis yang diinginkan. Tahap akhir dari proses pembentukan HRC adalah proses penggulungan di *down coiler*. yaitu berfungsi untuk menggulung *strip* baja menjadi *coil* (gulungan baja).

Berdasarkan gambar 1.4 dilihat bahwa terjadi penurunan volume produksi pabrik HSM dari tahun 2015 hingga 2019. Hal ini terjadi dikarenakan pabrik HSM memiliki mesin yang saling mendukung dalam proses pembuatan produk HRC.

Proses pembuatan produksi HRC harus melalui mesin *reheating furnace* terlebih dahulu yang kemudian dilanjutkan ke mesin-mesin berikutnya. Apabila salah satu mesin mengalami *lagger* (mesin mati secara mendadak), produksi HRC akan tertunda sehingga mengakibatkan banyak *losses* yang terjadi.

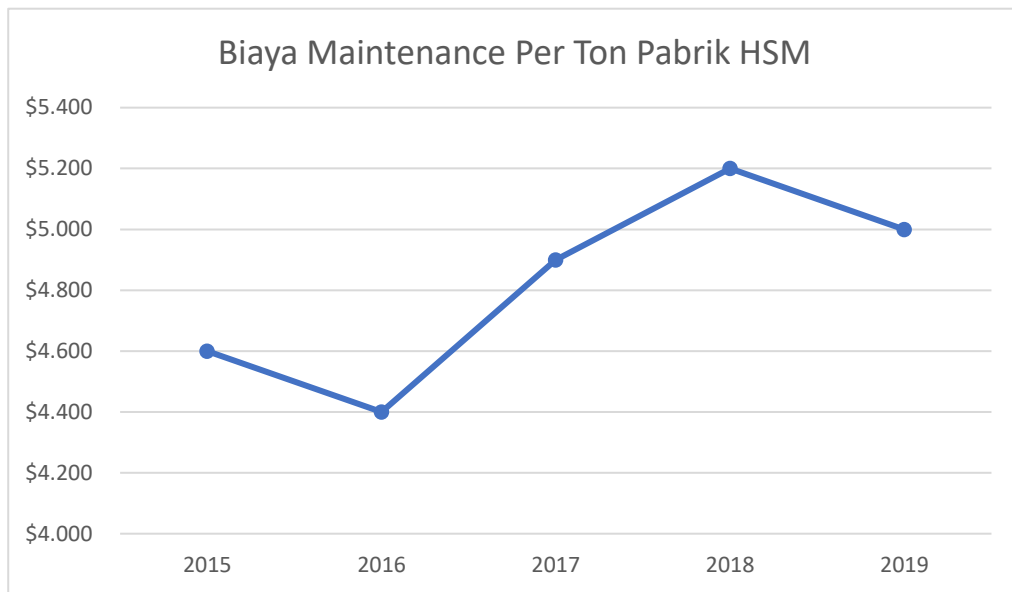
Tidak hanya banyak *losses* yang terjadi, penurunan volume produksi diikuti juga dengan kenaikan biaya *maintenance*. Hal ini salah satunya dikarenakan kondisi mesin yang kurang optimal disertai terjadinya penuaan pada mesin. Jika dibandingkan volume produksi yang dihasilkan dengan biaya *maintenance* yang dikeluarkan oleh pabrik HSM maka dapat dihitung biaya *maintenance* per volume produksi yang dihasilkan dari tahun 2015 sampai 2019.



Gambar 1. 4 Performansi Pabrik Hot Strip Mill (HSM)

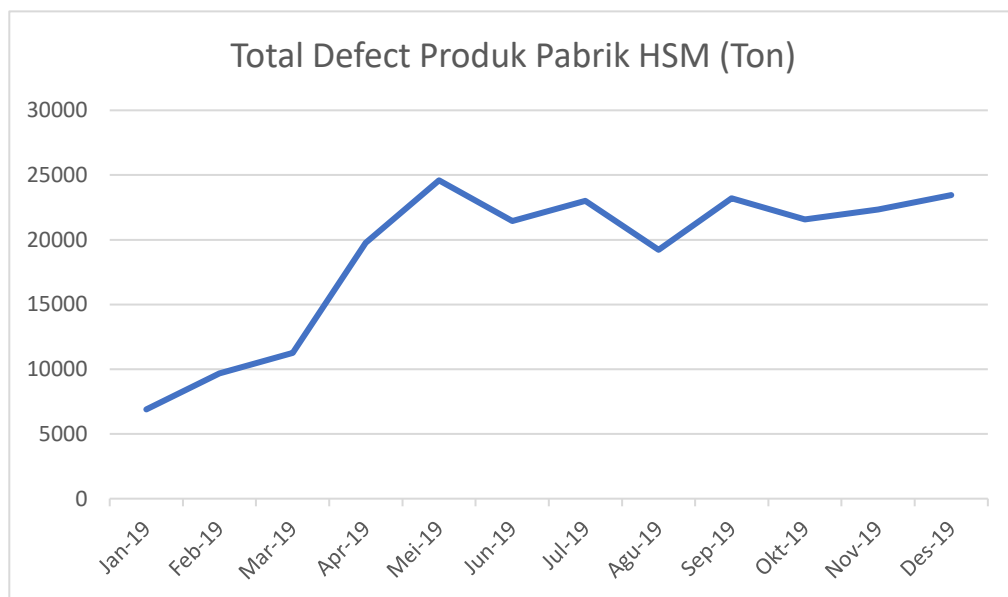
Sumber: Annual Report PT Krakatau Steel

Berdasarkan gambar 1.5 diketahui biaya *maintenance* per ton nya meningkat. Artinya biaya *maintenance* yang dikeluarkan pada tiap satu ton yang dihasilkan meningkat. Hal ini mengakibatkan tingginya biaya *maintenance* jika kapasitas produksi ditingkatkan.



Gambar 1. 5 Gambar 1. 4 Performansi Pabrik Hot Strip Mill (HSM)

Sumber: *Annual Report* PT Krakatau Steel



Gambar 1. 6 Total Defect Produk Pabrik Hot Strip Mill (HSM)

Sumber: Dokumentasi Pabrik HSM

Untuk menjaga agar kualitas dari baja yang dihasilkan, PT Krakatau Steel melakukan beberapa upaya agar *Total defect Hot Rolled Coil (HRC)* relatif kecil. Berdasarkan gambar 1.6 kita bisa melihat bahwa pada tahun 2019 jumlah *Total defect* relatif meningkat tiap bulannya. Defect yang sering terjadi adalah terdapatnya *scale* pada baja. Hal ini terjadi disebabkan turunnya performansi enam mesin utama pabrik HSM. Apabila *scale* tidak dihilangkan dengan sempurna

sebelum proses *rolling* maka *scale* akan menempel pada baja, sehingga kualitas baja akan menurun.

Seiring dengan penggunaan mesin secara terus menerus maka akan menyebabkan penuaan pada mesin tersebut. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan *defect* pada produk dan bertambahnya biaya *maintenance*. Tidak hanya itu, produktivitas dari perusahaan akan terganggu karena memberikan pengaruh pada turunnya jumlah output, mempengaruhi pelayanan pada pelanggan, dan meningkatkan biaya operasional (Moubray,1997). Dengan produktivitas pabrik HSM yang terganggu mengakibatkan penurunan pada produktivitas pabrik *Cold Rolling Mill* (CRM) yang dimana input produksi pabrik CRM merupakan hasil dari produk dari pabrik HSM yaitu *Hot Rolled Coil* (HRC).

Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada perusahaan ini, PT. Krakatau Steel harus meningkatkan kemampuan mesin-mesin untuk proses produksi HRC. Usaha meningkatkan produktivitas dalam menghadapi persaingan global saat ini telah memunculkan kesadaran bahwa dibutuhkannya pengukuran performa proses produksi yang tepat (Pentilon & Muchiri, 2006). Maka dari itu dengan menggunakan framework *Define-Measure-Analyze-Improve-Control* (DMAIC), akan dilakukan pengukuran nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk mengetahui tingkat efektivitas mesin pada pabrik *Hot Strip Mill* (HSM). *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) merupakan alat pengukuran performa proses produksi yang dapat mengukur bermacam-macam *losses* produksi dan mengidentifikasi potensi *improvement*. Metode *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) telah diterima secara universal untuk mengukur *level* sebuah perusahaan dan potensi *improvement* dari sebuah proses produksi. Nakajima (1989) mengatakan bahwa standar kelas dunia untuk nilai OEE adalah sebesar 85% dengan standar nilai *availability* 90%, nilai *performance rate* 95%, dan nilai *quality rate* 99,9%. Pengukuran OEE pada PT. Krakatau Steel dapat mengetahui posisi perusahaan dari standar kelas dunia dan kondisi perusahaan yang dapat dikategorikan dalam 3 parameter OEE yaitu *availability*, *performance rate*, dan *quality rate*. Dalam permasalahan yang terjadi pada pabrik *Hot Strip Mill* (HSM), pengukuran OEE akan dilakukan pada enam mesin utama pabrik HSM yaitu *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*. Selanjutnya

parameter OEE tersebut akan diuraikan menjadi *Six Big Losses* antara lain *breakdown time, setup and adjustment time, idling and minor stoppage, reduced speed, defect or rework losses, dan reduced yields* (Shirose, 1992). Akar permasalahan dari *Six Big Losses* yang terjadi akan diidentifikasi menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengetahui urutan prioritas dari permasalahan yang terjadi, sehingga dapat menjadi acuan dalam merekomendasikan perbaikan pada pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) di PT. Krakatau Steel. Rekomendasi perbaikan dalam penelitian ini akan menggunakan metode *Teorija Resenija Isobretatelskih Zadac* (TRIZ). Metode TRIZ menawarkan solusi yang terbaik melalui pendekatan baru dengan menemukan *tradeoff* di balik masalah tersebut, karena di balik setiap permasalahan yang sulit terdapat kontradiksi. Dengan menggunakan rekomendasi perbaikan TRIZ diharapkan mampu meningkatkan *availability, performance rate, dan quality rate* pada enam mesin utama pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) di PT. Krakatau Steel.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, perumusan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah bagaimana mereduksi adanya *Six Big Losses* dengan menggunakan pendekatan OEE dan integrasi FMEA-TRIZ pada Pabrik Hot Strip Mill (HSM) di PT. Krakatau Steel.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berikut ini merupakan tujuan dari dilaksanakannya penelitian

1. Melakukan pengukuran performansi pada mesin utama pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) yaitu *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler* menggunakan pendekatan OEE.
2. Mengidentifikasi penyebab *Six Big Losses* pada mesin utama pabrik HSM.
3. Memberikan rekomendasi perbaikan dari identifikasi *Six Big Losses* pada pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) dengan menggunakan pendekatan Integrasi FMEA-TRIZ.
4. Mengestimasi peningkatan OEE bila rekomendasi perbaikan diterapkan.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah perusahaan dapat menekan kerugian dari produksi *Hot Rolled Coil* (HRC) dengan mereduksi *Six Big Losses* pada mesin utama pabrik HSM yaitu *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler*.

#### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini dibagi menjadi Batasan dan asumsi sebagai berikut.

##### **1.5.1 Batasan**

Batasan dalam penulisan penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan pada proses produksi *Hot Rolled Coil* (HRC) dalam pabrik HSM PT. Krakatau Steel
2. Mesin yang diobservasi merupakan mesin utama pabrik HSM dalam produksi *Hot Rolled Coil* (HRC) yaitu *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler*.
3. Data yang dipakai yaitu data bulan Januari hingga Desember tahun 2019
4. Tidak dilakukannya perhitungan terkait parameter biaya.

##### **1.5.2 Asumsi**

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Tidak terjadi perubahan kebijakan perusahaan terkait proses produksi *Hot Rolled Coil* (HRC) selama dilakukannya penelitian.

#### **1.6 Sistematika Penelitian**

Sistematika dalam penulisan laporan ini antara lain sebagai berikut

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab pendahuluan akan dijelaskan mengenai hal-hal yang menjadi dasar dalam dilakukannya penelitian yang terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian yang terdiri atas batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab tinjauan pustaka akan dipaparkan teori-teori yang mendukung penelitian dan menjadi landasan dilaksanakannya penelitian. Teori yang dijelaskan bersumber dari berbagai literatur, jurnal, penelitian sebelumnya, dan lain-lain. Bab ini ditujukan untuk pembaca agar memahami konsep yang digunakan dalam penelitian.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab metodologi penelitian akan dijelaskan metodologi yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian. Metodologi menunjukkan langkah-langkah pengerjaan dan menjadi pedoman akan alur pelaksanaan penelitian.

## BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bab pengumpulan dan pengolahan data akan ditampilkan data yang mendukung penelitian dengan pengolahannya untuk mengetahui kondisi aktual mesin yang digunakan, sebagai dasar dari analisis dan penyusunan rencana perbaikan.

## BAB V ANALISIS DAN PENYUSUNAN RENCANA PERBAIKAN

Pada bab analisis dan penyusunan rencana perbaikan akan dijelaskan analisis berdasarkan pengumpulan dan pengolahan data pada bab 4 untuk selanjutnya disusun rencana perbaikan yang sesuai berdasarkan analisis. Analisis dilakukan dengan menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mencari penyebab akar permasalahan pada *Six Big Losses* pada setiap enam mesin utama pabrik *Hot Strip Mill* (HSM). Kemudian, Rencana perbaikan menggunakan pendekatan metode *Teorija Resenija Isobretatelskih Zadac* (TRIZ) yang kemudian dilakukan estimasi terhadap peningkatan OEE bila rekomendasi perbaikan diterapkan.

## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

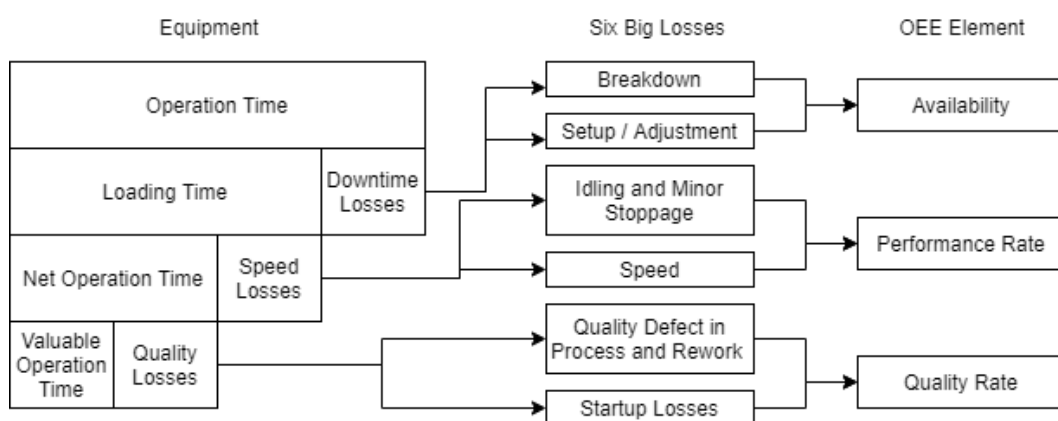
Pada bab kesimpulan dan saran akan dijelaskan kesimpulan dari dilakukannya penelitian dengan saran apa saja yang dapat dilakukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

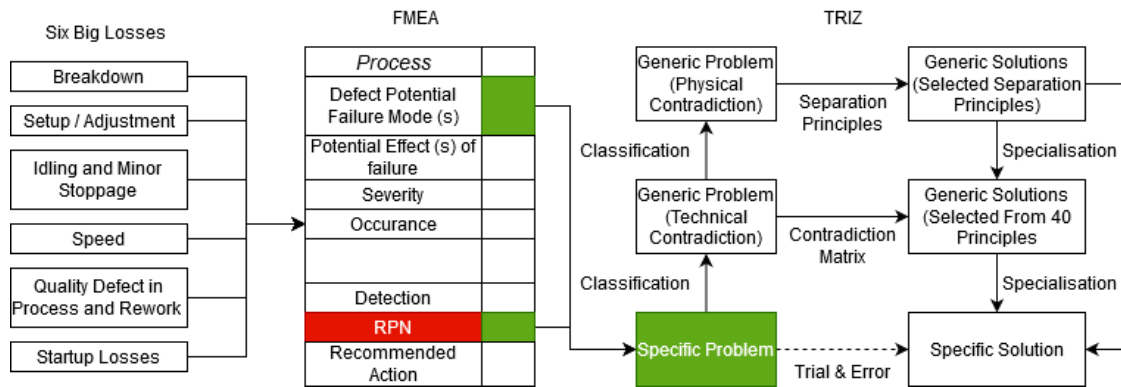
Pada bab tinjauan pustaka ini akan dijelaskan mengenai teori-teori yang mendukung penelitian. Berdasarkan permasalahan yang terdapat pada PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk, perusahaan ini harus meningkatkan kemampuan mesin-mesin pada pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) agar dapat meningkatkan produktivitas dalam menghadapi persaingan global. Sehingga pada penelitian ini teori yang digunakan akan membahas mengenai *Total Productive Maintenance* (TPM), *Define-Measure-Analysis-Improve-Control* (DMAIC), *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), *Six Big Losses*, pemeliharaan (*maintenance*), keandalan, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dan *Teoriya Resenija Isobretatelskih Zadac* (TRIZ).



Gambar 2. 1 Hubungan antara *Six Big Losses* dengan OEE

Sumber: Dokumen Pribadi

Berdasarkan Gambar 2.1 dijelaskan mengenai hubungan konsep *Total Productive Maintenance* (TPM) yaitu antara *Six Big Losses* dengan *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). *Six Big Losses* merupakan enam kerugian yang harus dihindari oleh setiap perusahaan yang dapat mengurangi tingkat efektifitas suatu mesin. Sedangkan OEE merupakan alat ukur performa perusahaan dari suatu sistem *maintenance*. Maka dengan mereduksi *Six Big Losses*, perusahaan dapat meningkatkan performansinya yang dapat diukur dari nilai OEE. Dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui ketersediaan mesin/peralatan (*availability*), efisiensi produksi (*performance*), dan kualitas output mesin/peralatan (*quality rate*).



Gambar 2. 2 Hubungan *Six Big Losses* Dengan Integrasi FMEA-TRIZ

Berdasarkan Gambar 2.2 dijelaskan mengenai hubungan *Six Big Losses* dengan integrasi FMEA-TRIZ. Setelah mengetahui *Six Big Losses*, langkah selanjutnya yaitu menganalisis menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengetahui nilai *Risk Priority Number* (RPN) masing-masing akar penyebab *Six Big Losses*. Prioritas akar penyebab yang didapatkan akan dijadikan *specific problem* dari rekomendasi perbaikan dengan pendekatan *Teoriya Resenija Isobretatelskih Zadac* (TRIZ) yang dimana dapat mengidentifikasi masalah dengan mencari tahu segala kemungkinan faktor-faktor yang dapat menjadi masalah.

TRIZ adalah ilmu kreativitas yang bergantung pada studi tentang pola-pola masalah dan solusi, bukan pada kreativitas spontan dan intuitif individu atau kelompok. Lebih dari tiga juta hak paten telah dianalisis untuk menemukan pola-pola yang memprediksi solusi terobosan terhadap masalah, dan ini telah dimodifikasikan dalam TRIZ. TRIZ juga dapat digunakan sebagai solusi menuju *Six Sigma*, dalam manajemen proyek, sistem manajemen risiko, dan dalam inisiatif inovasi organisasi. Penerapan prinsip TRIZ bertujuan untuk melakukan optimasi pada proses pemilihan *technical response* yang mempengaruhi pencapaian tingkat kepuasan customer dengan tetap memperhatikan biaya pengembangan proses atau produk yang dimiliki perusahaan (Singgih, 2014). TRIZ biasanya digunakan untuk solusi pengembangan produk yang mempertimbangkan parameter-parameter terkait yang berhubungan dengan bagian komponen yang akan di *improve* lebih lanjut, namun dalam penelitian ini digunakan untuk memperbaiki *specific problem* dalam proses pembuatan *Hot Rolled Coil* (HRC) yang menyebabkan turunnya performansi dan kerugian pada perusahaan. Integrasi FMEA-TRIZ digunakan untuk menemukan parameter-parameter kontradiksi berupa komponen ataupun

bagian alat pada permesinan yang mengalami masalah terkait dengan *improve* yang akan dilakukan terutama untuk menyelesaikan masalah pada faktor mesin tersebut. Dalam hubungannya dengan FMEA, masalah tertentu yang diuraikan dalam FMEA, digeneralisasikan ke salah satu masalah umum TRIZ. Dari masalah umum TRIZ dilakukan identifikasi solusi TRIZ untuk masalah tersebut, dan kemudian dicari bagaimana hubungan dan solusi perbaikan yang tepat dan dapat diterapkan untuk masalah spesifik yang potensial tersebut.

## **2.1 Total Productive Maintenance (TPM)**

*Total Productive Maintenance* (TPM) adalah pendekatan yang dilakukan negara Jepang untuk memaksimalkan efektivitas mesin yang digunakan dalam bisnis mereka. Hal ini tidak hanya melibatkan pemeliharaan, tetapi semua aspek dari operasi dan instalasi mesin-mesin, dan motivasi untuk orang yang bekerja dalam perusahaan (Roy Davis, 1995).

Tujuan TPM adalah untuk meningkatkan efektivitas peralatan sehingga setiap peralatan dapat dioperasikan secara maksimal dan dipertahankan pada tingkat itu. Manusia, pekerja, dan mesin harus berfungsi baik, di bawah kondisi optimal dengan kerusakan nol dan nol cacat. Meskipun sulit mendekati nol, tidak dapat memungkiri bahwa tercapainya nol cacat merupakan prasyarat penting bagi keberhasilan dari TPM (Seiichi Nakajima, 1989).

### **2.1.1 Pilar Total Productive Maintenance**

Delapan pilar yang mendukung keberhasilan TPM adalah sebagai berikut :

1. *5 S (Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke)*

*Seiri* berarti pemilihan, *Seiton* berarti penataan, *Seiso* berarti pembersihan, *Seiketsu* berarti pemantapan, dan *Shitsuke* berarti pembiasaan. 5S menjadi langkah awal untuk implementasi TPM karena merupakan cerminan kepedulian dan kesadaran terhadap lingkungan sekitar.

2. *Jishu Hozen (Autonomous Maintenance)*

Fokus pada pilar ini adalah pengembangan operator untuk dapat bertanggung jawab dalam pegerasian mesin yang ditunjukkan dengan aktifitas *maintenance* yang bersifat ringan.

### 3. *Kaizen*

Makna dari *kaizen* disini merupakan perubahan yang lebih baik. Dalam penerapannya biasanya menggunakan metode pengukuran tertentu untuk mengevaluasi kondisi mesin dari waktu ke waktu.

### 4. *Planned Maintenance*

Pilar ini lebih difokuskan kepada mesin agar terhindar dari kerusakan sehingga kinerja mesin menjadi optimal. Elemen-elemen yang perlu diperhatikan di dalam pilar ini antara lain:

- ✓ *Preventive Maintenance*
- ✓ *Breakdown Maintenance*
- ✓ *Corrective Maintenance*

Dengan *planned maintenance* diharapkan akan merubah sistem perawatan dari *reaktif* menjadi *proaktif* dan sistem kontrolnya berjalan sehingga kondisi nyata dari mesin dapat diketahui oleh semua lini yang terkait didalamnya.

### 5. *Quality Maintenance (QM)*

Definisi dari QM adalah proses untuk mengontrol kondisi dari suatu peralatan yang mempunyai pengaruh variabilitas di dalam kualitas dan kuantitas hasil produksinya. Tujuan dari langkah ini adalah untuk merencanakan sistem perawatan yang mengarah kepada "*Zero Defect*". Kualitas ini mempunyai hubungan antara kondisi material, kepresisian peralatan atau mesin, metode produksi dan parameter proses.

### 6. *Training*

Pilar ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan operator. Terdapat dua komponen *training* yaitu:

- a. *Soft skill training*, meliputi bagaimana cara bekerja secara tim dan cara berkomunikasi.
- b. *Technical training*, meliputi peningkatan kemampuan dalam memecahkan masalah dan kemampuan menguasai peralatan atau mesin.

7. *Office Total Productive Maintenance (TPM)*

Selain penerapan dilapangan, implementasi TPM juga dilakukan pada sistem administrasi perkantoran sehingga dapat berjalan secara sinergis dengan di lapangan.

8. *Safety, Health and Environment*

Di dalam pilar ini terdapat 3 target yang akan dicapai, yaitu:

- ✓ *Zero accident*
- ✓ *Zero health damage*
- ✓ *Zero fire*

## 2.2 *Define-Measure-Analysis-Improve-Control (DMAIC)*

DMAIC merupakan salah satu model dari metodologi *Six Sigma* yang bertujuan untuk meningkatkan kapabilitas proses dari sebuah perusahaan dengan cara mengidentifikasi kesalahan dan cacat pada proses bisnis untuk kemudian dihilangkan penyebabnya (Munro, Maio, Nawaz, Ramu, & Zrymiak, 2008). DMAIC terdiri dari lima tahap sebagai berikut (Nicholas, 2011).

1. *Define*

Yaitu mendefinisikan masalah yang terjadi, penerima permasalahan, dan atribut yang kritikal terhadap kualitas. Dengan melakukan tahap *define*, dapat diketahui tujuan dari dilakukannya perbaikan yang akan dilakukan pada tahap *improve*.

2. *Measure*

Yaitu melakukan pengukuran terhadap kondisi eksisting sistem, untuk mengetahui posisi performansi saat ini. Tujuannya adalah untuk memberikan metrik yang valid dalam memonitor pencapaian dari tujuan yang telah ditetapkan.

3. *Analyze*

Yaitu menentukan penyebab dari permasalahan yang terjadi atau buruknya performansi saat ini. Pada tahap ini dilakukan analisis kepada sistem untuk mengeliminasi gap antara performansi saat ini dengan tujuan yang telah

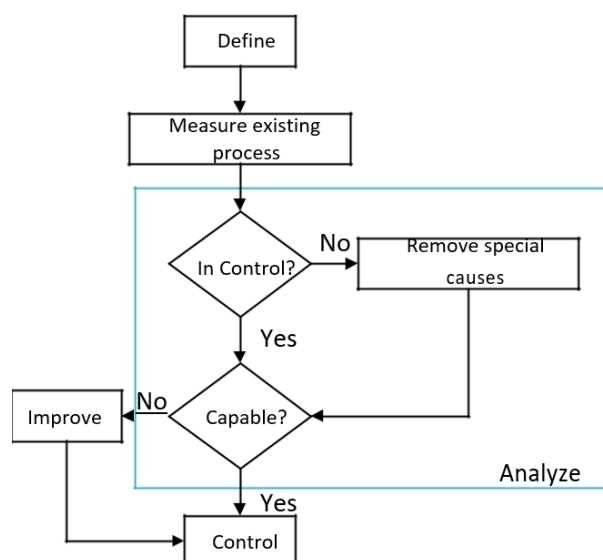
ditetapkan. Analisis dilakukan berdasarkan pengolahan data yang telah dilakukan pada tahap *measure*.

#### 4. *Improvement*

Yaitu melakukan perbaikan pada sistem, dimana tujuannya adalah untuk menciptakan metode yang dapat meningkatkan performansi menjadi lebih baik, lebih murah, dan lebih cepat.

5. *Control* Yaitu melakukan pengendalian terhadap proses agar tetap pada performansi yang lebih baik. Pada umumnya digunakan metode statistikal untuk memonitor stabilitas dari sistem yang baru.

Berikut ini pada Gambar 2.1 ditampilkan *flowchart* dari pelaksanaan DMAIC (Pyzdek & Keller, 2009).



Gambar 2. 3 *Flowchart* Pelaksanaan DMAIC

sumber: (Pyzdek & Keller, 2009)

### 2.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Menurut Nakajima (1989), *Overall Equipment Effectiveness (OEE)* adalah sebuah metrik yang berfokus pada seberapa efektif suatu operasi produksi dijalankan. Hasil dinyatakan dalam bentuk yang bersifat umum sehingga memungkinkan perbandingan antara unit manufaktur di industri yang berbeda. Tujuan dari OEE adalah sebagai alat ukur performa dari suatu sistem *maintenance*, dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui ketersediaan

mesin/peralatan (*availability*), efisiensi produksi (*performance*), dan kualitas output mesin/peralatan. Dengan menguraikan faktor-faktor pada OEE, perusahaan dapat mengalokasikan biaya secara efisien hingga berdampak dalam penghematan biaya (Y Prasetyawan dkk., 2020). Faktor-faktor tersebut memiliki hubungan antara ketiga elemen produktifitas yang dapat dilihat pada rumus dibawah ini.

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (1)$$

*Availability* adalah indikator yang menunjukkan kehandalan mesin. *Availability* mengacu pada indikator lama waktu mesin *downtime* dan lama waktu untuk *setup* dan *adjustment*. D dicari dengan membandingkan antara *operating time* dengan *planned production time*. *Planned production time* adalah waktu total dimana mesin diharapkan bekerja untuk menghasilkan produk. Maka *availability* dapat dihitung sebagai berikut.

$$Availability = \frac{Loading\ Time - Downtime}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (2)$$

*Performance rate* merupakan rasio dari tingkat produksi aktual dengan yang diharapkan. Pengukuran ini menunjukkan seberapa baik peralatan mampu melakukan pekerjaannya. *Performance rate* dirumuskan sebagai perkalian dari *operating speed rate* dengan *net operating time* sesuai dengan rumus berikut

$$Operation\ Speed\ Rate = \frac{Ideal\ Cycle\ Time}{Actual\ Cycle\ Time} \quad (3)$$

$$Net\ Operation\ rate = \frac{Output \times Actual\ Cycle\ Time}{Loading\ Time \times Downtime} \quad (4)$$

$$Performance\ rate = Operating\ Speed\ Rate \times Net\ Operating\ Time \quad (5)$$

$$Performance\ rate = \frac{Production\ Amount \times Ideal\ Cycle\ Time}{Equipment\ Operating\ Time} \times 100\% \quad (6)$$

*Quality rate* adalah perbandingan jumlah produk yang baik terhadap jumlah produk yang diproses. Jadi *quality* merupakan hasil perhitungan dengan faktor *processed amount* dan *defect amount*. Formula ini sangat membantu untuk mengungkapkan masalah kualitas proses produksi.

$$Quality = \frac{Processed\ amount - Defect\ amount}{Processed\ amount} \times 100\% \quad (7)$$

Berikut adalah nilai ideal OEE

**Tabel 2.1** Nilai Ideal Perhitungan OEE

Deskripsi	Nilai
Availability	>90%
Performance	>95%
Quality	>99%
OEE	>85%

Sumber: (Seiichi Nakajima, 1989)

Pada prakteknya, masing-masing faktor memiliki tujuan yang sangat berbeda antara satu dengan yang lainnya. Pada Gambar 2.1. dapat dilihat tujuan dari masing-masing faktor pada OEE untuk kelas dunia :



Gambar 2.3 World Class OEE

sumber: Dokumentasi Pribadi

Studi di seluruh dunia menunjukkan bahwa rata-rata tingkat *OEE* di pabrik manufaktur adalah sebesar 60%, sedangkan untuk kelas dunia yaitu sebesar 85%



atau lebih. Hansen (2002) mengatakan bahwa nilai dari *OEE* terhubung dengan keadaan sebagai berikut :

a. *Unacceptable*

Keadaan ini ketika nilai *OEE* yang diperoleh sebesar kurang dari 65%. Hal ini merupakan batasan dimana keadaan tersebut tidak dapat diterima sehingga harus dilakukan perbaikan.

b. *Passable*

Keadaan ini ketika nilai *OEE* yang diperoleh sebesar 65% hingga 75%. Ini merupakan batasan dimana keadaan tersebut cukup baik.

c. *Pretty Good*

Keadaan ini ketika nilai *OEE* yang diperoleh pada nilai 75% hingga 85%. Ini merupakan batasan untuk keadaan yang baik. Meskipun sudah pada keadaan baik perusahaan tidak boleh tinggal diam dan tetap berusaha untuk mencapai level tingkat dunia (*world class*), yaitu :

- i. Lebih dari 85% ( $>85\%$ ), yaitu untuk jenis proses *batch*,
- ii. Lebih dari 90% ( $>90\%$ ), yaitu untuk jenis proses diskrit berkelanjutan (*continous discrete process*)
- iii. Lebih dari 95% ( $>95\%$ ), yaitu untuk jenis proses produksi massal (*continous on stream process industries*)

## 2.4 *Six Big Losses*

Dalam dunia perawatan mesin, dikenal suatu sebutan *Six Big Losses*, ini adalah suatu hal yang harus dihindari oleh setiap perusahaan. *Six Big Losses* adalah enam kerugian yang harus dihindari oleh setiap perusahaan yang dapat mengurangi tingkat efektifitas suatu mesin. *Six Big Losses* terdiri dari :

1. *Breakdown due to equipment failure*

Kerugian ini disebabkan karena mesin yang ada mengalami kerusakan sehingga tidak dapat beroperasi, yang mengakibatkan proses produksi menjadi terganggu.

2. *Setup and adjustment*

Hilangnya waktu akibat dilakukannya penyesuaian dan proses setup yang dilakukan oleh operator mesin.

### 3. *Idling and minor stoppages*

Keadaan *idle* (diam) akibat terganggunya suatu proses sehingga proses lain tidak dapat berjalan. *Minor stoppages* terjadi ketika peralatan berhenti dalam waktu singkat akibat masalah sementara

### 4. *Reduced speed*

Perbedaan antara kecepatan desain mesin dengan kecepatan aktual yang terjadi pada rantai produksi.

### 5. *Defects in process and rework*

Produk cacat yang dihasilkan dari proses produksi yang tidak sempurna, sehingga memerlukan rework (pengerjaan ulang), dan menghasilkan scrap.

### 6. *Reduced yield*

Perbedaan kualitas karena selang waktu yang dibutuhkan mesin sejak startup hingga berada dalam keadaan stabil.

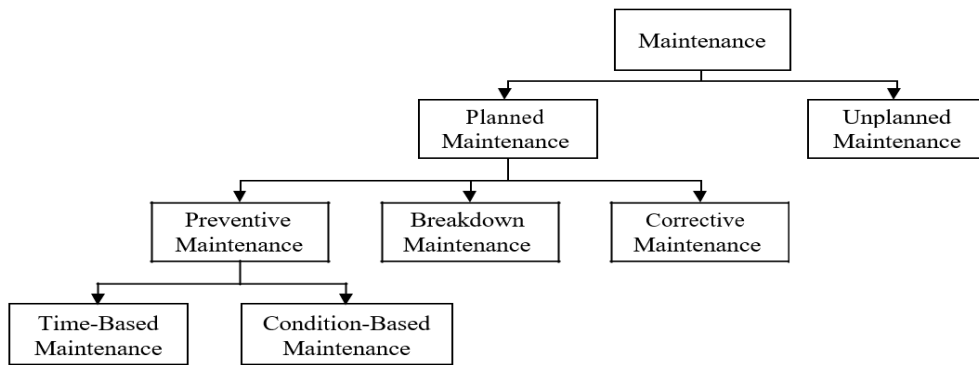
## 2.5 Pemeliharaan (*Maintenance*)

Pemeliharaan adalah seluruh aktivitas yang dilaksanakan untuk menjaga kondisi peralatan dalam sistem agar bekerja dalam kondisi yang baik (Heizer & Render, 2011). Kerusakan pada mesin dapat menyebabkan terganggunya proses produksi. Maka dari itu, agar dapat menjadi perusahaan yang bersaing, kerusakan mesin dan segala macam gangguan harus dieliminasi. Kiyoshi Suzaki (1987) mengklasifikasikan penyebab utama terjadinya gangguan pada mesin menjadi lima faktor, antara lain:

1. Kelalaian dalam melakukan pemeliharaan dasar pada mesin seperti pelumasan, melakukan pembersihan, pengencangan baut, dan lain-lain.
2. Adanya ketidaksesuaian dalam melakukan pemeliharaan kondisi operasi mesin seperti temperatur, vibrasi, tekanan, *speed*, dan lain-lain.
3. Kurangnya pemahaman operator dalam mengoperasikan peralatan
4. Kondisi mesin yang telah aus atau tidak berada pada kondisi yang prima akibat pemakaian dalam jangka panjang contohnya seperti roda gigi aus, bantalan luncur dan lain-lain.

5. Mesin yang digunakan menyimpang dari spesifikasi yang telah ditetapkan. Contohnya mesin digunakan untuk mengolah material yang bukan semestinya.

Upaya pemeliharaan terbagi menjadi dua, yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance* (Govil, 1983). *Planned maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terencana. Sedangkan *unplanned maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan secara tidak terencana. Berikut ini merupakan kalsifikasi pemeliharaan menurut Tokutaro Suzuki (1992).



Gambar 2.4 Klasifikasi *Maintenance*

Sumber: (Suzuki, 1992)

- *Preventive Maintenance*

*Preventive maintenance* merupakan jenis pemeliharaan yang dilakukan untuk mempertahankan performansi peralatan dengan mencegah terjadinya korosi, *fatigue*, dan hal-hal lain yang menyebabkan memburuknya kondisi peralatan. Pada pelaksanaan *prevenntive maintenance*, terdapat dua klasifikasi kegiatan perawatan, antara lain *time-based maintenance* dan *condition-based maintenance*.

1. *Time-based maintenance*, yaitu pemeliharaan yang dilakukan secara berkala atau pada interval waktu yang telah ditentukan dengan cara melakukan inspeksi, servis, pembersihan dan dan penggantian *part* untuk mencegah terjadinya *failure* atau permasalahan yang mendadak pada mesin.

2. *Condition-based maintenance*, yaitu pemeliharaan yang dilakukan berdasarkan kondisi peralatan dan tidak terdapat interval waktu tertentu. Pada umumnya pemeliharaan ini menggunakan *tool* maupun peralatan diagnostik untuk mengamati kondisi mesin selama operasi berlangsung.

- *Breakdown Maintenance*

*Breakdown maintenance* dilakukan dengan cara menunggu hingga peralatan mengalami kerusakan untuk melakukan perbaikan. Pemeliharaan jenis ini dilakukan ketika *failure* tidak berpengaruh secara signifikan terhadap operasi, atau ketika dilakukannya perbaikan dianggap lebih ekonomis daripada dilakukannya pemeliharaan.

- *Corrective Maintenance*

*Corrective maintenance* dilakukan dengan cara mengeliminasi faktor-faktor penyebab terjadinya *failure* dengan cara melakukan redesain agar peralatan dapat berfungsi seperti semula. Pemeliharaan jenis ini umumnya dilakukan pada peralatan yang menunjukkan penurunan performansi.

## 2.6 Keandalan

Keandalan atau *reliability* merupakan kemungkinan suatu komponen atau sistem akan menjalankan fungsinya selama periode waktu yang diberikan dalam kondisi operasi yang telah ditentukan (Ebeling, 1997). Menurut Dhillon dan Reiche (1997) *reliability* adalah peluang dari sebuah unit yang dapat bekerja secara normal ketika digunakan untuk kondisi tertentu dan setidaknya bekerja dalam suatu kondisi yang telah ditetapkan.

### 2.6.1 Distribusi Probabilitas Keandalan

Distribusi probabilitas keandalan merupakan informasi dasar mengenai umur pakai suatu peralatan dalam suatu populasi. Distribusi probabilitas keandalan memiliki pola distribusi yang berbeda-beda, pada umumnya terdapat empat jenis distribusi yang digunakan untuk mengidentifikasi pola data yang terbentuk yaitu:

1. Distribusi *Weibull*

Distribusi *weibull* merupakan distribusi yang paling sering digunakan dalam menghitung waktu kerusakan, hal ini dikarenakan distribusi *weibull* baik digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun.

Terdapat dua parameter distribusi *Weibull* yaitu parameter  $\theta$  yang disebut dengan parameter skala (*scale parameter*) dan parameter  $\beta$  yang disebut dengan parameter bentuk (*shape parameter*). Parameter  $\beta$  digunakan untuk menentukan laju kerusakan dari pola data yang terbentuk, sedangkan parameter  $\theta$  digunakan untuk menentukan nilai tengah dari pola data yang ada. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi *Weibull* yaitu (Ebeling, 1997):

$$\text{Reliability function: } R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

Dimana  $\theta > 0$ ,  $\beta > 0$ , dan  $t > 0$

Dalam distribusi *Weibull* yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter  $\beta$ . Nilai-nilai  $\beta$  yang menunjukkan laju kerusakan terdapat dalam tabel berikut:

**Tabel 2.2** Nilai-Nilai Parameter  $\beta$  Distribusi Weibull

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Laju kerusakan menurun atau <i>Decreasing Failure Rate</i> (DFR)
$\beta = 1$	Laju kerusakan konstan atau <i>Constant Failure Rate</i> (CFR), distribusi eksponensial
$1 < \beta < 2$	Laju kerusakan meningkat atau <i>Increasing Failure Rate</i> (IFR), kurva berbentuk konkaf
$\beta = 2$	Laju kerusakan linier atau <i>Linier Failure Rate</i> (LFR), Distribusi <i>Rayleigh</i>
$\beta > 2$	Laju kerusakan mengingkat atau <i>Incresing Failure Rate</i> (IFR), kurva berbentuk konveks
$3 \leq \beta \leq 4$	Laju kerusakan meningkat atau <i>Increasing Failure Rate</i> (IFR), kurva berbentuk simetris, distribusi normal

Sumber: (Ebeling, 1997)

Rumus *mean* untuk distribusi *Weibull* yaitu:

$$\text{mean} = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$

Dimana  $\Gamma$  adalah fungsi gamma yang memiliki rumus sebagai berikut (Walpole, 1995):

$$\Gamma(s) = \int_0^{\infty} x^{s-1} e^{-x} dx, (s > 0)$$

## 2. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, sehingga probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Jika terdapat mesin yang memiliki laju kerusakan terjadi secara tetap maka dapat dipastikan data kerusakan peralatan tersebut termasuk dalam distribusi eksponensial.

Parameter yang digunakan dalam distribusi eksponensial adalah  $\lambda$ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi eksponensial yaitu (Ebeling, 1997):

$$\text{Reliability function: } R(t) = e^{-\lambda t}$$

Dimana  $\lambda > 0$  dan  $t > 0$

Rumus *mean* untuk distribusi eksponensial yaitu:

$$\text{mean} = \frac{1}{\lambda}$$

## 3. Distribusi Normal

Distribusi normal cocok digunakan dalam memodelkan fenomena keausan. Parameter yang digunakan dalam distribusi normal ini adalah  $\mu$  yang menunjukkan nilai tengah dan  $\sigma$  yang menunjukkan standar deviasi dari data yang ada. Karena hubungannya dengan distribusi lognormal, maka distribusi ini juga dapat digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat dalam distribusi normal yaitu (Ebeling, 1997):

$$\text{Reliability function: } R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{t-\mu}{\sigma}\right)$$

Dimana  $\mu > 0$ ,  $\sigma > 0$ , dan  $t > 0$

Rumus *mean* untuk distribusi normal yaitu:

$$\text{mean} = \mu$$

## 4. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu  $\sigma$  yang menunjukkan parameter skala (*scale parameter*) dan  $\mu$  sebagai parameter lokasi (*location parameter*) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi *weibull* juga sesuai dengan distribusi lognormal. Fungsi *reliability* yang terdapat pada distribusi lognormal yaitu:

$$\text{Reliability function: } R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t) - \mu}{\sigma}\right)$$

Dimana  $\sigma > 0$ ,  $\mu > 0$ , dan  $t > 0$

Rumus *mean* untuk distribusi lognormal yaitu:

$$\text{mean} = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$$

## 2.7 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA),

Fuzzy, FMEA, AHP merupakan alat penilaian resiko yang banyak digunakan dalam berbagai industri, tetapi dalam penelitian ini digunakan FMEA sebagai tools prioritas terhadap penilaian resiko terhadap segala penyebab yang terjadi walaupun teknik fuzzy mampu meningkatkan akurasi dalam penentuan nilai resiko tetapi timbul keraguan dalam penerapan di kehidupan nyata (Liu, H.C. et al, 2013). Sedangkan pada teknik AHP memiliki kelemahan yaitu hanya melibatkan persepsi subyektifitas sang ahli dan merupakan metode matematis tanpa ada pengujian secara statistik sehingga tidak ada batas kepercayaan dari kebenaran pemilihan yang terbentuk (Saaty, 2008). Oleh karena itu penggunaan FMEA digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan solusi permasalahan.

FMEA (*Failure Mode And Effect Analysis*) adalah suatu prosedur terstruktur untuk mengidentifikasi dan mencegah sebanyak mungkin mode kegagalan (*failure mode*). FMEA merupakan tool yang digunakan untuk membantu mengidentifikasi dan mengeliminasi atau mengurangi sumber-sumber dan akar penyebab dari suatu masalah kualitas sebelum berada di sistem, sub-sistem, produk maupun proses produksi (Borrer, 2008).

Suatu kondisi kegagalan dapat dilihat dari apa saja yang termasuk dalam kecacatan/kegagalan dalam desain, kondisi diluar batas spesifikasi yang telah ditetapkan, atau perubahan dalam produk yang menyebabkan terganggunya fungsi dari produk itu.

Terdapat beberapa kategori dalam penggunaan FMEA (Borror, 2008), yaitu:

1. *System FMEA*

Sebuah sistem, atau subsistem, adalah kumpulan elemen atau komponen yang bekerja sama untuk menyelesaikan tugas atau fungsi yang diinginkan. FMEA diterapkan pada sistem atau tingkat subsistem untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial dan efek yang dapat berdampak negatif terhadap sistem atau kinerja subsistem. FMEA difokuskan pada batas sistem atau subsistem di mana potensi kegagalan yang paling mungkin terjadi. Batas-batas kepentingan untuk sistem atau subsistem FMEA termasuk fungsional (yaitu, hasil yang diharapkan dengan asumsi operasi normal) atau operasional (yaitu, hasil spesifik yang diharapkan dibandingkan dengan toleransi, spesifikasi, dan timing).

2. *Design FMEA*

Sebuah desain atau lebih tepatnya desain produk adalah satu set spesifikasi yang menggambarkan semua aspek produk (yaitu, fungsi utama, parameter operasi dan toleransi, bahan, dimensi, dan seterusnya). FMEA diterapkan untuk desain produk awal dalam proses desain produk untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial yang didapatkan dari hasil cacat desain. FMEA desain adalah bagian normal dari tonggak kunci dalam proses pengembangan produk, seperti ulasan konsep, persetujuan konsep, ulasan desain awal, dan tinjauan desain akhir.

3. *Process FMEA*

Sebuah FMEA proses adalah satu set spesifikasi yang menggambarkan semua aspek dari sebuah proses (yaitu, komponen fungsional, laju aliran, langkah-langkah proses, peralatan yang akan digunakan, langkah-langkah yang akan dilakukan, operator atau karyawan untuk terlibat, dan sebagainya). FMEA proses



diterapkan untuk memproses desain pada titik sedini mungkin untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial yang didapatkan dari hasil cacat desain.

#### 4. *Service delivery* FMEA

Sebuah pelayanan dengan penyelesaian satu set tugas yang dirancang untuk memenuhi satu atau lebih harapan pelanggan. Jasa pengiriman FMEA diterapkan untuk mengidentifikasi mode kegagalan potensial yang ketidakpuasan dari pelanggan.

### **2.7.1 Langkah-Langkah Pembuatan FMEA**

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam pembuatan FMEA (Borrer, 2008):

1. Mengidentifikasi potensi cacat produk
2. Mendaftar setiap cacat produk
3. Mengidentifikasi penyebab dari setiap cacat produk
4. Mengidentifikasi efek dari setiap cacat produk
5. Menentukan faktor probabilitas, yaitu pembobotan numerik pada setiap penyebab cacat produk
6. Menentukan nilai RPN (*Risk Priority Number*)
7. Menentukan rekomendasi tindakan untuk diimplementasikan pada kegagalan potensial yang memiliki nilai RPN tinggi.

### **2.7.2 Tujuan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)**

Menurut Setyadi (2013), Tujuan yang dapat dicapai oleh perusahaan dengan penerapan FMEA:

1. Mengidentifikasi mode kegagalan dan tingkat pengaruh efeknya
2. Mengidentifikasi karakteristik kritis dan karakteristik signifikan
3. Mengurutkan desain potensial dan defisiensi proses
4. Membantu fokus para *engineer* dalam mencegah timbulnya permasalahan

### **2.7.3 Nilai *Risk Priority Number* (RPN)**

Nilai RPN ditentukan untuk menentukan tindakan yang sesuai untuk dilakukan terhadap cacat produk yang ada. Nilai RPN adalah hasil perkalian antara:

1. Tingkat keseriusan dari efek yang ditimbulkan dari bentuk kegagalan terjadi (*severity*)
2. Tingkat frekuensi dari penyebab kegagalan terjadi (*occurance*)
3. Tingkat kemampuan mengendalikan kegagalan yang dapat terjadi (*detection*)

Proses pengukuran terhadap besarnya nilai *severity*, *occurance*, dan *detection* adalah sebagai berikut ini:

a. *Severity*

Merupakan langkah pertama untuk menganalisa resiko dengan menghitung seberapa besar dampak atau intensitas kejadian dapat mempengaruhi hasil akhir proses. Dampak tersebut dinotasikan dengan skala 1 sampai 10, dimana nilai 1 merupakan dampak yang terendah dan nilai 10 adalah dampak yang terburuk. Tabel 2.3 ini adalah parameter penentuan rating dalam *severity* yang ditentukan dalam skala 1-10, dimana dalam setiap rating memiliki tingkat kriteria yang berbeda-beda.

**Tabel 2.3** Penilaian *Severity*

Effect	Criteria : Severity of Effect	Ranking
Hazardous- without warning	Very high severity ranking when a potensial failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning	10
Hazardous- with warning	Very high severity ranking when a potensial failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning	9
Very High	Vehicle/item inoperable, with loss of primary function	8
High	Vehicle/item operable, but at reduced level of performance. Customer dissatisfied.	7
Moderate	Vehicle/item operable, but comfort/convenience item(s) inoperable. Customer experiences discomfort.	6
Low	Vehicle/item operable, but comfort/convenience item(s) operable at reduced level of performance. Customer experiences some dissatisfaction.	5
Very Low	Fit & finish/squake & rattle item does not conform. Defect noticed by most customer.	4
Minor	Fit & finish/squake & rattle item does not conform. Defect noticed by average customer.	3
Very Minor	Fit & finish/squake & rattle item does not conform. Defect noticed by discriminating customer.	2
None	No effect	1

Sumber: (Breyfogle III, Forrest W., 1999)

b. *Occurance*

Tahap selanjutnya adalah menentukan rating terhadap nilai *occurance*. *Occurance* merupakan kemungkinan bahwa penyebab kegagalan akan terjadi dan menghasilkan bentuk kegagalan selama masa produksi produk. Tabel 2.4 cara

menentukan nilai *occurrence* dengan menggunakan *rating* 1-10, dimana setiap *rating* memiliki kriteria tersendiri.

**Tabel 2.4** Penilaian *Occurrence*

Probability of Failure	Possible Failure Rates	Ranking
Very high : failure is almost inevitable	≥1 in 2	10
	1 in 3	9
High : Repeated failure	1 in 8	8
	1 in 20	7
Moderate : Occasional failure	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
Low : Relatively few failure	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Remote : Failure is unlikely	1 in 1,500,000	1

Sumber: (Breyfogle III, F. W., 1999)

*c. Detection*

Berfungsi sebagai upaya pencegahan terhadap proses produksi dan mengurangi tingkat kegagalan pada proses produksi. Tabel 2.5 dan Tabel 2.6 merupakan parameter penentuan nilai *detection* dengan menggunakan *rating* 1-10 dan setiap *rating* memiliki kriteria tersendiri.

**Tabel 2.5** Penilaian *Detection*

Detection	Criteria : Likelihood of Detection by Design Control	Ranking
Absolute uncertainty	Design control will not and/or cannot detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode; or there is no design control	10
Very remote	Very remote chance that the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	9
Remote	Remote chance that the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	8
Very Low	Very low chance that the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	7
Low	Low chance that the design control will	6
Moderate	Moderate chance that the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	5
Moderately High	Moderately high chance that the design control will detect the potential cause/mechanism and subsequent failure mode	4
High	High chance that the design control will detect the potential cause/mechanism and subsequent failure mode	3
Very High	Very high chance that the design control will detect the potential cause/mechanism and subsequent failure mode	2
Almost Certain	Design control will almost certainly detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	1

Sumber: (Breyfogle III, Forrest W., 1999)

Dari nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* dapat diperoleh nilai RPN, yaitu dengan cara mengalikan ketiga unsur tersebut ( $RPN = S \times O \times D$ ). Berdasarkan nilai RPN yang telah diperoleh maka dilakukanlah pengurutan berdasarkan nilai RPN

tertinggi sampai dengan terendah. Kegiatan produksi dengan nilai RPN tertinggi merupakan sasaran utama perbaikan yang harus segera diselesaikan.

Berikut ini merupakan contoh FMEA yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1.

System		Potential Failure Mode and Effects Analysis (Design FMEA)										Revision B			
Subsystem												Prepared By Robert Crow			
Part Number												FMEA Date 8/5/92			
Design Lead												Revision Date			
Item / Function	Potential Failure Mode(s)	Potential Effect(s) of Failure	S e v e r i t y	Potential Cause(s)/ Mechanism(s) of Failure	P r o b a b i l i t y	Current Design Controls	D e t e c t a b i l i t y	R e p a r a b i l i t y	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Completion Date	Action Results				
											Actions Taken	How Often	How Bad	How RPN	
Circuit Block 4.1.1	Output loss from pre-amp	Receiver & output data loss; track loss; GPS shut-down	5	C1 short	1	PR-20 & HM-5	2	10	QA Proc 20-6	R. Jones, 11/30/92	Added to control plan	2	1	1	2
			5	C88 short	2		2	20	QA Proc 20-6	R. Jones, 11/30/92	Added to control plan	2	1	1	2
			5	L1 open/short	3		2	30	QA Proc 20-3	R. Jones, 11/30/92	Added to control plan	2	2	1	4
			5	U21 function	4		2	40	Test 147	R. Jones, 11/30/92	Added to control plan	2	3	1	6
							0								0
Circuit Block 4.1.2	Undetected & insignificant component failure mode	No noticeable system effect	1	C1 open/chg val	2	None	8	16	None						0
			1	C88 open/chg val	2		8	16	None						0
							0								0
Circuit Block 4.2.1	Loss of signal from 2nd RF amplifier & 1st down converter	Loss of position, velocity & time output data, track loss; GPS shut-down	4	C2 short	1	PR-20 & HM-5	2	8	QA Proc 20-6	B. Howell 10/15/92	Added to control plan				0
			4	C3 short	1	PR-20 & HM-5	2	8	QA Proc 20-6	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	1	1	2
			4	C4 open/short	2	PR-20 & HM-5	2	16	QA Proc 20-6	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	1	1	2
			4	C5 short	2	PR-20 & HM-5	2	16	QA Proc 20-6	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	1	1	2
			4	C66 open/short	2	PR-20 & HM-5	2	16	QA Proc 20-6	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	1	1	2
			4	C99 short	3	PR-20 & HM-5	2	24	QA Proc 20-6	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	2	1	4
			4	FL1 short/open	5	None	2	40	100% Insp.	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	2	2	8
			4	FL2 short/open	5	None	2	40	100% Insp.	B. Howell 10/15/92	Added to control plan	2	2	2	8
			4	R2 open/chg val	2		2	16	None						
4	R18 open/chg val	2		2	16	None							0		

Gambar 2. 4 Contoh FMEA (Failure Mode And Effect Analysis)

Sumber: (Crow, 2002)

## 2.8 Teorija Resenija Isobretatelskih Zadac (TRIZ)

TRIZ adalah *problem solving method* berdasarkan kreatifitas, logika, dan data, yang menghasilkan solusi terhadap permasalahan yang ada. TRIZ merupakan akronim dalam bahasa Rusia dari *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadach*, dalam bahasa Inggris dikenal sebagai “*The Theory of Inventive Problem Solving*”. Geinrich mengemukakan dan mengembangkan pertama kali pada tahun 1946, dalam pengamatannya terhadap ratusan ribu paten produk yang telah dikeluarkan. Hasil pengamatan tersebut memberikan berbagai macam jenis solusi yang dirangkum dalam 40 *inventive principles*. Setiap prinsip yang diterapkan merupakan hasil kontradiksi yang terjadi dari berbagai macam atribut tertentu ketika pemecahan dianalisa. (Rantanen & Domb, 2002).

*Ideality function* atau *final result*, *separation principles*, 40 *inventive principles*, 39 *engineering parameters*, dan *contradiction matrix* adalah *tools* utama

yang digunakan dalam pemecahan masalah dalam TRIZ. *Ideality function* adalah pernyataan yang menyatakan kondisi ideal yang ingin dicapai.

### **2.8.1 TRIZ 40 Inventive principles**

40 *Inventive principles* dalam TRIZ bertujuan memberikan solusi-solusi untuk mengatasi kontradiksi yang terjadi antar 2 parameter karakteristik yang saling berlawanan. Prinsip ini merupakan hal yang utama dalam menghilangkan kontradiksi yang terjadi akibat perubahan suatu karakteristik yang diinginkan. Penjelasan dari 40 *inventive principles* ditunjukkan pada **lampiran 1**

### **2.8.2 TRIZ 39 Engineering Parameters (Parameter Sistem)**

Parameter sistem berisi 39 standart *technical characteristic* (karakter-karakter standar bersifat teknik) yang digunakan untuk mempermudah pengguna dalam menemukan faktor-faktor yang dapat menimbulkan kontradiksi. Dalam penentuan parameter akan muncul konflik permasalahan dalam sistem dan objek sehingga menghasilkan *improving parameters* (parameter yang ingin diperbaiki) dan *worsening parameters* (dampak yang ditimbulkan dalam perbaikan). Penjelasan mengenai 39 *engineering parameter* standar yang telah ditetapkan oleh Altshuller dan tim ditunjukkan pada **Lampiran 2**.

### **2.8.3 Contradiction Matrix**

Kontradiksi dalam bahasa Indonesia berarti berlawanan atau kondisi yang saling bertentangan dalam segi hasil. Sebuah parameternya diperbaiki mengalami kontradiksi terhadap parameter lain maka kondisi ideal dari sistem tersebut sulit dicapai.

Dalam TRIZ terdapat 2 jenis kontradiksi yaitu *technical contradictions* dan *physical contradictions*. *Technical contradictions* atau dikenal *trade-offs*, adalah kondisi sulit atau bahkan tidak bisa dicapai karena terhalang oleh kondisi alami dari sistem tersebut. Dengan kata lain, ketika suatu parameter meningkat maka parameter lain akan mengalami penurunan. Sedangkan *physical contradictions* adalah situasi dimana suatu parameter meningkat akibat adanya parameter lain yang bersifat berlawanan (Rantanen & Domb, 2002).

Matriks kontradiksi Altshuller (TRIZ contradiction matrix) merupakan tabel yang terdiri dari 39 elemen horisontal (*improving feature/improved attribute*), 39 elemen vertikal (*worsening feature/deteriorated attribute*) dan 40 *inventive principles*. Setelah *improving parameters* dan *worsening parameters* teridentifikasi, maka langkah selanjutnya adalah mencari kontradiksi desain antara dua parameter kinerja dapat diselesaikan dengan menggunakan matriks kontradiksi untuk menghasilkan solusi potensial *inventive principles* (Altshuller, 2006). Penjelasan Kontradiksi Matriks TRIZ ditunjukkan pada **Lampiran 3**. Cara menggunakan Matriks tersebut cukup mudah, yaitu dengan membandingkan parameter yang ingin diperbaiki (bagian kiri) dengan parameter yang menjadi kontradiksi (bagian atas). Pada persilangan antara kedua parameter tersebut terdapat angka-angka yang menunjukkan hubungan dengan angka dari 40 prinsip yang telah dijelaskan.

Angka dalam persilangan matriks tersebut diurutkan berdasarkan prioritas tertinggi dalam menentukan usulan. Dapat dilihat bahwa terdapat beberapa matriks yang tidak memiliki nilai, karena kedua parameter tersebut tidak memiliki hubungan kontradiksi.

#### **2.8.4 Prosedur Penggunaan TRIZ**

Prosedur penggunaan TRIZ terdiri dari 4 tahapan (Rantanen & Domb, 2002) identifikasi masalah yaitu :

1. Formulasikan permasalahan.
2. Cari atribut *contradiction* dan buat matrix yang akan dikembangkan dengan TRIZ melalui 39 *engineering parameters*.
3. Temukan pemecahan masalah yang ada dengan melihat 40 *inventive principles*.
4. Aplikasikan pemecahan masalah TRIZ yang masih bersifat umum ke dalam pemecahan yang lebih bersifat spesifik.

## 2.9 Posisi Penelitian

Penelitian-Penelitian sebelumnya dalam metode untuk mencapai arah *Six Sigma* menggunakan alat pengendalian kualitas pada sistem *mass customization* yang diterapkan oleh studi kasus perusahaan yang diambil telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan menggunakan pendekatan yang berbeda. Sehingga dalam penelitian ini diterapkan integrasi dari beberapa metode tersebut.

Dalam penelitian Mansor et al (2014) mengintegrasikan TRIZ, *Morphological Chart*, dan AHP untuk perencanaan desain konseptual dalam siklus pengembangan produk Tujuannya adalah untuk menghasilkan dan memilih desain konsep terbaik dari komponen berdasarkan spesifikasi desain produk. Dalam tulisan ini, matriks kontradiksi TRIZ dan 40 alat solusi prinsip inventif diterapkan pada tahap awal pembuatan solusi. Parameter solusi prinsip untuk karakteristik desain spesifik kemudian disempurnakan secara rinci dengan menggunakan bantuan grafik morfologi untuk secara sistematis mengembangkan desain konseptual untuk komponen tersebut. Metode AHP digunakan untuk melakukan proses pengambilan keputusan multi kriteria untuk memilih rancangan konsep terbaik untuk komponen rem parkir otomotif. Dari penelitian yang dilakukan. Metode TRIZ-*Morphological Chart*-AHP yang terintegrasi terbukti dapat diterapkan bersamaan dalam melakukan penyempurnaan ide, pengembangan dan seleksi konsep desain untuk mencapai solusi yang diinginkan terutama dalam mengembangkan desain konseptual. Namun pada penelitian ini konsep desain yang dipilih hanya berdasarkan subjektivitas dari penulis yang menggunakan AHP sebagai pembobotan untuk penentuan desain walaupun menggunakan perhitungan dengan detail dan seksama. Sehingga penerapannya dalam desain yang nyata juga belum tentu sesuai dengan rencana desain berdasarkan metode TRIZ tadi.

Dalam penelitian Chang et al (2007) mengintegrasikan QFD, AHP, FMEA dan TRIZ untuk mengoptimalkan parameter desain yang dapat dicapai. QFD digunakan sebagai infrastruktur dan AHP untuk mengukur bobot kepentingan relatif dari persyaratan produk. Kemudian, hasil AHP menterjemahkan kebutuhan pelanggan ke parameter teknik TRIZ. Metode yang diusulkan yang mengintegrasikan prinsip inventif TRIZ dapat membantu

perancang untuk mengetahui peraturan yang dapat memenuhi persyaratan pelanggan. Penerapan FMEA dilakukan untuk menganalisis nilai bobot semua subsistem. Dari penelitian ini, contoh proses perancangan mekanisme tangkapan pengaman pada senapan pneumatik diimplementasikan untuk menjelaskan bagaimana strategi penelitian ini digunakan dalam proses pengembangan produk. Namun pada penelitian ini konsep desain yang dipilih berdasarkan integrasi QFD, AHP, FMEA dan TRIZ masih belum terdapat variabel biaya dalam pengembangannya sehingga walaupun pengembangan desain alat tersebut sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai tapi faktor biaya produksi dan pengembangan belum dimasukkan ke dalam parameter yang menyebabkan kontradiksi dalam metode TRIZ.

Dalam penelitian Yeh et al (2011) mengintegrasikan QFD dan TRIZ untuk mengembangkan dan memasarkan teknologi yang ramah lingkungan dari produk notebook. QFD dilakukan dalam untuk kepuasan dan Kebutuhan pelanggan, memenuhi spesifikasi target, Studi ini mengidentifikasi mayor Kontradiksi QFD di bidang teknik dan Administrasi dan menerapkan metodologi yang terintegrasi TRIZ untuk mencapai solusi *green design*. Hasil yang dicapai yaitu dapat meningkatkan efektivitas dan memperpanjang umur pemakaian, mengurangi biaya produksi dan meningkatkan produk secara keseluruhan. Namun pengaplikasiannya dalam penelitian ini hanya sebatas tahap rekomendasi yang belum diperhitungkan selisih biaya produksi, lama umur pemakaian dan tingkat persentase efektifitas yang dapat dicapai jika rekomendasi dari TRIZ digunakan.

Dalam penelitian Huang et al (2013) mengintegrasikan QFD dan TRIZ secara efektif untuk inovasi teknologi dan proses pengembangan produk baru (NPD). Menggunakan QFD dan TRIZ, untuk desain produk baru, adalah salah satu cara terbaik untuk memenuhi tantangan memuaskan permintaan konsumen yang tidak stabil dan kemudian berkembang dalam bisnis. Pada penelitian ini kita memungkinkan penciptaan inovasi teknologi yang efektif dan sistematis untuk produk baru. *Balanced Scorecard* (BSC) diperkenalkan untuk menunjukkan kepraktisan dan efisiensi integrasi tersebut dan pengukuran kinerja dari hubungan kedua metode tersebut.



Dalam penelitian Muruganatham et al (2014) menerapkan integrasi *lean* dan TRIZ untuk peningkatan produktivitas. Masalah *lean* diidentifikasi sebagai Kaizen dan model SMAIC diterapkan secara kontinyu untuk perbaikan. Langkah-langkah memilih, mengukur dan menganalisis digunakan untuk mempersempit masalah dan untuk memecahkan TRIZ telah digunakan di permasalahan *shop machine*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas dapat diperbaiki dimana penghematan waktu dapat dipangkas 90 detik per komponen dan kelelahan operator dapat dikurangi. Untuk penelitian ini, penulis mengkritisi bahwa perbandingan skala kelelahan operator dan produktivitas perusahaan belum terbentuk dan masih hanya sebatas *statement* saja belum ada nilai tambah bagi operator secara *real*. Pada tahap TRIZ juga sebatas memberikan *general* solusi dan belum terdapat spesifik *solution* yang sesuai dengan penyelesaian permasalahan perusahaan.

Desai et al (2016) melakukan penelitian dengan melakukan strategi perbaikan terhadap produksi plastik yang menggunakan injection molding dalam memproduksinya. Menggunakan metode *Six Sigma* dan tahap alur DMAIC untuk peningkatan proses *Six Sigma*. Cacatan kritis seperti cetakan pendek, palstik terkontaminasi dll dapat dikurangi sehingga dapat menghemat biaya proses produksi plastik. Melalui penggunaan SOP yang efektif dan *user friendly* dan Perbaikan Manajerial pada tahap *control* Peningkatan *Six Sigma* dapat terjadi sehingga dapat menghemat biaya produksi sebesar 10,80 lacs (INR). Penelitian ini sebenarnya sudah dapat *improve* perbaikan yang terjadi di industri plastik namun pada tahap *improve* hanya sebatas pemberlakuan SOP proses produksi dan *preventif maintenance* tanpa adanya insiatif dari penulis terhadap sistem manajerial untuk memberikan rekomendasi pada tahap *improve* dengan pelatihan dan *sharing* terhadap operator yang menyangkut sistem pada proses produksi dan langkah perbaikan padahal pelatihan terhadap operator dan karyawan memegang peranan penting terhadap target menuju *lean Six Sigma*.

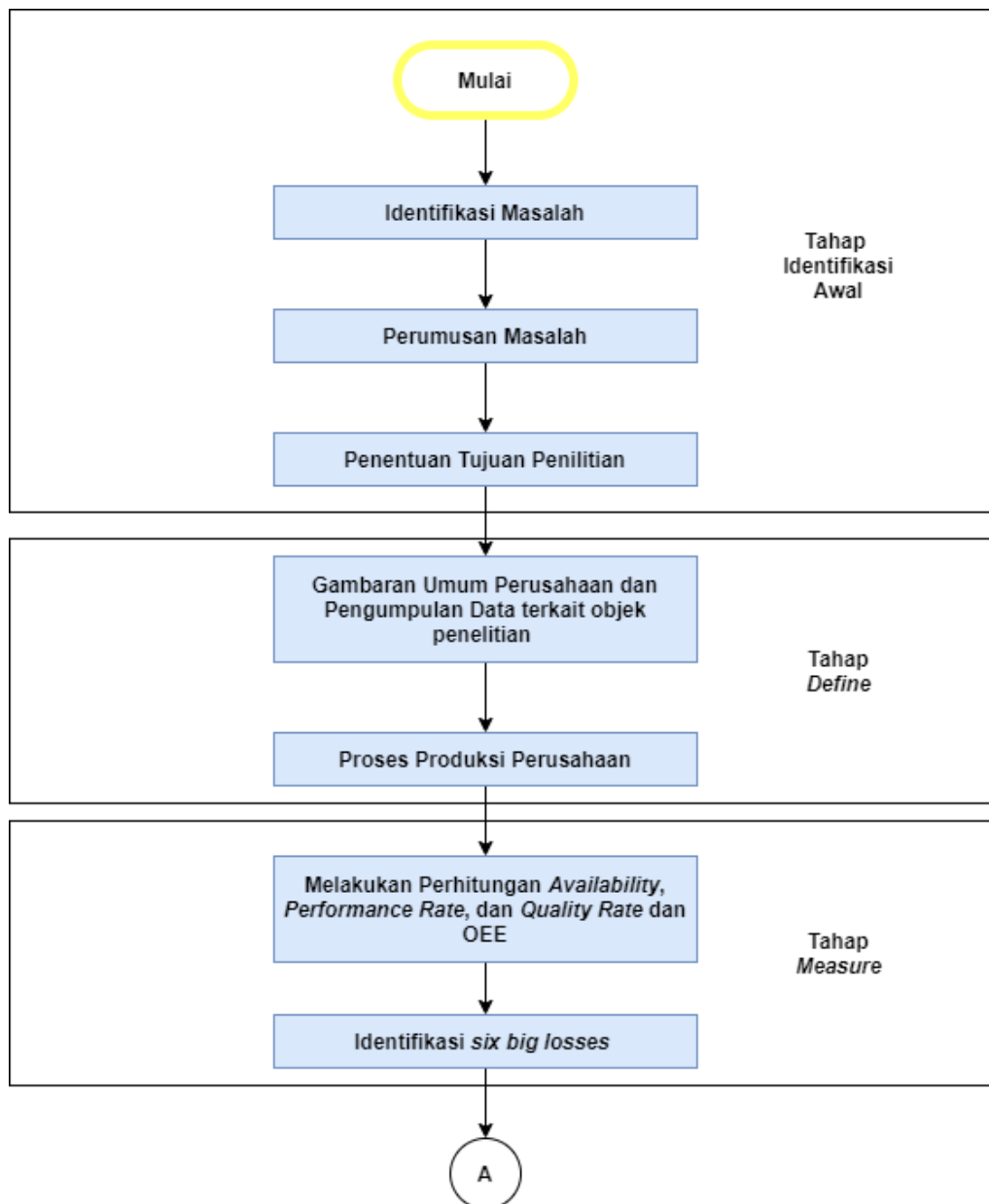
**Tabel 2. 6** Posisi Penelitian Terhadap Penelitian Sebelumnya

Karakteristik Model		Peneliti Sebelumnya						Posisi Penelitian
		Chang	Yeh	Mansor	Huang	Muruganant	Desai	
		et al (2007)	et al (2010)	et al (2013)	et al (2013)	et al (2014)	et al (2016)	
Fungsi Tujuan	<i>New Product Design</i>	√		√	√			
	<i>Conceptual Process Planning</i>		√					
	<i>Quality Control</i>		√			√	√	√
Metode / Tools	QFD	√	√		√			
	LEAN					√		
	<i>Pareto Chart</i>						√	
	<i>SIPOC</i>						√	
	<i>Operate Process Chart</i>			√				
	<i>Cause and Effect Diagram</i>						√	
	<i>Root Cause Analysis</i>							
	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>							√
	FMEA	√		√				√
	TRIZ	√	√	√	√	√		√
	<i>Morphological Chart</i>			√				

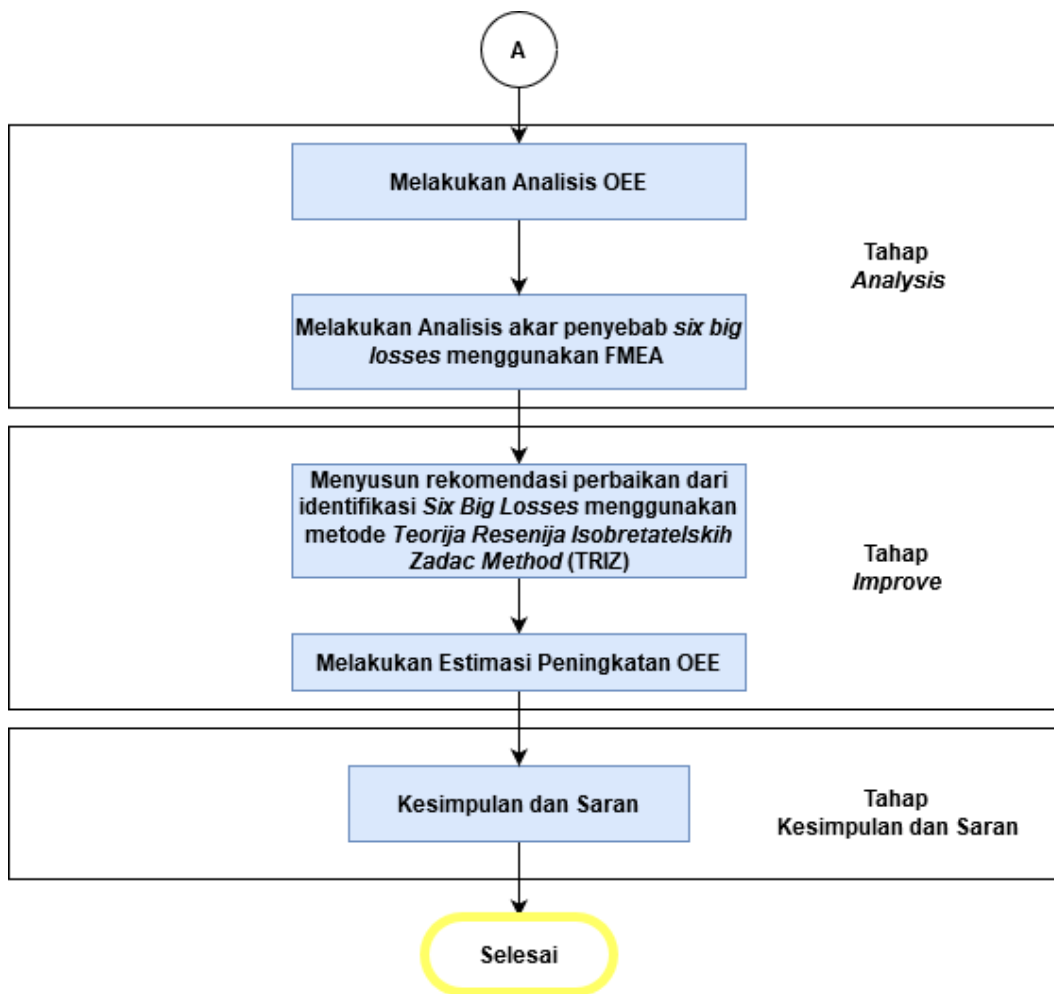
## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab tiga akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang merupakan tahapan-tahapan yang akan dilakukan dari penelitian ini. Tahapan ini disusun secara sistematis berdasarkan tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini. Berikut ini merupakan *flowchart* dan penjelasan metodologi yang digunakan.



Gambar 3.1 *Flowchart* Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3. 2 *Flowchart* Pelaksanaan Penelitian (lanjutan)

### 3.1 Tahap Identifikasi Awal

Pada tahap ini merupakan tahapan yang dilakukan pada awal pelaksanaan penelitian. Tahap ini terdiri dari beberapa proses, antara lain identifikasi masalah, perumusan masalah, dan penentuan tujuan penelitian.

#### 3.1.1 Identifikasi Masalah

Tujuan dari identifikasi permasalahan yakni untuk mengetahui permasalahan yang ada di perusahaan. Langkah identifikasi permasalahan didapatkan dari usulan permasalahan dalam perusahaan, observasi secara langsung ke objek amatan dan wawancara dengan pihak perusahaan. Observasi secara langsung dilakukan untuk mengetahui kondisi realita permasalahan yang dihadapi oleh perusahaan.

### **3.1.2 Perumusan Masalah**

Setelah dilakukannya identifikasi masalah, selanjutnya dilakukan perumusan masalah, yaitu menentukan masalah apa yang akan dijadikan sebagai dasar dari dilaksanakannya penelitian. Perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana mereduksi adanya *Six Big Losses* dengan menggunakan pendekatan OEE pada mesin utama pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) pada PT. Krakatau Steel Tbk.

### **3.1.3 Penentuan Tujuan Penelitian**

Setelah dilakukan perumusan masalah pada objek amatan, selanjutnya dilakukan tujuan penelitian. Proses ini dilakukan untuk mengetahui tujuan apa yang ingin dicapai dengan dilakukannya penelitian sesuai dengan perumusan masalah.

## **3.2 Tahap *Define***

Tahap *Define* merupakan langkah operasional pertama dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma*. Pada tahapan mengidentifikasi beberapa hal yang terkait dengan kriteria pemilihan proyek *Six Sigma*, peran dan tanggung jawab dari orang-orang yang akan terlibat dalam proyek *Six Sigma*, kebutuhan pelatihan untuk orang-orang yang terlibat dalam proyek *Six Sigma*, proses-proses kunci dalam proyek *Six Sigma* beserta pelanggannya, kebutuhan spesifik dari pelanggan dan pernyataan tujuan proyek *Six Sigma*. Penelitian ini pada tahap *define* berfokus pada proses kunci yang akan diidentifikasi lebih lanjut untuk dilakukan peningkatan menuju target *Six Sigma*. Dimana untuk kriteria pemilihan proyek *Six Sigma*, peran critical proses sangat berpengaruh untuk menuju maksimal target *defect* produk yang melewati critical proses tersebut tercapai sehingga menghasilkan *finish good* produk yang sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Dan dalam tahap ini, penelitian dilakukan dengan mendeskripsikan kondisi eksisting perusahaan berdasarkan

1. Gambaran umum perusahaan dan pengumpulan data terkait objek penelitian.
2. Proses produksi perusahaan PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang digunakan selama melakukan penelitian. Data yang dikumpulkan pada tahap ini berupa data yang diambil secara langsung dari pengamatan, data dengan melakukan wawancara dengan pihak perusahaan, dan data yang diperoleh dari hasil rekapan laporan perusahaan. Data yang digunakan pada tahap ini adalah

- Proses produksi *Hot Rolled Coil* (HRC)
- Data kerusakan mesin utama pada pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) yaitu *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler*.
- Data produk cacat *Hot Rolled Coil* (HRC)
- Data output produk *Hot Rolled Coil* (HRC)

Data-data yang telah didapatkan pada enam mesin utama pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) yaitu *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler* kemudian diolah dan dilakukan perhitungan *availability rate, performance rate, quality rate* dan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*. *Availability rate* didapatkan dari data waktu tersedia, *schedule downtime, equipment failure time, setup and adjustment time*; *performance rate* didapatkan dari data *equipment operating time* dan *cycle time*; serta *quality rate* didapatkan dari data *output* aktual, jumlah *defect* dan jumlah *output* baik sehingga menghasilkan nilai OEE dan kemudian dilakukan pengidentifikasian terhadap *Six Big Losses* serta jenis *failure* yang terjadi pada enam mesin utama pabrik *Hot Strip Mill* (HSM).

### **3.3 Tahap Measure**

Pada tahap *Measure* dilakukan pengukuran pada tingkat proses (*Process level*) dengan mengukur setiap langkah atau aktivitas dalam proses dan karakteristik kualitas input yang diserahkan oleh pemasok yang mengendalikan dan mempengaruhi karakteristik kualitas output yang diinginkan. Pada tahap ini dilakukan pengukuran untuk menjadi dasar dalam membuat rekomendasi perbaikan yang terdiri dari

1. Perhitungan *Availability*, *Performance Rate*, dan *Quality Rate* untuk mengetahui nilai setiap parameter OEE dari mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*. Masing-masing parameter dirincikan untuk mengetahui nilai *Six Big Losses*.
2. Perhitungan OEE untuk mengetahui tingkat performansi eksisting
3. Pengidentifikasian *Six Big Losses* beserta jenis *failure* yang terjadi

### **3.4 Tahap Analysis**

Tahap *Analysis* merupakan langkah operasional ketiga dalam program peningkatan kualitas *Six Sigma* yang bertujuan untuk menemukan penyebab dari masalah dalam critical proses, dalam hal ini adalah masalah *defect* yang dihasilkan oleh critical proses yang memerlukan perbaikan lebih lanjut agar proses berjalan dengan tepat. Pada tahap ini dilakukan analisis hasil pengumpulan dan pengolahan data yang terdiri dari:

1. Melakukan analisis nilai OEE untuk mengetahui tingkat performansi mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*.
2. Melakukan analisis menggunakan FMEA untuk mengetahui nilai *Risk Priority Number* (RPN) masing-masing akar penyebab *Six Big Losses* dan prioritas akar penyebab tersebut sebagai dasar dari rekomendasi perbaikan.

### **3.5 Tahap Improve**

Setelah sumber-sumber dan akar penyebab dari masalah kualitas yaitu *defect* dalam critical proses terdefinisi, maka perlu dilakukan penetapan rencana tindakan (*action plan*) untuk melaksanakan peningkatan kualitas *Six Sigma*. Pada tahap ini dilakukan penyusunan perbaikan yang terdiri dari:

1. Menyusun rekomendasi perbaikan dari identifikasi *Six Big Losses* menggunakan metode *Teorija Resenija Isobretatelskih Zadac Method* (TRIZ).
2. Mengestimasi peningkatan OEE setelah diterapkannya perbaikan

Prioritas akar penyebab yang didapatkan dari analisis *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) akan dijadikan dasar dari rekomendasi perbaikan. Untuk

rencana perbaikan akan dilakukan dengan pendekatan metode *Teorija Resenija Isobretatelskih Zadac* (TRIZ) yang dimana dapat mengidentifikasi masalah yaitu dengan mencari tahu segala kemungkinan faktor-faktor yang dapat menjadi masalah. *Potential Failure Mode* yang memiliki RPN tertinggi pada tabel FMEA menjadi prioritas utama sebagai masukan awal pada tahap prosedur TRIZ. Berikut dibawah ini menjabarkan bagaimana langkah-langkah prosedur penggunaan TRIZ:

1. Memilih *technical problem* yang berasal dari *Potential Failure Mode* pada tabel FMEA
2. Menulis ulang permasalahan teknis ke dalam permasalahan fisik dan mengidentifikasi permasalahan yang terjadi. Keberhasilan dalam menentukan masalah fisik mewujudkan inti masalahnya.
3. Menemukan formulasi solusi yang ideal melalui peningkatan faktor yang diinginkan dan menghilangkan faktor-faktor yang tidak diinginkan. Perbandingan antara hasil dengan solusi yang ideal menentukan keberhasilan penentuan faktor utama kontradiksi.
4. Membuat kontradiksi-kontradiksi permasalahan pada masing-masing *specific defect* pada proses produksi yang menjadi hambatan pada proses untuk tidak menghasilkan produk yang tidak menyebabkan *defect*.
5. Menemukan *contradiction matrix* pada masing-masing *defect* dan mengintegrasikan dengan 40 *principle* inovasi sebagai alat bantu untuk mendapatkan solusi permasalahan.
6. Memilih solusi terbaik yang paling sesuai berdasarkan dengan *contradiction matrix* yang memiliki *trade off* terbaik berdasarkan hubungan parameter kontradiksi yang dapat dirubah untuk setiap jenis *defect* dalam proses produksi.

Melalui solusi TRIZ, penelitian ini berfokuskan pada perbaikan *specific problem* dalam proses pembuatan *Hot Rolled Coil* (HRC) yang menyebabkan turunnya performansi dan kerugian pada perusahaan. Dimana yang biasanya metode TRIZ digunakan untuk solusi pengembangan produk, dilakukan untuk pengembangan proses melalui parameter yang dirubah pada *contradiction matrix* dimana parameternya merupakan parameter terpenting yang dibutuhkan perbaikan



untuk mendukung aktivitas perbaikan proses. Setelah diterapkannya perbaikan yang mengacu pada reduksi *Six Big Losses* dengan metode TRIZ, selanjutnya dilakukan estimasi peningkatan OEE agar perusahaan dapat meningkatkan performansinya. Estimasi peningkatan OEE dapat dilakukan dengan cara menguraikan faktor-faktor akar penyebab *Six Big Losses* saat rekomendasi perbaikan TRIZ diterapkan pada pabrik *Hot Strip Mill* (HSM).

### **3.6 Tahap Kesimpulan dan Saran**

Pada tahap akhir ini dilakukan penarikan kesimpulan dari penelitian tugas akhir yang dilakukan. Hasil dari kesimpulan ini dapat menjawab seluruh tujuan penelitian yang telah ditetapkan sebelumnya. Selain itu, beberapa saran direkomendasikan untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya diperlukan agar dapat dikembangkan menjadi lebih baik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 4**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Tahap ini merupakan tahapan awal atau tahapan dimana metodologi DMAIC *Six Sigma* mulai digunakan. Untuk tahapan ini, yang mulai dilakukan adalah fase *define* dan *measure*.

#### **4.1 Tahap *Define***

Pada tahap *define* dilakukan pendeskripsian gambaran umum perusahaan, proses produksi perusahaan, dan informasi mengenai mesin utama pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) yaitu *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*.

##### **4.1.1 Gambaran Umum Perusahaan**

PT Krakatau Steel merupakan satu-satunya industri baja terpadu yang didirikan pada tanggal 31 Agustus 1970 di kota Cilegon. Pendirian ini bertepatan dengan disahkannya Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 35 Tahun 1970 tentang penyertaan modal Negara Republik Indonesia untuk pendirian Perusahaan Perseroan (PERSERO) PT Krakatau Steel, dengan maksud dan tujuan untuk menyelenggarakan penyelesaian pembangunan Proyek Baja TRIKORA serta mengembangkan industri baja dalam arti luas. Selain itu tujuan didirikannya pabrik baja adalah untuk memenuhi kebutuhan vital industrialisasi dan pembangunan nasional, yaitu dalam rangka pembangunan atau pengembangan wilayah terpencil seperti Cilegon pada saat itu. Dasar penentuan lokasi awal pendirian industri baja, yaitu karena beberapa faktor sbagai berikut:

1. Adanya ketersediaan lahan atau tanah yang cukup luas.
2. Tersedianya Tenaga Kerja.
3. Adanya ketersediaan air yang cukup banyak dan memadai.
4. Dekat dengan pelabuhan sehingga prasarana menunjang.
5. Daerah bahan baku saat itu.

Awal peng gagasan perlunya dibangun industri baja di Indonesia yaitu dicetuskan oleh Ir. H. Juanda, Perdana Menteri Republik Indonesia dan juga oleh

Chairul Saleh, Menteri Perindustrian dan pertambangan pada tahun 1956. Persetujuan pokok kerjasama dalam lapangan ekonomi dan teknik antara Indonesia dengan Uni Sovyet Sosialis tanggal 15 September 1956 direalisasikan dengan penandatanganan kontrak pembangunan proyek vital oleh Menteri Pertadam, yaitu Proyek Aluminium Medan, Proyek Besi Baja Kalimantan dan Proyek Besi Baja Trikora. Pembentukan tim proyek besi baja, dikepalai Drs. Soetjipto dibantu Ir. A. Sayoeti, Ir. Tan Boen Liam, dan RJK Wiriasoeganda. Penelitian sumber bijih besi di Bayah/Ujung Kulon dan Lampung dibantu ahli Belanda, Ir. Binghorst.

Tahun 1958 dilanjutkan penelitian terhadap sumber bijih besi di Kalimantan dipimpin oleh RJK Wiriasoeganda yang bekerjasama dengan DR. Walter Rohland yaitu ketua konsultan Jerman Barat WEDEXRO (West Deutche Ingenieur Bureau). Setelah itu pada tahun 1959 dilakukan penelitian atau survey untuk lokasi pendirian pabrik besi baja yang dibantu oleh ahli Rusia. Dengan pertimbangan faktor yang ada, maka pemerintah memutuskan melalui Menteri Departemen bahwa Cilegon yang akan dijadikan sebagai lokasi pabrik baja kapasitas produksi ingot baja 100.000 ton/tahun, menggunakan proses *Tanur Siemens Martin* (Open Heart Furnace) dengan menggunakan pertimbangan yaitu:

1. Bahan baku 70% *scrap* dan 30% *pig iron* Lampung.
2. Air berasal dari daerah Cidanau (Cinangka).
3. Adanya Pelabuhan Merak.

Dibuatlah kontrak pembangunan pabrik baja Cilegon nomor 080 tanggal 7 Juni 1960 antara Republik Indonesia dengan *All Union Export-Import Corporation* (Tjazzpromex Pert) *Of Moscow*. Dilanjutkan dengan peletakan batu pertama atau peresmian pembangunan Proyek Besi Baja TRIKORA Cilegon di area +/- 616 Ha pada tanggal 20 Mei 1962, dan berdasarkan ketetapan MPRS No.2/1960 proyek diharuskan selesai sebelum tahun 1968. Perkembangan proyek ini mengharuskan pemerintah Republik Indonesia untuk mengeluarkan Kep.Pres RI No. 123 tahun 1963 tentang penetapan status proyek Pabrik Baja Trikora Cilegon menjadi proyek vital pada tanggal 26 Juni 1963, tetapi proyek ini harus berhenti pada tahun 1965 karena adanya pemberontakan G30S/PKI yang menyebabkan terjadinya krisis politik.

Akhirnya pada tanggal 28 Desember 1967 Proyek Besi Baja Trikora dirubah

menjadi bentuk Perseroan Terbatas (PT) sesuai dengan Peraturan Pemerintah No.17 tahun 1967, dan PT Krakatau Steel (PTKS) resmi berdiri berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 35 tanggal 31 Agustus 1970. Pendirian PT KS juga disahkan dengan akte notaries Tan Thong Kie No. 34 tanggal 23 Oktober 1971 di Jakarta, dan diperbaiki dengan naskah No. 25 tanggal 29 Desember 1971. Pembangunan Industri baja PT Krakatau Steel ini dimulai dengan memanfaatkan sisa peralatan Proyek Baja Trikora, yakni untuk Pabrik Batang Kawat, Pabrik Baja Tulangan, dan Pabrik Baja Profil. Pabrik-pabrik ini diresmikan penggunaannya oleh Presiden RI yaitu Bapak Soeharto pada tanggal 27 Juli 1975. Pembangunan proyek PT Krakatau Steel pada akhir tahun 1976, yaitu Pabrik Besi Beton telah dapat diselesaikan dan dapat mulai dioperasikan secara komersil sejak tahun 1977. Pabrik Besi Siku yang berada di dalam satu gedung dengan Pabrik Besi Beton, selesai pembangunannya pada bulan Juli 1977. Dengan selesainya Pabrik Besi Siku tersebut, maka seluruh pembangunan pabrik baja yang mulanya merupakan proyek bantuan Rusia sudah dapat diselesaikan. Pada tahun 1979 Pabrik Billet Baja (BSP) dan Pabrik Batang Kawat (WRM) diresmikan.

Kemudian selanjutnya perusahaan pun resmikan Pabrik Slab Baja (SSP) dan Pabrik Baja Lembaran Panas (HSM) ditahun 1983. Setelah itu perusahaan pun terus melakukan pengembangan dan ditahun 1991 Pabrik Baja Lembaran Dingin (CRM) bergabung dengan PT Krakatau Steel, Tbk. Perkembangan terkini yang ada pada perusahaan yaitu ditahun 2009 perusahaan menerapkan *Knowledge Management* dan tahun 2010 perusahaan melaksanakan IPO (Initial Public Offering).

#### **4.1.1.1 Visi, Misi dan Nilai Budaya PT Krakatau Steel (Persero) Tbk**

Visi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk yaitu, perusahaan baja terpadu dengan keunggulan kompetitif untuk tumbuh dan berkembang secara berkesinambungan menjadi perusahaan terkemuka di dunia (An Integrated steel company with competitive edge to grow continuously toward a leading global enterprise). Misi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk yaitu, Kami adalah keluarga masyarakat dunia yang mempunyai komitmen menyediakan baja dan produk terkait dengan pendekatan menyeluruh yang menghasilkan solusi industri dan manufaktur untuk

kesejahteraan masyarakat.

PT Krakatau Steel (Persero) Tbk juga telah memiliki nilai budaya dalam awal pendiriannya yang disebut CIRI. Tujuan dari CIRI yaitu untuk mengetahui dan memahami tentang budaya perusahaan, *value* serta etika yang diterapkan perusahaan dan sebagai wujud pencapaian sumber daya manusia yang berkualitas. CIRI meliputi :

1. *Competence*

Mencerminkan kepercayaan akan kemampuan diri serta semangat untuk meningkatkan pengetahuan, keterampilan, keahlian dan sikap mental demi peningkatan kinerja yang berkesinambungan.

2. *Integrity*

Mencerminkan komitmen yang tinggi terhadap setiap kesepakatan, aturan dan ketentuan serta undang undang yang berlaku, melalui loyalitas profesi dalam memperjuangkan kepentingan perusahaan.

3. *Reliable*

Mencerminkan kesiapan, kecepatan dan tanggap dalam merespon komitmen dan janji, dengan mensinergikan berbagai kemampuan untuk meningkatkan kepuasan dan kepercayaan pelanggan.

4. *Innovative*

Mencerminkan kemauan dan kemampuan untuk menciptakan gagasan baru dan implementasi yang lebih baik dalam memperbaiki kualitas proses dan hasil kerja di atas standar.

#### **4.1.1.2 Struktur Organisasi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk**

Struktur organisasi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk ini berdasarkan fungsional berbentuk garis dan staf secara terbatas. Dalam struktur organisasi, jabatan direktur utama tidak termasuk dalam struktur kepegawaian karena diangkat langsung oleh Menteri Perindustrian, dalam pelaksanaannya direktur utama dibantu oleh enam direktorat yaitu:

1. Direktorat Produksi

Bertugas dibidang pengoperasian dan perawatan sarana produksi, metalurgi dan koordinasi produksi.

2. Direktorat Logistik

Bertugas dibidang pemenuhan logistik perusahaan.

3. Direktorat Pemasaran

Bertugas dibidang pemasaran produk.

4. Direktorat Sumber Daya Manusia & Umum

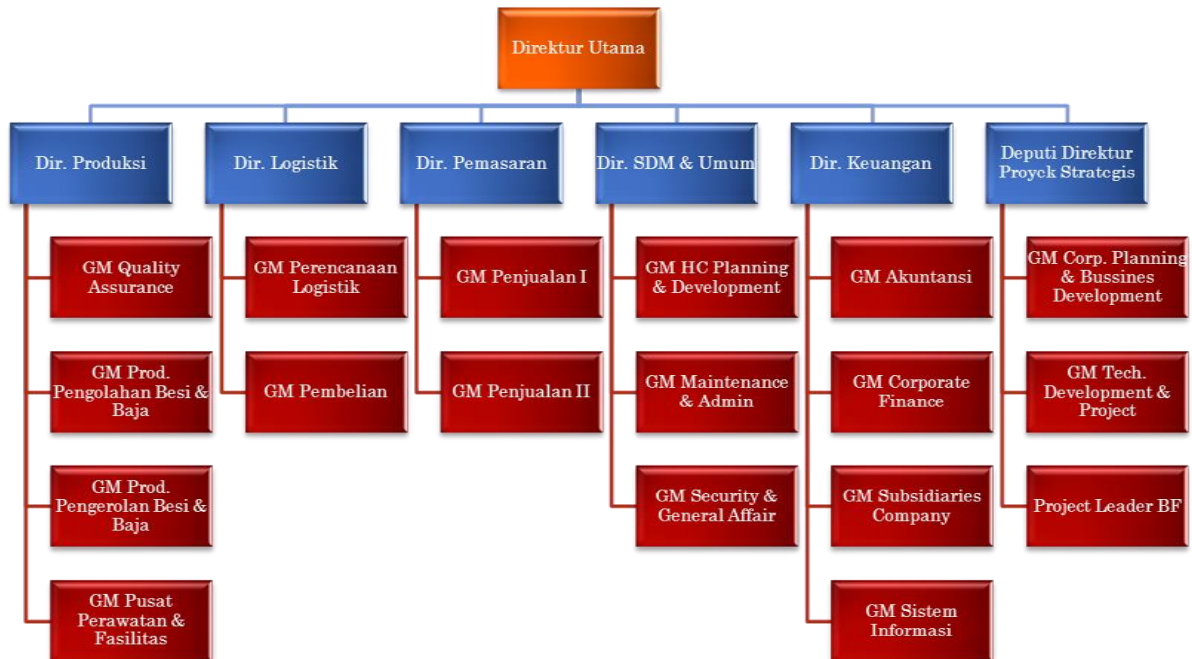
Bertugas dibidang personalia, kesehatan, kesejahteraan, pendidikan dan pelatihan kerja serta merencanakan organisasi, hubungan masyarakat dan administrasi pengelolaan kawasan serta keselamatan kerja.

5. Direktorat Keuangan

Bertugas dibidang keuangan perusahaan, menangani setiap transaksi yang dilakukan perusahaan baik transaksi ke dalam atau ke luar.

6. Deputi Direktur Proyek Strategis

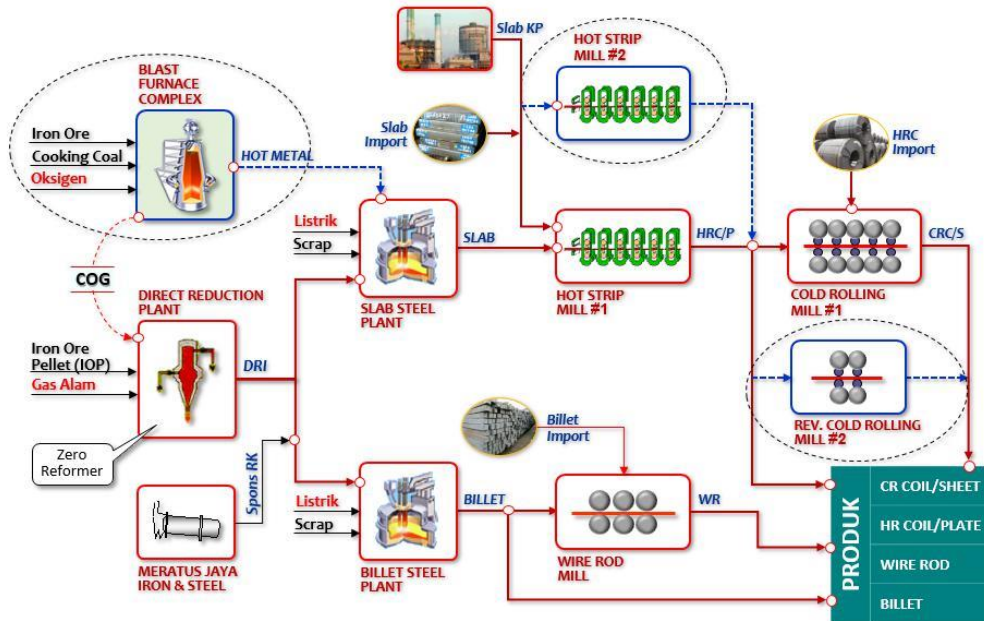
Bertugas menangani masalah yang berkaitan dengan teknologi yang bersifat jangka panjang.



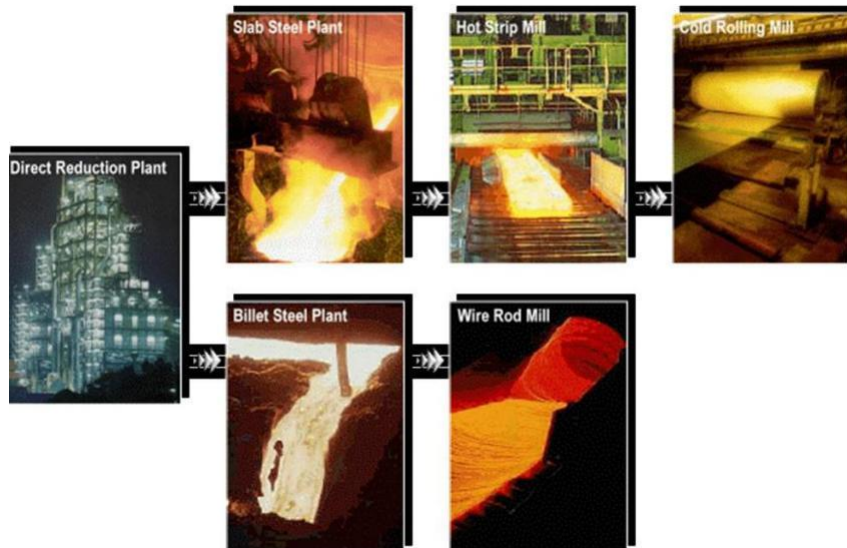
**Gambar 4. 1 Struktur Organisasi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk**  
 Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk

#### 4.1.2 Proses Produksi Perusahaan

PT Krakatau Steel (Persero) Tbk sebagai pabrik baja terpadu memiliki unit-unit yang saling mendukung yang dapat dilihat pada gambar 15 dan gambar 16, yaitu :



Gambar 4. 2 Aliran Proses Produksi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk  
 Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk



Gambar 4. 3 Skema Proses Produksi PT Krakatau Steel (Persero) Tbk  
 Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk



#### 4.1.2.1 Pabrik Besi Spons (*Direct Reduction Plant / DRP*)

*Direct Reduction Plant* adalah pabrik yang mengolah *Iron Ore Pellet* (IOP) menjadi *Sponge Iron* (besi spons). Mengolah bahan baku bijih besi dalam bentuk *pellet* menjadi besi spons yang berbentuk *pellet* juga. Disini bijih besi (*pellet*) direaksikan dengan gas alam atau bahan padat dalam dua unit *furnace* yang masing-masing berkapasitas 1 juta ton/tahun. Pabrik ini menggunakan proses reduksi langsung atau tanpa dilebur, yaitu dengan mereaksikan *pellet* dengan gas alam dan steam dalam sebuah *reformer*.

Pabrik besi spons dengan teknologi HYL-I dari Meksiko yang mulai beroperasi tahun 1979. Unit ini beroperasi dengan menggunakan 4 model. Tiap model mempunyai empat buah reaktor dengan proses *fixed batch*. Unit ini mempunyai kapasitas produksi satu juta ton besi spons per tahun. Kapasitas reaktor 200 ton per *batch* dan tingkat metalisasi 88-89%. Selama tahun 2002, HYL-I tidak beroperasi atau diberhentikan operasinya karena umur ekonomisnya yang sudah habis dan teknologinya yang *obsolete* (usang), sementara HYL-II diberhentikan dalam proses pembangunan karena ketika sedang masa pembangunan HYL-II teknologi HYL-III telah muncul sehingga pembangunan HYL-II segera diberhentikan dan PT Krakatau Steel (Persero) Tbk segera mengadopsi teknologi HYL-III.

Pabrik besi spons dengan teknologi HYL-III dari Meksiko yang lebih canggih dari HYL-I mulai beroperasi tahun 1994. Unit ini beroperasi dengan menggunakan dua reaktor tegak dengan proses kontinyu. HYL-III mempunyai kapasitas produksi 1,35 juta ton besi spons per tahun, untuk memenuhi kebutuhan besi spons tambahan maka sedang dibangun *Blast Furnace* dengan kapasitas 2 juta ton per tahun dan pabrik ini direncanakan akan mulai beroperasi di pertengahan tahun 2013. Dengan teknologi proses kontinyu 170 ton spons atau hour (1993). Tingkat pencapaian metalisasi 91-92%. Besi spons yang dihasilkan memiliki komposisi kimia :

1. Fe: 88-91% C: 1,5-2,5% SiO<sub>2</sub>: 1,25-3,43% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 0,61-1,63%  
CaO: 0,2 – 0,21% MgO: 0,31-1,62% P: 0,014-0,027%  
Cu: 0,001-0,004%

2. Kotoran (oksidasi–oksidasi lanjut) : 0,1-0,5%
3. Tingkat metalisasi : 88-90.

Proses Reformasi adalah proses reaksi antara natural gas dengan *steam* yang terjadi di dalam pipa–pipa katalis di *reformer*. proses reduksi adalah proses reaksi bijih besi dan gas proses yang terjadi di dalam reaktor. Sistem penunjang pada proses Hyl-III dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 4. 1 Fasilitas Utama Pabrik Besi Spons**

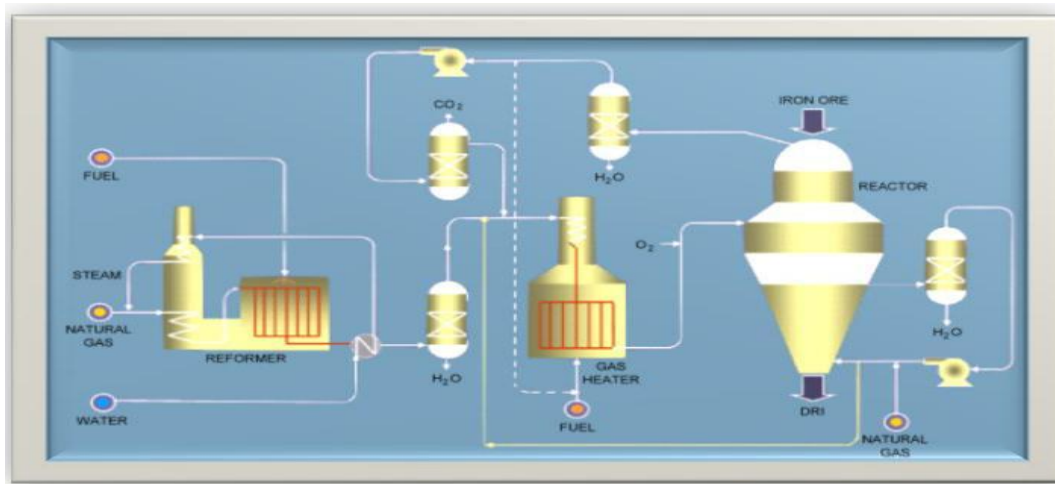
Nama Perusahaan		Fasilitas Utama
HYL-I	Kapasitas 1.000.000 mtpy	<i>Reformer</i>
	<i>OP. Rate</i> 500.000 mtpy	<i>Cooling System</i>
	Teknologi	<i>Primary Reduction</i>
	1. Hylsa (Mexico)	<i>Secondary Reduction</i>
	2. Ferrostaal (Germany)	<i>Reactor</i>
HYL-III	Kapasitas Desain 2.000.000 mtpy	Reformer (Rekondisi ex: HYL-I)
	Teknologi:	Heat Reuparator
	1. Hylsa (Mexico)	Gas Heater
	2. Ferrostaal (Germany)	Reactor

**Sumber :** PT Krakatau Steel (Persero) Tbk

**Tabel 4. 2 Sistem Penunjang Proses HYL- III**

Sistem Penunjang Proses HYL-III	
1. CO2 <i>absorption system</i>	7. <i>Hydraulic System</i>
2. <i>Process Cooling Water System</i>	8. <i>Sulfur Injection System</i>
3. <i>Equipment Cooling Water System</i>	9. <i>Iron One Pellet Handling System</i>
4. <i>Steam System</i>	10. <i>Spons Handling System</i>
5. <i>Inert Gas System</i>	11. <i>Emergency Generator</i>
6. <i>Instrument Air System</i>	

**Sumber :** PT Krakatau Steel (Persero) Tbk



**Gambar 4. 4 Proses Produksi Pabrik Besi Spons**

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk

Hasil produksi dari pabrik besi *spons* digunakan sebagai bahan baku pembuatan baja yang nantinya akan dikirim ke *Slab Steel Plant* dan *Billet Steel Plant* berupa *slab* dan *billet*.

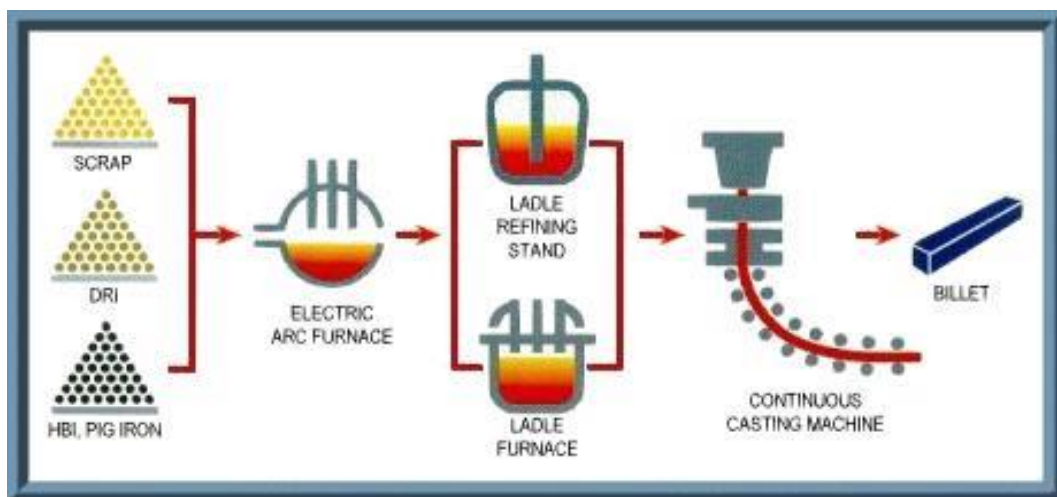
#### **4.1.2.2 Pabrik Billet Baja (*Billet Steel Plant/ BSP*)**

Pabrik *Billet* baja adalah pabrik yang membuat baja dalam bentuk batangan yang digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan baja profil, baja tulang beton, dan baja kawat. Bahan baku pabrik ini adalah besi spons, besi tua (*scrap*), dan paduan *ferro* yang dilebur dan diolah di dalam dapur listrik (*Electric Arc Furnace*) untuk dicairkan. Setelah mencair, selanjutnya baja dituang dalam cetakan atau sebuah mesin pengecoran kontinyu (*Continuous Casting Machine*) sehingga menjadi billet baja. Pabrik BSP mempunyai empat buah dapur listrik dengan kapasitas 65 ton baja cair atau *Billet Continuous Casting*. Kapasitas pabrik BSP adalah 600.000 ton/tahun. Pabrik BSP didukung oleh fasilitas produksi yang ada pada Tabel 4. Pabrik ini menggunakan sumber radioaktif untuk mengukur level dari baja cair. Penampang *billet* pada pabrik baja ini diproduksi dalam tiga macam ukuran yaitu 110 x 110 mm, 120 x 120 mm dan 130 x 130 mm dengan standar panjang 9 m dan 12 m. Hasil dari pengolahan pabrik *billet* baja ini dipakai untuk bahan baku *wire rod bar* dan *section mill*. Gambaran proses produksi dijelaskan pada Gambar 18.

**Tabel 4. 3 Fasilitas Utama Pabrik Billet**

<b>Nama Pabrik</b>	<b>Fasilitas Umum</b>	<b>Berdiri Tahun</b>
<i>Billet Steel Plant</i>	<i>EHF (4X65)</i>	1978
Dengan Kapasitas Produksi 675.000 Mtpy	<i>2 X 60/66 MVA UHP</i> <i>2 X 30/36 MVA UHP</i>	
Teknologi yang digunakan	<i>Ladle Furnace</i>	1984
1. ManGHH	<i>Water Colling Panel</i>	1987
(Jerman)	<i>Tundish</i>	1978
2. CCM (Swiss)	<i>Continious Casting Machine (CCM) dengan 2 mesin</i>	1978

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk



**Gambar 4. 5 Proses Pembuatan Baja Billet**

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk

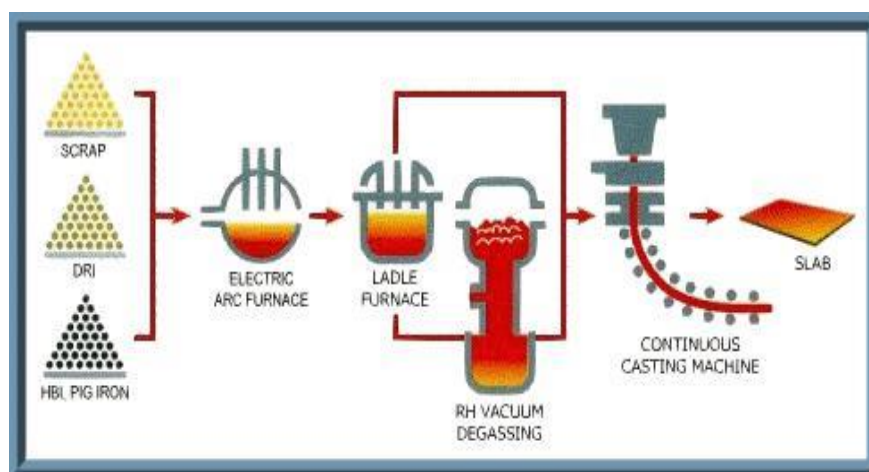


**Gambar 4. 6 Hasil Akhir Produksi Pabrik Billet Baja**

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk

#### 4.1.2.3 Pabrik Slab Baja (*Slab Steel Plant / SSP*)

PT Krakatau Steel (Persero) Tbk memiliki dua pabrik baja *slab*, yaitu *Slab Steel Plant I (SSP I)* yang dibangun tahun 1982 dan *Slab Steel Plant II (SSP II)* yang dibangun tahun 1993. SSP I yang dibangun dengan menggunakan teknologi pembuatan baja *ManGHH* dan *Concast* ini, mempunyai empat dapur baja listrik yang masing-masing berkapasitas 130 ton/heat dan dua mesin *concast* (mesin tuang kontinyu) serta *ladle furnace*. SSP II dibangun dengan teknologi pembuatan baja dari *Voest Alpine-Austria* memiliki dua dapur baja listrik, satu mesin *concast*, *ladle furnace*, dan *RH- vacuum degassing*.



Gambar 4. 7 Aliran Proses Produksi Slab Steel Plant

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk

Tabel 4. 4 Fasilitas Utama Pabrik Baja Slab

Nama Pabrik	Fasilitas Umum	Selesai di bangun
<i>Slab Steel Plant</i>	EAF ( 4x130 )-80MVA UHP	1983
Dengan Kapasitas <i>design</i> : 1.000.000 mtpy	<i>Ladle Furnace</i>	1997
Teknologi yang digunakan	<i>Tundish</i>	1983
	<i>Mould</i>	1983
1. Man GHH (Germany)	2 Buah CCM	1983, 1993 (modifikasi)
2. CCM (Germany)	<i>Scafer</i>	1993
<i>Slab Steel Plant 2</i>	EAF ( 4x130 )-90MVA UHP	1993
Dengan Kapasitas <i>design</i> : 800.000 mtpy	<i>Ladle Furnace</i>	1993
Teknologi yang digunakan	<i>Tundish</i>	1993
	<i>Mould</i>	1993
VAI (Austria)	Sebuah CCM dan <i>vacuum degassing</i>	1993

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk



**Gambar 4. 8 Hasil Akhir Produksi Pabrik Slab Steel Plant**

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk

#### **4.1.2.4 Pabrik Baja Lembaran Panas (*Hot Strip Mill / HSM*)**

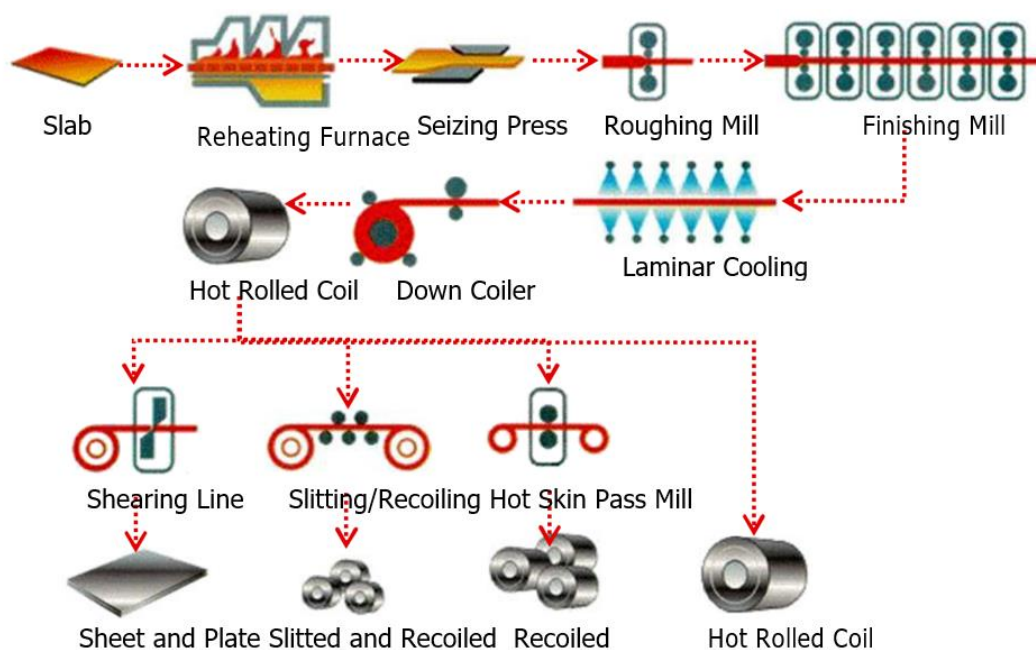
Pabrik *Hot Rolling Mill* atau yang lebih dikenal dengan *Hot Strip Mill* (HSM) merupakan salah satu fasilitas produksi PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. yang berfungsi untuk menghasilkan produk baja lembaran panas atau *hot rolled coil* (HRC). Pabrik HSM mulai beroperasi sejak 23 Februari 1983 bersamaan dengan jalur flat produk lainnya yakni pabrik SSP. Kapasitas pabrik HSM pada saat dibangun adalah sebesar 1,2 juta ton dengan menggunakan teknologi dari SMS-Jerman. Seiring dengan umur mesin yang semakin menua maka pada tahun 2011 dilakukan revitalisasi pada beberapa *work center* yang meningkatkan kapasitas terpasang menjadi 2,4 juta ton.

Proses produksi HRC dilakukan dalam kondisi panas dengan cara dirolling (reduksi) melalui beberapa *work center* sehingga menghasilkan produk yang diinginkan. Pengerjaan *hot rolling* dilakukan pada kondisi diatas temperatur rekristalisasi, sehingga logam tetap lunak dan mudah untuk dibentuk. Keuntungan yang didapatkan dari pengerjaan secara *hot rolling* adalah proses pengerjaan yang cepat dengan tenaga yang minim serta memperoleh struktur logam yang halus dan homogen, akan tetapi pengerjaan jenis ini mempunyai kekurangan yakni *surface quality* yang kurang baik akibat terjadinya proses oksidasi serta ketelitian dimensi yang sulit untuk dicapai. Sehingga pada aplikasi produk tertentu (misalkan untuk

otomotif, enamel dll) diperlukan proses lanjutan (*cold rolling*) untuk memperbaiki kualitas permukaan dan ketelitian dimensi.

Produk *hot rolled coil* (HRC) yang dihasilkan pabrik HSM secara umum dikirim secara langsung (*direct shipment*) ke konsumen, akan tetapi pada beberapa aplikasi produk diperlukan proses lanjutan seperti proses *trimming*, *slitting*, *recoiling*, *skin pass*, *shearing*, *pickling*, *quenching* maupun *shot blasting*. Beberapa proses lanjutan tersebut sebagian besar diproses dalam fasilitas internal pabrik yakni di Shearing Line, Skin Pass dan CPL, selain itu untuk beberapa proses dikerjakan oleh pihak eksternal yakni di CHC dan Bumi Kaya. Produk HRC selain dijual, juga menjadi bahan baku pabrik CRM dengan kebutuhan  $\pm 60$  ribu ton per bulan, sehingga kehandalan pabrik HSM dan kualitas produk HRC harus senantiasa terjaga. Untuk mewujudkan hal ini, maka perusahaan melakukan berbagai upaya perawatan seperti halnya *daily inspection*, *preventive maintenance*, *overhaul* dll, sedangkan guna menjaga kualitas produk perusahaan menerapkan sistem kebijakan mutu dan melakukan sertifikasi terhadap produk yang dihasilkan seperti SNI, JIS, ASTM, SIRIM, ASHA, BS, DIN, API dll.

Berikut ini adalah tahap-tahap proses produksi di *Hot Strip Mill* (HSM):



**Gambar 4. 9** Proses Produksi Hot Strip Mill (HSM)

#### 1. Pemanasan Slab (*Reheating Furnace*)

Proses produksi HRC dimulai dari proses pemanasan ulang slab di *reheating furnace* hingga mencapai temperatur 1250°C dan menjaga temperatur tersebut sampai seluruh struktur logam menjadi fasa austenit secara homogen. Pemanasan slab ini bertujuan agar slab menjadi lunak sehingga memudahkan ketika proses rolling, selain itu juga untuk melarutkan unsur karbida dan nitrida. Proses pemanasan slab dilakukan secara bertahap yang terbagi menjadi 3 area yakni *preheating furnace area* dengan pemanasan hingga temperatur 600°C, *heating area* yang dapat memanaskan hingga mencapai temperatur 1200°C dan *soaking area* dengan temperatur yang mencapai hingga 1280°C. Proses pemanasan slab berlangsung kurang lebih selama 2,5 jam. Pada proses ini akan terbentuk scale di permukaan slab akibat proses oksidasi dan menjadi salah satu faktor pengurang yield, akan tetapi terbentuknya scale ini mempunyai keuntungan yakni dapat mengurangi terjadinya cacat permukaan.

#### 2. Pembersihan Scale (*Water Descaler*)

Sebelum memasuki proses selanjutnya, slab yang keluar dari *reheating furnace* segera akan membentuk scale pada permukaan akibat proses difusi oksigen ke dalam lapisan besi oksida, sehingga sebelum diproses pada lini selanjutnya perlu dilakukan pembersihan / pembuangan scale terlebih dahulu. Pembersihan scale dilakukan pada unit *water descaler* dengan menggunakan sistem *water jet* biasa tanpa partikel abrasive dengan tekanan mencapai 200 bar yang disemprotkan di atas permukaan slab sehingga scale akan terkelupas dan jatuh ke kanal.

#### 3. Reduksi Lebar Slab (*Slab Seizing Press*)

Proses selanjutnya adalah proses reduksi kelebaran slab yang dilakukan pada work center *Slab Seizing Press*. Reduksi / pengurangan lebar slab ini bertujuan untuk mengurangi beban proses pengurangan lebar oleh *Edger Roll* serta untuk mengurangi jumlah variasi lebar slab (format lebar) yang dibuat oleh pabrik SSP ataupun yang didatangkan secara impor.

#### 4. Reduksi Tebal Awal (*Roughing Mill*)

Setelah melalui proses reduksi lebar, slab selanjutnya memasuki proses pertama reduksi tebal yang dilakukan pada unit *roughing mill*. Proses reduksi tebal



slab berlangsung secara *reversing (pass per pass)* dari ketebalan 200-230 mm menjadi *transfer bar (voorband)* yang mempunyai kisaran ketebalan 30-40 mm sesuai dengan kebutuhan proses selanjutnya.

#### 5. Pemotongan Kepala-Ekor (*Crop Shear*)

Setelah menjadi *transfer bar*, maka ujung kepala dan ekor bentuknya akan sedikit melengkung ke atas dan tidak rata sehingga bagian ini perlu dilakukan pemotongan terlebih dahulu sebelum proses selanjutnya. Hal ini perlu dilakukan karena ujung yang tidak beraturan dan melengkung dapat menyebabkan terjadinya gagal proses (*coble*) yang dapat mengurangi produktivitas. *Coble* dapat terjadi karena ujung strip yang tidak rata dan cenderung melengkung akan menabrak *work roll*, sehingga karena ujung strip tidak pas berada ditengah-tengah antar dua *work roll* (tidak melewati gap antar *work roll*), akibatnya strip yang didorong oleh *pinch roll* akan terlipat, sehingga terjadi *coble*. Strip yang tidak rata juga dapat menyebabkan proses pembebanan yang diterima *work roll* tidak terpusat yang dapat menyebabkan umur pakai *work roll* menjadi lebih pendek dan bahkan dapat menyebabkan cacat pada *work roll*. Proses pemotongan kepala dan ekor dilakukan di unit *crop shear* yang terletak antara *roughing mill* dan *finishing mill*.

#### 6. Pengerolan Akhir (*Finishing Mill*)

Setelah slab (tebal 200 mm) menjadi *transfer bar* (tebal 30-40 mm), selanjutnya *transfer bar* akan dilakukan reduksi tebal untuk menyesuaikan dengan ketebalan yang diinginkan (tebal 1,8 - 25 mm). Pada unit *finishing mill* inilah kualitas akhir strip yang diproduksi terutama dari segi ketebalan strip ditentukan. Proses *reduksi / pengurangan tebal (% reduction) transfer bar* atau strip didistribusikan pada 6 stand pengerolan secara proporsional, proporsi reduksi ketebalan akan semakin kecil ketika semakin mendekati stand akhir yang berfungsi sebagai penentu spesifikasi tebal produk.

#### 7. Pendinginan (*Laminar Cooling*)

Setelah dilakukan proses rolling terakhir (dimensi sudah terbentuk), maka selanjutnya dilakukan pendinginan secara mendadak (cepat) yang dilakukan terhadap permukaan strip yang keluar dari *finishing mill* dengan menggunakan proses *quenching* (pendinginan dengan air yang tidak bertekanan) pada unit *Laminar cooling*. Proses pendinginan berlangsung secara otomatis dengan

menggunakan bantuan piranti sensor, sehingga ketika ada strip yang akan melewati *laminar cooling*, air akan dipancarkan sepanjang sistem dan ketika strip selesai melewati sistem *laminar cooling*, aliran air akan dihentikan. Proses pendinginan ini dilakukan dengan tujuan untuk mendinginkan strip yang panas setelah di rolling sebelum digulung, akan tetapi tujuan utama proses pendinginan ini adalah untuk mendapatkan sifat mekanis yang diinginkan dengan cara mengatur jenis fasa akhir dari baja dan ukuran butir berdasar diagram CCT. Strip yang keluar dari *laminar cooling* memiliki temperatur 570-650°C.

#### 8. Penggulungan (*Down Coiler*)

Agar mudah dilakukan penyimpanan dan pengiriman, maka strip yang sudah dirolling selanjutnya digulung menjadi coil pada unit *down coiler*. Hal ini dikarenakan produk yang dihasilkan di pabrik HSM mempunyai panjang sekitar 800 – 1300 m, sehingga menyulitkan proses transfer produk apabila tidak digulung.

#### 9. Transfer Coil, Inspeksi dan *Weighing*

Setelah strip digulung menjadi coil, maka coil akan dipindahkan dalam *down coiler* menuju ke area penyimpanan melalui unit *coil car*, *tilter* dan *conveyor* yang menghubungkan lantai produksi dengan gudang. Coil akan dikeluarkan dari *down coiler* dengan menggunakan *coil car* kemudian diikat pada *bending machine* dengan menggunakan *strapping band* agar gulungan tetap rapat, selanjutnya coil akan dibalik oleh *tilter* kemudian coil akan dipindahkan menuju gudang wip dengan menggunakan *conveyor* dan *overhead crane*.

#### 10. Proses Produksi Tambahan

Produk HRC pada kondisi tertentu menjadi produk akhir yang dapat segera dikirim ke konsumen, namun pada kondisi yang lain produk HRC memerlukan proses tambahan agar memenuhi kebutuhan konsumen. Diantara proses tambahan yang dilakukan antara lain:

##### a. *Shearing*

Merupakan proses tambahan yang dilakukan pada work center *shearing line* SHL 1 maupun SHL 2 untuk memenuhi kebutuhan konsumen berupa baja dalam bentuk lembaran dengan panjang tertentu. Coil akan diproses pada SHL 1 jika tebal

produk lebih dari 3,9 mm (plate), sedangkan coil yang mempunyai ketebalan kurang dari 3,9 mm (sheet) akan dipotong di SHL 2.

b. *Slitting*

Merupakan proses tambahan yang dilakukan pada work center *shearing line* SHL 2 untuk memenuhi kebutuhan konsumen berupa baja dalam bentuk gulungan dengan lebar <700 mm.

c. *Recoiling*

Merupakan proses tambahan yang dilakukan pada work center *shearing line* SHL 2 atau *skin pass* (HSPM) untuk memenuhi kebutuhan konsumen berupa baja dalam bentuk gulungan dengan inner diameter 610 mm ataupun untuk efisiensi proses produksi di lini HSM akibat berat maksimum yang ditetapkan konsumen tidak terlalu besar sehingga produktivitas tetap terjaga.

d. *Skin Pass*

Merupakan proses tambahan yang dilakukan pada work center *hot skin pass mill* (HSPM) untuk memperbaiki kualitas permukaan (*surface quality*) produk pada beberapa aplikasi produk seperti otomotif. Selain itu juga digunakan untuk memperbaiki kualitas permukaan pada produk dengan ketebalan yang tipis, hal ini dikarenakan ketika HSM memproduksi produk dengan tebal yang tipis biasanya permukaan produk yang dihasilkan bergelombang.

e. *Pickling*

Merupakan proses tambahan yang dilakukan pada work center *continuous pickling line* (CPL) untuk membersihkan permukaan *hot rolled* dari scale yang terbentuk selama proses *hot rolling*. Proses tambahan ini biasanya digunakan untuk produk yang digunakan pada segment otomotif.

f. *Shot Blasting*

Merupakan proses tambahan yang dilakukan pada work center eksternal (CHC) untuk membersihkan, memperkuat ataupun melapisi *hot rolled*. Proses tambahan ini biasanya digunakan untuk produk yang digunakan pada segment *ship plate, heavy equipment* dan kendaraan tank.

#### 4.1.2.5 Pabrik Baja Batang Kawat (*Wire Rod Mill / WRM*)

Pabrik batang kawat atau *Wire Rod* beroperasi tahun 1979 dengan kapasitas awal 220.000 ton/tahun, menggunakan teknologi SMS dari Jerman, kapasitasnya meningkat menjadi 300.000 ton/tahun pada tahun 1992 karena penambahan *equipment* dari Morgan USA. Pabrik ini menggunakan bahan setengah jadi dari pabrik *Billet* sebagai bahan baku utama untuk diolah menjadi batang baja kawat. Kapasitas produksi saat ini sebesar 450.000 ton/tahun batang kawat baja. Dengan variasi produk :

1. Batang kawat karbon rendah
2. Batang kawat untuk *graphite electrode* las
3. Batang kawat untuk *cold heading* diameter 5,5mm, 8mm, 10mm, dan 12mm.

Produk-produk pabrik batang kawat juga merupakan bahan baku dari pabrik-pabrik seperti pabrik *mur* dan *baud*, *kawat las*, *kawat paku*, *tali baja*, dan lain sebagainya. Dengan melakukan penimbangan, pencatatan, dan pemeriksaan secara visual serta pengaturan terhadap posisi *billet*, maka *billet* siap dimasukkan ke dalam *furnace* dimana *billet* tersebut dipanaskan dengan temperatur  $\pm 1200^{\circ}\text{C}$ . Setelah proses selesai, *billet* yang telah berubah bentuk menjadi batang kawat didorong dengan alat yang disebut *billet injector*. Kemudian batang kawat didinginkan dengan air dan setelah suhu sesuai batang kawat siap untuk digulung *loop piler*. Pabrik kawat baja ini dilengkapi dengan enam mesin pembuat kawat dan unit pelapis seng. Pabrik ini menghasilkan kawat baja dengan kadar karbon rendah.

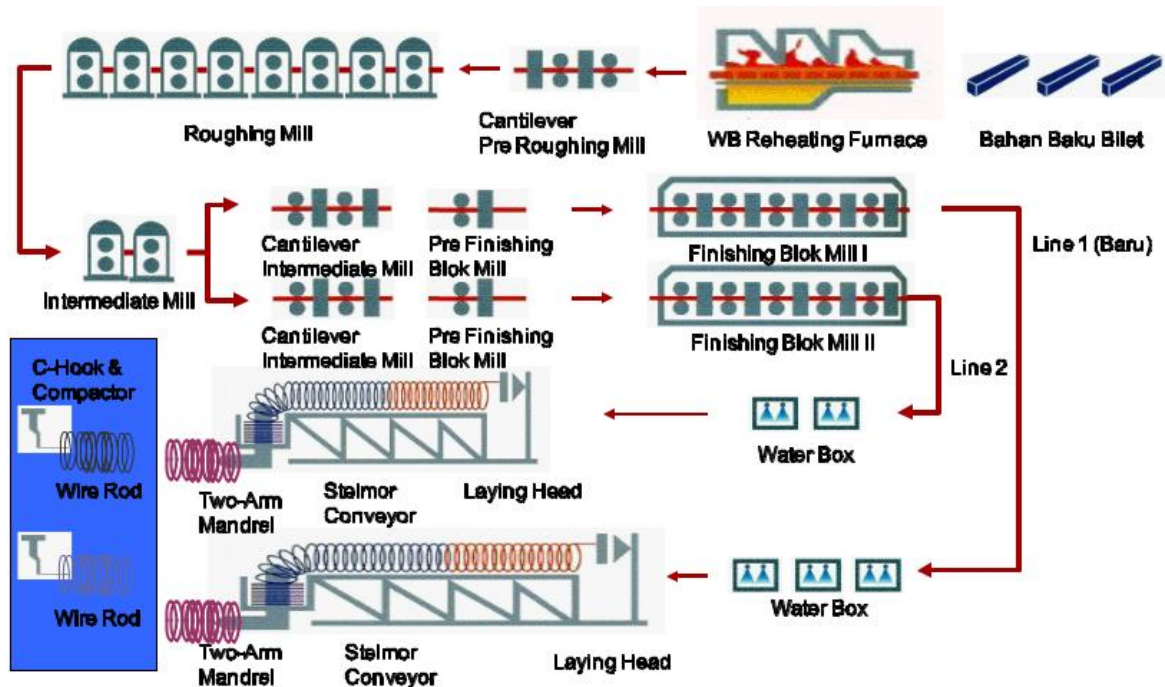
Spesifikasi yang dihasilkan oleh pabrik WRM adalah :

1. Penampang 110 x 110 mm
2. Diameter 5,5 – 14 mm.
3. Panjang 10 m.
4. Berat 900 kg.

Tabel 4. 5 Fasilitas Utama Pabrik Batang Kawat

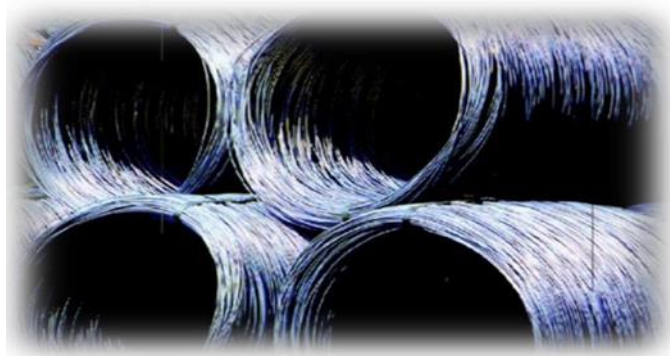
Nama Produk	Fasilitas Pabrik
Wire Rod Mill (WRM)	Furnace
	Roughing Stand
	Rotary Shear
Kapasitas sekarang : 450.000 mtpy	Intermediate Stand
	CD Shear
	10 Finishing Stand
Kapasitas awal : 350.000 mtpy	Side Looper
	Water Box
	Pinch Roll Water Head
	Steiner Conveyor
Teknologi : SMS (Germany) Morgan (USA)	Mandrel
	Transfer Car
	Compactor

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk



Gambar 4. 10 Aliran Proses Produk Wire Rod Mill

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk



**Gambar 4. 11 Hasil Akhir Produksi Wire Rod Mill Plant**  
Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk

#### **4.1.2.6 Pabrik Baja Lembaran Dingin (Cold Rolling Mill / CRM)**

*Cold Rolling Mill* (CRM) adalah bagian dari PT Krakatau Steel (Persero) Tbk yang berdiri pada tanggal 19 Februari 1983 dengan nama PT *Cold Rolling Mill* Indonesia Utama (CRMIU). Luas Pabrik adalah 101.392 m<sup>2</sup> di atas tanah yang luasnya 400.000 m<sup>2</sup>. Peletakan batu pertama untuk pabrik CRM adalah pada tanggal 14 Februari 1984 oleh menteri Perindustrian Indonesia, Ir. Hartanto dan diresmikan oleh Presiden Soeharto pada tanggal 23 Februari 1987 sebagai pabrik baja lembaran dingin pertama yang terdapat di Indonesia.

Pabrik ini diselesaikan tahun 1986 dengan menggunakan teknologi CLECIM dari Perancis. Pabrik Pengerolan Baja Lembaran Dingin atau *Cold Rolling Mill* (CRM) merupakan pabrik yang menghasilkan baja lembaran tipis seperti divisi HSM, tetapi hasil produksinya berdimensi lebih tipis, dengan proses tarik dan tekan yang merupakan pemrosesan lanjutan dari baja produksi HSM. Pabrik CRM memiliki proses pendinginan pada tandem *Cold Reduction Mill* sampai dengan 92% dari ukuran ketebalan semula dari HSM. Proses awal sebelum di tipiskan, baja slab harus dibersihkan terlebih dahulu dengan menggunakan tangki yang berisi dengan HCl, dan kemudian dilakukan proses pemanasan dengan menggunakan BAF dan CAL hingga menghasilkan produk yang diinginkan sesuai permintaan konsumen (*make to order*).

**Tabel 4. 6 Fasilitas Utama Pabrik Baja Lembaran Dingin**

<b>Nama Pabrik</b>	<b>Fasilitas Pabrik</b>
<i>Cold Rolling Mill (CRM)</i>	<i>Continious Picking Line (CPL)</i> <i>Continious Tandem Cold Mill (CRM)</i>
<b>Kapasitas :</b> 950.000 mtpy	<i>Electrolytic Cleaning Line (ECL1)</i> <i>Electrolytic Cleaning Line (ECL2)</i>
<b>Kapasitas awal :</b> 650.000 mtpy	<i>Batch Annealing Furnace (BAF)</i> <i>Continious Annealing Line (CAL)</i>
<b>Teknologi :</b> CLECIM (Prancis)	<i>Temper Pass Mill (TPM)</i> <i>Preparation Line (PRP)</i>
<b>Shearing Line #2</b>	<i>Recoiling Line (REC)</i>
<b>Kapasitas :</b> 165.000 ton	<i>Shearing Line (SHR)</i> <i>Slitting Line (SLT)</i>

Sumber : PT Krakatau Steel (Persero) Tbk

Berikut ini adalah unit-unit produksi yang berada di Pabrik CRM :

a. *Continious Picking Line (CPL)*

Sebelum masuk ke dalam CPL, *coil* yang akan di proses disimpan terlebih dahulu pada gudang penyimpanan (N-1 *yard*) yang terletak pada bagian selatan CPL. CPL berfungsi untuk membersihkan lapisan oksida yang berasal dari permukaan *Hot Rolled Coil (HRC)* yang merupakan produksi pabrik HSM dan menjadi bahan baku bagi pabrik CRM.

b. *Continuous Tandem Cold Mill (CTCM)*

Proses yang terjadi pada CTCM adalah pengurangan ketebalan besi sesuai dengan pesanan yang diinginkan dan permukaan yang halus dan padat tanpa menggunakan proses pemanasan.

c. *Electrolytic Cleaning Line (ECL)*

*Electrolytic Cleaning Line (ECL)* pada dasarnya berfungsi untuk menghilangkan sisa lapisan minyak dan oli yang ada di permukaan lembaran baja. ECL menggunakan arus listrik dengan densitas yang tinggi sehingga proses elektrolisis berlangsung untuk mengangkat dan menghilangkan lapisan minyak dan gemuk.

d. *Batch Annealing Furnace (BAF)*

*Coil* yang telah dirol dingin pada ECL atau CTCM selanjutnya harus dipanaskan dan didinginkan terlebih dahulu secara bertahap di udara (*annealing process*) di tungku *annealing* yang berbentuk lonceng.

e. *Continious Annealing Line (CAL)*

Unit-unit CAL ini berfungsi untuk menghaluskan lembaran baja setelah mengalami proses pengurangan ketebalan di TCM. Struktur Kristal baja mengalami penarikan, pemecahan, dan pengerasan. Dalam proses *annealing* ini lembaran baja dipanaskan sampai dengan suhu 700 °C selama beberapa saat lalu di dinginkan perlahan-lahan.

f. *Temper Pass Mill (TPM)*

Prinsip pengerolan di TPM hampir sama dengan prinsip pengerolan di CTCM, hanya bedanya pada TPM ini ditujukan untuk mendapatkan karakteristik mekanik dan bentuk permukaan tertentu. Serta memperbaiki bentuk lembaran bajanya. Pengukuran ketebalan yang terjadi adalah maksimal 5%.

g. *Cold Rolling Finishing (CRF)*

Lembaran baja yang keluar dari TPM kemudian di proses sesuai dengan permintaan konsumen. *CRM* mempunyai empat pemrosesan akhir, masing-masing proses tersebut adalah:

1. *Preparation Line (PRP)*
2. *Recoiling Line*
3. *Shearing Line*
4. *Slitting Line*

## 4.2 Tahap Measure

Pada tahap *measure* akan dilakukan perhitungan parameter OEE yaitu *availability*, *performance rate* dan *quality rate* pada mesin-mesin utama pabrik *Hot Strip Mill (HSM)* yaitu mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*. Selanjutnya dilakukan pengukuran dan identifikasi *Six Big Losses* tiap mesin berdasarkan pengukuran OEE yang telah dilakukan di tahap sebelumnya. Data yang digunakan untuk tahap *measure* adalah data untuk periode Januari 2019 hingga Desember 2019.



#### 4.2.1 Rekapitulasi Waktu Kerusakan Mesin

Pada sub bab ini akan dijabarkan mengenai waktu *downtime* mesin-mesin utama pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) yaitu mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*. Rekapitulasi data *downtime* mesin adalah sebagai berikut.

**Tabel 4. 7 Rekapitulasi Downtime Mesin Reheating Furnace Tahun 2019**

Bulan	Calender Time (jam)	Shutdo wn Time (jam)	Worki ng Time (jam)	Unload ing Time (jam)	Loadin g Time (jam)	Breakd own Time (jam)	Operating Time (jam)
Jan-19	669,60	40,73	628,88	3,18	625,70	43,03	582,66
Feb-19	604,80	37,53	567,27	3,63	563,64	33,71	529,93
Mar-19	669,60	44,25	625,35	4,19	621,17	29,21	591,95
Apr-19	648,00	38,16	609,84	35,31	574,53	37,40	537,13
Mei-19	669,60	44,25	625,35	4,19	621,17	26,32	594,85
Jun-19	648,00	42,18	605,82	39,90	565,92	36,59	529,33
Jul-19	669,60	30,74	638,87	26,73	612,14	43,13	569,00
Agu-19	669,60	62,43	607,17	122,76	484,41	26,69	457,72
Sep-19	648,00	39,75	608,25	71,85	536,40	31,57	504,83
Okt-19	669,60	45,17	624,44	25,05	599,39	27,97	571,42
Nov-19	648,00	40,50	607,50	33,09	574,41	36,34	538,07
Des-19	669,60	32,30	637,31	100,73	536,58	31,08	505,50
<b>Rata-rata</b>	<b>657,00</b>	<b>41,50</b>	<b>615,50</b>	<b>39,22</b>	<b>576,29</b>	<b>33,59</b>	<b>542,70</b>

Sumber : Dokumentasi Perusahaan

Tabel di atas merupakan rekapitulasi downtime untuk mesin *Reheating Furnace* periode Januari hingga Desember 2019.

**Tabel 4. 8 Rekapitulasi Downtime Mesin Sizing Press Tahun 2019**

<b>Bulan</b>	<b>Calender Time (jam)</b>	<b>Shutdo wn Time (jam)</b>	<b>Worki ng Time (jam)</b>	<b>Unloadi ng Time (jam)</b>	<b>Loadi ng Time (jam)</b>	<b>Breakdo wn Time (jam)</b>	<b>Operati ng Time (jam)</b>
<b>Jan-19</b>	616,58	138,87	477,72	68,16	454,18	52,24	401,94
<b>Feb-19</b>	601,90	129,22	472,68	80,47	452,34	69,89	382,46
<b>Mar-19</b>	614,17	112,06	502,11	67,39	415,92	87,51	328,41
<b>Apr-19</b>	589,49	123,54	465,96	77,86	433,81	81,98	351,83
<b>Mei-19</b>	629,50	127,99	501,51	42,21	404,73	109,39	295,34
<b>Jun-19</b>	634,05	117,82	516,23	41,32	414,10	104,99	309,11
<b>Jul-19</b>	582,06	101,81	480,25	65,40	443,44	70,50	372,94
<b>Agu-19</b>	582,30	124,86	457,45	67,50	444,27	75,89	368,38
<b>Sep-19</b>	616,54	137,83	478,70	56,73	402,59	78,69	323,90
<b>Okt-19</b>	632,42	117,12	515,30	67,04	401,61	75,34	326,27
<b>Nov-19</b>	612,36	125,56	486,81	43,71	424,74	117,69	307,05
<b>Des-19</b>	595,70	123,17	472,53	36,52	403,94	62,31	341,62
<b>Rata-rata</b>	<b>608,92</b>	<b>123,32</b>	<b>485,60</b>	<b>59,53</b>	<b>424,64</b>	<b>82,20</b>	<b>342,44</b>

Sumber : Dokumentasi Perusahaan

Tabel di atas merupakan rekapitulasi downtime untuk mesin *Sizing Press* periode Januari hingga Desember 2019.

**Tabel 4. 9 Rekapitulasi Downtime Mesin Roughing Mill Tahun 2019**

<b>Bulan</b>	<b>Calender Time (jam)</b>	<b>Shutdo wn Time (jam)</b>	<b>Worki ng Time (jam)</b>	<b>Unloadi ng Time (jam)</b>	<b>Loadi ng Time (jam)</b>	<b>Breakdo wn Time (jam)</b>	<b>Operati ng Time (jam)</b>
<b>Jan-19</b>	603,05	151,90	451,15	31,32	469,76	146,39	323,37
<b>Feb-19</b>	629,01	158,87	470,14	68,69	462,27	106,01	356,26
<b>Mar-19</b>	633,28	163,03	470,25	65,49	431,33	148,11	283,22

<b>Bulan</b>	<b>Calender Time (jam)</b>	<b>Shutdown Time (jam)</b>	<b>Working Time (jam)</b>	<b>Unloading Time (jam)</b>	<b>Loading Time (jam)</b>	<b>Breakdown Time (jam)</b>	<b>Operating Time (jam)</b>
<b>Apr-19</b>	600,75	159,56	441,19	36,89	407,19	101,89	305,30
<b>Mei-19</b>	625,88	156,09	469,79	56,15	414,54	119,82	294,71
<b>Jun-19</b>	608,01	212,36	395,65	81,18	452,54	144,94	307,60
<b>Jul-19</b>	618,60	188,80	429,79	34,01	406,16	109,79	296,37
<b>Agu-19</b>	625,88	206,82	419,06	79,14	476,45	117,89	358,56
<b>Sep-19</b>	640,77	218,13	422,64	72,01	437,44	126,48	310,95
<b>Okt-19</b>	628,07	185,29	442,78	81,77	488,93	146,61	342,32
<b>Nov-19</b>	641,80	190,85	450,95	83,64	445,31	154,24	291,07
<b>Des-19</b>	606,06	200,57	405,49	31,30	428,23	104,68	323,55
<b>Rata-rata</b>	<b>621,76</b>	<b>182,69</b>	<b>439,07</b>	<b>60,13</b>	<b>443,35</b>	<b>127,24</b>	<b>316,11</b>

Sumber : Dokumentasi Perusahaan

Tabel di atas merupakan rekapitulasi downtime untuk mesin *Roughing Mill* periode Januari hingga Desember 2019.

**Tabel 4. 10 Rekapitulasi Downtime Mesin Finishing Mill Tahun 2019**

<b>Bulan</b>	<b>Calender Time (jam)</b>	<b>Shutdown Time (jam)</b>	<b>Working Time (jam)</b>	<b>Unloading Time (jam)</b>	<b>Loading Time (jam)</b>	<b>Breakdown Time (jam)</b>	<b>Operating Time (jam)</b>
<b>Jan-19</b>	636,29	160,55	475,75	58,36	484,40	157,77	326,63
<b>Feb-19</b>	610,76	173,92	436,84	38,16	497,25	173,60	323,65
<b>Mar-19</b>	649,29	211,13	438,16	79,67	525,02	215,63	309,39
<b>Apr-19</b>	609,96	206,91	403,05	79,38	513,65	219,40	294,25
<b>Mei-19</b>	603,58	225,50	378,08	44,61	489,18	193,65	295,53
<b>Jun-19</b>	639,57	164,52	475,04	42,33	445,78	158,41	287,37
<b>Jul-19</b>	646,87	198,04	448,83	27,48	522,99	158,72	364,27

<b>Bulan</b>	<b>Calender Time (jam)</b>	<b>Shutdo wn Time (jam)</b>	<b>Worki ng Time (jam)</b>	<b>Unloadi ng Time (jam)</b>	<b>Loadi ng Time (jam)</b>	<b>Breakdo wn Time (jam)</b>	<b>Operati ng Time (jam)</b>
<b>Agu-19</b>	641,07	239,81	401,26	38,80	438,82	162,14	276,68
<b>Sep-19</b>	602,64	157,57	445,08	59,52	527,04	208,77	318,26
<b>Okt-19</b>	611,86	177,74	434,13	74,70	469,94	196,32	273,62
<b>Nov-19</b>	621,80	205,48	416,32	35,96	459,69	207,96	251,73
<b>Des-19</b>	606,54	177,83	428,71	46,30	469,94	204,10	265,83
<b>Rata-rata</b>	<b>623,35</b>	<b>191,58</b>	<b>431,77</b>	<b>52,11</b>	<b>486,97</b>	<b>188,04</b>	<b>298,93</b>

Sumber : Dokumentasi Perusahaan

Tabel di atas merupakan rekapitulasi downtime untuk mesin *Finishing Mill* periode Januari hingga Desember 2019.

**Tabel 4. 11 Rekapitulasi Downtime Mesin Laminar Cooling Tahun 2019**

<b>Bulan</b>	<b>Calender Time (jam)</b>	<b>Shutdo wn Time (jam)</b>	<b>Worki ng Time (jam)</b>	<b>Unloadi ng Time (jam)</b>	<b>Loadin g Time (jam)</b>	<b>Breakdo wn Time (jam)</b>	<b>Operati ng Time (jam)</b>
<b>Jan-19</b>	608,64	96,86	511,78	24,50	423,68	187,68	236,00
<b>Feb-19</b>	606,49	80,84	525,65	44,73	437,75	210,66	227,10
<b>Mar-19</b>	609,18	58,37	550,81	23,41	467,41	180,87	286,54
<b>Apr-19</b>	614,50	60,47	554,03	39,91	464,88	165,46	299,43
<b>Mei-19</b>	618,04	64,12	553,92	49,42	498,18	213,25	284,92
<b>Jun-19</b>	620,04	98,67	521,37	49,04	434,30	165,60	268,70
<b>Jul-19</b>	625,07	97,90	527,17	19,90	463,39	180,17	283,22
<b>Agu-19</b>	601,96	79,05	522,90	25,02	488,43	181,24	307,19
<b>Sep-19</b>	601,59	76,68	524,90	16,48	427,32	177,33	249,98
<b>Okt-19</b>	622,95	83,83	539,12	46,59	441,46	187,47	253,98
<b>Nov-19</b>	607,86	44,67	563,20	42,44	471,65	206,35	265,30

Bulan	<i>Calendar Time (jam)</i>	<i>Shutdown Time (jam)</i>	<i>Working Time (jam)</i>	<i>Unloading Time (jam)</i>	<i>Loading Time (jam)</i>	<i>Breakdown Time (jam)</i>	<i>Operating Time (jam)</i>
Des-19	617,35	48,60	568,75	34,79	446,76	164,64	282,12
<b>Rata-rata</b>	<b>612,80</b>	<b>74,17</b>	<b>538,63</b>	<b>34,68</b>	<b>455,43</b>	<b>185,06</b>	<b>270,37</b>

Sumber : Dokumentasi Perusahaan

Tabel di atas merupakan rekapitulasi downtime untuk mesin *Laminar Cooling* periode Januari hingga Desember 2019.

Tabel 4. 12 Rekapitulasi Downtime Mesin *Down Coiler* Tahun 2019

Bulan	<i>Calendar Time (jam)</i>	<i>Shutdown Time (jam)</i>	<i>Working Time (jam)</i>	<i>Unloading Time (jam)</i>	<i>Loading Time (jam)</i>	<i>Breakdown Time (jam)</i>	<i>Operating Time (jam)</i>
Jan-19	611,67	112,17	499,50	35,50	472,79	169,23	303,56
Feb-19	623,23	107,47	515,76	21,96	464,64	165,59	299,05
Mar-19	602,50	110,34	492,16	55,94	430,28	142,15	288,13
Apr-19	614,85	132,36	482,49	49,08	460,95	131,78	329,17
Mei-19	619,08	102,75	516,33	45,93	451,29	190,53	260,76
Jun-19	627,34	122,91	504,43	30,46	422,32	182,07	240,24
Jul-19	618,86	130,71	488,15	24,15	439,86	138,15	301,71
Agu-19	623,64	106,12	517,52	32,82	467,34	156,02	311,32
Sep-19	617,64	111,51	506,13	45,39	408,09	163,14	244,94
Okt-19	627,17	158,92	468,25	59,08	426,72	190,61	236,12
Nov-19	622,99	155,57	467,42	54,40	404,66	191,20	213,46
Des-19	603,53	101,61	501,92	22,49	485,75	183,45	302,30
<b>Rata-rata</b>	<b>617,71</b>	<b>121,04</b>	<b>496,67</b>	<b>39,77</b>	<b>444,56</b>	<b>166,99</b>	<b>277,56</b>

Sumber : Dokumentasi Perusahaan

Tabel di atas merupakan rekapitulasi downtime untuk mesin *Down Coiler* periode Januari hingga Desember 2019.

#### 4.2.2 Perhitungan Availability Rate

*Availability* merupakan parameter yang menunjukkan persentase waktu ketersediaan peralatan pada saat melakukan operasi dibandingkan waktu keseluruhan (*loading time*) yang dapat dirumuskan sesuai dengan persamaan 4.1 dan persamaan 4.2.

$$\text{Operating Time} = \text{Loading Time} - \text{Breakdown Time} \quad (4.1)$$

$$\text{Availability} = \frac{\text{Operating Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (4.2)$$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan *availability* pada mesin *Reheating Furnace* untuk bulan Januari 2019

$$\text{Operating Time} = \text{Loading Time} - \text{Breakdown Time}$$

$$\text{Operating Time}_{\text{Januari}} = 625,70 \text{ jam} - 43,03 \text{ jam} = 582,66$$

$$\text{Availability} = \frac{\text{Operating Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\%$$

$$\text{Availability} = \frac{582,66}{625,70} \times 100\% = 93\%$$

Berikut ini ditunjukkan hasil rekapitulasi pengukuran *availability* pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* pada tahun 2019.

Tabel 4. 13 Perhitungan Availability Mesin Reheating Furnace

Bulan	Operating Time (jam)	Loading Time (jam)	Availability Rate
Jan-19	582,66	625,70	93,12%
Feb-19	529,93	563,64	94,02%
Mar-19	591,95	621,17	95,30%
Apr-19	537,13	574,53	93,49%
Mei-19	594,85	621,17	95,76%
Jun-19	529,33	565,92	93,53%
Jul-19	569,00	612,14	92,95%
Agu-19	457,72	484,41	94,49%
Sep-19	504,83	536,40	94,11%
Okt-19	571,42	599,39	95,33%
Nov-19	538,07	574,41	93,67%

<b>Bulan</b>	<b><i>Operating Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Availability Rate</i></b>
<b>Des-19</b>	505,50	536,58	94,21%
<b>Rata-rata</b>			<b>94,17%</b>

**Tabel 4. 14 Perhitungan Availability Mesin Sizing Press**

<b>Bulan</b>	<b><i>Operating Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Availability Rate</i></b>
<b>Jan-19</b>	401,94	454,18	88,50%
<b>Feb-19</b>	382,46	452,34	84,55%
<b>Mar-19</b>	328,41	415,92	78,96%
<b>Apr-19</b>	351,83	433,81	81,10%
<b>Mei-19</b>	295,34	404,73	72,97%
<b>Jun-19</b>	309,11	414,10	74,65%
<b>Jul-19</b>	372,94	443,44	84,10%
<b>Agu-19</b>	368,38	444,27	82,92%
<b>Sep-19</b>	323,90	402,59	80,45%
<b>Okt-19</b>	326,27	401,61	81,24%
<b>Nov-19</b>	307,05	424,74	72,29%
<b>Des-19</b>	341,62	403,94	84,57%
<b>Rata-rata</b>			<b>81,53%</b>

**Tabel 4. 15 Perhitungan Availability Mesin Roughing Mill**

<b>Bulan</b>	<b><i>Operating Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Availability Rate</i></b>
<b>Jan-19</b>	323,37	469,76	68,84%
<b>Feb-19</b>	356,26	462,27	77,07%
<b>Mar-19</b>	283,22	431,33	65,66%
<b>Apr-19</b>	305,30	407,19	74,98%
<b>Mei-19</b>	294,71	414,54	71,09%
<b>Jun-19</b>	307,60	452,54	67,97%
<b>Jul-19</b>	296,37	406,16	72,97%
<b>Agu-19</b>	358,56	476,45	75,26%
<b>Sep-19</b>	310,95	437,44	71,09%
<b>Okt-19</b>	342,32	488,93	70,01%
<b>Nov-19</b>	291,07	445,31	65,36%
<b>Des-19</b>	323,55	428,23	75,56%

Bulan	<i>Operating Time (jam)</i>	<i>Loading Time (jam)</i>	<i>Availability Rate</i>
<b>Rata-rata</b>			<b>71,32%</b>

Tabel 4. 16 Perhitungan *Availability* Mesin *Finishing Mill*

Bulan	<i>Operating Time (jam)</i>	<i>Loading Time (jam)</i>	<i>Availability Rate</i>
<b>Jan-19</b>	326,63	484,40	67,43%
<b>Feb-19</b>	323,65	497,25	65,09%
<b>Mar-19</b>	309,39	525,02	58,93%
<b>Apr-19</b>	294,25	513,65	57,29%
<b>Mei-19</b>	295,53	489,18	60,41%
<b>Jun-19</b>	287,37	445,78	64,47%
<b>Jul-19</b>	364,27	522,99	69,65%
<b>Agu-19</b>	276,68	438,82	63,05%
<b>Sep-19</b>	318,26	527,04	60,39%
<b>Okt-19</b>	273,62	469,94	58,22%
<b>Nov-19</b>	251,73	459,69	54,76%
<b>Des-19</b>	265,83	469,94	56,57%
<b>Rata-rata</b>			<b>61,35%</b>

Tabel 4. 17 Perhitungan *Availability* Mesin *Laminar Cooling*

Bulan	<i>Operating Time (jam)</i>	<i>Loading Time (jam)</i>	<i>Availability Rate</i>
<b>Jan-19</b>	236,00	423,68	55,70%
<b>Feb-19</b>	227,10	437,75	51,88%
<b>Mar-19</b>	286,54	467,41	61,30%
<b>Apr-19</b>	299,43	464,88	64,41%
<b>Mei-19</b>	284,92	498,18	57,19%
<b>Jun-19</b>	268,70	434,30	61,87%
<b>Jul-19</b>	283,22	463,39	61,12%
<b>Agu-19</b>	307,19	488,43	62,89%
<b>Sep-19</b>	249,98	427,32	58,50%
<b>Okt-19</b>	253,98	441,46	57,53%
<b>Nov-19</b>	265,30	471,65	56,25%




Bulan	<i>Operating Time</i> (jam)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Availability Rate</i>
Des-19	282,12	446,76	63,15%
<b>Rata-rata</b>			<b>59,32%</b>

**Tabel 4. 18 Perhitungan Availability Mesin Down Coiler**

Bulan	<i>Operating Time</i> (jam)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Availability Rate</i>
Jan-19	303,56	472,79	64,21%
Feb-19	299,05	464,64	64,36%
Mar-19	288,13	430,28	66,96%
Apr-19	329,17	460,95	71,41%
Mei-19	260,76	451,29	57,78%
Jun-19	240,24	422,32	56,89%
Jul-19	301,71	439,86	68,59%
Agu-19	311,32	467,34	66,62%
Sep-19	244,94	408,09	60,02%
Okt-19	236,12	426,72	55,33%
Nov-19	213,46	404,66	52,75%
Des-19	302,30	485,75	62,23%
<b>Rata-rata</b>			<b>62,26%</b>

Keterangan :

 = Nilai *availability rate* kurang dari 90% (standar internasional)

#### 4.2.3 Perhitungan *Performance Rate*

*Performance rate* merupakan parameter yang mengukur rasio dari tingkat produksi aktual dengan yang diharapkan. Pengukuran ini menunjukkan seberapa baik peralatan mampu melakukan pekerjaannya. Pada parameter ini terdapat komponen *Six Big Losses* antara lain *idling and minor stoppage losses* dan *reduced speed losses* yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini

$$Performance Rate = \frac{Production Amount \times Ideal Cycle Time}{Equipment Operating Time} \times 100\% \quad (4.3)$$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan *performance rate* pada mesin *Reheating Furnace* untuk bulan Januari 2019

$$\text{Performance Rate} = \frac{\text{Production Amount} \times \text{Ideal Cycle Time}}{\text{Equipment Operating Time}} \times 100\%$$

$$\text{Performance Rate} = \frac{126388,80 \times 0,0031}{582,66 \text{ jam}} \times 100\% = 67\%$$

Berikut ini ditunjukkan hasil rekapitulasi pengukuran *performance rate* pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* pada tahun 2019.

**Tabel 4. 19 Perhitungan Performance Rate Mesin Reheating Furnace**

Bulan	Total output produksi (ton)	Ideal Cycle Time (jam/ton)	Operating time (jam)	Performance Rate
Jan-19	126388,80	0,0031	582,66	67,24%
Feb-19	148887,47		529,93	87,10%
Mar-19	157524,69		591,95	82,49%
Apr-19	147911,36		537,13	85,37%
Mei-19	140682,31		594,85	73,32%
Jun-19	152446,21		529,33	89,28%
Jul-19	130505,69		569,00	71,10%
Agu-19	100626,70		457,72	68,15%
Sep-19	103122,04		504,83	63,32%
Okt-19	151344,85		571,42	82,11%
Nov-19	170921,41		538,07	98,47%
Des-19	111877,98		505,50	68,61%
<b>Rata-rata</b>				<b>78,05%</b>

**Tabel 4. 20 Perhitungan Performance Rate Mesin Sizing Press**

Bulan	Total output produksi (ton)	Ideal Cycle Time (jam/ton)	Operating time (jam)	Performance Rate
Jan-19	126388,80	0,0018	401,94	56,60%
Feb-19	148887,47		382,46	70,07%
Mar-19	157524,69		328,41	86,34%
Apr-19	147911,36		351,83	75,67%
Mei-19	140682,31		295,34	85,74%
Jun-19	152446,21		309,11	88,77%
Jul-19	130505,69		372,94	62,99%

Bulan	Total output produksi (ton)	Ideal Cycle Time (jam/ton)	Operating time (jam)	Performance Rate
Agu-19	100626,70		368,38	49,17%
Sep-19	103122,04		323,90	57,31%
Okt-19	151344,85		326,27	83,49%
Nov-19	170921,41		307,05	100,20%
Des-19	111877,98		341,62	58,95%
<b>Rata-rata</b>				<b>72,94%</b>

Tabel 4. 21 Perhitungan *Performance Rate* Mesin *Roughing Mill*

Bulan	Total output produksi (ton)	Ideal Cycle Time (jam/ton)	Operating time (jam)	Performance Rate
Jan-19	126388,80	0,0020	323,37	78,17%
Feb-19	148887,47		356,26	83,58%
Mar-19	157524,69		283,22	111,24%
Apr-19	147911,36		305,30	96,90%
Mei-19	140682,31		294,71	95,47%
Jun-19	152446,21		307,60	99,12%
Jul-19	130505,69		296,37	88,07%
Agu-19	100626,70		358,56	56,13%
Sep-19	103122,04		310,95	66,33%
Okt-19	151344,85		342,32	88,42%
Nov-19	170921,41		291,07	117,44%
Des-19	111877,98		323,55	69,16%
<b>Rata-rata</b>				<b>87,50%</b>

Tabel 4. 22 Perhitungan *Performance Rate* Mesin *Finishing Mill*

Bulan	Total output produksi (ton)	Ideal Cycle Time (jam/ton)	Operating time (jam)	Performance Rate
Jan-19	126388,80	0,0018	326,63	69,65%
Feb-19	148887,47		323,65	82,80%
Mar-19	157524,69		309,39	91,65%
Apr-19	147911,36		294,25	90,48%

<b>Bulan</b>	<b>Total output produksi (ton)</b>	<b>Ideal Cycle Time (jam/ton)</b>	<b>Operating time (jam)</b>	<b>Performance Rate</b>
<b>Mei-19</b>	140682,31		295,53	85,69%
<b>Jun-19</b>	152446,21		287,37	95,49%
<b>Jul-19</b>	130505,69		364,27	64,49%
<b>Agu-19</b>	100626,70		276,68	65,47%
<b>Sep-19</b>	103122,04		318,26	58,32%
<b>Okt-19</b>	151344,85		273,62	99,56%
<b>Nov-19</b>	170921,41		251,73	122,22%
<b>Des-19</b>	111877,98		265,83	75,75%
<b>Rata-rata</b>				<b>83,46%</b>


Tabel 4. 23 Perhitungan *Performance Rate* Mesin *Laminar Cooling*

<b>Bulan</b>	<b>Total output produksi (ton)</b>	<b>Ideal Cycle Time (jam/ton)</b>	<b>Operating time (jam)</b>	<b>Performance Rate</b>
<b>Jan-19</b>	126388,80	0,0019	236,00	99,61%
<b>Feb-19</b>	148887,47		227,10	121,94%
<b>Mar-19</b>	157524,69		286,54	102,25%
<b>Apr-19</b>	147911,36		299,43	91,88%
<b>Mei-19</b>	140682,31		284,92	91,84%
<b>Jun-19</b>	152446,21		268,70	105,53%
<b>Jul-19</b>	130505,69		283,22	85,71%
<b>Agu-19</b>	100626,70		307,19	60,93%
<b>Sep-19</b>	103122,04		249,98	76,73%
<b>Okt-19</b>	151344,85		253,98	110,83%
<b>Nov-19</b>	170921,41		265,30	119,83%
<b>Des-19</b>	111877,98		282,12	73,76%
<b>Rata-rata</b>				<b>95,07%</b>

Tabel 4. 24 Perhitungan *Performance Rate* Mesin *Down Coiler*

Bulan	Total output produksi (ton)	Ideal Cycle Time (jam/ton)	Operating time (jam)	Performance Rate
Jan-19	126388,80	0,0018	303,56	74,94%
Feb-19	148887,47		299,05	89,62%
Mar-19	157524,69		288,13	98,41%
Apr-19	147911,36		329,17	80,88%
Mei-19	140682,31		260,76	97,11%
Jun-19	152446,21		240,24	114,22%
Jul-19	130505,69		301,71	77,86%
Agu-19	100626,70		311,32	58,18%
Sep-19	103122,04		244,94	75,78%
Okt-19	151344,85		236,12	115,38%
Nov-19	170921,41		213,46	144,13%
Des-19	111877,98		302,30	66,62%
<b>Rata-rata</b>				<b>91,09%</b>

Keterangan :

 = Nilai *performance rate* kurang dari 95% (standar internasional)

#### 4.2.4 Perhitungan *Quality Rate*

*Quality rate* merupakan parameter yang mengukur tingkat kualitas produk yang dihasilkan. Pengukuran ini menunjukkan kemampuan peralatan dalam menghasilkan produk yang sesuai standar. Pada parameter *quality rate* terdapat komponen *Six Big Losses* antara lain *defect/rework losses* dan *reduced yield/start up losses* yang ditunjukkan dengan persamaan berikut ini.

$$Quality Rate = \frac{Production Amount - Defect Amount}{Production Amount} \times 100\% \quad (4.4)$$

Dikarenakan produksi *Hot Rolled Coil* (HRC) pada Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) beroperasi secara linear yang dimana proses pembuatan produksi HRC harus melalui mesin *reheating furnace* terlebih dahulu yang kemudian dilanjutkan ke mesin-mesin berikutnya hingga ke mesin *Down Coiler*. Maka total output produksi dan *defect* produk tiap mesin adalah sama.

Berikut ini merupakan contoh perhitungan *quality rate* pada mesin *Reheating Furnace* untuk bulan Januari 2019

$$Quality Rate = \frac{126388,8 - 6896,69}{126388,8} \times 100\% = 95\%$$

Berikut ini ditunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan *quality rate* pada mesin *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler* pada tahun 2019.

**Tabel 4. 25 Perhitungan *Quality Rate* pada Pabrik *Hot Strip Mill (HSM)***

Bulan	Total output Produksi (ton)	Defect Produk (ton)	Quality Rate
Jan-19	126388,80	6896,69	94,54%
Feb-19	148887,47	9676,75	93,50%
Mar-19	157524,69	11270,15	92,85%
Apr-19	147911,36	19769,54	86,63%
Mei-19	140682,31	24593,09	82,52%
Jun-19	152446,21	15193,17	90,03%
Jul-19	130505,69	12513,03	90,41%
Agu-19	100626,70	9485,35	90,57%
Sep-19	103122,04	10143,47	90,16%
Okt-19	151344,85	14333,75	90,53%
Nov-19	170921,41	15463,74	90,95%
Des-19	111877,98	10723,89	90,41%
<b>Rata-rata</b>			<b>90,26%</b>

Keterangan :

 = Nilai *quality rate* kurang dari 99% (standar internasional)

#### 4.2.5 Perhitungan *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*

Nilai OEE didapatkan dengan melakukan perkalian parameter *availability*, *performance rate* dan *quality rate* sesuai dengan rumus di bawah ini

$$OEE = Availability \times Performance Rate \times Quality Rate \quad (4.5)$$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan OEE pada Mesin *Reheating Furnace* untuk bulan Januari 2019

$$OEE = Availability \times Performance Rate \times Quality Rate$$

$$OEE_{\text{Januari}} = 93\% \times 67\% \times 95\% = 59\%$$

Berikut ini ditunjukkan hasil rekapitulasi perhitungan OEE pada mesin *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler* pada tahun 2019.

**Tabel 4. 26 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin *Reheating Furnace***

<b>Bulan</b>	<b><i>Availability Rate</i></b>	<b><i>Performance</i></b>	<b><i>Quality Rate</i></b>	<b>OEE</b>
<b>Jan-19</b>	93,12%	67,24%	94,54%	59,20%
<b>Feb-19</b>	94,02%	87,10%	93,50%	76,57%
<b>Mar-19</b>	95,30%	82,49%	92,85%	72,99%
<b>Apr-19</b>	93,49%	85,37%	86,63%	69,14%
<b>Mei-19</b>	95,76%	73,32%	82,52%	57,94%
<b>Jun-19</b>	93,53%	89,28%	90,03%	75,18%
<b>Jul-19</b>	92,95%	71,10%	90,41%	59,75%
<b>Agu-19</b>	94,49%	68,15%	90,57%	58,33%
<b>Sep-19</b>	94,11%	63,32%	90,16%	53,73%
<b>Okt-19</b>	95,33%	82,11%	90,53%	70,86%
<b>Nov-19</b>	93,67%	98,47%	90,95%	83,90%
<b>Des-19</b>	94,21%	68,61%	90,41%	58,44%
<b>Rata-rata</b>	<b>94,17%</b>	<b>78,05%</b>	<b>90,26%</b>	<b>66,34%</b>

**Tabel 4. 27 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin *Sizing Press***

<b>Bulan</b>	<b><i>Availability Rate</i></b>	<b><i>Performance</i></b>	<b><i>Quality Rate</i></b>	<b>OEE</b>
<b>Jan-19</b>	88,50%	56,60%	94,54%	47,36%
<b>Feb-19</b>	84,55%	70,07%	93,50%	55,40%
<b>Mar-19</b>	78,96%	86,34%	92,85%	63,29%
<b>Apr-19</b>	81,10%	75,67%	86,63%	53,17%
<b>Mei-19</b>	72,97%	85,74%	82,52%	51,63%
<b>Jun-19</b>	74,65%	88,77%	90,03%	59,66%
<b>Jul-19</b>	84,10%	62,99%	90,41%	47,90%
<b>Agu-19</b>	82,92%	49,17%	90,57%	36,93%
<b>Sep-19</b>	80,45%	57,31%	90,16%	41,57%

Bulan	<i>Availability Rate</i>	<i>Performance</i>	<i>Quality Rate</i>	OEE
Okt-19	81,24%	83,49%	90,53%	61,41%
Nov-19	72,29%	100,20%	90,95%	65,88%
Des-19	84,57%	58,95%	90,41%	45,08%
<b>Rata-rata</b>	<b>80,53%</b>	<b>72,94%</b>	<b>90,26%</b>	<b>52,44%</b>

Tabel 4. 28 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin *Roughing Mill*

Bulan	<i>Availability Rate</i>	<i>Performance</i>	<i>Quality Rate</i>	OEE
Jan-19	68,84%	78,17%	94,54%	50,87%
Feb-19	77,07%	83,58%	93,50%	60,23%
Mar-19	65,66%	111,24%	92,85%	67,82%
Apr-19	74,98%	96,90%	86,63%	62,94%
Mei-19	71,09%	95,47%	82,52%	56,01%
Jun-19	67,97%	99,12%	90,03%	60,66%
Jul-19	72,97%	88,07%	90,41%	58,10%
Agu-19	75,26%	56,13%	90,57%	38,26%
Sep-19	71,09%	66,33%	90,16%	42,51%
Okt-19	70,01%	88,42%	90,53%	56,05%
Nov-19	65,36%	117,44%	90,95%	69,82%
Des-19	75,56%	69,16%	90,41%	47,24%
<b>Rata-rata</b>	<b>71,32%</b>	<b>87,50%</b>	<b>90,26%</b>	<b>55,88%</b>

Tabel 4. 29 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin *Finishing Mill*

Bulan	<i>Availability Rate</i>	<i>Performance</i>	<i>Quality Rate</i>	OEE
Jan-19	67,43%	69,65%	94,54%	44,40%
Feb-19	65,09%	82,80%	93,50%	50,39%
Mar-19	58,93%	91,65%	92,85%	50,14%
Apr-19	57,29%	90,48%	86,63%	44,91%
Mei-19	60,41%	85,69%	82,52%	42,72%
Jun-19	64,47%	95,49%	90,03%	55,42%
Jul-19	69,65%	64,49%	90,41%	40,61%
Agu-19	63,05%	65,47%	90,57%	37,39%
Sep-19	60,39%	58,32%	90,16%	31,76%



Bulan	Availability Rate	Performance	Quality Rate	OEE
Okt-19	58,22%	99,56%	90,53%	52,48%
Nov-19	54,76%	122,22%	90,95%	60,87%
Des-19	56,57%	75,75%	90,41%	38,75%
<b>Rata-rata</b>	<b>61,35%</b>	<b>83,46%</b>	<b>90,26%</b>	<b>45,82%</b>

Tabel 4. 30 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin *Laminar Cooling*

Bulan	Availability Rate	Performance	Quality Rate	OEE
Jan-19	55,70%	99,61%	94,54%	52,46%
Feb-19	51,88%	121,94%	93,50%	59,15%
Mar-19	61,30%	102,25%	92,85%	58,20%
Apr-19	64,41%	91,88%	86,63%	51,27%
Mei-19	57,19%	91,84%	82,52%	43,34%
Jun-19	61,87%	105,53%	90,03%	58,78%
Jul-19	61,12%	85,71%	90,41%	47,36%
Agu-19	62,89%	60,93%	90,57%	34,71%
Sep-19	58,50%	76,73%	90,16%	40,47%
Okt-19	57,53%	110,83%	90,53%	57,73%
Nov-19	56,25%	119,83%	90,95%	61,31%
Des-19	63,15%	73,76%	90,41%	42,11%
<b>Rata-rata</b>	<b>59,32%</b>	<b>95,07%</b>	<b>90,26%</b>	<b>50,57%</b>

Tabel 4. 31 Perhitungan Nilai OEE pada Mesin *Down Coiler*

Bulan	Availability Rate	Performance	Quality Rate	OEE
Jan-19	64,21%	74,94%	94,54%	45,49%
Feb-19	64,36%	89,62%	93,50%	53,93%
Mar-19	66,96%	98,41%	92,85%	61,18%
Apr-19	71,41%	80,88%	86,63%	50,04%
Mei-19	57,78%	97,11%	82,52%	46,30%
Jun-19	56,89%	114,22%	90,03%	58,50%
Jul-19	68,59%	77,86%	90,41%	48,28%
Agu-19	66,62%	58,18%	90,57%	35,10%
Sep-19	60,02%	75,78%	90,16%	41,01%
Okt-19	55,33%	115,38%	90,53%	57,79%
Nov-19	52,75%	144,13%	90,95%	69,15%

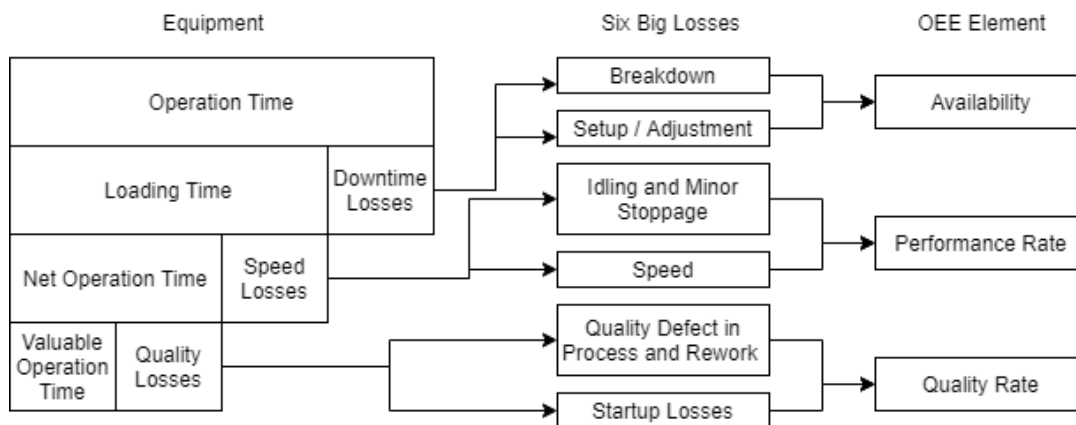
Bulan	Availability Rate	Performance	Quality Rate	OEE
Des-19	62,23%	66,62%	90,41%	37,48%
Rata-rata	62,26%	91,09%	90,26%	50,36%

Keterangan :

= Nilai *Overall Equipment Effectiveness* yang kurang dari 85% (standar internasional)

#### 4.2.6 Perhitungan *Six Big Losses*

Berdasarkan pengukuran nilai OEE, selanjutnya dilakukan pengukuran *Six Big Losses* dengan cara menguraikan parameter-parameter pada OEE menjadi *Six Big Losses* sesuai dengan Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 Hubungan antara *Six Big Losses* dengan OEE

##### 4.2.6.1 Pengukuran *Breakdown Time Losses*

Pengukuran *breakdown time losses* dilakukan untuk mengidentifikasi kerugian yang disebabkan oleh adanya downtime akibat terjadinya kerusakan pada mesin-mesin utama di pabrik *Hot Strip Mill* (HSM). *Breakdown time losses* diukur dengan persamaan berikut.

$$\text{Breakdown Time Losses} = \frac{\text{Breakdown Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (4.6)$$

Berikut ini merupakan contoh perhitungan *breakdown time losses* pada mesin *Reheating Furnace* untuk bulan Januari 2019

$$\text{Breakdown Time Losses} = \frac{\text{Breakdown Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\%$$

$$\text{Breakdown Time Losses} = \frac{43,03 \text{ jam}}{625,70 \text{ jam}} \times 100\% = 6,88\%$$

Berikut ini ditunjukkan hasil rekapitulasi pengukuran *breakdown time losses* pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* pada tahun 2019.

**Tabel 4. 32 Pengukuran *Breakdown Time Losses* Pada Mesin *Reheating Furnace***

<b>Bulan</b>	<b><i>Breakdown Time</i> (jam)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Breakdown Time</i> <i>Losses (%)</i></b>
<b>Jan-19</b>	43,03	625,70	6,88
<b>Feb-19</b>	33,71	563,64	5,98
<b>Mar-19</b>	29,21	621,17	4,70
<b>Apr-19</b>	37,40	574,53	6,51
<b>Mei-19</b>	26,32	621,17	4,24
<b>Jun-19</b>	36,59	565,92	6,47
<b>Jul-19</b>	43,13	612,14	7,05
<b>Agu-19</b>	26,69	484,41	5,51
<b>Sep-19</b>	31,57	536,40	5,89
<b>Okt-19</b>	27,97	599,39	4,67
<b>Nov-19</b>	36,34	574,41	6,33
<b>Des-19</b>	31,08	536,58	5,79
<b>TOTAL</b>	<b>403,04</b>	<b>6915,44</b>	<b>70,00</b>

**Tabel 4. 33 Pengukuran *Breakdown Time Losses* Pada Mesin *Sizing Press***

<b>Bulan</b>	<b><i>Breakdown Time</i> (jam)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Breakdown Time Losses</i> (%)</b>
<b>Jan-19</b>	52,24	454,18	11,50
<b>Feb-19</b>	69,89	452,34	15,45
<b>Mar-19</b>	87,51	415,92	21,04
<b>Apr-19</b>	81,98	433,81	18,90
<b>Mei-19</b>	109,39	404,73	27,03
<b>Jun-19</b>	104,99	414,10	25,35
<b>Jul-19</b>	70,50	443,44	15,90
<b>Agu-19</b>	75,89	444,27	17,08
<b>Sep-19</b>	78,69	402,59	19,55
<b>Okt-19</b>	75,34	401,61	18,76
<b>Nov-19</b>	117,69	424,74	27,71
<b>Des-19</b>	62,31	403,94	15,43
<b>TOTAL</b>	<b>986,42</b>	<b>5095,67</b>	<b>233,69</b>

**Tabel 4. 34 Pengukuran *Breakdown Time Losses* Pada Mesin *Roughing Mill***

<b>Bulan</b>	<b><i>Breakdown Time</i> (jam)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Breakdown Time Losses</i> (%)</b>
<b>Jan-19</b>	146,39	469,76	31,16
<b>Feb-19</b>	106,01	462,27	22,93
<b>Mar-19</b>	148,11	431,33	34,34
<b>Apr-19</b>	101,89	407,19	25,02
<b>Mei-19</b>	119,82	414,54	28,91
<b>Jun-19</b>	144,94	452,54	32,03
<b>Jul-19</b>	109,79	406,16	27,03
<b>Agu-19</b>	117,89	476,45	24,74
<b>Sep-19</b>	126,48	437,44	28,91
<b>Okt-19</b>	146,61	488,93	29,99
<b>Nov-19</b>	154,24	445,31	34,64
<b>Des-19</b>	104,68	428,23	24,44
<b>TOTAL</b>	<b>1526,86</b>	<b>5320,14</b>	<b>344,15</b>

**Tabel 4. 35 Pengukuran *Breakdown Time Losses* Pada Mesin *Finishing Mill***

<b>Bulan</b>	<b><i>Breakdown Time</i> (jam)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Breakdown Time</i> <i>Losses (%)</i></b>
<b>Jan-19</b>	157,77	484,40	32,57
<b>Feb-19</b>	173,60	497,25	34,91
<b>Mar-19</b>	215,63	525,02	41,07
<b>Apr-19</b>	219,40	513,65	42,71
<b>Mei-19</b>	193,65	489,18	39,59
<b>Jun-19</b>	158,41	445,78	35,53
<b>Jul-19</b>	158,72	522,99	30,35
<b>Agu-19</b>	162,14	438,82	36,95
<b>Sep-19</b>	208,77	527,04	39,61
<b>Okt-19</b>	196,32	469,94	41,78
<b>Nov-19</b>	207,96	459,69	45,24
<b>Des-19</b>	204,10	469,94	43,43
<b>TOTAL</b>	<b>2256,48</b>	<b>5843,69</b>	<b>463,75</b>

**Tabel 4. 36 Pengukuran *Breakdown Time Losses* Pada Mesin *Laminar Cooling***

<b>Bulan</b>	<b><i>Breakdown Time</i> (jam)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Breakdown Time</i> <i>Losses (%)</i></b>
<b>Jan-19</b>	187,68	423,68	44,30
<b>Feb-19</b>	210,66	437,75	48,12
<b>Mar-19</b>	180,87	467,41	38,70
<b>Apr-19</b>	165,46	464,88	35,59
<b>Mei-19</b>	213,25	498,18	42,81
<b>Jun-19</b>	165,60	434,30	38,13
<b>Jul-19</b>	180,17	463,39	38,88
<b>Agu-19</b>	181,24	488,43	37,11
<b>Sep-19</b>	177,33	427,32	41,50
<b>Okt-19</b>	187,47	441,46	42,47
<b>Nov-19</b>	206,35	471,65	43,75
<b>Des-19</b>	164,64	446,76	36,85
<b>TOTAL</b>	<b>2220,73</b>	<b>5465,20</b>	<b>488,20</b>

Tabel 4. 37 Pengukuran *Breakdown Time Losses* Pada Mesin Down Coiler

<b>Bulan</b>	<b><i>Breakdown Time</i> (jam)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Breakdown Time Losses (%)</i></b>
<b>Jan-19</b>	169,23	472,79	35,79
<b>Feb-19</b>	165,59	464,64	35,64
<b>Mar-19</b>	142,15	430,28	33,04
<b>Apr-19</b>	131,78	460,95	28,59
<b>Mei-19</b>	190,53	451,29	42,22
<b>Jun-19</b>	182,07	422,32	43,11
<b>Jul-19</b>	138,15	439,86	31,41
<b>Agu-19</b>	156,02	467,34	33,38
<b>Sep-19</b>	163,14	408,09	39,98
<b>Okt-19</b>	190,61	426,72	44,67
<b>Nov-19</b>	191,20	404,66	47,25
<b>Des-19</b>	183,45	485,75	37,77
<b>TOTAL</b>	<b>2003,91</b>	<b>5334,69</b>	<b>452,84</b>

#### 4.2.6.2 Pengukuran *Setup and Adjustment Time Losses*

Pengukuran *setup and adjustment time losses* dilakukan untuk mengidentifikasi kerugian yang disebabkan oleh adanya setup dan penyesuaian adjustment pada mesin-mesin utama di pabrik *Hot Strip Mill* (HSM). *Setup and adjustment time losses* diukur dengan persamaan berikut.

$$\text{Setup and adjustment time losses} = \frac{\text{Setup Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (4.7)$$

Berikut ini merupakan contoh pengukuran *setup and adjustment time losses* pada mesin *Sizing Press* untuk bulan Januari 2019

$$\text{Setup and adjustment time losses} = \frac{\text{Setup Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\%$$

$$\text{Setup and adjustment time losses} = \frac{47,13}{454,18} \times 100\% = 10\%$$

Berikut ini ditunjukkan hasil rekapitulasi pengukuran *setup and adjustment time* pada mesin *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling*, dan *down coiler* pada tahun 2019.

Pada mesin *Reheating Furnace* di Pabrik HSM tidak memiliki waktu set up karena mesin tersebut berkerja selama 24 jam sehari dan tidak pernah dimatikan, karena jika dimatikan maka akan membutuhkan waktu yang lama yaitu 3 hari untuk dapat digunakan kembali. Mesin *Reheating Furnace* hanya dimatikan ketika ada *overhaul* atau perbaikan total di setiap plant dan tidak pernah dilakukan pencatatan terhadap waktu setup sehingga waktu setup dianggap 0.

**Tabel 4. 38 Pengukuran Setup and Adjustment Time Pada Mesin Sizing Press**

<b>Bulan</b>	<b>Setup Time (jam)</b>	<b>Loading Time (jam)</b>	<b>Setup and Adjustment Losses (jam)</b>
<b>Jan-19</b>	47,13	454,18	10%
<b>Feb-19</b>	40,75	452,34	10%
<b>Mar-19</b>	43,70	415,92	10%
<b>Apr-19</b>	40,72	433,81	10%
<b>Mei-19</b>	46,10	404,73	11%
<b>Jun-19</b>	42,26	414,10	10%
<b>Jul-19</b>	42,30	443,44	10%
<b>Agu-19</b>	45,34	444,27	11%
<b>Sep-19</b>	41,32	402,59	10%
<b>Okt-19</b>	43,43	401,61	10%
<b>Nov-19</b>	43,19	424,74	11%
<b>Des-19</b>	46,06	403,94	11%
<b>TOTAL</b>	<b>522,30</b>	<b>5095,67</b>	<b>124%</b>

**Tabel 4. 39 Pengukuran *Setup and Adjustment Time* Pada Mesin *Roughing Mill***

<b>Bulan</b>	<b><i>Setup Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Setup and Adjustment Losses (jam)</i></b>
<b>Jan-19</b>	68,98	469,76	15%
<b>Feb-19</b>	66,36	462,27	15%
<b>Mar-19</b>	66,26	431,33	16%
<b>Apr-19</b>	61,16	407,19	15%
<b>Mei-19</b>	67,25	414,54	15%
<b>Jun-19</b>	63,04	452,54	16%
<b>Jul-19</b>	69,68	406,16	15%
<b>Agu-19</b>	61,27	476,45	14%
<b>Sep-19</b>	66,15	437,44	14%
<b>Okt-19</b>	63,73	488,93	14%
<b>Nov-19</b>	67,23	445,31	16%
<b>Des-19</b>	68,14	428,23	16%
<b>TOTAL</b>	<b>789,24</b>	<b>5320,14</b>	<b>180%</b>

**Tabel 4. 40 Pengukuran *Setup and Adjustment Time* Pada Mesin *Finishing Mill***

<b>Bulan</b>	<b><i>Setup Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Setup and Adjustment Losses (jam)</i></b>
<b>Jan-19</b>	49,98	484,40	10%
<b>Feb-19</b>	45,14	497,25	9%
<b>Mar-19</b>	49,84	525,02	10%
<b>Apr-19</b>	41,27	513,65	8%
<b>Mei-19</b>	45,68	489,18	10%
<b>Jun-19</b>	44,24	445,78	8%
<b>Jul-19</b>	49,18	522,99	11%
<b>Agu-19</b>	44,22	438,82	8%
<b>Sep-19</b>	46,23	527,04	10%
<b>Okt-19</b>	41,08	469,94	9%
<b>Nov-19</b>	46,12	459,69	10%
<b>Des-19</b>	44,51	469,94	9%
<b>TOTAL</b>	<b>547,47</b>	<b>5843,69</b>	<b>113%</b>



**Tabel 4. 41 Pengukuran *Setup and Adjustment Time* Pada Mesin *Laminar Cooling***

<b>Bulan</b>	<b><i>Setup Time</i> (jam)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Setup and Adjustment Losses</i> (jam)</b>
<b>Jan-19</b>	53,16	423,68	12%
<b>Feb-19</b>	51,04	437,75	11%
<b>Mar-19</b>	51,80	467,41	11%
<b>Apr-19</b>	50,96	464,88	10%
<b>Mei-19</b>	50,70	498,18	12%
<b>Jun-19</b>	58,12	434,30	13%
<b>Jul-19</b>	50,39	463,39	10%
<b>Agu-19</b>	53,61	488,43	13%
<b>Sep-19</b>	58,71	427,32	13%
<b>Okt-19</b>	58,37	441,46	12%
<b>Nov-19</b>	57,55	471,65	13%
<b>Des-19</b>	51,57	446,76	12%
<b>TOTAL</b>	<b>645,98</b>	<b>5465,20</b>	<b>142%</b>

**Tabel 4. 42 Pengukuran *Setup and Adjustment Time* Pada Mesin *Down Coiler***

<b>Bulan</b>	<b><i>Setup Time</i> (jam)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Setup and Adjustment Losses</i> (jam)</b>
<b>Jan-19</b>	48,38	472,79	10%
<b>Feb-19</b>	57,86	464,64	13%
<b>Mar-19</b>	48,39	430,28	10%
<b>Apr-19</b>	50,92	460,95	11%
<b>Mei-19</b>	43,46	451,29	10%
<b>Jun-19</b>	47,89	422,32	11%
<b>Jul-19</b>	59,84	439,86	13%
<b>Agu-19</b>	54,33	467,34	13%
<b>Sep-19</b>	52,63	408,09	12%
<b>Okt-19</b>	52,38	426,72	13%
<b>Nov-19</b>	50,73	404,66	10%
<b>Des-19</b>	47,92	485,75	10%
<b>TOTAL</b>	<b>614,73</b>	<b>5334,69</b>	<b>139%</b>

#### 4.2.6.3 Pengukuran *Idling and Minor Stoppage Losses*

Pengukuran *idling and minor stoppage losses* dilakukan untuk mengidentifikasi kerugian yang disebabkan oleh adanya perhentian minor atau perhentian temporer yang terjadi dalam waktu yang relatif singkat pada mesin-mesin utama di pabrik *Hot Strip Mill* (HSM). *Idling and minor stoppage losses* diukur dengan persamaan berikut.

$$\text{Idling and Minor Stoppage Losses} = \frac{\text{Non Productive Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (4.8)$$

Berikut ini merupakan contoh pengukuran *idling and minor stoppage losses* pada mesin *Sizing Press* untuk bulan Januari 2019

$$\text{Idling and Minor Stoppage Losses} = \frac{\text{Non Productive Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\%$$

$$\text{Idling and Minor Stoppage Losses} = \frac{65,90}{454,18} \times 100\% = 15\%$$

Berikut ini ditunjukkan hasil rekapitulasi pengukuran *idling and minor stoppage losses* pada mesin *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler* pada tahun 2019.

Pada mesin *Reheating Furnace* tidak pernah dimatikan namun suhu dalam *furnace* diturunkan hingga 800 °C. Perbaikan kecil yang ada di mesin ini dilakukan ketika mesin masih menyala sehingga tidak ada *idling and minor stoppage losses* di mesin ini.

**Tabel 4. 43 Pengukuran *Idling and Minor Stoppage Losses* Pada Mesin *Sizing Press***

<b>Bulan</b>	<b><i>Non Productive Time</i> (jam)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Idling Minor Stoppage</i></b>
<b>Jan-19</b>	65,90	454,18	15%
<b>Feb-19</b>	94,56	452,34	21%
<b>Mar-19</b>	81,18	415,92	20%
<b>Apr-19</b>	59,19	433,81	14%
<b>Mei-19</b>	69,66	404,73	17%

<b>Bulan</b>	<b><i>Non Productive Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Idling Minor Stoppage</i></b>
<b>Jun-19</b>	95,03	414,10	23%
<b>Jul-19</b>	44,91	443,44	10%
<b>Agu-19</b>	75,23	444,27	17%
<b>Sep-19</b>	54,56	402,59	14%
<b>Okt-19</b>	65,17	401,61	16%
<b>Nov-19</b>	91,51	424,74	22%
<b>Des-19</b>	47,45	403,94	12%
<b>TOTAL</b>	<b>844,36</b>	<b>5095,66</b>	<b>199%</b>

**Tabel 4. 44 Pengukuran *Idling and Minor Stoppage Losses* Pada Mesin *Roughing Mill***

<b>Bulan</b>	<b><i>Non Productive Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Idling Minor Stoppage</i></b>
<b>Jan-19</b>	52,90	469,76	11%
<b>Feb-19</b>	66,04	462,27	14%
<b>Mar-19</b>	45,88	431,33	11%
<b>Apr-19</b>	73,26	407,19	18%
<b>Mei-19</b>	63,42	414,54	15%
<b>Jun-19</b>	36,02	452,54	8%
<b>Jul-19</b>	39,29	406,16	10%
<b>Agu-19</b>	69,35	476,45	15%
<b>Sep-19</b>	65,26	437,44	15%
<b>Okt-19</b>	78,03	488,93	16%
<b>Nov-19</b>	47,46	445,31	11%
<b>Des-19</b>	84,41	428,23	20%
<b>TOTAL</b>	<b>721,32</b>	<b>5320,14</b>	<b>163%</b>

**Tabel 4. 45 Pengukuran *Idling and Minor Stoppage Losses* Pada Mesin *Finishing Mill***

<b>Bulan</b>	<b><i>Non Productive Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Idling Minor Stoppage</i></b>
<b>Jan-19</b>	70,84	484,40	15%

<b>Bulan</b>	<b><i>Non Productive Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Idling Minor Stoppage</i></b>
<b>Feb-19</b>	91,07	497,25	18%
<b>Mar-19</b>	84,91	525,02	16%
<b>Apr-19</b>	67,23	513,65	13%
<b>Mei-19</b>	71,19	489,18	15%
<b>Jun-19</b>	42,69	445,78	10%
<b>Jul-19</b>	47,92	522,99	9%
<b>Agu-19</b>	44,50	438,82	10%
<b>Sep-19</b>	46,79	527,04	9%
<b>Okt-19</b>	93,16	469,94	20%
<b>Nov-19</b>	81,43	459,69	18%
<b>Des-19</b>	52,64	469,94	11%
<b>TOTAL</b>	<b>794,40</b>	<b>5843,69</b>	<b>163%</b>

**Tabel 4. 46 Pengukuran *Idling and Minor Stoppage Losses* Pada Mesin *Laminar Cooling***

<b>Bulan</b>	<b><i>Non Productive Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Idling Minor Stoppage</i></b>
<b>Jan-19</b>	42,98	423,68	10%
<b>Feb-19</b>	42,10	437,75	10%
<b>Mar-19</b>	93,01	467,41	20%
<b>Apr-19</b>	99,67	464,88	21%
<b>Mei-19</b>	40,63	498,18	8%
<b>Jun-19</b>	76,16	434,30	18%
<b>Jul-19</b>	86,95	463,39	19%
<b>Agu-19</b>	69,33	488,43	14%
<b>Sep-19</b>	87,49	427,32	20%
<b>Okt-19</b>	61,39	441,46	14%
<b>Nov-19</b>	50,72	471,65	11%
<b>Des-19</b>	68,70	446,76	15%
<b>TOTAL</b>	<b>819,14</b>	<b>5465,20</b>	<b>180%</b>

**Tabel 4. 47 Pengukuran *Idling and Minor Stoppage Losses* Pada Mesin *Down Coiler***

<b>Bulan</b>	<b><i>Non Productive Time (jam)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Idling Minor Stoppage</i></b>
<b>Jan-19</b>	54,39	472,79	12%
<b>Feb-19</b>	62,91	464,64	14%
<b>Mar-19</b>	55,38	430,28	13%
<b>Apr-19</b>	78,22	460,95	17%
<b>Mei-19</b>	75,56	451,29	17%
<b>Jun-19</b>	69,29	422,32	16%
<b>Jul-19</b>	85,04	439,86	19%
<b>Agu-19</b>	84,34	467,34	18%
<b>Sep-19</b>	36,84	408,09	9%
<b>Okt-19</b>	72,02	426,72	17%
<b>Nov-19</b>	45,83	404,66	11%
<b>Des-19</b>	33,75	485,75	7%
<b>TOTAL</b>	<b>753,56</b>	<b>5334,68</b>	<b>170%</b>

#### **4.2.6.4 Pengukuran *Reduced Speed Losses***

Pengukuran *reduced speed losses* dilakukan untuk mengidentifikasi kerugian yang disebabkan oleh adanya pengurangan kecepatan atau speed pada mesin-mesin utama di pabrik *Hot Strip Mill (HSM)*.. *Reduced speed losses* diukur dengan persamaan berikut.

*Reduced Speed Time*

$$= (\text{Cycle Time Aktual} - \text{Cycle Time Ideal}) \times \text{Production Amount} \quad (4.9)$$

$$\text{Reduced Speed Losses} = \frac{\text{Reduced Speed Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (5.0)$$

Berikut ini merupakan contoh pengukuran *reduced speed losses* pada mesin *Reheating Furnace* untuk bulan Januari 2019

*Reduced Speed Time*

$$= (\text{Cycle Time Aktual} - \text{Cycle Time Ideal}) \times \text{Production Amount}$$

*Reduced Speed Time* Januari = (0,0035 – 0,0031) jam/ton x 126388,80 ton = 45,50 jam

$$\text{Reduced Speed Losses} = \frac{\text{Reduced Speed Time}}{\text{Loading Time}} \times 100\%$$

$$\text{Reduced Speed Losses} = \frac{45,50 \text{ jam}}{625,70 \text{ jam}} \times 100\% = 7,27\%$$

Berikut ini ditunjukkan hasil rekapitulasi pengukuran *reduced speed losses* pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* pada tahun 2019.

**Tabel 4. 48 Pengukuran *Reduced Speed Losses* Pada Mesin *Reheating Furnace***

Bulan	<i>Actual Cycle Time</i> (jam/ton)	<i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)	Total output Produksi (ton)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Losses</i> (%)
Jan-19	0,0035	0,0031	126388,8	625,70	45,50	7,27
Feb-19			148887,47	563,64	53,60	9,51
Mar-19			157524,69	621,17	56,71	9,13
Apr-19			147911,36	574,53	53,25	9,27
Mei-19			140682,31	621,17	50,65	8,15
Jun-19			152446,21	565,92	54,88	9,70
Jul-19			130505,69	612,14	46,98	7,68
Agu-19			100626,7	484,41	36,23	7,48
Sep-19			103122,04	536,40	37,12	6,92
Okt-19			151344,85	599,39	54,48	9,09
Nov-19			170921,41	574,41	61,53	10,71
Des-19			111877,98	536,58	40,28	7,51
<b>TOTAL</b>					591,21	102,41

**Tabel 4. 49 Pengukuran *Reduced Speed Losses* Pada Mesin *Sizing Press***

Bulan	<i>Actual Cycle Time</i> (jam/ton)	<i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)	Total output Produksi (ton)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Losses</i> (%)
Jan-19	0,0019	0,0018	126388,8	454,18	6,32	1,39
Feb-19			148887,47	452,34	7,44	1,65
Mar-19			157524,69	415,92	7,88	1,89
Apr-19			147911,36	433,81	7,40	1,70

<b>Bulan</b>	<i>Actual Cycle Time</i> (jam/ton)	<i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)	<b>Total output Produksi</b> (ton)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Losses</i> (%)
<b>Mei-19</b>			140682,31	404,73	7,03	1,74
<b>Jun-19</b>			152446,21	414,10	7,62	1,84
<b>Jul-19</b>			130505,69	443,44	6,53	1,47
<b>Agu-19</b>			100626,7	444,27	5,03	1,13
<b>Sep-19</b>			103122,04	402,59	5,16	1,28
<b>Okt-19</b>			151344,85	401,61	7,57	1,88
<b>Nov-19</b>			170921,41	424,74	8,55	2,01
<b>Des-19</b>			111877,98	403,94	5,59	1,38
<b>TOTAL</b>					82,11	19,38

**Tabel 4. 50 Pengukuran *Reduced Speed Losses* Pada Mesin *Roughing Mill***

<b>Bulan</b>	<i>Actual Cycle Time</i> (jam/ton)	<i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)	<b>Total output Produksi</b> (ton)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Losses</i> (%)
<b>Jan-19</b>	0,0021	0,0020	126388,8	469,76	12,64	2,69
<b>Feb-19</b>			148887,47	462,27	14,89	3,22
<b>Mar-19</b>			157524,69	431,33	15,75	3,65
<b>Apr-19</b>			147911,36	407,19	14,79	3,63
<b>Mei-19</b>			140682,31	414,54	14,07	3,39
<b>Jun-19</b>			152446,21	452,54	15,24	3,37
<b>Jul-19</b>			130505,69	406,16	13,05	3,21
<b>Agu-19</b>			100626,7	476,45	10,06	2,11
<b>Sep-19</b>			103122,04	437,44	10,31	2,36
<b>Okt-19</b>			151344,85	488,93	15,13	3,10
<b>Nov-19</b>			170921,41	445,31	17,09	3,84
<b>Des-19</b>			111877,98	428,23	11,19	2,61
<b>TOTAL</b>					164,22	37,19

**Tabel 4. 51 Pengukuran *Reduced Speed Losses* Pada Mesin *Finishing Mill***

<b>Bulan</b>	<b><i>Actual Cycle Time</i> (jam/ton)</b>	<b><i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)</b>	<b>Total output Produksi (ton)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Reduced Speed Time</i> (jam)</b>	<b><i>Reduced Speed Losses</i> (%)</b>
<b>Jan-19</b>	0,0019	0,0018	126388,8	484,40	12,64	2,61
<b>Feb-19</b>			148887,47	497,25	14,89	2,99
<b>Mar-19</b>			157524,69	525,02	15,75	3,00
<b>Apr-19</b>			147911,36	513,65	14,79	2,88
<b>Mei-19</b>			140682,31	489,18	14,07	2,88
<b>Jun-19</b>			152446,21	445,78	15,24	3,42
<b>Jul-19</b>			130505,69	522,99	13,05	2,50
<b>Agu-19</b>			100626,7	438,82	10,06	2,29
<b>Sep-19</b>			103122,04	527,04	10,31	1,96
<b>Okt-19</b>			151344,85	469,94	15,13	3,22
<b>Nov-19</b>			170921,41	459,69	17,09	3,72
<b>Des-19</b>			111877,98	469,94	11,19	2,38
<b>TOTAL</b>					164,22	33,84

**Tabel 4. 52 Pengukuran *Reduced Speed Losses* Pada Mesin *Laminar Cooling***

<b>Bulan</b>	<b><i>Actual Cycle Time</i> (jam/ton)</b>	<b><i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)</b>	<b>Total output Produksi (ton)</b>	<b><i>Loading Time</i> (jam)</b>	<b><i>Reduced Speed Time</i> (jam)</b>	<b><i>Reduced Speed Losses</i> (%)</b>
<b>Jan-19</b>	0,0020	0,0019	126388,8	423,68	17,69	4,18
<b>Feb-19</b>			148887,47	437,75	20,84	4,76
<b>Mar-19</b>			157524,69	467,41	22,05	4,72
<b>Apr-19</b>			147911,36	464,88	20,71	4,45
<b>Mei-19</b>			140682,31	498,18	19,70	3,95
<b>Jun-19</b>			152446,21	434,30	21,34	4,91
<b>Jul-19</b>			130505,69	463,39	18,27	3,94
<b>Agu-19</b>			100626,7	488,43	14,09	2,88
<b>Sep-19</b>			103122,04	427,32	14,44	3,38
<b>Okt-19</b>			151344,85	441,46	21,19	4,80
<b>Nov-19</b>			170921,41	471,65	23,93	5,07



Bulan	<i>Actual Cycle Time</i> (jam/ton)	<i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)	Total output Produksi (ton)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Losses</i> (%)
Des-19			111877,98	446,76	15,66	3,51
<b>TOTAL</b>					229,91	50,56

Tabel 4. 53 Pengukuran *Reduced Speed Losses* Pada Mesin *Down Coiler*

Bulan	<i>Actual Cycle Time</i> (jam/ton)	<i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)	Total output Produksi (ton)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Time</i> (jam)	<i>Reduced Speed Losses</i> (%)
Jan-19	0,0020	0,0018	126388,8	472,79	25,28	5,35
Feb-19			148887,47	464,64	29,78	6,41
Mar-19			157524,69	430,28	31,50	7,32
Apr-19			147911,36	460,95	29,58	6,42
Mei-19			140682,31	451,29	28,14	6,23
Jun-19			152446,21	422,32	30,49	7,22
Jul-19			130505,69	439,86	26,10	5,93
Agu-19			100626,7	467,34	20,13	4,31
Sep-19			103122,04	408,09	20,62	5,05
Okt-19			151344,85	426,72	30,27	7,09
Nov-19			170921,41	404,66	34,18	8,45
Des-19			111877,98	485,75	22,38	4,61
<b>TOTAL</b>					328,45	74,39

#### 4.2.6.4 Pengukuran *Defect/Rework Losses*

Pengukuran *defect or rework losses* dilakukan untuk mengidentifikasi kerugian yang disebabkan oleh adanya produk yang tidak memenuhi kualitas yang telah ditetapkan perusahaan sehingga perlu dibuang atau dilakukan proses *rework*. *defect or rework losses* diukur dengan persamaan berikut.

$$Defect\ or\ Rework\ Losses = Defect\ Amount \times Ideal\ Cycle\ Time \quad (5.1)$$

$$Defect\ Losses = \frac{Defect\ or\ Rework\ Losses}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (5.2)$$

Berikut ini merupakan contoh pengukuran *defect or rework losses* pada mesin *Reheating Furnace* untuk bulan Januari 2019

$Defect\ or\ Rework\ Losses = Defect\ Amount\ x\ Ideal\ Cycle\ Time$

$Defect\ or\ Rework\ Losses = 6896,69\ x\ 0,0031 = 21,38\ jam$

$Defect\ Losses = \frac{Defect\ or\ Rework\ Losses}{Loading\ Time} x 100\%$

$Defect\ Losses = \frac{21,38\ jam}{625,70\ jam} x 100\% = 3,42\%$

Berikut ini ditunjukkan hasil rekapitulasi pengukuran *defect or rework losses* pada mesin *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler* pada tahun 2019.

**Tabel 4. 54 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Reheating Furnace**

Bulan	Ideal Cycle Time (jam/ton)	Defect Produk (ton)	Loading Time (jam)	Defect / Rework Time (jam)	Defect / Rework Losses (%)
Jan-19	0,0031	6896,69	625,70	21,38	3,42
Feb-19		9676,75	563,64	30,00	5,32
Mar-19		11270,15	621,17	34,94	5,62
Apr-19		19769,54	574,53	61,29	10,67
Mei-19		24593,09	621,17	76,24	12,27
Jun-19		15193,17	565,92	47,10	8,32
Jul-19		12513,03	612,14	38,79	6,34
Agu-19		9485,35	484,41	29,40	6,07
Sep-19		10143,47	536,40	31,44	5,86
Okt-19		14333,75	599,39	44,43	7,41
Nov-19		15463,74	574,41	47,94	8,35
Des-19		10723,89	536,58	33,24	6,20
<b>TOTAL</b>				<b>496,19</b>	<b>85,85</b>

**Tabel 4. 55 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Sizing Press**

Bulan	Ideal Cycle Time (jam/ton)	Defect Produk (ton)	Loading Time (jam)	Defect / Rework Time (jam)	Defect / Rework Losses (%)
Jan-19	0,0018	6896,69	454,18	12,41	2,73
Feb-19		9676,75	452,34	17,42	3,85
Mar-19		11270,15	415,92	20,29	4,88
Apr-19		19769,54	433,81	35,59	8,20
Mei-19		24593,09	404,73	44,27	10,94

<b>Bulan</b>	<b><i>Ideal Cycle Time (jam/ton)</i></b>	<b><i>Defect Produk (ton)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Defect / Rework Time (jam)</i></b>	<b><i>Defect / Rework Losses (%)</i></b>
<b>Jun-19</b>		15193,17	414,10	27,35	6,60
<b>Jul-19</b>		12513,03	443,44	22,52	5,08
<b>Agu-19</b>		9485,35	444,27	17,07	3,84
<b>Sep-19</b>		10143,47	402,59	18,26	4,54
<b>Okt-19</b>		14333,75	401,61	25,80	6,42
<b>Nov-19</b>		15463,74	424,74	27,83	6,55
<b>Des-19</b>		10723,89	403,94	19,30	4,78
<b>TOTAL</b>				<b>288,11</b>	<b>68,42</b>

**Tabel 4. 56 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Roughing Mill**

<b>Bulan</b>	<b><i>Ideal Cycle Time (jam/ton)</i></b>	<b><i>Defect Produk (ton)</i></b>	<b><i>Loading Time (jam)</i></b>	<b><i>Defect / Rework Time (jam)</i></b>	<b><i>Defect / Rework Losses (%)</i></b>
<b>Jan-19</b>	0,0020	6896,69	469,76	13,79	2,94
<b>Feb-19</b>		9676,75	462,27	19,35	4,19
<b>Mar-19</b>		11270,15	431,33	22,54	5,23
<b>Apr-19</b>		19769,54	407,19	39,54	9,71
<b>Mei-19</b>		24593,09	414,54	49,19	11,87
<b>Jun-19</b>		15193,17	452,54	30,39	6,71
<b>Jul-19</b>		12513,03	406,16	25,03	6,16
<b>Agu-19</b>		9485,35	476,45	18,97	3,98
<b>Sep-19</b>		10143,47	437,44	20,29	4,64
<b>Okt-19</b>		14333,75	488,93	28,67	5,86
<b>Nov-19</b>		15463,74	445,31	30,93	6,95
<b>Des-19</b>		10723,89	428,23	21,45	5,01
<b>TOTAL</b>				<b>320,13</b>	<b>73,24</b>

Tabel 4. 57 Pengukuran *Defect or Rework Losses* Pada Mesin *Finishing Mill*

Bulan	<i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)	<i>Defect Produk</i> (ton)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Defect / Rework Time</i> (jam)	<i>Defect / Rework Losses (%)</i>
Jan-19	0,0018	6896,69	484,40	12,41	2,56
Feb-19		9676,75	497,25	17,42	3,50
Mar-19		11270,15	525,02	20,29	3,86
Apr-19		19769,54	513,65	35,59	6,93
Mei-19		24593,09	489,18	44,27	9,05
Jun-19		15193,17	445,78	27,35	6,13
Jul-19		12513,03	522,99	22,52	4,31
Agu-19		9485,35	438,82	17,07	3,89
Sep-19		10143,47	527,04	18,26	3,46
Okt-19		14333,75	469,94	25,80	5,49
Nov-19		15463,74	459,69	27,83	6,06
Des-19		10723,89	469,94	19,30	4,11
<b>TOTAL</b>				<b>288,11</b>	<b>59,36</b>

Tabel 4. 58 Pengukuran *Defect or Rework Losses* Pada Mesin *Laminar Cooling*

Bulan	<i>Ideal Cycle Time</i> (jam/ton)	<i>Defect Produk</i> (ton)	<i>Loading Time</i> (jam)	<i>Defect / Rework Time</i> (jam)	<i>Defect / Rework Losses (%)</i>
Jan-19	0,0019	6896,69	423,68	12,83	3,03
Feb-19		9676,75	437,75	18,00	4,11
Mar-19		11270,15	467,41	20,96	4,48
Apr-19		19769,54	464,88	36,77	7,91
Mei-19		24593,09	498,18	45,74	9,18
Jun-19		15193,17	434,30	28,26	6,51
Jul-19		12513,03	463,39	23,27	5,02
Agu-19		9485,35	488,43	17,64	3,61
Sep-19		10143,47	427,32	18,87	4,42
Okt-19		14333,75	441,46	26,66	6,04
Nov-19		15463,74	471,65	28,76	6,10
Des-19		10723,89	446,76	19,95	4,46
<b>TOTAL</b>				<b>297,72</b>	<b>64,88</b>

**Tabel 4. 59 Pengukuran Defect or Rework Losses Pada Mesin Down Coiler**

Bulan	Ideal Cycle Time (jam/ton)	Defect Produk (ton)	Loading Time (jam)	Defect / Rework Time (jam)	Defect / Rework Losses (%)
Jan-19	0,0018	6896,69	472,79	12,41	2,63
Feb-19		9676,75	464,64	17,42	3,75
Mar-19		11270,15	430,28	20,29	4,71
Apr-19		19769,54	460,95	35,59	7,72
Mei-19		24593,09	451,29	44,27	9,81
Jun-19		15193,17	422,32	27,35	6,48
Jul-19		12513,03	439,86	22,52	5,12
Agu-19		9485,35	467,34	17,07	3,65
Sep-19		10143,47	408,09	18,26	4,47
Okt-19		14333,75	426,72	25,80	6,05
Nov-19		15463,74	404,66	27,83	6,88
Des-19		10723,89	485,75	19,30	3,97
<b>TOTAL</b>				<b>288,11</b>	<b>65,24</b>

#### 4.2.6.4 Pengukuran Yield/Scrap Losses

*Yield/scrap Losses* merupakan kerugian yang disebabkan karena kecatatan diawal proses produksi. Rumus yang digunakan yaitu.

$$\text{Scrap Losses} = \frac{\text{Ideal Cycle Time} \times \text{scrap}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \quad (5.3)$$

Berikut ini merupakan contoh pengukuran *yield/scrap losses* pada esin *Reheating Furnace* untuk bulan Januari 2019.

$$\text{Scrap Losses} = \frac{\text{Ideal Cycle Time} \times \text{scrap}}{\text{Loading Time}} \times 100\%$$

$$\text{Scrap Losses} = \frac{0,0031 \times 0}{625,70} \times 100\% = 0\%$$

Pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* tidak pernah ada scrap. Hasil output akhir akan diterima maupun kualitas baik maupun buruk dan akan diperbaiki ketika berada di *Down Coiler* (Gulungan Baja) dengan menambahkan material tambahan sesuai

dengan kadar yang ditentukan oleh pihak lab. Sehingga nilai *scrap losses* yang ada di mesin Pabrik HSM semua dianggap “0” atau tidak ada.

#### 4.2.7 Rekapitulasi *Six Big Losses*

Pada tahap rekapitulasi *Six Big Losses* dilakukan perhitungan waktu kerugian dari masing-masing *losses* (*total time losses*) untuk mengetahui persentase dari setiap *losses* dari aspek waktu. Waktu yang menjadi acuan dalam melakukan perhitungan *total time losses* adalah *equipment operating time*. Berikut ini ditunjukkan perhitungan *Six Big Losses* berdasarkan *total time losses* pada mesin utama Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) yaitu mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*.

**Tabel 4. 60 Perhitungan *Six Big Losses* pada mesin *Reheating Furnace***

No	<i>Six Big Losses</i> Mesin <i>Reheating Furnace</i>	<i>Total Time Loss</i> (jam)	Presentase (%)
1	<i>Reduced Speed Losses</i>	591,21	39,67
2	<i>Downtime Losses</i>	403,04	27,04
3	<i>Defect Losses</i>	496,19	33,29
4	<i>Set up and Adjustment Losses</i>	0,00	0,00
5	<i>Idling and minor stoppage losses</i>	0,00	0,00
6	<i>Yield/Scrap Losses</i>	0,00	0,00
<b>Total</b>		<b>1490,44</b>	<b>100,00</b>

**Tabel 4. 61 Perhitungan *Six Big Losses* pada mesin *Sizing Press***

No	<i>Six Big Losses</i> Mesin <i>Sizing Press</i>	<i>Total Time Loss</i> (jam)	Presentase (%)
1	<i>Reduced Speed Losses</i>	82,11	3,02
2	<i>Downtime Losses</i>	986,42	36,22
3	<i>Defect Losses</i>	288,11	10,58
4	<i>Set up and Adjustment Losses</i>	522,30	19,18

No	<i>Six Big Losses Mesin Sizing Press</i>	<i>Total Time Loss (jam)</i>	<i>Presentase (%)</i>
5	<i>Idling and minor stoppage losses</i>	844,36	31,00
6	<i>Yield/Scrap Losses</i>	0,00	0,00
<b>Total</b>		<b>2723,31</b>	<b>100,00</b>

**Tabel 4. 62 Perhitungan Six Big Losses pada mesin Roughing Mill**

No	<i>Six Big Losses Mesin Roughing Mill</i>	<i>Total Time Loss (jam)</i>	<i>Presentase (%)</i>
1	<i>Reduced Speed Losses</i>	164,22	4,66
2	<i>Downtime Losses</i>	1526,86	43,35
3	<i>Defect Losses</i>	320,13	9,09
4	<i>Set up and Adjustment Losses</i>	789,24	22,41
5	<i>Idling and minor stoppage losses</i>	721,32	20,48
6	<i>Yield/Scrap Losses</i>	0,00	0,00
<b>Total</b>		<b>3521,77</b>	<b>100,00</b>

**Tabel 4. 63 Perhitungan Six Big Losses pada mesin Finishing Mill**

No	<i>Six Big Losses Mesin Finishing Mill</i>	<i>Total Time Loss (jam)</i>	<i>Presentase (%)</i>
1	<i>Reduced Speed Losses</i>	164,22	4,05
2	<i>Downtime Losses</i>	2256,48	55,71
3	<i>Defect Losses</i>	288,11	7,11
4	<i>Set up and Adjustment Losses</i>	547,47	13,52

No	<i>Six Big Losses Mesin Finishing Mill</i>	<i>Total Time Loss (jam)</i>	<i>Presentase (%)</i>
5	<i>Idling and minor stoppage losses</i>	794,40	19,61
6	<i>Yield/Scrap Losses</i>	0,00	0,00
<b>Total</b>		<b>4050,69</b>	<b>100,00</b>

**Tabel 4. 64 Perhitungan Six Big Losses pada mesin Laminar Cooling**

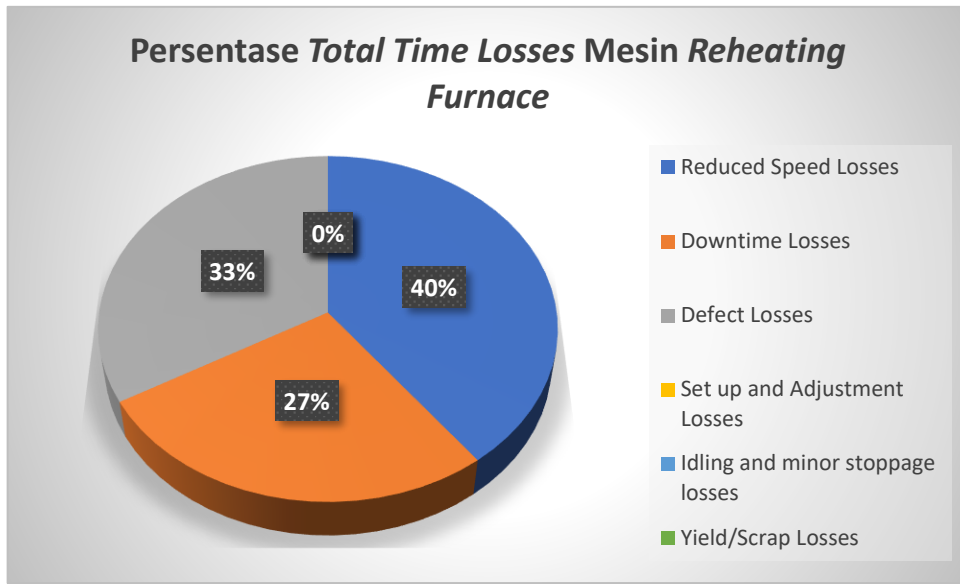
No	<i>Six Big Losses Mesin Laminar Cooling</i>	<i>Total Time Loss (jam)</i>	<i>Presentase (%)</i>
1	<i>Reduced Speed Losses</i>	229,91	5,46
2	<i>Downtime Losses</i>	2220,73	52,71
3	<i>Defect Losses</i>	297,72	7,07
4	<i>Set up and Adjustment Losses</i>	645,98	15,33
5	<i>Idling and minor stoppage losses</i>	819,14	19,44
6	<i>Yield/Scrap Losses</i>	0,00	0,00
<b>Total</b>		<b>4213,47</b>	<b>100,00</b>

**Tabel 4. 65 Perhitungan Six Big Losses pada mesin Down Coiler**

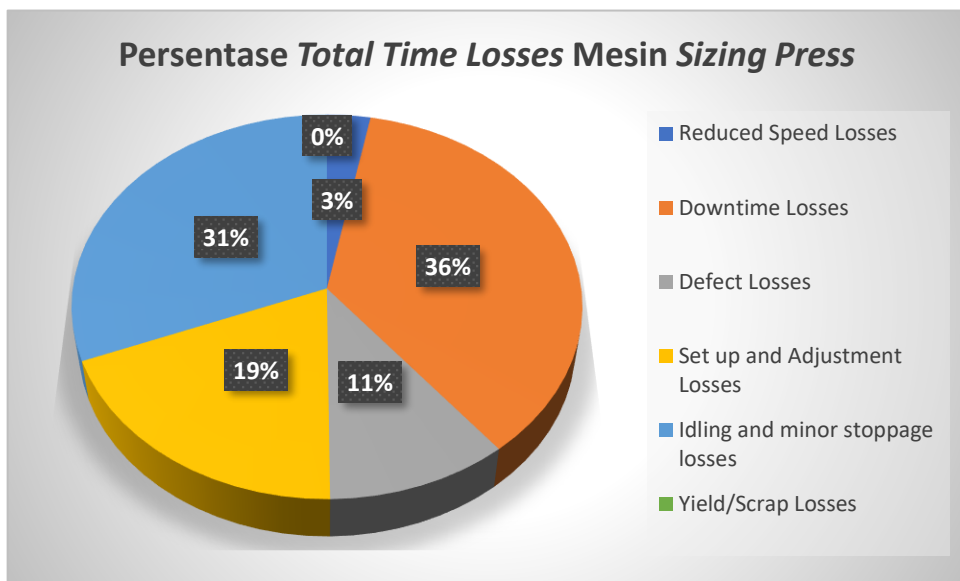
No	<i>Six Big Losses Mesin Down Coiler</i>	<i>Total Time Loss (jam)</i>	<i>Presentase (%)</i>
1	<i>Reduced Speed Losses</i>	328,45	8,23
2	<i>Downtime Losses</i>	2003,91	50,24
3	<i>Defect Losses</i>	288,11	7,22
4	<i>Set up and Adjustment Losses</i>	614,73	15,41
5	<i>Idling and minor stoppage losses</i>	753,56	18,89
6	<i>Yield/Scrap Losses</i>	0,00	0,00
<b>Total</b>		<b>3988,77</b>	<b>100,00</b>

Dan berikut ini ditunjukkan persentase dari masing-masing losses yang terjadi pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*.

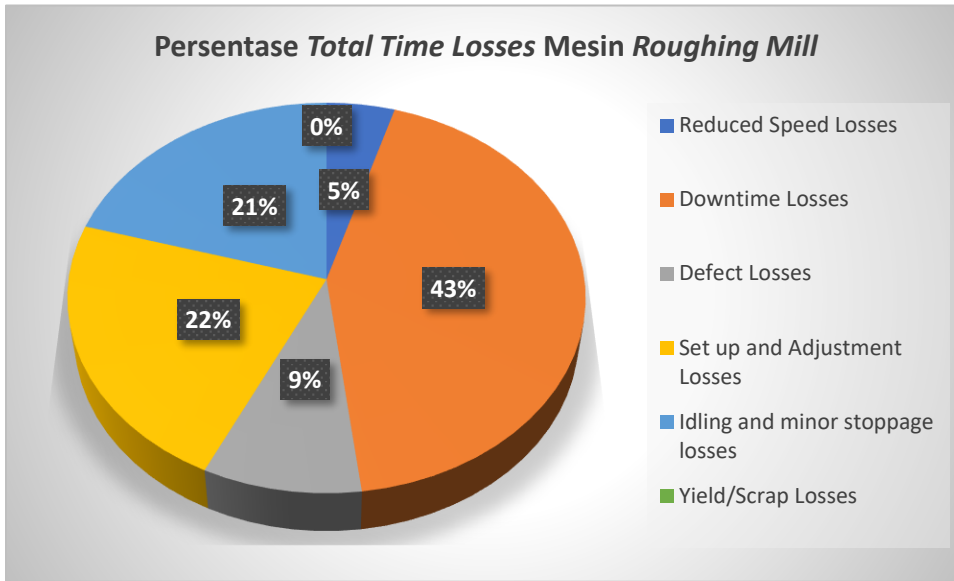




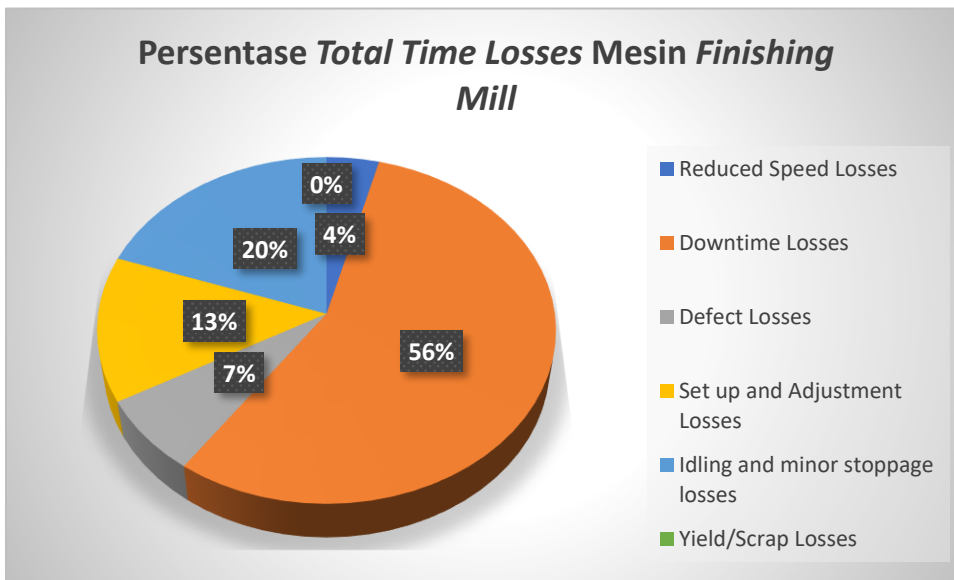
**Gambar 4. 13** *Percentase Total Time Losses Mesin Reheating Furnace*



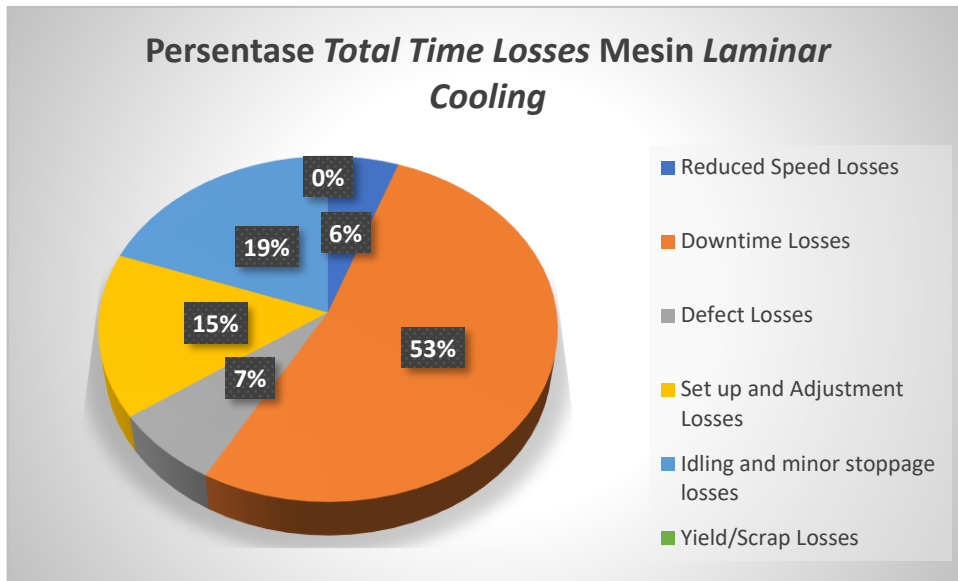
**Gambar 4. 14** *Percentase Total Time Losses Mesin Sizing Press*



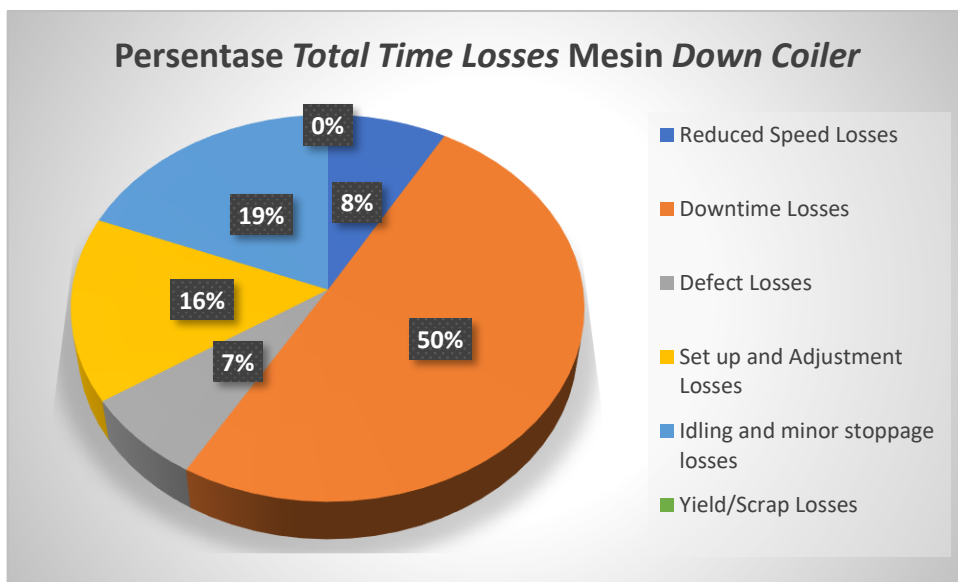
**Gambar 4. 15** *Persentase Total Time Losses Mesin Roughing Mill*



**Gambar 4. 16** *Persentase Total Time Losses Mesin Finishing Mill*



**Gambar 4. 17** Percentase *Total Time Losses* Mesin *Laminar Cooling*



**Gambar 4. 18** Percentase *Total Time Losses* Mesin *Down Coiler*

#### 4.2.7 Identifikasi Jenis Failure Pada Six Big Losses

Berdasarkan hasil pengukuran masing-masing *Six Big Losses* pada tiap mesin, diketahui bahwa *losses* yang terdapat pada proses produksi *Hot Rolled Coil* (HRC) pada Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) antara lain *idling & minor stoppage*, *reduced speed*, *breakdown time*, *setup & adjustment time*, dan *defect/rework*. Selanjutnya dilakukan identifikasi jenis *failure* pada *losses* tersebut. Identifikasi dilakukan berdasarkan wawancara kepada pihak produksi, pihak lab dan kepala bidang Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM). Berikut ini ditunjukkan jenis *failure* dari masing-masing *losses* pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*.

Tabel 4. 66 *Failure* untuk Masing-masing *Losses* pada mesin *Reheating Furnace*

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>
<i>Reduced Speed Losses</i>	Waling Beam macet atau tidak jalan
	Pintu <i>Discharging</i> RF1 tidak mau buka, tekanan udara drop
	Roll Table Tidak Memutar
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 1</i>
	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 2</i>
	Kerusakan pada <i>part Hydraulic A</i>
	Kerusakan pada <i>part Trackling</i>
	Kerusakan pada <i>part Water Descaler</i>
	Kerusakan pada <i>part Compressor WTP</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>
	Crane tidak berfungsi
<i>Defect/Rework losses</i>	Volume dan Kecepatan Nozzle Water Descaler tidak sesuai
	Terjadi defect baja saat proses peleburan

**Tabel 4. 67** *Failure* untuk Masing-masing *Losses* pada mesin *Sizing Press*

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	Slider tidak jalan (macet)
	Baut <i>Synchronizing</i> kurang kencang
	Break Motor Macet
	<i>Measuring Roll</i> Lepas
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami slip
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part</i> Baut <i>Synchronizing</i>
	Kerusakan pada <i>part</i> Slider
	Kerusakan pada <i>part</i> Hydraulic SP
	Kerusakan pada <i>part</i> Die Clamp
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>
<i>Defect/Rework losses</i>	Baja panas kurang terbentuk

**Tabel 4. 68** *Failure* untuk Masing-masing *Losses* pada mesin *Roughing Mill*

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	<i>Hydraulic B</i> mengalami trip
	<i>Laser Speed</i> tidak memotong
	<i>Water Descaler</i> tidak menyemprot
	Slip Ring rotor terbakar
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami Slip
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part</i> Baut <i>Keeper Plate</i>
	Kerusakan pada <i>part</i> <i>EWC</i>
	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Spindle</i>
	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Pinch Roll</i>
	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Edger</i>
	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Disk Break</i>
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part
<i>Defect/Rework losses</i>	Volume dan Kecepatan <i>Nozzle Water Descaler</i> tidak sesuai
	Terjadi <i>defect</i> baja saat proses peleburan

**Tabel 4. 69 Failure untuk Masing-masing Losses pada mesin Finishing Mill**

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	Work Roll Balancing mengalami trip
	<i>Cobble</i> karena <i>problem tracking</i>
	<i>Main Drive</i> mengalami trip
	<i>Hydraulic System</i> trip & bocor
	Strip nabrak antistiker
	Kalibrasi F1 gagal
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami Slip
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part HGC F4</i>
	Kerusakan pada <i>part Water Catcher</i>
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part
<i>Defect/Rework losses</i>	Terjadi <i>defect</i> baja saat proses peleburan

**Tabel 4. 70 Failure untuk Masing-masing Losses pada mesin Laminar Cooling**

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	Power Water mati
	Pompa P2.3 Mati
	<i>Scale Well Water Treatment</i> Banjir
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami Slip
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF</i> 1
	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF</i> 2
	Kerusakan pada part Compressor WTP
	Kerusakan pada <i>part Water Descaler</i>
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part
<i>Defect/Rework losses</i>	Volume dan Kecepatan <i>Nozzle Water Descaler</i> tidak sesuai
	Kekerasan baja panas tidak sesuai keinginan

**Tabel 4. 71 Failure untuk Masing-masing Losses pada mesin Down Coiler**

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	<i>Wrap Roll</i> tidak mau membuka



<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>
	SG Down Coiler kurang membuka
	Filler Roll Table tidak mutar
<i>Reduced Speed Losses</i>	Wrap Roll Macet
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada part Hydraulic G
	Kerusakan pada part Baut Pinch Roll
	Kerusakan pada part Hydraulic F
	Kerusakan pada part RORT
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part
<i>Defect/Rework losses</i>	Coil baja miring di Lifting Car Down Coiler

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 5**

### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan ditampilkan data yang mendukung penelitian yang terdiri dari tahap *analysis* dan *improvement* sesuai dengan metodologi DMAI.

#### **5. Tahap *Analyzis***

Tahap *analysis* dalam penelitian ini akan menyelidiki akar permasalahan OEE untuk mengetahui tingkat performansi dari mesin dan penyebab *Six Big Losses* yang kritikal dengan menggunakan FMEA untuk mengetahui nilai *Risk Priority Number* (RPN) masing-masing akar penyebab *Six Big Losses* dan prioritas akar penyebab tersebut akan menjadi dasar dari rekomendasi perbaikan.

##### **5.1.1 Analisis Nilai *Availability Rate***

*Availability* merupakan ketersediaan waktu untuk kegiatan produksi oleh mesin. *Availability* merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh dalam perhitungan OEE karena faktor-faktor yang termasuk dalam *availability* diantaranya seperti *down time*, *resetting loss*, *tooling loss*, *missing resource*. Dari keempat faktor tersebut yang mempunyai *time losses* paling banyak adalah *tooling loss* dan *down time*. Berdasarkan tabel 4.13 hingga 4.18 diketahui bahwa rata-rata nilai *availability rate* yang mencapai nilai standar *world class* yaitu pada mesin *reheating furnace* sebesar 94% sedangkan *availability rate* pada mesin *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* memiliki nilai dibawah standar *world class* yaitu sebesar 90%.

Pada tabel terlihat bahwa *availability* terendah yaitu pada mesin *laminar cooling* yaitu sebesar 59%. Hal itu dipengaruhi oleh *operating time* pada mesin *laminar cooling* yang lebih rendah dibandingkan dengan mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, dan *down coiler*. Rendahnya *operating time* berarti *downtime* dan *tooling loss* sering terjadi pada mesin *laminar cooling*. *Tooling loss* merupakan *time losses* yang disebabkan karena pergantian alat/*tools*. Sedangkan *down time* merupakan *time losses* yang disebabkan *equipment* tidak dapat beroperasi disebabkan adanya kerusakan. *Tooling loss* yang terjadi disebabkan tingkat kerumitan dalam pergantian alat/*tools*. Sedangkan *downtime*

sendiri dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: kerugian karena kerusakan peralatan, listrik padam, waktu *set up*, dan *idle time*. Berdasarkan data rincian *downtime* bulan Januari-Desember 2019 yang diberikan perusahaan, faktor utama yang menyebabkan *downtime* pada mesin *laminar cooling* disebabkan oleh kerusakan peralatan seperti *discharging door* dan *compressor Water Treatment Plant* (WTP) karena memakan waktu yang cukup lama untuk perbaikannya. Dan juga *idling and minor stoppages losses* juga mempengaruhinya karena frekuensinya yang tinggi.

### **5.1.2 Analisis Nilai Performance Rate**

*Performance* adalah tolak ukur dari efisiensi suatu kinerja mesin menjalankan proses produksi. *Performance* berhubungan dengan *speed losses* yang mendeskripsikan bagaimana kinerja mesin berdasarkan jumlah produksi dan waktu siklus ideal dari proses operasi. Hal yang mempengaruhi *speed losses* dalam *six big losses*, ada 2 yaitu *reduced speed* dan *idling and minor stoppages*. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, nilai *performance* yang paling rendah adalah mesin *sizing press* yaitu 73%, kemudian mesin *reheating furnace* yaitu 78%, selanjutnya mesin *finishing mill* yaitu 83%, mesin *roughing mill* yaitu 88% , mesin *Down Coiler* yaitu 91% dan mesin *laminar cooling* yaitu 95%. Berdasarkan hasil yang didapat, nilai *performance* semua mesin masih dibawah *standart world class* kecuali pada mesin *laminar cooling* yaitu 95%.

Adapun faktor yang mempengaruhi rendahnya nilai *performace* antara lain jumlah produk aktual yang dihasilkan mesin perjam nya tidak sama dengan waktu ideal mesin dalam memproduksi produknya. *Downtime* mesin juga sangat mempengaruhi rendahnya nilai *performance* karena *downtime* mesin mempengaruhi *operating time*. Semakin rendah *operating time* nya maka akan semakin jauh dari target produksi yang ditentukan.

### **5.1.3 Analisis Nilai Quality Rate**

*Quality rate* adalah perbandingan jumlah produk yang baik terhadap jumlah produk yang diproses. Pada Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) total ouput produksi dan *defect* produk tiap mesin adalah sama karena mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* beroperasi secara

linear. Berdasarkan tabel 4.25 diketahui bahwa rata-rata nilai *quality rate* sebesar 90%. Hasil tersebut dibawah *standart world class* yaitu 99%. Faktor yang mempengaruhi rendahnya *quality rate* adalah jumlah *defect* pada produk. *Defect* pada produk dapat disebabkan oleh bahan baku dan mesin dalam proses produksi produk.

#### 5.1.4 Analisis Nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE)

OEE merupakan nilai yang menunjukkan tingkat efektivitas mesin berdasarkan parameter-parameter availabilitas, tingkat performansi dan tingkat kualitas yang dihasilkan dari proses produksi. Nilai dari parameter-parameter OEE menurut standar *world class* (Nakajima, 1988) adalah sebagai berikut.

- *Available* lebih besar dari 90%
- *Performance Rate* lebih besar dari 95%
- *Quality Rate* lebih besar dari 99%
- Nilai OEE lebih besar dari 85%.

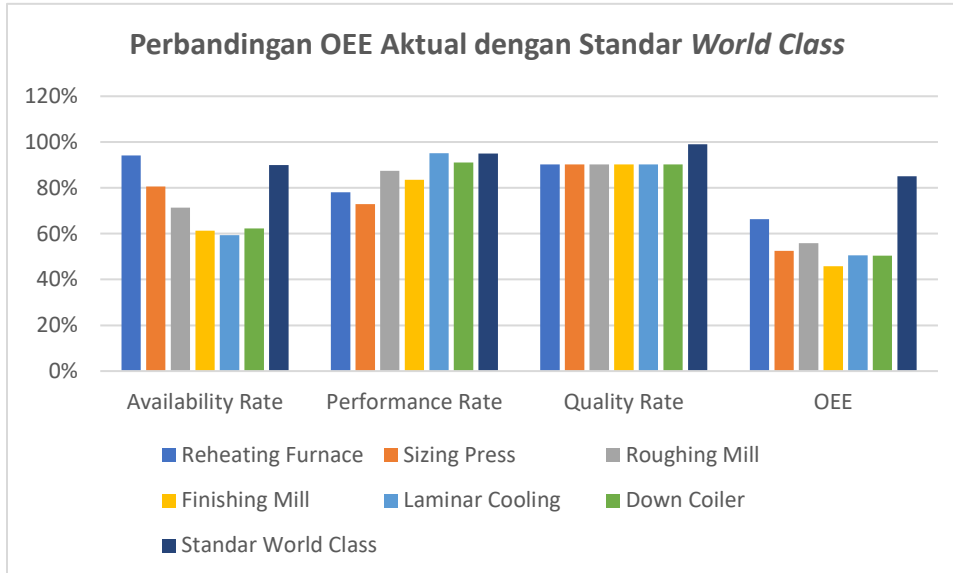
Dari hasil perhitungan OEE pada Tabel 4.26 hingga Tabel 4.31, dapat diketahui bahwa nilai OEE dari mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* di Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) adalah sebagai berikut (Tabel 5.1).

**Tabel 5. 1 Rata-Rata Performansi Mesin Di Pabrik HSM**

Mesin	<i>Availability Rate</i>	<i>Performance Rate</i>	<i>Quality Rate</i>	OEE
<i>Reheating Furnace</i>	94%	78%	90%	66%
<i>Sizing Press</i>	81%	73%	90%	52%
<i>Roughing Mill</i>	71%	88%	90%	56%
<i>Finishing Mill</i>	61%	83%	90%	46%
<i>Laminar Cooling</i>	59%	95%	90%	51%
<i>Down Coiler</i>	62%	91%	90%	50%

Pada Tabel 5.1 di atas dapat diketahui bahwa rata-rata nilai OEE mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* pada Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) dari bulan Januari hingga Desember 2019 berada jauh di bawah nilai standar OEE *world class* yaitu 85%. Pada Gambar

5.1 ditampilkan perbandingan OEE aktual Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) dengan OEE standar *world class*.



Gambar 5. 1 Perbandingan OEE Aktual Pabrik HSM dengan Standar *World Class*

### 5.1.5 Analisis Penyebab *Six Big Losses* Menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA)

Pembuatan FMEA dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa kegagalan proses yang potensial dan mengevaluasi kegagalan tersebut. Dengan menggunakan FMEA peneliti dapat mengetahui kegagalan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap masing-masing *defect* kritis sehingga menjadi prioritas untuk diberikan rekomendasi perbaikan.

Proses pengisian Tabel FMEA melalui proses *brainstorming* dengan pihak perusahaan yang berpengalaman yang dalam hal ini dilakukan berdasarkan penilaian dari para ahli produksi, ahli *quality control* (QC), dan ahli *Maintenance* di departemen produksi Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) dimana kualifikasi responden lebih detail terdapat di lampiran 4. Pengisian kuisisioner bertujuan untuk menentukan nilai skala *severity*, *occurrence*, dan *detection* pada setiap *failure mode* pada Tabel FMEA. Perhitungan dan penilaian yang telah dilakukan oleh para ahli tersebut mengacu pada definisi skala SOD yang telah dibuat sesuai dengan jenis *defect* yang menjadi fokus untuk dilakukannya *improvement*. Dalam penggunaan FMEA ini,

penilaian dan pembobotan didasarkan dari hasil kesepakatan bersama dengan pihak perusahaan. Berikut ini merupakan kriteria dari rating *severity*, *occurance*, dan *detection*.

### 1. Severity

*Severity* atau pengaruh buruk merupakan suatu perkiraan subyektif mengenai kerumitan (keseriusan) suatu kegagalan dan bagaimana buruknya pengguna akhir akan merasakan akibat dari kegagalan tersebut. Penilaian *severity* menggunakan skala 1-10. Nilai *severity* diperoleh melalui penilaian rating dari pihak perusahaan langsung terhadap dampak dan gangguan yang ditimbulkan dari potensi tiap kegagalan yang terjadi. Penilaian rating tersebut ditunjukkan pada Tabel 5.2 berikut ini :

**Tabel 5. 2 Penilaian Severity**

Effect	Criteria : Severity of Effect	Ranking
Hazardous-without warning	Very high severity ranking when a potensial failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation without warning	10
Hazardous-with warning	Very high severity ranking when a potensial failure mode affects safe vehicle operation and/or involves noncompliance with government regulation with warning	9
Very High	Vehicle/item inoperable, with loss of primary function	8
High	Vehicle/item operable, but at reduced level of performance. Customer dissatisfied.	7
Moderate	Vehicle/item operable, but comfort/convenience item(s) inoperable. Customer experiences discomfort.	6
Low	Vehicle/item operable, but comfort/convenience item(s) operable at reduced level of performance. Customer experiences some dissatisfaction.	5
Very Low	Fit & finish/squake &rattle item does not conform. Defect noticed by most customer.	4
Minor	Fit & finish/squake &rattle item does not conform. Defect noticed by average customer.	3
Very Minor	Fit & finish/squake &rattle item does not conform. Defect noticed by discriminating customer.	2
None	No effect	1

Sumber: (Breyfogle III, Forrest W., 1999)

### 2. Occurance

*Occurance (likelihood)* atau rangking kemungkinan merupakan perkiraan subyektif tentang probabilitas atau peluang bahwa penyebab itu terjadi dan menghasilkan mode kegagalan yang memberikan akibat tertentu. Nilai *occurance* pada masing-masing akar penyebab (*cause*) paling kritis diperoleh melalui penilaian rating dari pihak perusahaan terhadap tingkat keseringan atau *probability* dari terjadinya kegagalan atau melalui perhitungan antara jumlah yang tidak sesuai dengan kriteria dibanding

dengan jumlah total produksi. Perhitungan perbandingannya nantinya disesuaikan dengan definisi *occurance*. Skala terhadap *occurance* adalah 1-10. Berikut ini merupakan kriteria dari *occurance* yang digunakan dalam menentukan rangking *occurance* pada Tabel FMEA ditunjukkan pada Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5. 3 Penilaian *Occurance***

Probability of Failure	Possible Failure Rates	Ranking
Very high : failure is almost inevitable	≥1 in 2	10
	1 in 3	9
High : Repeated failure	1 in 8	8
	1 in 20	7
Moderate : Occasional failure	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2,000	4
Low : Relatively few failure	1 in 15,000	3
	1 in 150,000	2
Remote : Failure is unlikely	1 in 1,500,000	1

Sumber: (Breyfogle III, F. W., 1999)

### 3. *Detection*

*Detection* merupakan perkiraan subyektif mengenai suatu metode pencegahan atau deteksi yang dapat menghilangkan mode kegagalan dan tingkat kemungkinan lolosnya penyebab kegagalan dari kontrol yang sudah dilakukan. Skala yang digunakan penilaian *detection* adalah 1-10. Nilai rating *Detection* diperoleh melalui penilaian rating dari pihak perusahaan langsung terhadap tingkat mudah atau tidaknya mendeteksi dari terjadinya kegagalan, dalam hal ini kegagalan tersebut adalah *cause* dari setiap jenis *defect* pada hasil wawancara dan pengamatan langsung ke lapangan. Berikut ini merupakan kriteria dari *Detection* yang digunakan dalam menentukan rangking *Detection* pada Tabel FMEA ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 berikut ini.



**Tabel 5. 4 Penilaian *Detection***

<b>Detection</b>	<b>Criteria : Likelihood of Detection by Design Control</b>	<b>Ranking</b>
Absolute uncertainty	Design control will not and/or cannot detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode; or there is no design control	10
Very remote	Very remote chance that the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	9
Remote	Remote chance that the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	8
Very Low	Very low chance that the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	7
Low	Low chance that the design control will	6
Moderate	Moderate chance that the design control will detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	5
Moderately High	Moderately high chance that the design control will detect the potential cause/mechanism and subsequent failure mode	4
High	High chance that the design control will detect the potential cause/mechanism and subsequent failure mode	3
Very High	Very high chance that the design control will detect the potential cause/mechanism and subsequent failure mode	2
Almost Certain	Design control will almost certainly detect a potential cause/mechanism and subsequent failure mode	1

Sumber: (Breyfogle III, Forrest W., 1999)

Penilaian ranking pada *severity*, *occurrence*, dan *detection* tersebut dinilai oleh masing-masing bagian yang bersangkutan pada Departemen Produksi di Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) yang terkait dengan tiap jenis *failure* mesin, agar penilaiannya sesuai dengan kondisi real yang terjadi. Pihak yang terlibat diantaranya: 1 orang kepala bidang produksi, 3 orang di bagian *maintenance* produksi, dan 2 orang di bagian *quality control* untuk penilaian rating jenis *priority defect* pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*.

Pada Tabel FMEA terdapat beberapa kolom yaitu *Potential Failure Mode*, *Potential Failure Effect*, *Potential Failure Cause*, *Current Control*, dan Tabel untuk nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. *Potential Failure Mode* merupakan mode kegagalan yang terjadi. *Potential Failure Effect* adalah akibat yang ditimbulkan oleh mode kegagalan yang terjadi dan *Potential Failure Cause* adalah apa yang menyebabkan mode kegagalan tersebut dapat terjadi. *Current Control* adalah tindakan tertentu yang telah dilakukan perusahaan untuk mengatasi mode kegagalan yang terjadi. Nilai *Risk Priority Number* (RPN) didapatkan dengan melakukan perkalian terhadap nilai *severity*, *occurrence* dan *detection*. Dan berikut ini akan ditunjukkan Tabel 5.5 hingga Tabel 5.10 untuk Tabel FMEA yang dilakukan untuk masing-masing jenis jenis *failure* yang terjadi pada setiap mesin.

**Tabel 5. 5 FMEA Untuk Mesin *Reheating Furnace***

No	Jenis <i>Failure</i>	Potential <i>Effect</i>	Severity	Potential <i>Cause</i>	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada part <i>Discharging Door RF 1</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	5	Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	4	Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>	5	100
2	Kerusakan pada part <i>Discharging Door RF 2</i>		5		4		5	
3	Kerusakan pada part <i>Hydraulic A</i>		4		4		3	
4	Kerusakan pada part <i>Trackling</i>		5		5		4	
5	Kerusakan pada part <i>Water Descaler</i>		3		4		3	
6	Kerusakan pada part <i>Compressor WTP</i>		7		5		4	

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
7	Waling Beam macet atau tidak jalan	Pengurangan <i>speed</i> mesin	7		8		2	112
8	Pintu <i>Discharging</i> RF1 tidak mau buka, tekanan udara drop	Pengurangan <i>speed</i> mesin	7	Kelalaian operator dalam melakukan pengecekan	4	Tidak terdapat pengendalian	6	168
9	Roll Table Tidak Memutar	Pengurangan <i>speed</i> mesin	4	Kelalaian operator dalam melakukan pengecekan	5		5	100
10	<i>Crane</i> tidak berfungsi	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	5	Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	3	Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang	2	30

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
11	Volume dan Kecepatan Nozzle Water Descaler tidak sesuai	Meningkatnya <i>defect rate</i>	4	Tidak dilakukan checking secara mendalam	5	mengalami <i>delay maintenance</i>	2	40
12	Terjadi defect baja saat proses peleburan	Meningkatnya <i>defect rate</i>	7	Tidak dilakukan checking bahan baku secara mendalam	8		5	280

**Tabel 5. 6 FMEA Untuk Mesin Sizing Press**

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada <i>part</i> Baut <i>Synchronizing</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	5	Terdapat penundaan dan kurangnya	4	Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum	4	80

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
2	Kerusakan pada part Slider		5	pengecekan dalam maintenance	4	proses produksi dan dengan segera untuk melakukan maintenance pada mesin yang mengalami delay maintenance	5	100
3	Kerusakan pada part Hydraulic SP		6		5		6	180
4	Kerusakan pada part Die Clamp		4		5		5	100
5	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin		Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part		6		6	6
6	Slab mengalami slip	Pengurangan speed mesin	7	Kurangnya cleaning pada Working Roll Table	6		7	294
7	Slider tidak jalan (macet)	Mesin mengalami Breakdown	4	Terdapat penundaan dan	5		5	100

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
8	Baut <i>Synchronizing</i> kurang kencang		5	kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	4		4	80
9	Break Motor Macet		6		5		5	150
10	<i>Measuring Roll</i> Lepas	Proses produksi terhambat	8	Kelalaian operator dalam melakukan pengecekan	4	Tidak terdapat pengendalian	6	192
11	Baja panas kurang terbentuk	Meningkatnya <i>defect rate</i>	6	Tidak dilakukan checking bahan baku secara mendalam	6	Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>	6	216

**Tabel 5. 7 FMEA Untuk Mesin *Roughing Mill***

No	Jenis <i>Failure</i>	Potential <i>Effect</i>	Severity	Potential <i>Cause</i>	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada <i>part</i> Baut <i>Keeper Plate</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	5	Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	5	Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>	5	125
2	Kerusakan pada <i>part</i> <i>EWC</i>		7		6		4	168
3	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Spindle</i>		7		6		4	168
4	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Pinch Roll</i>		6		6		5	180
5	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Edger</i>		4		4		7	112
6	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Disk Break</i>		6		6		7	252
7	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part	7		6	6	252	
8	Slab mengalami Slip	Pengurangan <i>speed</i> mesin	7	Kurangnya <i>cleaning</i> pada <i>Working Roll Table</i>	6	7	294	

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
9	<i>Hydraulic B</i> mengalami trip	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	7	Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	6		5	210
10	<i>Laser Speed</i> tidak memotong		6		4		4	96
11	<i>Water Descaler</i> tidak menyemprot		4		5		6	120
12	Slip Ring rotor terbakar		6		4		4	96
13	Volume dan Kecepatan Nozzle Water Descaler tidak sesuai	Meningkatnya <i>defect rate</i>	4	Tidak dilakukan checking secara mendalam	5		4	80
14	Terjadi defect baja saat proses peleburan	Meningkatnya <i>defect rate</i>	7	Tidak dilakukan checking bahan baku secara mendalam	7		4	196



**Tabel 5. 8 FMEA Untuk Mesin *Finishing Mill***

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Work Roll Balancing mengalami trip	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	5	Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	3	Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>	3	45
2	<i>Cobble</i> karena <i>problem tracking</i>		3		6		5	90
3	<i>Main Drive</i> mengalami trip		6		3		7	126
4	<i>Hydraulic System</i> trip & bocor		5		7		7	245
5	Strip nabrak antistiker		5		6		5	150
6	Kalibrasi F1 gagal		6		7		7	294
7	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin		Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part		7		7	7

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
8	Slab mengalami Slip	Pengurangan <i>speed</i> mesin	7	Kurangnya cleaning pada <i>Working Roll Table</i>	6		6	252
9	Kerusakan pada <i>part HGC F4</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	7	Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	7		7	343
10	Kerusakan pada <i>part Water Catcher</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	3		7		3	63
11	Terjadi defect baja saat proses peleburan	Meningkatnya <i>defect rate</i>	7	Tidak dilakukan checking secara mendalam	7		6	294

Tabel 5. 9 FMEA Untuk Mesin *Laminar Cooling*

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 1</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	7	Terdapat penundaan dan	4	Pengecekan setiap mesin akan	7	196

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
2	Kerusakan pada part <i>Discharging Door RF 2</i>		4	kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	6	dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>	7	168
3	Kerusakan pada part <i>Water Descaler</i>		6		4		7	168
4	Kerusakan pada part <i>Compressor WTP</i>		3		3		5	45
7	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin		Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part		6		6	6
8	Slab mengalami Slip	Pengurangan <i>speed</i> mesin	6	Kurangnya cleaning pada <i>Working Roll Table</i>	7		6	252
9	Power Water mati	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	6	Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	4		7	168
10	Pompa P2.3 Mati		7		6		5	210

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
11	Scale Well Water Treatment Banjir		7		7		4	196
12	Volume dan Kecepatan Nozzle Water Descaler tidak sesuai	Meningkatnya defect rate	5	Tidak dilakukan checking secara mendalam	5		6	150
13	Kekerasan baja panas tidak sesuai keinginan	Meningkatnya defect rate	7	Tidak dilakukan checking secara mendalam	8		5	280

Tabel 5. 10 FMEA Untuk Mesin Down Coiler

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada part Hydraulic G	Mesin mengalami Breakdown	5	Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam maintenance	6	Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera	7	210
2	Kerusakan pada part Baut Pinch Roll		7		7		4	196

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
3	Kerusakan pada part <i>Hydraulic F</i>		3		4	untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>	5	60
4	Kerusakan pada part <i>RORT</i>		3		4		4	48
7	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin		Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part		7		6	6
8	<i>Wrap Roll</i> Macet	Pengurangan <i>speed</i> mesin	7	Kurangnya pengecekan pada part <i>Wrap Roll</i>	6		5	210
9	<i>Wrap Roll</i> tidak mau membuka	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	5	Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>	6		3	90
10	<i>SG Down Coiler</i> kurang membuka		5		7		3	105
11	<i>Filler Roll Table</i> tidak mutar		7		5		5	175

No	Jenis Failure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
12	Coil baja miring di <i>Lifting Car Down Coiler</i>	Meningkatnya <i>defect rate</i>	7	Tidak dilakukan checking secara mendalam	7		5	245

Setelah membuat FMEA untuk masing-masing jenis *failure* pada setiap mesin, langkah berikutnya yang dilakukan adalah menentukan prioritas perbaikan dengan melihat dari nilai RPN tertinggi untuk masing-masing *potential Failure Mode*. Dalam penelitian ini, RPN yang diambil menggunakan nilai diatas rata-rata dari total nilai RPN.

Berikut adalah Tabel 5.11 hingga 5.16 yang menjelaskan rekap nilai RPN untuk tiap jenis Potential Failure Mode pada mesin *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler*.

**Tabel 5. 11 Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing Failure Pada Mesin Reheating Furnace**

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 1</i>	5	4	5	100
	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 2</i>	5	4	5	100

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
	Kerusakan pada <i>part Trackling</i>	5	5	4	100
	Kerusakan pada <i>part Compressor WTP</i>	7	5	4	140
<i>Reduced Speed Losses</i>	Waling Beam macet atau tidak jalan	7	8	2	112
	Pintu <i>Discharging</i> RF1 tidak mau buka, tekanan udara drop	7	4	6	168
	Roll Table Tidak Memutar	4	5	5	100
<i>Defect/Rework losses</i>	Terjadi defect baja saat proses peleburan	7	8	5	280

**Tabel 5. 12** Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing *Failure* Pada Mesin *Sizing Press*

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Hydraulic SP</i>	6	5	6	180

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	6	6	6	216
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami slip	7	6	7	294
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	Break Motor Macet	6	5	5	150
	<i>Measuring Roll</i> Lepas	8	4	6	192
<i>Defect/Rework losses</i>	Baja panas kurang terbentuk	6	6	6	216

**Tabel 5. 13** Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing *Failure* Pada Mesin *Roughing Mill*

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part EWC</i>	7	6	4	168
	Kerusakan pada <i>part Spindle</i>	7	6	4	168
	Kerusakan pada <i>part Pinch Roll</i>	6	6	5	180



<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
	Kerusakan pada <i>part Disk Break</i>	6	6	7	252
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	7	6	6	252
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami Slip	7	6	7	294
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	<i>Hydraulic B</i> mengalami trip	7	6	5	210
<i>Defect/Rework losses</i>	Terjadi defect baja saat proses peleburan	7	7	4	196

**Tabel 5. 14** Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing *Failure* Pada Mesin *Finishing Mill*

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part HGC F4</i>	7	7	7	343
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	7	7	6	294

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami Slip	7	6	6	252
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	<i>Hydraulic System</i> trip & bocor	7	6	7	294
	Kalibrasi F1 gagal	6	7	7	294
<i>Defect/Rework losses</i>	Terjadi defect baja saat proses peleburan	7	7	6	294

**Tabel 5. 15 Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing *Failure* Pada Mesin *Laminar Cooling***

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 1</i>	7	4	7	196
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	6	6	6	216
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami Slip	6	7	6	252
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	Pompa P2.3 Mati	7	6	5	210
	<i>Scale Well Water Treatment</i> Banjir	7	7	4	196

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
<i>Defect/Rework losses</i>	Kekerasan baja panas tidak sesuai keinginan	7	8	5	280

Sumber: Hasil Pengolahan Data

Tabel 5. 16 Rekap Nilai RPN Untuk Masing-Masing *Failure* Pada Mesin *Down Coiler*

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<b>RPN</b>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Hydraulic G</i>	5	6	7	210
	Kerusakan pada <i>part</i> Baut <i>Pinch Roll</i>	7	7	4	196
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	7	6	6	252
<i>Reduced Speed Losses</i>	<i>Wrap Roll</i> Macet	7	6	5	210
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	<i>Filler Roll Table</i> tidak mutar	7	5	5	175
<i>Defect/Rework losses</i>	Coil baja miring di <i>Lifting Car Down Coiler</i>	7	7	5	245

Dengan mengetahui keenam kerugian besar (*Six Big Losses*) pada tiap mesin, maka hal ini akan mempengaruhi hasil total pada output produk. Pada Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM), mesin tersusun secara linear atau beruntun sehingga jika setiap mesin memiliki *losses* maka hasil akhir output banyak mengalami *defect*. Selain itu usia pada mesin yang digunakan sudah berusia lebih dari 20 tahun, sudah banyak komponen mesin yang diperbaharui, tetapi masih terdapat komponen yang lama. Ini menyebabkan ketidakstabilan kinerja mesin dan *maintenance* harus melakukan *set up* kembali. Maka dari itu, pada subbab selanjutnya akan dibahas tahap *improve* yaitu dengan menerapkan rekomendasi perbaikan kinerja mesin agar dapat beroperasi dengan kinerja yang lebih baik dan efisien.

## **5.2 Tahap *Improve***

Tahap *improve* merupakan tahapan terakhir dalam metodologi DMAIC yang digunakan dalam penelitian ini. Pada tahap ini, peneliti memberikan rekomendasi perbaikan kepada prioritas masalah yang menyebabkan terjadi cacat produk pada perusahaan, yaitu memberikan usulan perbaikan terhadap proses produksi berdasarkan analisa mode kegagalan dengan nilai RPN yang tertinggi di Tabel FMEA pada tahap sebelumnya (tahap *analyze*) dan diintegrasikan dengan metode TRIZ dengan tujuan mengeliminasi jumlah cacat produk untuk meningkatkan nilai sigma. Pada proses ini dilakukan identifikasi kontradiksi matriks yang ada terkait parameter-parameter yang terlibat dalam masing-masing penyebab *defect* serta penentuan prinsip inovasi TRIZ terhadap masing-masing *technical response*.

### **5.2.1 Kontradiksi-Kontradiksi *Failure* Mesin**

Di dalam proses pembuatan *Hot Rolled Coil* (HRC) di Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM), terdapat kontradiksi-kontradiksi permasalahan yang menjadi hambatan pada proses mesin untuk tidak menghasilkan produk yang tidak cacat. Kontradiksi matriks yang menjadi hambatan pada proses tersebut untuk tidak menghasilkan *failure* pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler*. Berikut ini akan dijelaskan kontradiksi-kontradiksi FMEA berdasarkan RPN tertinggi pada tabel FMEA *failure* tiap mesin serta penyebab cacat yang akan ditunjukkan pada Tabel 5.17 hingga 5.22.

Tabel 5. 17 Parameter Konflik Permasalahan *Failure* Mesin *Reheating Furnace*

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	Penyebab Cacat	Kontradiksi		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 1</i>	Tidak sesuaiya Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuaiya pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susahnya pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 2</i>	Tidak sesuaiya Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuaiya pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
		Susahnya pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
	Kerusakan pada <i>part Trackling</i>	Tidak sesuaiya Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuaiya pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susahnya pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
	Kerusakan pada <i>part Compressor WTP</i>	Tidak sesuaiya Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
		Tidak sesuainya pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susahnya pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
<i>Reduced Speed Losses</i>	Waling Beam macet atau tidak jalan	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	Penyebab Cacat	Kontradiksi		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
	Pintu <i>Discharging</i> RF1 tidak mau buka, tekanan udara drop	Konsentrasi Kerja yang Menurun	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
	Roll Table Tidak Memutar	Konsentrasi Kerja yang Menurun	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>



<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Defect/Rework losses</i>	Terjadi defect baja saat proses peleburan	Konsentrasi Kerja yang Menurun dalam pengecekan bahan baku	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>

**Tabel 5. 18 Parameter Konflik Permasalahan *Failure* Mesin *Sizing Press***

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	Penyebab Cacat	Kontradiksi		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Hydraulic SP</i>	Tidak sesuai Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuai pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susah pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami slip	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
		Lingkungan Tidak Bersih	(32) <i>Ease Of Manufacturing</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
<i>Defect/Rework losses</i>	Terjadi defect baja saat proses peleburan	Konsentrasi Kerja yang Menurun dalam pengecekan bahan baku	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	Break Motor Macet	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
	<i>Measuring Roll</i> Lepas	<i>Skill</i> Operator berbeda-beda	(27) <i>Reliability</i>	><	(25) <i>Lost Of Time</i>
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	Konsentrasi Kerja yang Menurun	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>

**Tabel 5. 19 Parameter Konflik Permasalahan *Failure* Mesin *Roughing Mill***

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	Penyebab Cacat	Kontradiksi		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada part EWC	Tidak sesuaiya Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuaiya pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susahnya pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
	Kerusakan pada part <i>Spindle</i>	Tidak sesuaiya Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
		Tidak sesuai pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susah pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
	Kerusakan pada <i>part Pinch Roll</i>	Tidak sesuai Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuai pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susah pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
	Kerusakan pada <i>part Disk Break</i>	Tidak sesuaiya Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuaiya pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susahnya pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami slip	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
		Lingkungan Tidak Bersih	(32) <i>Ease Of Manufacturing</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Defect/Rework losses</i>	Terjadi defect baja saat proses peleburan	Konsentrasi Kerja yang Menurun dalam pengecekan bahan baku	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	<i>Hydraulic B</i> mengalami trip	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	Konsentrasi Kerja yang Menurun	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>



**Tabel 5. 20 Parameter Konflik Permasalahan *Failure* Mesin *Finishing Mill***

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part HGC F4</i>	Tidak sesuainya Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuainya pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susahnya pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami slip	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
		Lingkungan Tidak Bersih	(32) <i>Ease Of Manufacturing</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
<i>Defect/Rework losses</i>	Terjadi defect baja saat proses peleburan	Konsentrasi Kerja yang Menurun dalam pengecekan bahan baku	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	<i>Hydraulic System</i> trip & bocor	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
	Kalibrasi F1 gagal	Mesin mengalami kebocoran	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	Konsentrasi Kerja yang Menurun	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>

**Tabel 5. 21 Parameter Konflik Permasalahan *Failure* Mesin *Laminar Cooling***

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 1</i>	Tidak sesuai Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuai pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susah pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Reduced Speed Losses</i>	Slab mengalami slip	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
		Lingkungan Tidak Bersih	(32) <i>Ease Of Manufacturing</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
<i>Defect/Rework losses</i>	Terjadi defect baja saat proses peleburan	Konsentrasi Kerja yang Menurun dalam pengecekan bahan baku	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	Pompa P2.3 Mati	Tidak sesuai Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	Penyebab Cacat	Kontradiksi		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
	<i>Scale Well Water Treatment Banjir</i>	Mesin mengalami kebocoran	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
		Mesin mengalami <i>failure</i> akibat kebocoran	(32) <i>Ease Of Manufacturing</i>	><	(30) <i>External harm affect the object</i>
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	Konsentrasi Kerja yang Menurun	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>

Tabel 5. 22 Parameter Konflik Permasalahan *Failure* Mesin *Down Coiler*

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Breakdown Time</i>	Kerusakan pada <i>part Hydraulic G</i>	Tidak sesuai Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuai pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>
		Susah pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
	Kerusakan pada <i>part Baut Pinch Roll</i>	Tidak sesuai Interaksi dalam sistem dengan ketahanan mesin	(10) <i>force</i>	><	(14) <i>strength</i>
		Tidak sesuai pemasangan mesin	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(14) <i>Strength</i>

<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
		Susahnya pendeteksian karena kompleksitas mesin	(36) <i>Device Complexity</i>	><	(37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>
<i>Reduced Speed Losses</i>	Wrap Roll Macet	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
		Lingkungan Tidak Bersih	(32) <i>Ease Of Manufacturing</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
<i>Defect/Rework losses</i>	Coil baja miring di <i>Lifting Car Down Coiler</i>	<i>Rolling Down Coiler</i> menyebabkan <i>defect</i> tambahan	(12) <i>Shape</i>	><	(5) <i>Area Moving Object</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>



<i>Six Big Losses</i>	<i>Failure</i>	<b>Penyebab Cacat</b>	<b>Kontradiksi</b>		
			<i>Improving Parameter</i>	><	<i>Worsening Parameter</i>
<i>Idling &amp; Minor Stoppage</i>	<i>Filler Roll Table</i> tidak mutar	Mesin kurang diberi Pelumas	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>
<i>Setup and Adjustment Time</i>	Ketidaksesuaian saat Pergantian Part mesin	Konsentrasi Kerja yang Menurun	(14) <i>Strength</i>	><	(22) <i>Lost Of Energy</i>
		Prosedur Pengecekan Tidak Benar	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i>	><	(35) <i>Adaptability Or Versatility</i>

### 5.2.2 Contradiction Matrix Failure Mesin

Hasil dari kontradiksi *failure* pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* selanjutnya dilakukan pembuatan matriks kontradiksi untuk mengetahui persilangan antara *improving feature* dengan *worsening feature* berdasarkan 39 *features* yang ada pada lampiran 2, persilangan tersebut akan menghasilkan angka-angka *inventive principles* yang disarankan. *Contradiction Matrix* tiap mesin akan ditunjukkan pada Tabel 5.23 hingga Tabel 5.28, bagian yang berwarna hitam dalam *Contradiction Matrix* tidak ada artinya karena kesamaan parameter engineering, pada bagian yang bertanda kata (*all*) artinya tidak memiliki hubungan kontradiksi, dan pada bagian yang berwarna kuning merupakan prinsip yang disarankan.

**Tabel 5. 23 Contradiction Matrix Mesin Reheating Furnace**

	<b>Worsening Parameter</b>	<b>Strength</b>	<b>Difficulty of detecting and measuring</b>	<b>Adaptability Or Versatility</b>	<b>Lost Of Energy</b>
<b>Improving Parameter</b>	No	14	37	35	22
<b>Force</b>	10	35,10,14,27	36,37,10,19	15,17,18,20	14,15
<b>Accuracy Of Manufacturing</b>	29	3,27	all	all	13,32,2
<b>Device Complexity</b>	36	2,13,28	15,10,37,28	29,15,28,37	10,35,13,2
<b>Strength</b>	14		27,3,15,40	15,3,32	35

**Tabel 5. 24 Contradiction Matrix Mesin Sizing Press**

	<i>Worsening Parameter</i>	<i>Strength</i>	<i>Difficulty of detecting and measuring</i>	<i>Adaptability Or Versatility</i>	<i>Lost Of Energy</i>	<i>Lost Of Time</i>
<i>Improving Parameter</i>	No	14	37	35	22	25
<i>Force</i>	10	35,10,14,27	36,37,10,19	15,17,18,20	14,15	10,37,36
<i>Accuracy Of Manufacturing</i>	29	3,27	all	all	13,32,2	32,26,23,18
<i>Device Complexity</i>	36	2,13,28	15,10,37,28	29,15,28,37	10,35,13,2	6,29
<i>Ease Of Manufacturing</i>	32	1,3,10,32	6,28,11,1	2,13,15	19,35	35,28,34,4
<i>Strength</i>	14		27,3,15,40	15,3,32	35	29,3,28,10
<i>Reliability</i>	27	29,3,28,18	27,40,28	13,35,8,24	10,11,35	10,30,4

**Tabel 5. 25 Contradiction Matrix Mesin Roughing Mill**

	<i>Worsening Parameter</i>	<i>Strength</i>	<i>Difficulty of detecting and measuring</i>	<i>Adaptability Or Versatility</i>	<i>Lost Of Energy</i>
<i>Improving Parameter</i>	No	14	37	35	22
<i>Force</i>	10	35,10,14,27	36,37,10,19	15,17,18,20	14,15
<i>Accuracy Of Manufacturing</i>	29	3,27	all	all	13,32,2
<i>Device Complexity</i>	36	2,13,28	15,10,37,28	29,15,28,37	10,35,13,2
<i>Ease Of Manufacturing</i>	32	1,3,10,32	6,28,11,1	2,13,15	19,35
<i>Strength</i>	14		27,3,15,40	15,3,32	35

**Tabel 5. 26 Contradiction Matrix Mesin Finishing Mill**

	<i>Worsening Parameter</i>	<i>Strength</i>	<i>Difficulty of detecting and measuring</i>	<i>Adaptability Or Versatility</i>	<i>Lost Of Energy</i>
<i>Improving Parameter</i>	No	14	37	35	22
<i>Force</i>	10	35,10,14,27	36,37,10,19	15,17,18,20	14,15
<i>Accuracy Of Manufacturing</i>	29	3,27	all	all	13,32,2
<i>Device Complexity</i>	36	2,13,28	15,10,37,28	29,15,28,37	10,35,13,2
<i>Ease Of Manufacturing</i>	32	1,3,10,32	6,28,11,1	2,13,15	19,35
<i>Strength</i>	14		27,3,15,40	15,3,32	35

**Tabel 5. 27 Contradiction Matrix Mesin Laminar Cooling**

	<i>Worsening Parameter</i>	<i>Strength</i>	<i>Difficulty of detecting and measuring</i>	<i>Adaptability Or Versatility</i>	<i>Lost Of Energy</i>	<i>External harm affect the object</i>
<i>Improving Parameter</i>	No	14	37	35	22	30
<i>Force</i>	10	35,10,14,27	36,37,10,19	15,17,18,20	14,15	1,35,40,18
<i>Accuracy Of Manufacturing</i>	29	3,27	all	all	13,32,2	26,28,10,36
<i>Device Complexity</i>	36	2,13,28	15,10,37,28	29,15,28,37	10,35,13,2	22,19,29,40
<i>Ease Of Manufacturing</i>	32	1,3,10,32	6,28,11,1	2,13,15	19,35	24,2
<i>Strength</i>	14		27,3,15,40	15,3,32	35	18,35,37,1

**Tabel 5. 28 Contradiction Matrix Mesin Down Coiler**

	<i>Worsening Parameter</i>	<i>Strength</i>	<i>Difficulty of detecting and measuring</i>	<i>Adaptability Or Versatility</i>	<i>Lost Of Energy</i>	<i>Area Moving Object</i>
<i>Improving Parameter</i>	No	14	37	35	22	5
<i>Force</i>	10	35,10,14,27	36,37,10,19	15,17,18,20	14,15	19,10,15
<i>Accuracy Of Manufacturing</i>	29	3,27	all	all	13,32,2	28,33,29,32
<i>Device Complexity</i>	36	2,13,28	15,10,37,28	29,15,28,37	10,35,13,2	14,1,13,16
<i>Ease Of Manufacturing</i>	32	1,3,10,32	6,28,11,1	2,13,15	19,35	13,1,26,12
<i>Strength</i>	14		27,3,15,40	15,3,32	35	3,34,40,29
<i>Shape</i>	12	30,14,10,40	15,13,39	1,15,29	14	5,34,4,10

### 5.2.3 Inventive Principles Mesin

Pada tahap ini akan diberikan rekomendasi perbaikan terhadap masalah-masalah yang diteliti. Yaitu memberikan usulan perbaikan terhadap proses produksi dengan tujuan memberikan rekomendasi perbaikan dari identifikasi *Six Big Losses* pada mesin *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler* berdasarkan analisa yang telah dilakukan dengan menggunakan matriks *contradiction* dan 40 *inventive principle*. Setelah memetakan kontradiksi pada *contradiction matrix*, maka didapatkan ide usulan perbaikan berdasarkan parameter yang ingin diubah (parameter yang diblok kuning) dan memungkinkan dilakukan di perusahaan yaitu akan ditunjukkan pada Tabel 5.29 hingga 5.34 sebagai berikut.

Tabel 5. 29 Penentuan Solusi Ideal Mesin *Reheating Furnace*

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
1	(10) <i>force</i> >< (14) <i>strength</i>	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).	#10 <i>Preliminary Action</i> : Lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan pengecekan dan pembersihan sebelum kerusakan terjadi pada bagian komponen
			B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	
		14 : <i>Curvature increase</i>	A. Daripada menggunakan persegi, persegi panjang, kubus atau bagian yang flat, permukaan atau bentuk,	
			B. Gunakan yang melengkung atau bulat; bergerak dari permukaan datar sampai yang bulat; dari kubus atau bentuk yang paralelepiped sampai struktur yang berbentuk bola.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			C. Gunakan rol, bola, spiral, dan / atau kubah.	
			D. berpindah dari linear ke gerakan berputar, dengan menggunakan gaya sentrifugal.	
		<i>27 : Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	
		<i>35 : Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
2	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i> >< (14) <i>Strength</i>	3 : <i>Local quality</i>	A. Mengubah struktur obyek atau lingkungan eksternal (atau pengaruh eksternal) sehingga objek akan memiliki fitur yang berbeda atau pengaruh di tempat atau situasi yang berbeda.	#3 <i>Local Quality</i> (Subprinsip B) : Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi, contohnya penambahan <i>lock nut</i> pada mur. <i>Lock nut</i> atau yang dapat disebut juga dengan pengait untuk mur adalah salah satu jenis mur dimana didalamnya terdapat bahan seperti karet yang fungsinya untuk memudahkan pekerjaan yang berhubungan dengan pemasangan mur. Tujuan lainnya dengan adanya pemberian <i>lock nut</i> pada mur yaitu untuk mengurangi masalah mur yang mudah kendur
			B. Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi.	
			C. Membuat setiap bagian dari sebuah objek memenuhi fungsi yang berbeda dan berguna	
		27 : <i>Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	



No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
3	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i> >< (35) <i>Adaptability Or Versatility</i>	All		#19 <i>Periodic Action</i> : karena diperlukan pengawasan secara periodik untuk mengendalikan kualitas proses
4	(36) <i>Device Complexity</i> >< (37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>	10 : <i>Preliminary action</i>	<p>A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).</p> <p>B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.</p>	#28 <i>Mechanical Interaction Substitution</i> (Subprinsip A) : Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau). Dalam hal ini, pendeteksian komponen mesin dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan <i>feel</i> indera pendengar dan indera melihat. Akan tetapi, kontak fisik langsung dengan mesin yang masih dalam kondisi on juga dapat menimbulkan risiko bahaya bagi keselamatan operator sehingga tindakan tersebut tidak aman bagi operator sehingga diperlukan alat bantu khusus.
		15 : <i>Dynamic parts (dynamicity, dynamization, dynamics)</i>	A. Memungkinkan (atau desain) karakteristik objek, lingkungan eksternal, proses atau sistem untuk mengubah menjadi optimal atau menemukan kondisi operasi yang optimal.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			<p>B. Membagi suatu benda menjadi bagian yang mampu bergerak relatif satu sama lain.</p> <p>C. Jika suatu benda (atau proses) yang kaku atau tidak fleksibel, membuatnya dapat bergerak atau adaptif.</p>	
		<p>28 : <i>Mechanical interaction substitution</i></p>	<p>A. Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau).</p> <p>B. Gunakan medan listrik, magnet, dan medan elektromagnetik untuk berinteraksi dengan objek.</p> <p>C. Ubah dari statis menjadi bidang yang bergerak ke mereka yang memiliki struktur.</p>	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
		37 : <i>Thermal expansion</i>	D. Gunakan bidang dalam hubungannya dengan partikel bidang yang diaktifkan (misalnya, feromagnetik).	
			A. Gunakan ekspansi termal (atau kontraksi) dari material.	
			B. Jika ekspansi termal yang digunakan, pilih beberapa bahan dengan koefisien yang berbeda dari ekspansi termal.	
5	(14) <i>Strength</i> >< (22) <i>Lost Of Energy</i>	35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat). B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi. C. Mengubah tingkat fleksibilitas. D. Mengubah suhu	#35 : <i>Parameter changes</i> (Subprinsip B) karena perlu peningkatan konsentrasi dengan adanya pengawasan berkala dan peringatan dari supervisor

Tabel 5. 30 Penentuan Solusi Ideal Mesin *Sizing Press*

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
1	(10) <i>force</i> >> (14) <i>strength</i>	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).	#10 <i>Preliminary Action</i> : Lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan pengecekan dan pembersihan sebelum kerusakan terjadi pada bagian komponen
			B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	
		14 : <i>Curvature increase</i>	A. Daripada menggunakan persegi, persegi panjang, kubus atau bagian yang flat, permukaan atau bentuk,	
			B. Gunakan yang melengkung atau bulat; bergerak dari permukaan datar sampai yang bulat; dari kubus atau bentuk yang paralelepiped sampai struktur yang berbentuk bol.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			C. Gunakan rol, bola, spiral, dan / atau kubah.	
			D. Berpindah dari linear ke gerakan berputar, dengan menggunakan gaya sentrifugal.	
		<i>27 : Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	
		<i>35 : Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
2	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (14) Strength	3 : <i>Local quality</i>	A. Mengubah struktur obyek atau lingkungan eksternal (atau pengaruh eksternal) sehingga objek akan memiliki fitur yang berbeda atau pengaruh di tempat atau situasi yang berbeda.	#3 <i>Local Quality</i> (Subprinsip B) : Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi, contohnya penambahan lock nut pada mur. Lock nut atau yang dapat disebut juga dengan pengait untuk mur adalah salah satu jenis mur dimana didalamnya terdapat bahan seperti karet yang fungsinya untuk memudahkan pekerjaan yang berhubungan dengan pemasangan mur. Tujuan lainnya dengan adanya pemberian lock nut pada mur yaitu untuk mengurangi masalah mur yang mudah kendur
			B. Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi.	
			C. Membuat setiap bagian dari sebuah objek memenuhi fungsi yang berbeda dan berguna	
		27 : <i>Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
3	(29) <i>Accuracy Of Manufacturing</i> >< (35) <i>Adaptability Or Versatility</i>	All		#19 <i>Periodic Action</i> : karena diperlukan pengawasan secara periodik untuk mengendalikan kualitas proses
4	(36) <i>Device Complexity</i> >< (37) <i>Difficulty of detecting and measuring</i>	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian). B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	#28 <i>Mechanical Interaction Substitution</i> (Subprinsip A) : Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau). Dalam hal ini, pendeteksian komponen mesin dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan <i>feel</i> indera pendengar dan indera melihat. Akan tetapi, kontak fisik langsung dengan mesin yang masih dalam kondisi on juga dapat menimbulkan risiko bahaya bagi keselamatan operator sehingga tindakan tersebut tidak aman bagi operator
		15 : <i>Dynamic parts (dynamicity, dynamization, dynamics)</i>	A. Memungkinkan (atau desain) karakteristik objek, lingkungan eksternal, proses atau sistem untuk mengubah menjadi optimal atau menemukan kondisi operasi yang optimal.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			B. Membagi suatu benda menjadi bagian yang mampu bergerak relatif satu sama lain.	sehingga diperlukan alat bantu khusus.
			C. Jika suatu benda (atau proses) yang kaku atau tidak fleksibel, membuatnya dapat bergerak atau adaptif.	
		28 : <i>Mechanical interaction substitution</i>	A. Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau).	
			B. Gunakan medan listrik, magnet, dan medan elektromagnetik untuk berinteraksi dengan objek.	
			C. Ubah dari statis menjadi bidang yang bergerak ke mereka yang memiliki struktur.	



No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			D. Gunakan bidang dalam hubungannya dengan partikel bidang yang diaktifkan (misalnya, feromagnetik).	
		37 : <i>Thermal expansion</i>	A. Gunakan ekspansi termal (atau kontraksi) dari material.	
			B. Jika ekspansi termal yang digunakan, pilih beberapa bahan dengan koefisien yang berbeda dari ekspansi termal.	
5	(32) <i>East of Manufacturing</i> >< (22) <i>Lost Of Energy</i>	19 : <i>Periodic action</i>	A. Tidak melakukan tindakan terus menerus, tetapi menggunakan tindakan periodik atau berdenyut. B. Jika tindakan sudah periodik, mengubah besarnya periodik atau frekuensi.	#19 <i>Periodic Action</i> (Subprinsip B) : karena diperlukannya pengawasan dalam kebersihan. Disaat pengawasan dalam melakukan kebersihan mesin masih terdapat <i>failure</i> , maka

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			C. Gunakan jeda antara impuls untuk melakukan tindakan yang berbeda.	diperlukannya tambahan frekuensi untuk membersihkan mesin.
		35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	
6	(14) <i>Strength</i> >< (22) <i>Lost Of Energy</i>	35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	#35 : <i>Parameter changes</i> (Subprinsip B) karena perlu peningkatan konsentrasi dengan adanya pengawasan berkala dan peringatan dari supervisor
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	

Tabel 5. 31 Penentuan Solusi Ideal Mesin *Roughing Mill*

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
1	(10) <i>force</i> >> (14) <i>strength</i>	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).	#10 <i>Preliminary Action</i> : Lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan pengecekan dan pembersihan sebelum kerusakan terjadi pada bagian komponen
			B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	
		14 : <i>Curvature increase</i>	A. Daripada menggunakan persegi, persegi panjang, kubus atau bagian yang flat, permukaan atau bentuk,	
			B. Gunakan yang melengkung atau bulat; bergerak dari permukaan datar sampai yang bulat; dari kubus atau bentuk yang paralelepiped sampai struktur yang berbentuk bol.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			C. Gunakan rol, bola, spiral, dan / atau kubah.	
			D. Berpindah dari linear ke gerakan berputar, dengan menggunakan gaya sentrifugal.	
		<i>27 : Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	
		<i>35 : Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
2	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (14) Strength	3 : <i>Local quality</i>	A. Mengubah struktur obyek atau lingkungan eksternal (atau pengaruh eksternal) sehingga objek akan memiliki fitur yang berbeda atau pengaruh di tempat atau situasi yang berbeda.	#3 <i>Local Quality</i> (Subprinsip B) : Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi, contohnya penambahan lock nut pada mur. Lock nut atau yang dapat disebut juga dengan pengait untuk mur adalah salah satu jenis mur dimana didalamnya terdapat bahan seperti karet yang fungsinya untuk memudahkan pekerjaan yang berhubungan dengan pemasangan mur. Tujuan lainnya dengan adanya pemberian lock nut pada mur yaitu untuk mengurangi masalah mur yang mudah kendur
			B. Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi.	
			C. Membuat setiap bagian dari sebuah objek memenuhi fungsi yang berbeda dan berguna	
		27 : <i>Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
3	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (35) Adaptability Or Versatility	All		#19 <i>Periodic Action</i> : karena diperlukan pengawasan secara periodik untuk mengendalikan kualitas proses
4	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (37) Difficulty of detecting and measuring	All		#10 <i>Prior Action</i> : Dibutuhkan tindakan awal pengecekan terlebih dahulu sebelum dilakukannya proses produksi
				#19 <i>Periodic Action</i> : karena diperlukan pengawasan secara periodik untuk mengendalikan kualitas proses
5	(36) Device Complexity >< (37) Difficulty of detecting and measuring	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).	#28 <i>Mechanical Interaction Substitution</i> (Subprinsip A) : Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	bau). Dalam hal ini, pendeteksian komponen mesin dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan <i>feel</i> indera pendengar dan indera melihat. Akan tetapi, kontak fisik langsung dengan mesin yang masih dalam kondisi on juga dapat menimbulkan risiko bahaya bagi keselamatan operator sehingga tindakan tersebut tidak aman bagi operator sehingga diperlukan alat bantu khusus.
		15 : <i>Dynamic parts (dynamicity, dynamization, dynamics)</i>	A. Memungkinkan (atau desain) karakteristik objek, lingkungan eksternal, proses atau sistem untuk mengubah menjadi optimal atau menemukan kondisi operasi yang optimal.	
			B. Membagi suatu benda menjadi bagian yang mampu bergerak relatif satu sama lain.	
			C. Jika suatu benda (atau proses) yang kaku atau tidak fleksibel, membuatnya dapat bergerak atau adaptif.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
		28 : <i>Mechanical interaction substitution</i>	A. Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau).	
			B. Gunakan medan listrik, magnet, dan medan elektromagnetik untuk berinteraksi dengan objek.	
			C. Ubah dari statis menjadi bidang yang bergerak ke mereka yang memiliki struktur.	
			D. Gunakan bidang dalam hubungannya dengan partikel bidang yang diaktifkan (misalnya, feromagnetik).	
		37 : <i>Thermal expansion</i>	A. Gunakan ekspansi termal (atau kontraksi) dari material.	



No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			B. Jika ekspansi termal yang digunakan, pilih beberapa bahan dengan koefisien yang berbeda dari ekspansi termal.	
6	(32) <i>East of Manufacturing</i> >< (22) <i>Lost Of Energy</i>	19 : <i>Periodic action</i>	A. Tidak melakukan tindakan terus menerus, tetapi menggunakan tindakan periodik atau berdenyut.	#19 <i>Periodic Action</i> (Subprinsip B) : karena diperlukannya pengawasan dalam kebersihan. Disaat pengawasan dalam melakukan kebersihan mesin masih terdapat <i>failure</i> , maka diperlukannya tambahan frekuensi untuk membersihkan mesin.
			B. Jika tindakan sudah periodik, mengubah besarnya periodik atau frekuensi.	
			C. Gunakan jeda antara impuls untuk melakukan tindakan yang berbeda.	
		35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			D. Mengubah suhu	
7	(14) <i>Strength</i> >> (22) <i>Lost Of Energy</i>	35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat). B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi. C. Mengubah tingkat fleksibilitas. D. Mengubah suhu	#35 : <i>Parameter changes</i> (Subprinsip B) karena perlu peningkatan konsentrasi dengan adanya pengawasan berkala dan peringatan dari supervisor

Tabel 5. 32 Penentuan Solusi Ideal Mesin *Finishing Mill*

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
1	(10) <i>force</i> >> (14) <i>strength</i>	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).	#10 <i>Preliminary Action</i> : Lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan pengecekan dan pembersihan sebelum kerusakan terjadi pada bagian komponen
			B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	
		14 : <i>Curvature increase</i>	A. Daripada menggunakan persegi, persegi panjang, kubus atau bagian yang flat, permukaan atau bentuk,	
			B. Gunakan yang melengkung atau bulat; bergerak dari permukaan datar sampai yang bulat; dari kubus atau bentuk yang paralelepiped sampai struktur yang berbentuk bol.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			C. Gunakan rol, bola, spiral, dan / atau kubah.	
			D. Berpindah dari linear ke gerakan berputar, dengan menggunakan gaya sentrifugal.	
		<i>27 : Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	
		<i>35 : Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
2	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (14) Strength	3 : <i>Local quality</i>	A. Mengubah struktur obyek atau lingkungan eksternal (atau pengaruh eksternal) sehingga objek akan memiliki fitur yang berbeda atau pengaruh di tempat atau situasi yang berbeda.	#3 <i>Local Quality (Subprinsip B)</i> : Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi, contohnya penambahan lock nut pada mur. Lock nut atau yang dapat disebut juga dengan pengait untuk mur adalah salah satu jenis mur dimana didalamnya terdapat bahan seperti karet yang fungsinya untuk memudahkan pekerjaan yang berhubungan dengan pemasangan mur. Tujuan lainnya dengan adanya pemberian lock nut pada mur yaitu untuk mengurangi masalah mur yang mudah kendur
			B. Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi.	
			C. Membuat setiap bagian dari sebuah objek memenuhi fungsi yang berbeda dan berguna	
		27 : <i>Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
3	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (35) Adaptability Or Versatility	All		#19 <i>Periodic Action</i> : karena diperlukan pengawasan secara periodik untuk mengendalikan kualitas proses
4	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (37) Difficulty of detecting and measuring	All		#10 <i>Prior Action</i> : Dibutuhkan tindakan awal pengecekan terlebih dahulu sebelum dilakukannya proses produksi
				#19 <i>Periodic Action</i> : karena diperlukan pengawasan secara periodik untuk mengendalikan kualitas proses
5	(36) Device Complexity >< (37) Difficulty of detecting and measuring	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).	#28 <i>Mechanical Interaction Substitution</i> (Subprinsip A) : Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	bau). Dalam hal ini, pendeteksian komponen mesin dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan <i>feel</i> indera pendengar dan indera melihat. Akan tetapi, kontak fisik langsung dengan mesin yang masih dalam kondisi on juga dapat menimbulkan risiko bahaya bagi keselamatan operator sehingga tindakan tersebut tidak aman bagi operator sehingga diperlukan alat bantu khusus.
		15 : <i>Dynamic parts (dynamicity, dynamization, dynamics)</i>	A. Memungkinkan (atau desain) karakteristik objek, lingkungan eksternal, proses atau sistem untuk mengubah menjadi optimal atau menemukan kondisi operasi yang optimal.	
			B. Membagi suatu benda menjadi bagian yang mampu bergerak relatif satu sama lain.	
			C. Jika suatu benda (atau proses) yang kaku atau tidak fleksibel, membuatnya dapat bergerak atau adaptif.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
		28 : <i>Mechanical interaction substitution</i>	<p>A. Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau).</p> <p>B. Gunakan medan listrik, magnet, dan medan elektromagnetik untuk berinteraksi dengan objek.</p> <p>C. Ubah dari statis menjadi bidang yang bergerak ke mereka yang memiliki struktur.</p> <p>D. Gunakan bidang dalam hubungannya dengan partikel bidang yang diaktifkan (misalnya, feromagnetik).</p>	
		37 : <i>Thermal expansion</i>	A. Gunakan ekspansi termal (atau kontraksi) dari material.	



No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			B. Jika ekspansi termal yang digunakan, pilih beberapa bahan dengan koefisien yang berbeda dari ekspansi termal.	
6	(32) <i>East of Manufacturing</i> >< (22) <i>Lost Of Energy</i>	19 : <i>Periodic action</i>	A. Tidak melakukan tindakan terus menerus, tetapi menggunakan tindakan periodik atau berdenyut.	#19 <i>Periodic Action</i> (Subprinsip B) : karena diperlukannya pengawasan dalam kebersihan. Disaat pengawasan dalam melakukan kebersihan mesin masih terdapat <i>failure</i> , maka diperlukannya tambahan frekuensi untuk membersihkan mesin.
			B. Jika tindakan sudah periodik, mengubah besarnya periodik atau frekuensi.	
			C. Gunakan jeda antara impuls untuk melakukan tindakan yang berbeda.	
		35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			D. Mengubah suhu	
7	(14) <i>Strength</i> >> (22) <i>Lost Of Energy</i>	35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat). B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi. C. Mengubah tingkat fleksibilitas. D. Mengubah suhu	#35 : <i>Parameter changes</i> (Subprinsip B) karena perlu peningkatan konsentrasi dengan adanya pengawasan berkala dan peringatan dari supervisor

Tabel 5. 33 Penentuan Solusi Ideal Mesin *Laminar Cooling*

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
1	(10) <i>force</i> >> (14) <i>strength</i>	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).	#10 <i>Preliminary Action</i> : Lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan pengecekan dan pembersihan sebelum kerusakan terjadi pada bagian komponen
			B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	
		14 : <i>Curvature increase</i>	A. Daripada menggunakan persegi, persegi panjang, kubus atau bagian yang flat, permukaan atau bentuk,	
			B. Gunakan yang melengkung atau bulat; bergerak dari permukaan datar sampai yang bulat; dari kubus atau bentuk yang paralelepiped sampai struktur yang berbentuk bol.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			C. Gunakan rol, bola, spiral, dan / atau kubah.	
			D. berpindah dari linear ke gerakan berputar, dengan menggunakan gaya sentrifugal.	
		<i>27 : Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	
		<i>35 : Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
2	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (14) Strength	3 : <i>Local quality</i>	A. Mengubah struktur obyek atau lingkungan eksternal (atau pengaruh eksternal) sehingga objek akan memiliki fitur yang berbeda atau pengaruh di tempat atau situasi yang berbeda.	#3 <i>Local Quality (Subprinsip B)</i> : Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi, contohnya penambahan lock nut pada mur. Lock nut atau yang dapat disebut juga dengan pengait untuk mur adalah salah satu jenis mur dimana didalamnya terdapat bahan seperti karet yang fungsinya untuk memudahkan pekerjaan yang berhubungan dengan pemasangan mur. Tujuan lainnya dengan adanya pemberian lock nut pada mur yaitu untuk mengurangi masalah mur yang mudah kendur
			B. Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi.	
			C. Membuat setiap bagian dari sebuah objek memenuhi fungsi yang berbeda dan berguna	
		27 : <i>Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
3	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (35) Adaptability Or Versatility	All		#19 <i>Periodic Action</i> : karena diperlukan pengawasan secara periodik untuk mengendalikan kualitas proses
4	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (37) Difficulty of detecting and measuring	All		#10 <i>Prior Action</i> : Dibutuhkan tindakan awal pengecekan terlebih dahulu sebelum dilakukannya proses produksi
				#19 <i>Periodic Action</i> : karena diperlukan pengawasan secara periodik untuk mengendalikan kualitas proses
5	(36) Device Complexity >< (37) Difficulty of detecting and measuring	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).	#28 <i>Mechanical Interaction Substitution</i> (Subprinsip A) : Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	bau). Dalam hal ini, pendeteksian komponen mesin dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan <i>feel</i> indera pendengar dan indera melihat. Akan tetapi, kontak fisik langsung dengan mesin yang masih dalam kondisi on juga dapat menimbulkan risiko bahaya bagi keselamatan operator sehingga tindakan tersebut tidak aman bagi operator sehingga diperlukan alat bantu khusus.
		15 : <i>Dynamic parts (dynamicity, dynamization, dynamics)</i>	A. Memungkinkan (atau desain) karakteristik objek, lingkungan eksternal, proses atau sistem untuk mengubah menjadi optimal atau menemukan kondisi operasi yang optimal.	
			B. Membagi suatu benda menjadi bagian yang mampu bergerak relatif satu sama lain.	
			C. Jika suatu benda (atau proses) yang kaku atau tidak fleksibel, membuatnya dapat bergerak atau adaptif.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
		28 : <i>Mechanical interaction substitution</i>	A. Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau).	
			B. Gunakan medan listrik, magnet, dan medan elektromagnetik untuk berinteraksi dengan objek.	
			C. Ubah dari statis menjadi bidang yang bergerak ke mereka yang memiliki struktur.	
			D. Gunakan bidang dalam hubungannya dengan partikel bidang yang diaktifkan (misalnya, feromagnetik).	
		37 : <i>Thermal expansion</i>	A. Gunakan ekspansi termal (atau kontraksi) dari material.	



No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			B. Jika ekspansi termal yang digunakan, pilih beberapa bahan dengan koefisien yang berbeda dari ekspansi termal.	
6	(32) <i>East of Manufacturing</i> >< (22) <i>Lost Of Energy</i>	19 : <i>Periodic action</i>	A. Tidak melakukan tindakan terus menerus, tetapi menggunakan tindakan periodik atau berdenyut.	#19 <i>Periodic Action</i> (Subprinsip B) : karena diperlukannya pengawasan dalam kebersihan. Disaat pengawasan dalam melakukan kebersihan mesin masih terdapat <i>failure</i> , maka diperlukannya tambahan frekuensi untuk membersihkan mesin.
			B. Jika tindakan sudah periodik, mengubah besarnya periodik atau frekuensi.	
			C. Gunakan jeda antara impuls untuk melakukan tindakan yang berbeda.	
		35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			D. Mengubah suhu	
7	(14) <i>Strength</i> >> (22) <i>Lost Of Energy</i>	35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat). B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi. C. Mengubah tingkat fleksibilitas. D. Mengubah suhu	#35 : <i>Parameter changes</i> (Subprinsip B) karena perlu peningkatan konsentrasi dengan adanya pengawasan berkala dan peringatan dari supervisor

Tabel 5. 34 Penentuan Solusi Ideal Mesin *Down Coiler*

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
1	(10) <i>force</i> >< (14) <i>strength</i>	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan, sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).	#10 <i>Preliminary Action</i> : Lakukan sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu obyek atau sistem yaitu melakukan pengecekan dan pembersihan sebelum kerusakan terjadi pada bagian komponen
			B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	
		14 : <i>Curvature increase</i>	A. Daripada menggunakan persegi, persegi panjang, kubus atau bagian yang flat, permukaan atau bentuk,	
			B. Gunakan yang melengkung atau bulat; bergerak dari permukaan datar sampai yang bulat; dari kubus atau bentuk yang paralelepiped sampai struktur yang berbentuk bol.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			C. Gunakan rol, bola, spiral, dan / atau kubah.	
			D. Berpindah dari linear ke gerakan berputar, dengan menggunakan gaya sentrifugal.	
		<i>27 : Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	
		<i>35 : Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
2	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (14) Strength	3 : <i>Local quality</i>	A. Mengubah struktur obyek atau lingkungan eksternal (atau pengaruh eksternal) sehingga objek akan memiliki fitur yang berbeda atau pengaruh di tempat atau situasi yang berbeda.	#3 <i>Local Quality</i> (Subprinsip B) : Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi, contohnya penambahan lock nut pada mur. Lock nut atau yang dapat disebut juga dengan pengait untuk mur adalah salah satu jenis mur dimana didalamnya terdapat bahan seperti karet yang fungsinya untuk memudahkan pekerjaan yang berhubungan dengan pemasangan mur. Tujuan lainnya dengan adanya pemberian lock nut pada mur yaitu untuk mengurangi masalah mur yang mudah kendur
			B. Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi.	
			C. Membuat setiap bagian dari sebuah objek memenuhi fungsi yang berbeda dan berguna	
		27 : <i>Cheap disposables</i>	A. Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
3	(29) Accuracy Of Manufacturing >< (35) Adaptability Or Versatility	All		#19 <i>Periodic Action</i> : karena diperlukan pengawasan secara periodik untuk mengendalikan kualitas proses
4	(36) Device Complexity >< (37) Difficulty of detecting and measuring	10 : <i>Preliminary action</i>	A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian). B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.	#28 <i>Mechanical Interaction Substitution</i> (Subprinsip A) : Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau). Dalam hal ini, pendeteksian komponen mesin dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan <i>feel</i> indera pendengar dan indera melihat. Akan tetapi, kontak fisik langsung dengan mesin yang masih dalam kondisi on juga dapat menimbulkan risiko bahaya bagi keselamatan operator sehingga tindakan tersebut tidak aman bagi operator
		15 : <i>Dynamic parts (dynamicity, dynamization, dynamics)</i>	A. Memungkinkan (atau desain) karakteristik objek, lingkungan eksternal, proses atau sistem untuk mengubah menjadi optimal atau menemukan kondisi operasi yang optimal.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			B. Membagi suatu benda menjadi bagian yang mampu bergerak relatif satu sama lain.	sehingga diperlukan alat bantu khusus.
			C. Jika suatu benda (atau proses) yang kaku atau tidak fleksibel, membuatnya dapat bergerak atau adaptif.	
		28 : <i>Mechanical interaction substitution</i>	A. Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau).	
			B. Gunakan medan listrik, magnet, dan medan elektromagnetik untuk berinteraksi dengan objek.	
			C. Ubah dari statis menjadi bidang yang bergerak ke mereka yang memiliki struktur.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			D. Gunakan bidang dalam hubungannya dengan partikel bidang yang diaktifkan (misalnya, feromagnetik).	
		37 : <i>Thermal expansion</i>	A. Gunakan ekspansi termal (atau kontraksi) dari material.	
			B. Jika ekspansi termal yang digunakan, pilih beberapa bahan dengan koefisien yang berbeda dari ekspansi termal.	
5	(32) <i>East of Manufacturing</i> >< (22) <i>Lost Of Energy</i>	19 : <i>Periodic action</i>	A. Tidak melakukan tindakan terus menerus, tetapi menggunakan tindakan periodik atau berdenyut. B. Jika tindakan sudah periodik, mengubah besarnya periodik atau frekuensi.	#19 <i>Periodic Action</i> (Subprinsip B) : karena diperlukannya pengawasan dalam kebersihan. Disaat pengawasan dalam melakukan kebersihan mesin masih terdapat <i>failure</i> , maka



No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			C. Gunakan jeda antara impuls untuk melakukan tindakan yang berbeda.	diperlukannya tambahan frekuensi untuk membersihkan mesin.
		35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat).	
			B. Mengubah konsentrasi atau konsistensi.	
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	
6	(14) <i>Strength</i> >< (22) <i>Lost Of Energy</i>	35 : <i>Parameter changes</i>	A. Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat). 4+L252	#35 : <i>Parameter changes</i> (Subprinsip B) karena perlu peningkatan konsentrasi dengan adanya pengawasan berkala dan peringatan dari supervisor
			C. Mengubah tingkat fleksibilitas.	
			D. Mengubah suhu	
7	(12) <i>Shape</i> >< (5) <i>Area Moving Object</i>	5 : <i>Merging</i>	A. Menggabungkan benda yang identik atau mirip; merakit bagian yang sama atau mirip untuk melakukan operasi paralel.	#34 : <i>Discarding and recovering</i> (Subprinsip A) : Produk yang mengalami perubahan bentuk (Seperti terlalu miring atau terdapat

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
			B. Membuat operasi berdekatan atau paralel, membawa mereka bersama-sama dalam satu waktu.	<i>defect</i> ) akan dimodifikasi secara langsung dengan menggunakan bahan kimia atau membuangnya dengan alat potong.
		34 : <i>Discarding and recovering</i>	A. Membuat bagian-bagian dari sebuah benda yang telah memenuhi fungsi mereka pergi (membuang dengan melarutkan, penguapan, dll) atau memodifikasi mereka secara langsung selama operasi.	
			B. Sebaliknya, mengembalikan bagian yang bersifat konsumsi dari sebuah objek langsung dalam operasi.	
		4 : <i>Symmetry change</i>	A. Mengubah bentuk suatu objek atau sistem dari simetris ke asimetris.	
			B. Jika suatu obyek asimetris, tingkatkan derajat asimetrinya.	

No	Parameter Konflik	Hasil Solusi Matrix TRIZ	Sub Prinsip <i>Inventive Principles</i>	Solusi Ideal
		10 : <i>Preliminary action</i>	<p>A. Lakukan,sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).</p> <p>B. Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.</p>	

#### 5.2.4 Estimasi Peningkatan OEE Mesin

Setelah menerapkan rekomendasi perbaikan pada tahap *improve* yang mengacu pada reduksi *Six Big Losses* dengan menggunakan *TRIZ Method*, maka perusahaan dapat meningkatkan performansinya yang diukur dari nilai OEE. Untuk parameter *availability*, penyebab dari rendahnya tingkat availabilitas disebabkan oleh adanya penundaan dalam perbaikan atau pergantian part (*maintenance delay*), tidak adanya pelaksanaan pembersihan yang menyeluruh dan kelalaian operator dalam melakukan *maintenance* mesin. Selain itu usia pada mesin yang digunakan sudah berusia lebih dari 20 tahun, sudah banyak komponen mesin yang diperbaharui, tetapi masih terdapat komponen yang lama. Ini menyebabkan ketidakstabilan kinerja mesin dan *maintenance* harus melakukan *set up* kembali. Maka dari itu dengan menerapkan rekomendasi perbaikan yang ditunjukkan pada Tabel 5.29 hingga Tabel 5.34 dan melakukan penjadwalan *maintenance* mesin sesuai jadwal serta melakukan studi untuk memperbaiki kinerja mesin agar dapat beroperasi dengan kinerja yang lebih baik dan efisien, perusahaan dapat mencegah terjadinya *breakdown* yang tidak terduga.

Dengan asumsi melakukan usaha perbaikan tersebut secara *continue*. Diharapkan *breakdown* pada mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* dapat berkurang sebesar 50%. Dengan berkurangnya *breakdown* maka akan terjadi peningkatan *availability* seperti ditunjukkan pada Tabel 5.35 berikut ini.

Tabel 5. 35 Peningkatan *Availability* Mesin Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM)

Mesin	<i>Breakdown</i> Sebelum Perbaikan (Jam)	<i>Breakdown</i> Setelah Perbaikan (Jam)	<i>Availability Rate</i> Sebelum Perbaikan	<i>Availability Rate</i> Setelah Perbaikan
<i>Reheating Furnace</i>	33,59	0	94,17%	100,00%
<i>Sizing Press</i>	82,20	39,74	80,53%	90,53%
<i>Roughing Mill</i>	127,24	82,90	71,32%	81,32%
<i>Finishing Mill</i>	188,04	139,34	61,35%	71,35%
<i>Laminar Cooling</i>	185,06	139,52	59,32%	69,32%

Mesin	<i>Breakdown Sebelum Perbaikan (Jam)</i>	<i>Breakdown Setelah Perbaikan (Jam)</i>	<i>Availability Rate Sebelum Perbaikan</i>	<i>Availability Rate Setelah Perbaikan</i>
<i>Down Coiler</i>	<b>166,99</b>	122,54	62,26%	72,26%

Selanjutnya untuk parameter *performance rate*, rendahnya tingkat performansi pada ke-enam mesin disebabkan oleh pembersihan yang tidak menyeluruh pada setiap mesin dan adanya penundaan dalam *maintenance* mesin. Rekomendasi perbaikan yang diajukan antara lain adalah melakukan pengecekan dan pembersihan sebelum kerusakan terjadi pada komponen mesin, menerapkan tambahan frekuensi untuk melakukan pembersihan mesin, menerapkan penjadwalan pemeliharaan dilakukan tanpa adanya penundaan, serta melakukan pengawasan berkala dalam pengendalian kualitas proses. Dengan diterapkannya rekomendasi-rekomendasi tersebut maka akan terjadi peningkatan jumlah output produk (*production amount*) karena meningkatnya *equipment operating time*. Dari Tabel 5.36 dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan produktivitas mesin dari yang sebelumnya hanya dapat menghasilkan 1.642.239,51 ton, menjadi 1.722.270,82 ton (peningkatan produktivitas sebesar 4,87%). Hal tersebut menyebabkan terjadinya peningkatan *performance rate* pada ke-enam mesin yang ditunjukkan pada Tabel 5.36 berikut ini.

**Tabel 5. 36 Peningkatan *Performance Rate* Mesin Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM)**

Mesin	Sebelum Perbaikan			Setelah Perbaikan		
	<i>Operating Time (Jam)</i>	<i>Production Amount (Ton)</i>	<i>Performance Rate</i>	<i>Operating Time (Jam)</i>	<i>Production Amount (Ton)</i>	<i>Performance Rate</i>
<i>Reheating Furnace</i>	6.512,39	1642239,51	78,05%	6713,91	1722270,82	79,52%
<i>Sizing Press</i>	4.109,25		72,94%	4602,46		77,36%

Mesin	Sebelum Perbaikan			Setelah Perbaikan		
	<i>Operating Time (Jam)</i>	<i>Production Amount (Ton)</i>	<i>Performance Rate</i>	<i>Operating Time (Jam)</i>	<i>Production Amount (Ton)</i>	<i>Performance Rate</i>
<i>Roughing Mill</i>	3.793,28		87,50%	4556,71		89,74%
<i>Finishing Mill</i>	3.587,21		83,46%	4715,45		85,74%
<i>Laminar Cooling</i>	3.244,48		95,07%	4354,84		96,56%
<i>Down Coiler</i>	3.330,78		95,07%	4332,73		95,56%

Selanjutnya untuk parameter *quality rate*, penyebab dari tingginya jumlah produk *defect* antara lain adanya penundaan penggantian part mesin yang mengakibatkan mesin mati secara mendadak serta bahan baku yang kurang berkualitas. Maka dari itu rekomendasi perbaikan yang diajukan antara lain adalah melakukan menerapkan penjadwalan pemeliharaan dilakukan tanpa adanya penundaan, serta melakukan pengawasan berkala dalam pengendalian kualitas proses. Pada penelitian ini diasumsikan apabila Pabrik *Hot Strip Mill (HSM)* menerapkan perbaikan-perbaikan tersebut secara baik maka perusahaan diharapkan dapat mengurangi *defect* sebesar 50%. Dengan berkurangnya *defect* sebesar 50%, maka akan terjadi peningkatan *quality rate* sebesar 4,87% dari yang sebelumnya sebesar 90,26% menjadi 95,13% (Tabel 5.37)

**Tabel 5. 37 Peningkatan *Quality Rate* Mesin Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM)**

Mesin	Sebelum Perbaikan			Setelah Perbaikan		
	<i>Production Amount</i> (Ton)	<i>Defect</i> (Ton)	<i>Quality Rate</i>	<i>Production Amount</i> (Ton)	<i>Defect</i> (Ton)	<i>Quality Rate</i>
<i>Reheating Furnace</i>	1642239,51	160062,62	90,26%	1722270,82	80031,31	95,13%
<i>Sizing Press</i>						
<i>Roughing Mill</i>						
<i>Finishing Mill</i>						
<i>Laminar Cooling</i>						
<i>Down Coiler</i>						

Pada Tabel 5.38 dan Tabel 5.39 ditunjukkan hasil nilai OEE sebelum dan sesudah perbaikan pada setiap mesin. Diketahui bahwa dengan menerapkan perbaikan, perusahaan dapat meningkatkan nilai OEE dengan rata-rata setiap mesin sebesar 12.97% dari yang sebelumnya 53,57% menjadi 65,69%. Peningkatan OEE tersebut dapat dicapai dengan asumsi apabila seluruh perbaikan telah dilaksanakan dengan baik oleh perusahaan, melakukan pengecekan dan pembersihan sebelum kerusakan terjadi pada komponen mesin, menerapkan tambahan frekuensi untuk melakukan pembersihan mesin, menerapkan penjadwalan pemeliharaan dilakukan tanpa adanya penundaan, serta melakukan pengawasan berkala dalam pengendalian kualitas proses.

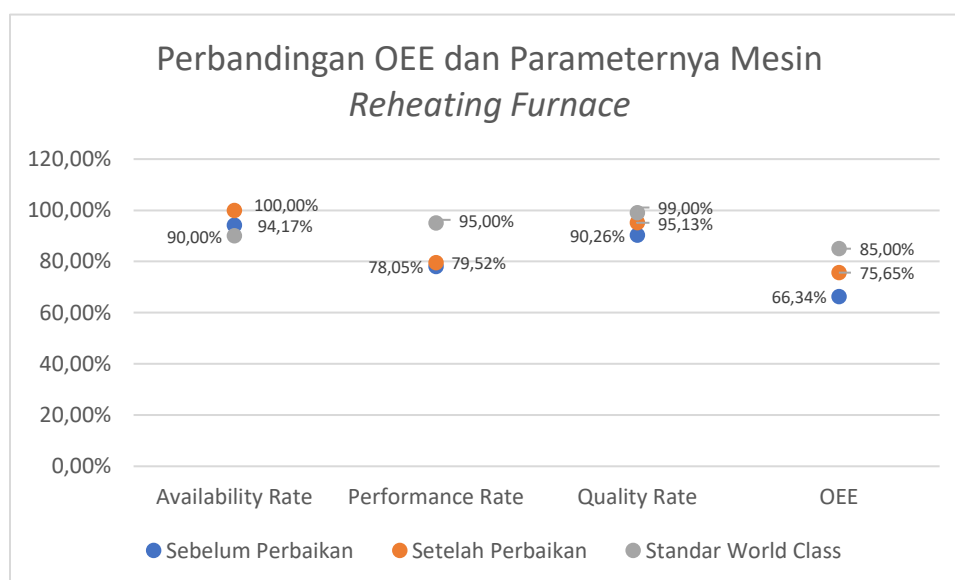
**Tabel 5. 38 Nilai OEE Mesin Sebelum Perbaikan**

Mesin	<i>Availability Rate</i>	<i>Performance Rate</i>	<i>Quality Rate</i>	OEE
<i>Reheating Furnace</i>	94,17%	78,05%	90,26%	66,34%
<i>Sizing Press</i>	80,53%	72,94%	90,26%	52,44%
<i>Roughing Mill</i>	71,32%	87,50%	90,26%	55,88%
<i>Finishing Mill</i>	61,35%	83,46%	90,26%	45,82%
<i>Laminar Cooling</i>	59,32%	95,07%	90,26%	50,57%
<i>Down Coiler</i>	62,26%	91,09%	90,26%	50,36%
Rata-Rata	<b>71,49%</b>	<b>84,69%</b>	<b>90,26%</b>	<b>53,57%</b>

Tabel 5. 39 Nilai OEE Mesin Setelah Perbaikan

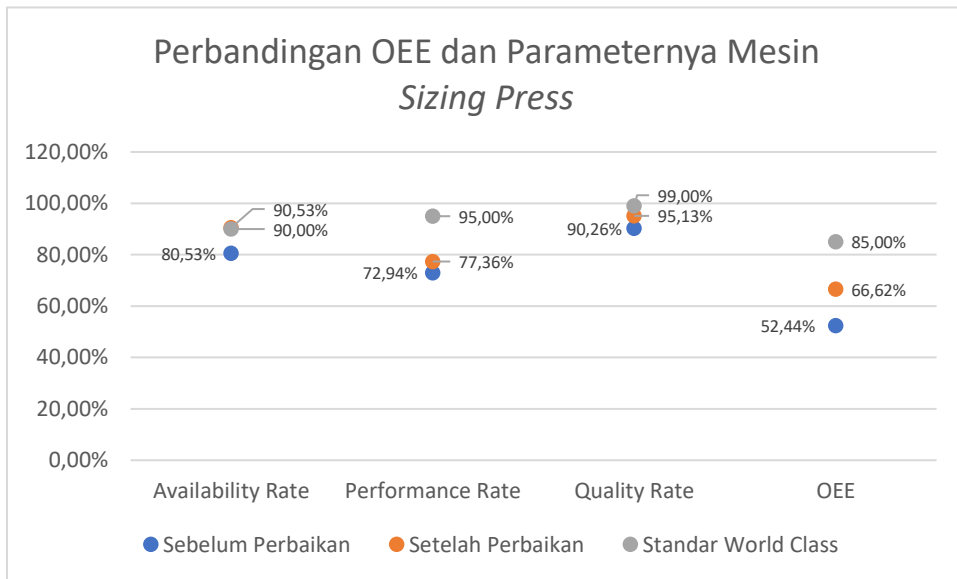
Mesin	Availability Rate	Performance Rate	Quality Rate	OEE
Reheating Furnace	100,00%	79,52%	95,13%	75,65%
Sizing Press	90,53%	77,36%	95,13%	66,62%
Roughing Mill	81,32%	89,74%	95,13%	69,42%
Finishing Mill	71,35%	85,74%	95,13%	58,20%
Laminar Cooling	69,32%	96,56%	95,13%	63,67%
Down Coiler	72,26%	95,56%	95,13%	65,69%
Rata-Rata	<b>80,80%</b>	<b>87,41%</b>	<b>95,13%</b>	<b>66,54%</b>

Selanjutnya perbandingan kenaikan nilai parameter dan OEE dengan standar *word class* ditunjukkan pada Gambar 5.2 hingga 5.7. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa dengan menerapkan perbaikan, parameter *availability* dan *quality rate* dari perusahaan dapat mencapai target standar *word class*. Namun perlu diketahui bahwa untuk mencapai nilai OEE yang memenuhi standar *world class* tidak mudah. Hambatan yang mungkin berpotensi untuk muncul adalah susahnya merubah budaya baik dari pihak internal perusahaan maupun eksternal (*supplier*), proses pemeliharaan mesin yang dilaksanakan harus menyeluruh dan dijiwai oleh seluruh pihak dalam perusahaan, serta umur dan kondisi mesin yang mempengaruhi keandalan mesin.

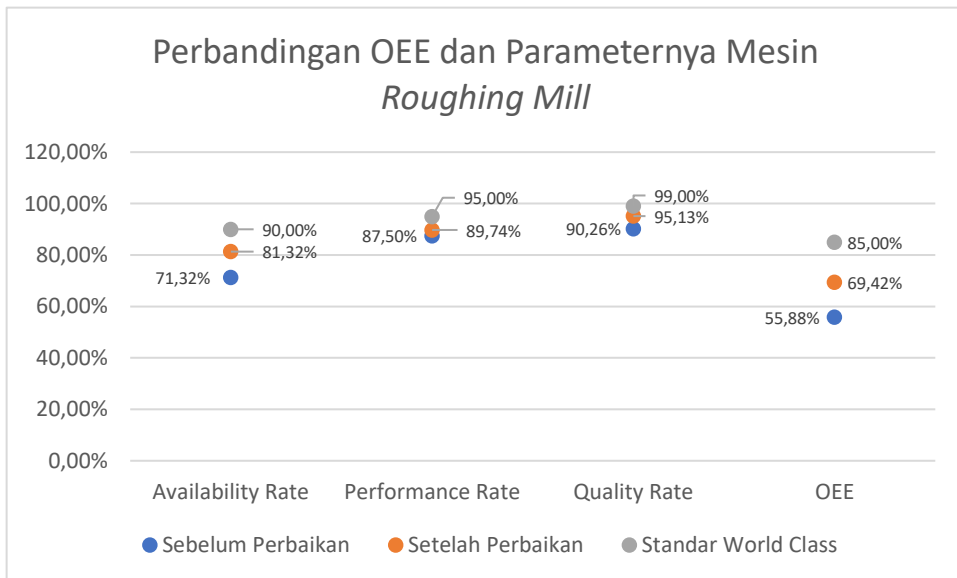


Gambar 5. 2 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin *Reheating Furnace*

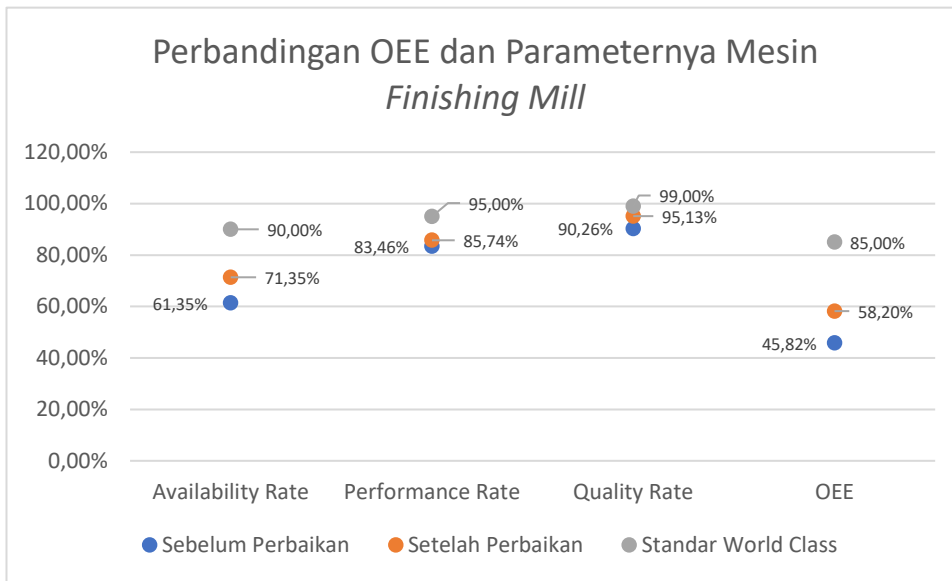




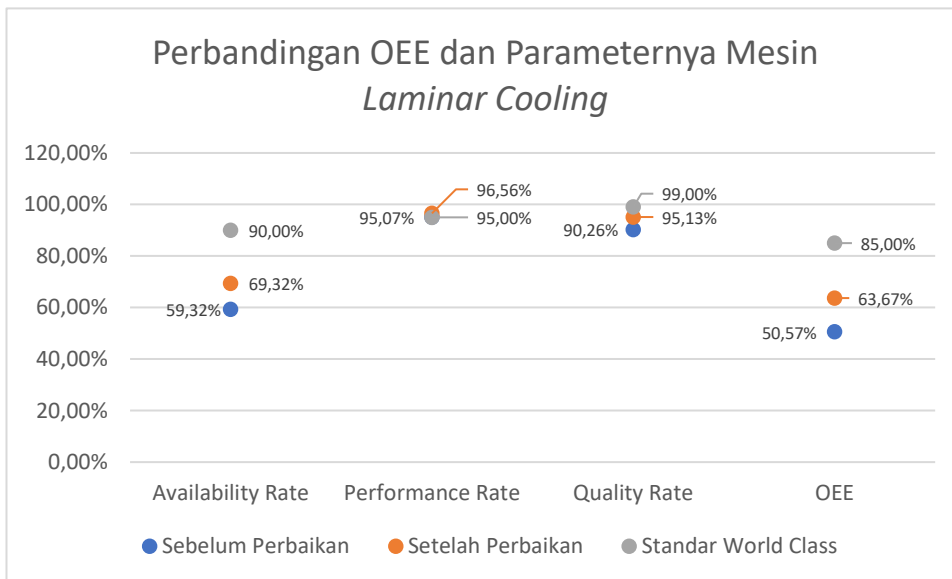
**Gambar 5. 3 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin *Sizing Press***



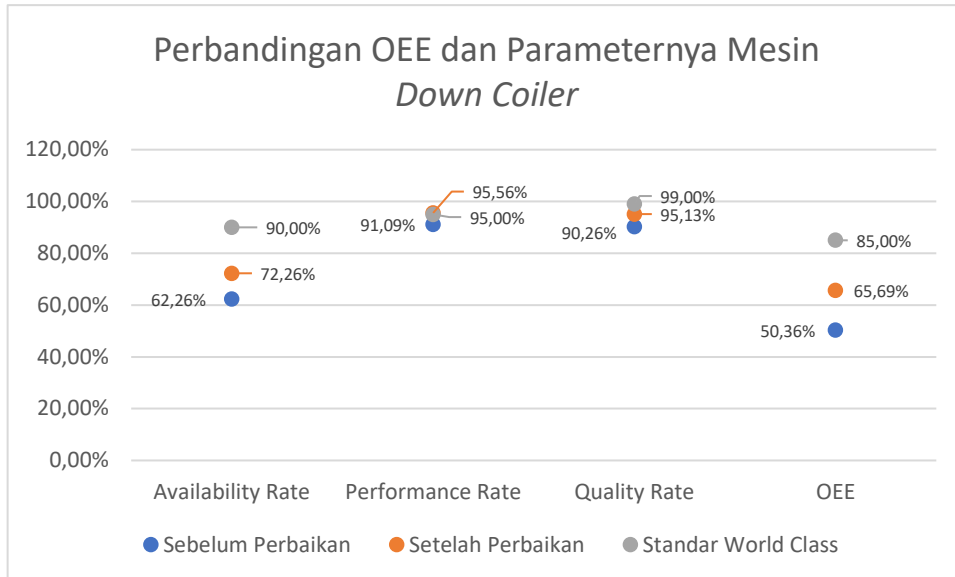
**Gambar 5. 4 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin *Roughing Mill***



**Gambar 5. 5 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin *Finishing Mill***



**Gambar 5. 6 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin *Laminar Cooling***



**Gambar 5. 7 Perbandingan OEE dan Parameternya Pada Mesin *Down Coiler***

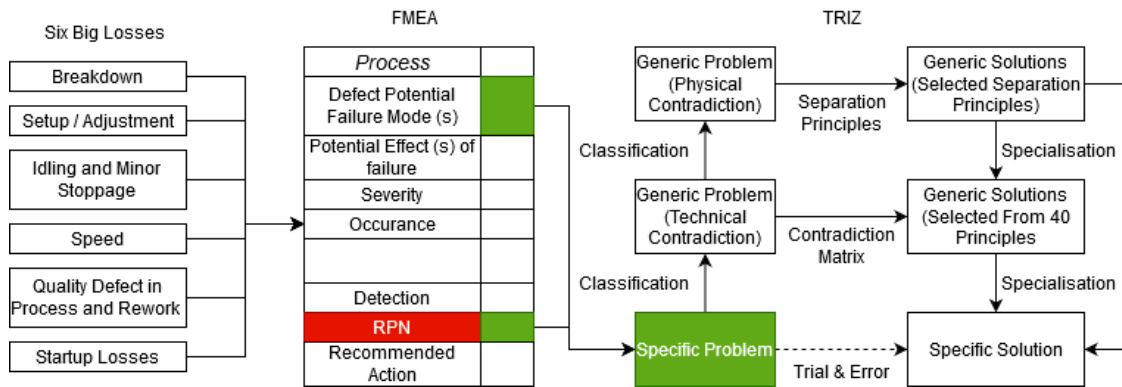
Setelah Semua aktivitas peningkatan kinerja pabrik dilakukan, selanjutnya diperlukan pengukuran kinerja peralatan yang dapat dilakukan dengan mengalokasikan biaya yang terkait dengan faktor OEE. Hal itu dapat dilakukan dengan cara minimasi masukan dan maksimasi keluaran. Keluaran tidak saja menyangkut produktivitas tetapi juga terhadap kualitas yang lebih baik, biaya yang lebih rendah, penyerahan tepat waktu, peningkatan keselamatan dan kesehatan kerja, moral yang lebih baik serta kondisi dan lingkungan kerja yang semakin menyenangkan. Hubungan antara input dan output ini dapat dilihat pada gambar 5.8 berikut :

Input/Output	Money			Managemen Method
	Man	Machine	Material	
Production	↓	↓	↓	Production Control
Quality	↓	↓	↓	Quality Control
Cost	↓	↓	↓	Cost Control
Delivery	↓	↓	↓	Delivery Control
Safety	↓	↓	↓	Safety & Polution
Morale	↓	↓	↓	Human Relation
Method	Man Power Control	Plant & Maintenance Engineering	Inventory Control	Output/Input=Productivity

**Gambar 5. 8 Matriks Hubungan Antara Input dan Output Dalam Aktivitas Produksi (Sumber : Nakajima, S., 1988)**

Dalam matriks diatas diketahui bahwa keteknikan dan perawatan mesin berhubungan langsung dengan semua faktor keluaran yaitu produksi, kualitas,

biaya, penyerahan, keselamatan dan moral. Dengan peningkatan otomasi dan pengurangan tenaga kerja, proses produksi bergeser dari manual dengan pekerja menjadi permesinan. Pada posisi ini peralatan dan permesinan merupakan hal krusial dalam meningkatkan keluaran. Semua faktor keluaran tersebut diatas sangat dipengaruhi oleh kondisi peralatan dan permesinan dengan sangat nyata. Oleh karena itu diperlukan mencari permasalahan atau *losses* yang terjadi pada kondisi peralatan dan permesinan tersebut. Dan dalam penelitian ini, *losses* yang terjadi akan diperbaiki dan ditingkatkan hingga membuat hubungan pada Gambar 5.9 Berikut ini.



**Gambar 5. 9 Hubungan Six Big Losses Dengan Integrasi FMEA-TRIZ**

Berdasarkan Gambar 5.9 dijelaskan hubungan antara *Six Big Losses* dengan integrasi FMEA-TRIZ. *Six Big Losses* yang didapatkan pada setiap mesin akan diperbaiki dan ditingkatkan dengan integrasi FMEA dan TRIZ Method. Akar penyebab dari *Six Big Losses* akan dianalisis menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang kemudian akan di *improve* dengan pendekatan *Teorija Resenija Isobretatelskih Zadac* (TRIZ). Dengan menggunakan hubungan ini diharapkan perusahaan dapat menemukan permasalahan yang terjadi pada setiap mesin dan meningkatkan *output* produksi. Dan hal itu diperlukan keterlibatan pada semua karyawan agar minimasi input dan maksimasi output dapat dilakukan.

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan perumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan dan asumsi penelitian, serta langkah-langkah penelitian yang telah dilakukan di bab-bab sebelumnya, maka didapatkan beberapa kesimpulan dan saran untuk pengembangan penelitian sebagai berikut.

#### **6.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang didapat dari pengolahan data dan tujuan dari penelitian ini.

1. Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diketahui bahwa nilai *availability rate*, *performance rate*, dan *quality rate* serta OEE setiap mesin untuk mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* pada Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) periode bulan Januari hingga Desember 2019 adalah
  - a. Pada mesin *reheating furnace* didapatkan nilai OEE sebesar 66,34% dengan parameter *availability* sebesar 94,17%, *performance rate* sebesar 78,05%, dan *quality rate* sebesar 90,26%.
  - b. Pada mesin *sizing press* didapatkan nilai OEE sebesar 52,44% dengan parameter *availability* sebesar 80,53%, *performance rate* sebesar 72,94%, dan *quality rate* sebesar 90,26%.
  - c. Pada mesin *roughing mill* didapatkan nilai OEE sebesar 55,88% dengan parameter *availability* sebesar 71,32%, *performance rate* sebesar 87,50%, dan *quality rate* sebesar 90,26%.
  - d. Pada mesin *finishing mill* didapatkan nilai OEE sebesar 45,82% dengan parameter *availability* sebesar 61,35%, *performance rate* sebesar 83,46%, dan *quality rate* sebesar 90,26%.
  - e. Pada mesin *laminar cooling* didapatkan nilai OEE sebesar 50,57% dengan parameter *availability* sebesar 59,32%, *performance rate* sebesar 95,07%, dan *quality rate* sebesar 90,26%.

- f. Pada mesin *down coiler* didapatkan nilai OEE sebesar 50,36% dengan parameter *availability* sebesar 62,26%, *performance rate* sebesar 91,09%, dan *quality rate* sebesar 90,26%.
2. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan rata – rata nilai *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) untuk mesin *reheating furnace*, *sizing press*, *roughing mill*, *finishing mill*, *laminar cooling*, dan *down coiler* tidak mencapai standar *World Class*. Hal ini disebabkan karena tidak adanya nilai parameter yang mencapai standar untuk 3 komponen perhitungan nilai OEE yaitu *availability rate*, *performance rate*, dan *quality rate*.
3. Yang menjadi 2 *Losses* terbesar yang menyebabkan turunnya kinerja mesin pada Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM) sehingga nilai OEE tidak mencapai standar *World Class* tersebut adalah
  - a. Pada mesin *reheating furnace* yaitu pada *reduced speed losses* sebesar 39,67% dan *defect losses* sebesar 33,29%
  - b. Pada mesin *sizing press* yaitu pada *downtime losses* sebesar 36,22% dan *idling and minor stoppage losses* sebesar 31,00%
  - c. Pada mesin *roughing mill* yaitu pada *defect losses* sebesar 43,35% dan *set up and adjustment losses* sebesar 22,41%
  - d. Pada mesin *finishing mill* yaitu pada *downtime losses* sebesar 55,71% dan *idling and minor stoppage losses* sebesar 19,61%
  - e. Pada mesin *laminar cooling* yaitu pada *downtime losses* sebesar 52,71% dan *idling and minor stoppage losses* sebesar 19,44%
  - f. Pada mesin *down coiler* yaitu pada *downtime losses* sebesar 50,24% dan *idling and minor stoppage losses* sebesar 18,89%
4. Untuk meningkatkan nilai OEE, rekomendasi perbaikan yang didapatkan dengan menggunakan metode *TRIZ Method* antara lain melakukan pengecekan dan pembersihan sebelum kerusakan terjadi pada komponen mesin, menerapkan tambahan frekuensi untuk melakukan pembersihan mesin, menerapkan penjadwalan pemeliharaan dilakukan tanpa adanya penundaan, serta melakukan pengawasan berkala dalam pengendalian kualitas proses.
5. Penerapan perbaikan dapat meningkatkan nilai OEE pada setiap mesin yaitu

- a. Pada mesin *reheating furnace* didapatkan peningkatan nilai OEE menjadi sebesar 75,65% dengan peningkatan parameter *availability* menjadi sebesar 100,00%, *performance rate* menjadi sebesar 79,52%, dan *quality rate* menjadi sebesar 95,13%.
- b. Pada mesin *sizing press* didapatkan peningkatan nilai OEE menjadi sebesar 66,62% dengan peningkatan parameter *availability* menjadi sebesar 90,53%, *performance rate* menjadi sebesar 77,36%, dan *quality rate* menjadi sebesar 95,13%.
- c. Pada mesin *roughing mill* didapatkan peningkatan nilai OEE menjadi sebesar 69,42% dengan peningkatan parameter *availability* menjadi sebesar 81,32%, *performance rate* menjadi sebesar 89,74%, dan *quality rate* menjadi sebesar 95,13%.
- d. Pada mesin *finishing mill* didapatkan peningkatan nilai OEE menjadi sebesar 58,20% dengan peningkatan parameter *availability* menjadi sebesar 71,35%, *performance rate* menjadi sebesar 85,74%, dan *quality rate* menjadi sebesar 95,13%.
- e. Pada mesin *laminar cooling* didapatkan peningkatan nilai OEE menjadi sebesar 63,67% dengan peningkatan parameter *availability* menjadi sebesar 69,32%, *performance rate* menjadi sebesar 96,56%, dan *quality rate* menjadi sebesar 95,13%.
- f. Pada mesin *Down Coiler* didapatkan peningkatan nilai OEE menjadi sebesar 65,69% dengan peningkatan parameter *availability* menjadi sebesar 72,26%, *performance rate* menjadi sebesar 95,56%, dan *quality rate* menjadi sebesar 95,13%.

## 6.2 Saran

Berdasarkan rangkaian penelitian yang telah dilakukan, penulis dapat menyarankan beberapa hal sebagai berikut :

### 6.2.1 Saran Untuk Perusahaan

Berikut ini merupakan saran untuk perusahaan:

1. Penerapan perbaikan yang telah direkomendasikan membutuhkan dukungan dari seluruh pihak dalam perusahaan. Untuk itu dalam penerapannya

membutuhkan persiapan, perencanaan dan pengawasan yang matang dengan komitmen yang kuat dari seluruh pihak internal perusahaan.

2. Sebaiknya operator diberikan pemahaman pemeliharaan dan pembersihan mesin secara rutin. Perusahaan sebaiknya meningkatkan kepedulian operator dalam merawat peralatan yang digunakannya dalam sehari-hari.
3. Pekerja diberitahu tentang target yang ingin dicapai perusahaan agar pekerja tau apa yang harus dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut.
4. Perusahaan diperlukan memberikan pemahaman pentingnya kerjasama antar bagian, operator dengan *Quality Control*, operator dengan tim *maintenance*. Sehingga tidak terjadi kesalahan informasi.
5. Perusahaan diperlukan keterlibatan pada semua karyawan agar produktivitas dapat meningkat.

#### **6.2.2 Saran Untuk Penelitian Selanjutnya**

Berikut ini merupakan saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Dalam melakukan pengukuran OEE, sebaiknya menggunakan lebih banyak data, disarankan lebih dari satu tahun.
2. Penelitian ini dapat dilanjutkan kembali pada penelitian berikutnya dengan dengan tahap *control* sebelum dan sesudah melakukan *improvement* agar didapatkan hasil yang lebih *komprehensif* dengan pertimbangan keuntungan finansial perusahaan terhadap perbaikan yang telah diimplementasikan.



## Daftar Pustaka

- Altshuller, Genrikh, (2006).”*Development Of TRIZ*” Tehran, Iran: Iran University of Science and Technology
- Borrer, C. M. (2008). *The Certified Quality engineer Handbook* (3rd ed.). Milwaukee: ASQ Press.
- Breyfogle, Forest W. (1999). *Implementing Six Sigma Smarter Solutions Using Statistical Methods*. New York: John Wiley & Sons Inc.
- Crow, K. (2002). *Failure Mode and Effect Analysis*. DRM Associates
- Davis, R. (1995). *Productivity Improvement Through TPM*. New Jersey: Prentice Hall.
- Dhillon, B. S; and Reiche, Hans. 1997. “*Realibiltiy And Maintainability Management. CBS Publisher and Distribution*”. New Delhi
- Ebeling, Charles E. 1997. “*An Introduction To Realibility And Maintainability Engineering*”. International Edition, McGrew-Hill Book Co. Singapore.
- Govil. (1983). *Reliability Engineering*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited.
- Hansen, R.C. (2002). *Overall Equipment Effectiveness: A Powerful Production/Maintenance Tool or Increased Profits*, New York : Industrial Press Inc.
- Heizer, J., & Render, B. (2011). *Operation Management*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40(2), 828–838.
- Moubray, J. (1997). *RCMII: Reliability-Centered Maintenance 2nd Edition*. New Jersey: Industrial Press Inc.
- Munro, R., Maio, M., Nawaz, M., Ramu, G., & Zrymiak, D. (2008). *Certified Six Sigma Green Belt Handbook*. United States of America: American Society for Quality (ASQ).
- Nakajima, S., 1988, *Introduction to total productive maintenance, productivity press, inc.*, Cambridge, Massachusetts.

- Nicholas, J. (2011). *Lean Production for Competitive Advantage: A Comprehensive Guide to Lean Methodologies and Management Process*. New York: CRC Press.
- Pintelon, Liliane dan Muchiri, Peter. 2006. *Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): Literature review and practical application discussion*. International Journal of Production Research, hal 1-45.
- Prasetyawan, Y., Giffari F., & Putera B S. (2020). *The Proposed OEE-SIGMA Prediction for Increased Profits*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, doi:10.1088/1757-899X/847/1/012034
- Purboputro, P. Ilmu.2009. *Peningkatan Kekuatan Pegas Daun dengan Cara Quenching*.Jurnal Media Mesin Volume 10 Nomor 1 Hal.18 ISSN 1411-4348.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2009). *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Manger at All Levels*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc
- Saaty, T. L. (2008). *Decision making with the analytic hierarchy process*. International Journal of Services Sciences, 1(1), 83.
- Setyadi, (2013). *Analisis Penyebab Kecacatan Produk Celana Jeans dengan Menggunakan Metode Fault tree analysis (FTA) dan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) di CV. Fragile Din Co*. Bandung: Teknik Industri Universitas Widyatama. repository.widyatama.ac.id.
- Shirose, K. (1992). *TPM for Workshop Leaders*. Portland: Productivity Press
- Singgih, M. L. (2014). *Pengembangan model integrasi qfd-kano serta aplikasi TRIZ dalam memaksimalkan dan meminimalkan biaya pengembangan produk*, 1–6.
- Suzaki, K. (1987). *The New Manufacturing Challenge*. Jakarta: Productivity & Quality Management Consultants.
- Suzuki, T. (1992). *TPM in Process Industry*. New York: Productivity Press.
- Rantanen, K., & Domb, E. (2002). *Simplified TRIZ: New problem-solving applications for engineers & Manufacturing Professionals*. Washington DC: CRC Press LLC.

## Lampiran 1 – 40 Inventive Principles (Inovatif)

No	Prinsip	Penjelasan
1.	<i>Segmentation (fragmentation)</i>	Membagi sebuah objek atau sistem menjadi bagian-bagian yang independen.
		Membuat obyek mudah untuk dibongkar.
		Meningkatkan derajat fragmentasi atau segmentasi.
2.	<i>Separation</i>	Memisahkan satu-satunya bagian yang diperlukan (atau properti) atau menghilangkan bagian yang mengganggu atau properti dari suatu objek atau sistem.
3.	<i>Local quality</i>	Mengubah struktur obyek atau lingkungan eksternal (atau pengaruh eksternal) sehingga objek akan memiliki fitur yang berbeda atau pengaruh di tempat atau situasi yang berbeda.
		Membuat setiap bagian dari fungsi objek dalam kondisi yang paling tepat untuk operasi.
		Membuat setiap bagian dari sebuah objek memenuhi fungsi yang berbeda dan berguna
4.	<i>Symmetry change</i>	Mengubah bentuk suatu objek atau sistem dari simetris ke asimetris.
		Jika suatu obyek asimetris, tingkatkan derajat asimetrinya.
5.	<i>Merging</i>	Menggabungkan benda yang identik atau mirip; merakit bagian yang sama atau mirip untuk melakukan operasi paralel.
		Membuat operasi berdekatan atau paralel, membawa mereka bersama-sama dalam satu waktu.

No	Prinsip	Penjelasan
6.	<i>Multifunctionality or universality</i>	Membuat bagian dari suatu objek atau sistem melakukan beberapa fungsi.
		Untuk menghilangkan kebutuhan untuk bagian lain.
7.	<i>Nested doll</i>	Tempatkan satu objek di dalam yang lain; menempatkan setiap objek, pada gilirannya, di dalam yang lain.
		Membuat satu bagian melewati rongga di bagian lain.
8.	<i>Weight compensation.</i>	Untuk mengimbangi berat suatu benda atau sistem, Bergabung dengan benda-benda lain yang memberikan daya angkat.
		Untuk mengimbangi berat suatu obyek, membuatnya Berinteraksi dengan lingkungan (misalnya, penggunaan aerodinamis, hidrodinamik, daya apung, dan kekuatan lain).
9.	<i>Preliminary counteraction</i>	Jika akan diperlukan untuk melakukan tindakan dengan efek baik itu yang berbahaya dan berguna, tindakan ini harus diganti dengan anti-tindakan (counteractions) untuk mengontrol efek berbahaya.
10.	<i>Preliminary action</i>	Lakukan, sebelum diperlukan, perubahan diperlukan suatu objek atau sistem (baik sepenuhnya atau sebagian).
		Melakukan pra pengaturan obyek-obyek sehingga mereka dapat datang ke dalam tindakan dari tempat yang paling nyaman dan tanpa kehilangan waktu untuk pemindahan mereka.

No	Prinsip	Penjelasan
11.	<i>Beforehand compensation</i>	Mempersiapkan sarana darurat sebelum mengenai manusia untuk mengimbangi keandalan yang relatif rendah dari suatu obyek atau sistem dari waktu ke waktu.
12.	<i>Equipotentially</i>	Mengubah kondisi operasi untuk mengurangi kebutuhan untuk bekerja melawan medan yang potensial.
13.	<i>The other way around</i>	Membalikkan tindakan yang digunakan untuk memecahkan masalah (misalnya, dari pada mendinginkan sebuah objek, panaskan itu). Membuat bagian yang tetap dapat bergerak (atau lingkungan eksternal), dan bagian yang tetap bergerak. Putar objek (atau proses) kebalikannya.
14.	<i>Curvature increase</i>	Daripada menggunakan persegi, persegi panjang, kubus atau bagian yang flat, permukaan atau bentuk, Gunakan yang melengkung atau bulat; bergerak dari permukaan datar sampai yang bulat; dari kubus atau bentuk yang paralelepiped sampai struktur yang berbentuk bol. Gunakan rol, bola, spiral, dan / atau kubah. Berpindah dari linear ke gerakan berputar, dengan menggunakan gaya sentrifugal.

No	Prinsip	Penjelasan
15.	<i>Dynamic parts (dynamicity, dynamization, dynamics)</i>	<p>Memungkinkan (atau desain) karakteristik objek, lingkungan eksternal, proses atau sistem untuk mengubah menjadi optimal atau menemukan kondisi operasi yang optimal.</p> <p>Membagi suatu benda menjadi bagian yang mampu bergerak relatif satu sama lain.</p> <p>Jika suatu benda (atau proses) yang kaku atau tidak fleksibel, membuatnya dapat bergerak atau adaptif.</p>
16.	<i>Partial or excessive action</i>	<p>Jika 100% dari tujuan sulit untuk dicapai menggunakan metode solusi yang diberikan, masalahnya mungkin jauh lebih mudah untuk dimecahkan dengan menggunakan sedikit kurang atau sedikit lebih dari metode yang sama.</p>
17.	<i>Dimensionality change</i>	<p>Memindahkan objek atau sistem dalam ruang dua atau tiga dimensi.</p> <p>Memiringkan atau reorientasi objek, meletakkannya pada sisinya, menggunakan sisi lainnya</p>
18.	<i>Mechanical vibration</i>	<p>Menyebabkan suatu benda atau sistem untuk beresonansi atau bergetar.</p> <p>Meningkatkan frekuensi getaran.</p> <p>Gunakan frekuensi resonansi obyek.</p> <p>Gunakan piezoelektrik bukan vibrator mekanik.</p> <p>Gunakan gabungan osilasi medan ultrasonik dan elektromagnetik.</p>

No	Prinsip	Penjelasan
19.	<i>Periodic action</i>	<p>Tidak melakukan tindakan terus menerus, tetapi menggunakan tindakan periodik atau berdenyut.</p> <p>Jika tindakan sudah periodik, mengubah besarnya periodik atau frekuensi.</p> <p>Gunakan jeda antara impuls untuk melakukan tindakan yang berbeda.</p>
20.	<i>Continuity of useful action</i>	<p>Melaksanakan pekerjaan secara kontinyu; membuat semua bagian dari suatu obyek atau sistem kerja pada beban penuh sepanjang waktu.</p> <p>Menghilangkan semua tindakan yang menganggur atau intermiten.</p>
21.	<i>Hurrying or skipping</i>	<p>Melakukan proses, atau tahapan tertentu (misalnya, merusak, berbahaya, atau operasi berbahaya), dengan kecepatan tinggi.</p>
22.	<i>Blessing in disguise or ‘turn lemons into lemonade’</i>	<p>Menggunakan faktor berbahaya (terutama, efek berbahaya dari lingkungan atau sekitarnya) untuk mencapai efek positif.</p> <p>Menghilangkan tindakan utama yang berbahaya dengan menambahkannya ke tindakan berbahaya lain untuk menyelesaikan masalah.</p> <p>Memperkuat faktor berbahaya bagi sedemikian rupa sehingga tidak lagi berbahaya.</p>
23.	<i>Feedback</i>	<p>Memperkenalkan umpan balik untuk meningkatkan proses atau tindakan.</p> <p>Jika umpan balik sudah digunakan, mengubah besarnya atau pengaruhnya.</p>

No	Prinsip	Penjelasan
24.	<i>Intermediary</i>	<p>Menggunakan sebuah benda perantara atau proses perantara.</p> <p>Menggabungkan satu objek sementara dengan yang lain yang dapat dengan mudah dipindah kembali.</p>
25.	<i>Self-service</i>	<p>Membuat obyek atau sistem melayani sendiri dengan melakukan fungsi bantu tambahan.</p> <p>Menggunakan sumber daya, termasuk energi dan material, terutama yang awalnya terbuang, untuk meningkatkan sistem.</p>
26.	<i>Copying</i>	<p>Tidak menggunakan sebuah objek tidak tersedia, mahal atau rapuh, tetapi gunakan yang sederhana, salinan murah. Ganti obyek atau sistem atau proses dengan salinan optik.</p> <p>Jika salinan optik yang terlihat sudah digunakan, mengubah panjang gelombang ke inframerah atau ultraviolet.</p>
27.	<i>Cheap disposables</i>	<p>Ganti obyek yang mahal dengan beberapa objek murah, mengorbankan kualitas tertentu (misalnya, umur).</p>
28.	<i>Mechanical interaction substitution</i>	<p>Mengganti metode mekanik dengan metode sensorik (optik, akustik, rasa atau bau).</p> <p>Gunakan medan listrik, magnet, dan medan elektromagnetik untuk berinteraksi dengan objek.</p> <p>Ubah dari statis menjadi bidang yang bergerak ke mereka yang memiliki struktur.</p> <p>Gunakan bidang dalam hubungannya dengan partikel bidang yang diaktifkan (misalnya, feromagnetik).</p>



No	Prinsip	Penjelasan
29.	<i>Pneumatics and hydraulics</i>	Menggunakan gas atau cair sebagai bagian dari suatu obyek atau sistem bukan bagian padat. (misalnya, tiup, diisi dengan cairan, bantalan udara, hidrostatik, bagian hydroreactive)
30.	<i>Flexible shells and thin films</i>	Gunakan kerangka yang fleksibel dan lapisan yang tipis bukannya struktur tiga dimensi. Mengisolasi objek dari lingkungan eksternal menggunakan kerangka yang fleksibel dan lapisan yang tipis.
31.	<i>Porous materials</i>	Membuat objek berpori atau menambahkan elemen berpori (sisipan, pelapis, dll). Jika objek sudah berpori, gunakan pori-pori untuk memperkenalkan bahan atau fungsi yang bermanfaat.
32.	<i>Optical property changes</i>	Mengubah warna atau transparansi dari suatu obyek atau lingkungan eksternalnya.
33.	<i>Homogeneity</i>	Membuat objek yang berinteraksi dari bahan yang sama (atau bahan dengan sifat identik).
34.	<i>Discarding and recovering</i>	Membuat bagian-bagian dari sebuah benda yang telah memenuhi fungsi mereka pergi (membuang dengan melarutkan, penguapan, dll) atau memodifikasi mereka secara langsung selama operasi. Sebaliknya, mengembalikan bagian yang bersifat konsumsi dari sebuah objek langsung dalam operasi.
35.	<i>Parameter changes</i>	Mengubah keadaan fisik obyek (menjadi gas, cair, atau padat). Mengubah konsentrasi atau konsistensi. Mengubah tingkat fleksibilitas. Mengubah suhu

No	Prinsip	Penjelasan
36.	<i>Phase transitions</i>	Menggunakan fenomena yang terjadi selama fase transisi (contohnya perubahan volume, kehilangan atau penyerapan panas, dll).
37.	<i>Thermal expansion</i>	Gunakan ekspansi termal (atau kontraksi) dari material. Jika ekspansi termal yang digunakan, pilih beberapa bahan dengan koefisien yang berbeda dari ekspansi termal.
38.	<i>Strong oxidants</i>	Menggantikan udara yang umum dengan udara yang kaya oksigen. Ganti dengan udara yang diperkaya dengan oksigen murni. membuka udara atau oksigen ke radiasi pengion. Menggunakan oksigen yang terozonisasi. Ganti yang terozonisasi (oksigen terionisasi) dengan ozon.
39.	<i>Inert atmosphere</i>	Ganti lingkungan yang normal dengan satu yang inert. Tambahkan bagian netral atau aditif inert ke suatu objek atau sistem.
40.	<i>Composite materials</i>	Ubah dari seragam ke komposit (beberapa) material dan sistem.

## Lampiran 2 – 39 *Engineering Parameters*

No	Parameter	Penjelasan
1.	<i>Weight of moving object</i>	Massa dari objek dalam medan gravitasi. Gaya yang tubuh berikan untuk menunjang dan menyangga.
2.	<i>Weight of stationary object</i>	Massa dari objek dalam medan gravitasi. Gaya yang tubuh berikan untuk menunjang dan menyangga atau pada permukaan yang sebagai tumpuan.
3.	<i>Length of moving object</i>	Setiap dimensi linear, belum tentu terpanjang, dianggap panjang.
4.	<i>Length of stationary object</i>	Sama.
5.	<i>Area moving object</i>	Karakteristik geometris dijelaskan oleh bagian dari sebuah bidang yang ditempati oleh garis. Bagian dari permukaan terisi oleh objek atau ukuran persegi dari permukaan, baik internal maupun eksternal dari suatu objek.
6.	<i>Area stationary</i>	Sama. Panjang x lebar x tinggi untuk objek yang persegi panjang, tinggi x wilayah untuk silinder, dll.
7.	<i>Volume moving object</i>	Ukuran cubic dari ruang yang ditempati oleh objek.
8.	<i>Volume stationary</i>	Sama.
9.	<i>Speed</i>	Kecepatan dari sebuah objek. Tingkat proses atau tindakan dalam waktu.
10.	<i>Force</i>	Gaya mengukur interaksi antara sistem. Dalam fisika Newton, gaya = massa x percepatan. Dalam TRIZ, gaya adalah interaksi yang dimaksudkan untuk mengubah

No	Parameter	Penjelasan
		kondisi obyek.
11.	<i>Stress or pressure</i>	Gaya per satuan luas. Tekanan.
12.	<i>Shape</i>	Kontur eksternal, penampilan sistem.
13.	<i>Stability of the object's composition</i>	Keutuhan atau integritas sistem. Hubungan elemen dari sistem. Pakai, dekomposisi kimia, dan pembongkaran semua penurunan stabilitas. Meningkatkan entropi adalah penurunan stabilitas.
14.	<i>Strength</i>	Sejauh mana objek mampu menahan perubahan dalam menanggapi tekanan. Daya tahan terhadap kerusakan.
15.	<i>Duration of action by a moving object</i>	Waktu yang objek dapat melakukan tindakan. Lama pelayanan. Rata-rata waktu antar kegagalan adalah perhitungan durasi tindakan. Juga, daya tahan.
16.	<i>Duration of action by a stationary object</i>	Sama.
17.	<i>Temperature</i>	Kondisi Termal objek atau sistem. Dengan bebas termasuk parameter termal lainnya, seperti kapasitas panas, yang mempengaruhi laju perubahan suhu.
18.	<i>Illumination intensity</i>	fluks cahaya per satuan luas, juga setiap karakteristik pencahayaan lain dari sistem seperti kecerahan, kualitas cahaya, dll.
19.	<i>Use of energy by moving object</i>	Ukuran kapasitas objek untuk melakukan pekerjaan. Dalam mekanika klasik, energi adalah produk dari jarak gaya X. Ini termasuk penggunaan energi yang disediakan oleh sistem super (seperti energi listrik atau panas. ) Energi yang dibutuhkan untuk

No	Parameter	Penjelasan
		melakukan pekerjaan tertentu.
20.	<i>Use of energy by stationary object</i>	Sama.
21.	<i>Power</i>	Tingkat waktu di mana pekerjaan dilakukan. Tingkat penggunaan energi.
22.	<i>Loss of energy</i>	Gunakan energi yang tidak berkontribusi pada pekerjaan yang sedang dilakukan. Mengurangi kehilangan energi yang kadang-kadang membutuhkan teknik yang berbeda dari peningkatan penggunaan energi, yang mengapa ini adalah kategori yang terpisah.
23.	<i>Loss of substance</i>	Sebagian atau lengkap, permanen atau sementara, kehilangan beberapa dari sistem bahan, zat, bagian, atau subsistem.
24.	<i>Loss of information</i>	Partial atau lengkap, permanen atau sementara, kehilangan data atau akses ke data di atau oleh suatu sistem. Sering mencakup data sensorik seperti aroma, tekstur, dan lain-lain.
25.	<i>Loss of time</i>	Waktu adalah durasi aktivitas. Meningkatkan hilangnya waktu berarti mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk aktivitas tersebut. "Siklus penurunan waktu" adalah istilah umum.
26.	<i>Quantity of substance/the matter</i>	Jumlah dari bahan, zat, bagian atau subsistem dari suatu sistem yang mungkin dapat berubah sepenuhnya atau sebagian, permanen atau sementara.

No	Parameter	Penjelasan
27.	<i>Reliability</i>	Kemampuan sistem untuk menjalankan fungsi yang diinginkan dalam cara dan kondisi terprediksi.
28.	<i>Measurement accuracy</i>	Kedekatan nilai diukur dengan nilai sebenarnya dari sebuah properti dari sistem. Mengurangi kesalahan dalam peningkatan pengukuran akurasi pengukuran.
29.	<i>Manufacturing precision</i>	sejauh mana karakteristik sebenarnya dari sistem atau objek sesuai dengan karakteristik tertentu atau yang diperlukan.
30.	<i>External harm affects the object</i>	Kerentanan sistem untuk keluaran yang menghasilkan efek (berbahaya)
31.	<i>Object-generated harmful factors</i>	Efek berbahaya adalah salah satu yang mengurangi efisiensi atau kualitas fungsi objek atau sistem, yang dihasilkan oleh objek atau sistem sebagai bagian dari operasinya.
32.	<i>Ease of manufacture</i>	Tingkat fasilitas, kenyamanan atau kemudahan di objek atau sistem manufaktur atau fabrikasi.
33.	<i>Ease of operation</i>	Kesederhanaan: Proses ini tidak mudah jika membutuhkan banyak orang, banyak langkah dalam operasi, perlu alat khusus, dll. Proses (sulit) memiliki hasil yang rendah dan proses (mudah) memiliki hasil yang tinggi; mereka mudah untuk melakukan yang benar.
34.	<i>Ease of repair</i>	Karakteristik kualitas seperti kemudahan, kenyamanan, kesederhanaan, dan waktu untuk memperbaiki kesalahan, kegagalan, atau cacat dalam suatu sistem.

No	Parameter	Penjelasan
35.	<i>Adaptability or versatility</i>	sejauh mana sistem atau objek merespon positif terhadap perubahan eksternal. Sebuah sistem yang dapat digunakan dalam berbagai cara dalam berbagai situasi.
36.	<i>Device complexity</i>	Jumlah dan keragaman elemen dan hubungan elemen dalam sebuah sistem. Pengguna dapat menjadi elemen dari sistem yang meningkatkan kompleksitas. Kesulitan menguasai sistem adalah ukuran dari kompleksitas.
37.	<i>Difficulty of detecting and measuring</i>	Mengukur atau pemantauan sistem yang kompleks dan mahal, memerlukan banyak waktu dan tenaga untuk membuat dan menggunakan, atau yang memiliki hubungan kompleks antara komponen atau komponen yang saling mengganggu menunjukkan "kesulitan mendeteksi dan mengukur." Peningkatan biaya pengukuran untuk kesalahan yang memuaskan juga merupakan tanda peningkatan kesulitan pengukuran.
38.	<i>Extent of automation</i>	Sejauh mana sistem atau objek melakukan fungsinya tanpa antarmuka manusia. Tingkat terendah dari otomatisasi adalah penggunaan alat yang dioperasikan secara manual. Untuk tingkat menengah, manusia memprogram alat, mengamati operasi, dan memprogram ulang sesuai kebutuhan. Untuk tingkat tertinggi, sensor mesin operasi diperlukan, program itu sendiri, dan memonitor operasi sendiri.

No	Parameter	Penjelasan
39	<i>Productivity</i>	Jumlah fungsi atau operasi yang dilakukan oleh sistem per satuan waktu. Waktu untuk fungsi satuan atau operasi. Output per satuan waktu atau biaya per unit output.



### Lampiran 3 – Contradiction Matrix

Improved Feature	Worsened Feature									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Weight of moving object	all	all	15, 8, 29,34	all	29, 17, 38, 34	all	29, 2, 40, 28	all	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37
2 Weight of stationary object	all	all	all	10, 1, 29, 35	all	35, 30, 13, 2	all	5, 35, 14, 2	all	8, 10, 19, 35
3 Length of moving object	8, 15, 29, 34	all	all	all	15, 17, 4	all	7, 17, 4, 35	all	13, 4, 8	17, 10, 4
4 Length of stationary object	all	35, 28, 40, 29	all	all	all	17, 7, 10, 40	all	35, 8, 2, 14	all	28, 10
5 Area of moving object	2, 17, 29, 4	all	14, 15, 18, 4	all	all	all	7, 14, 17, 4	all	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2
6 Area of stationary object	all	30, 2, 14, 18	all	26, 7, 9, 39	all	all	all	all	all	1, 18, 35, 36
7 Volume of moving object	2, 26, 29, 40	all	1, 7, 4, 35	all	1, 7, 4, 17	all	all	all	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37
8 Volume of stationary object	all	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	all	all	all	all	all	2, 18, 37
9 Speed	2, 28, 13, 38	all	13, 14, 8	all	29, 30, 34	all	7, 29, 34	all	all	13, 28, 15, 19
10 Force	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	all

11 Stress or pressure	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21
12 Shape	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	all	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40
13 Stability of the object's composition	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	33, 15, 28, 18	10, 35, 21, 16
14 Strength	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 26, 14	10, 18, 3, 14
15 Duration of action by a moving object	19, 5, 34, 31	all	2, 19, 9	all	3, 17, 19	all	10, 2, 19, 30	all	3, 35, 5	19, 2, 16
16 Duration of action by stationary object	all	6, 27, 19, 16	all	1, 40, 35	all	all	all	35, 34, 38	all	all
17 Temperature	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 9	3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 4	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21
18 Illumination intensity	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16	all	19, 32, 26	all	2, 13, 10	all	10, 13, 19	26, 19, 6
19 Use of energy by moving object	12, 18, 2, 8, 31	all	12, 28	all	15, 19, 25	all	35, 13, 18	all	8, 35, 35	16, 26, 21, 2
20 Use of energy by stationary object	all	19, 9, 6, 27	all	all	all	all	all	all	all	36, 37

Improved Feature	Worsened Feature									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21 Power	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37		19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35
22 Loss of Energy	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 7	15, 26, 17, 30	17, 7, 30, 18	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38
23 Loss of substance	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 30, 36	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	14, 15, 18, 40
24 Loss of Information	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16		2, 22	26, 32	
25 Loss of Time	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 18	all	10, 37, 36, 5
26 Quantity of substance/the matter	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18	all	15, 14, 29	2, 18, 40, 4	15, 20, 29	all	35, 29, 34, 28	35, 14, 3
27 Reliability	3, 8, 10, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3
28 Measurement accuracy	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	32, 13, 6	all	28, 13, 32, 24	32, 2
29 Manufacturing precision	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 23, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36
30 External harm affects the object	22, 21, 27, 39	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18

31 Object-generated harmful factors	19, 22, 15, 39	35, 22, 1, 39	17, 15, 16, 22	all	17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40
32 Ease of manufacture	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12
33 Ease of operation	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 13, 12	all	1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	28, 13, 35
34 Ease of repair	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10
35 Adaptability or versatility	1, 6, 15, 8	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 29	all	35, 10, 14	15, 17, 20
36 Device complexity	26, 30, 34, 36	2, 26, 35, 39	1, 19, 26, 24	26	14, 1, 13, 16	6, 36	34, 26, 6	1, 16	34, 10, 28	26, 16
37 Difficulty of detecting and measuring	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	30, 28, 40, 19
38 Extent of automation	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13	all	35, 13, 16	all	28, 10	2, 35
39 Productivity	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	2, 6, 34, 10	35, 37, 10, 2	all	28, 15, 10, 36

Improved Feature	Worsened Feature										
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	Weight of moving object	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 19, 39	28, 27, 18, 40	5, 34, 31, 35	all	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	all
2	Weight of stationary object	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	all	2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35	all	18, 19, 28, 1
3	Length of moving object	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	all	10, 15, 19	32	8, 35, 24	all
4	Length of stationary object	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	all	1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25	all	all
5	Area of moving object	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	all	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32	all
6	Area of stationary object	10, 15, 36, 37	all	2, 38	40	all	2, 10, 19, 30	35, 39, 38	all	all	- all
7	Volume of moving object	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	all	34, 39, 10, 18	2, 13, 10	35	all
8	Volume of stationary object	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	all	35, 34, 38	35, 6, 4	all	all	all
9	Speed	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	all	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38	all
10	Force	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	all	35, 10, 21	all	19, 17, 10	1, 16, 36, 37
11	Stress or pressure	all	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	all	35, 39, 19, 2	all	14, 24, 10, 37	all

12	Shape	34, 15, 10, 14	all	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25	all	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14	all
13	Stability of the object's composition	2, 35, 40	22, 1, 18, 4	all	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19	27, 4, 29, 18
14	Strength	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	v	27, 3, 26	all	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	35
15	Duration of action by a moving object	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	all	all	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18	all
16	Duration of action by a stationary object	all	all	39, 3, 35, 23	all	all	all	19, 18, 36, 40	all	all	all
17	Temperature	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	all	32, 30, 21, 16	19, 15, 3, 17	all
18	Illumination intensity	all	32, 30	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	all	32, 35, 19	all	32, 1, 19	32, 35, 1, 15
19	Use of energy by moving object	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	all	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	all	all

	Improved Feature	Worsened Feature									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
20	Use of energy by stationary object	all	all	27, 4, 29, 18	35	all	all	all	19, 2, 35, 32	all	all
21	Power	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19	16, 6, 19, 37	all
22	Loss of energy	all	all	14, 2, 39, 6	26	all	all	19, 38, 7	1, 13, 32, 15	all	all
23	Loss of substance	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13	35, 18, 24, 5	28, 27, 12, 31
24	Loss of information	all	all	all	all	10	10	all	19	all	all
25	Loss of time	37, 36, 4	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 18	28, 20, 10, 16	35, 29, 21, 18	1, 19, 26, 17	35, 38, 19, 18	1
26	Quantity of substance/the matter	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 34, 10	3, 35, 10, 40	3, 35, 31	3, 17, 39	all	34, 29, 16, 18	3, 35, 31
27	Reliability	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	all	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19	36, 23
28	Measurement accuracy	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 32	3, 6, 32	all
29	Manufacturing precision	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27	3, 27, 40	all	19, 26	3, 32	32, 2	all
30	External harm affects the object	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27	10, 2, 22, 37

31	Object-generated harmful factors	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	15, 22, 33, 31	21, 39, 16, 22	22, 35, 2, 24	19, 24, 39, 32	2, 35, 6	19, 22, 18
32	Ease of manufacture	35, 19, 1, 37	1, 28, 13, 27	11, 13, 1	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	27, 26, 18	28, 24, 27, 1	28, 26, 27, 1	1, 4
33	Ease of operation	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 3, 28	29, 3, 8, 25	1, 16, 25	26, 27, 13	13, 17, 1, 24	1, 13, 24	all
34	Ease of repair	13	1, 13, 2, 4	2, 35	11, 1, 2, 9	11, 29, 28, 27	1	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16	all
35	Adaptability or versatility	35, 16	15, 37, 1, 8	35, 30, 14	35, 3, 32, 6	13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 35	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13	all
36	Device complexity	19, 1, 35	29, 13, 28, 15	2, 22, 17, 19	2, 13, 28	10, 4, 28, 15	all	2, 17, 13	24, 17, 13	27, 2, 29, 28	all
37	Difficulty of detecting and measuring	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 39, 25	25, 34, 6, 35	3, 27, 35, 16	2, 24, 26	35, 38	19, 35, 16
38	Extent of automation	13, 35	15, 32, 1, 13	18, 1	25, 13	6, 9	all	26, 2, 19	8, 32, 19	2, 32, 13	all
39	Productivity	10, 37, 14	14, 10, 34, 40	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	1

	Improved Feature	Worsened Feature									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	Weight of moving object	12, 36, 18, 31	6, 2, 34, 19	5, 35, 3, 31	10, 24, 35	10, 35, 20, 28	3, 26, 18, 31	1, 3, 11, 27	28, 27, 35, 26	28, 35, 26, 18	22, 21, 18, 27
2	Weight of stationary object	15, 19, 18, 22	18, 19, 28, 15	5, 8, 13, 30	10, 15, 35	10, 20, 35, 26	19, 6, 18, 26	10, 28, 8, 3	18, 26, 28	10, 1, 35, 17	2, 19, 22, 37
3	Length of moving object	1, 35	7, 2, 35, 39	4, 29, 23, 10	1, 24	15, 2, 29	29, 35	10, 14, 29, 40	28, 32, 4	10, 28, 29, 37	1, 15, 17, 24
4	Length of stationary object	12, 8	6, 28	10, 28, 24, 35	24, 26,	30, 29, 14	all	15, 29, 28	32, 28, 3	2, 32, 10	1, 10
5	Area of moving object	19, 10, 32, 18	15, 17, 30, 26	10, 35, 2, 39	30, 26	26, 4	29, 30, 6, 13	29, 9	26, 28, 32, 3	2, 32	22, 33, 28, 1
6	Area of stationary object	17, 32	17, 7, 30	10, 14, 18, 39	30, 16	10, 35, 4, 18	2, 18, 40, 4	32, 35, 40, 4	26, 28, 32, 3	2, 29, 18, 36	27, 2, 39, 35
7	Volume of moving object	35, 6, 13, 18	7, 15, 13, 16	36, 39, 34, 10	2, 22	2, 6, 34, 10	29, 30, 7	14, 1, 40, 11	25, 26, 28	25, 28, 2, 16	22, 21, 27, 35
8	Volume of stationary object	30, 6	all	10, 39, 35, 34	all	35, 16, 32, 18	35, 3	2, 35, 16	all	35, 10, 25	34, 39, 19, 27
9	Speed	19, 35, 38, 2	14, 20, 19, 35	10, 13, 28, 38	13, 26	all	10, 19, 29, 38	11, 35, 27, 28	28, 32, 1, 24	10, 28, 32, 25	1, 28, 35, 23
10	Force	19, 35, 18, 37	14, 15	8, 35, 40, 5	all	10, 37, 36	14, 29, 18, 36	3, 35, 13, 21	35, 10, 23, 24	28, 29, 37, 36	1, 35, 40, 18
11	Stress or pressure	10, 35, 14	2, 36, 25	10, 36, 3, 37	all	37, 36, 4	10, 14, 36	10, 13, 19, 35	6, 28, 25	3, 35	22, 2, 37

12	Shape	4, 6, 2	14	35, 29, 3, 5	all	14, 10, 34, 17	36, 22	10, 40, 16	28, 32, 1	32, 30, 40	22, 1, 2, 35
13	Stability of the object's composition	32, 35, 27, 31	14, 2, 39, 6	2, 14, 30, 40	all	35, 27	15, 32, 35	all	13	18	35, 24, 30, 18
14	Strength	10, 26, 35, 28	35	35, 28, 31, 40	all	29, 3, 28, 10	29, 10, 27	11, 3	3, 27, 16	3, 27	18, 35, 37, 1
15	Duration of action by a moving object	19, 10, 35, 38	all	28, 27, 3, 18	10	20, 10, 28, 18	3, 35, 10, 40	11, 2, 13	3	3, 27, 16, 40	22, 15, 33, 28
16	Duration of action by a stationary object	16	all	27, 16, 18, 38	10	28, 20, 10, 16	3, 35, 31	34, 27, 6, 40	10, 26, 24	all	17, 1, 40, 33
17	Temperature	2, 14, 17, 25	21, 17, 35, 38	21, 36, 29, 31	all	35, 28, 21, 18	3, 17, 30, 39	19, 35, 3, 10	32, 19, 24	24	22, 33, 35, 2
18	Illumination intensity	32	13, 16, 1, 6	13, 1	1, 6	19, 1, 26, 17	1, 19	all	11, 15, 32	3, 32	15, 19
19	Use of energy by moving object	6, 19, 37, 18	12, 22, 15, 24	35, 24, 18, 5	all	35, 38, 19, 18	34, 23, 16, 18	19, 21, 11, 27	3, 1, 32	all	1, 35, 6, 27

	Improved Feature	Worsened Feature									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
20	Use of energy by stationary object	all	all	28, 27, 18, 31	all	all	3, 35, 31	10, 36, 23	all	all	10, 2, 22, 37
21	Power	all	10, 35, 38	28, 27, 18, 38	10, 19	35, 20, 10, 6	4, 34, 19	19, 24, 26, 31	32, 15, 2	32, 2	19, 22, 31, 2
22	Loss of Energy	3, 38	all	35, 27, 2, 37	19, 10	10, 18, 32, 7	7, 18, 25	11, 10, 35	32	all	21, 22, 35, 2
23	Loss of substance	28, 27, 18, 38	35, 27, 2, 31	all	all	15, 18, 35, 10	6, 3, 10, 24	10, 29, 39, 35	16, 34, 31, 28	35, 10, 24, 31	33, 22, 30, 40
24	Loss of Information	10, 19	19, 10	all	all	24, 26, 28, 32	24, 28, 35	10, 28, 23	all	all	22, 10, 1
25	Loss of Time	35, 20, 10, 6	10, 5, 18, 32	35, 18, 10, 39	24, 26, 28, 32	all	35, 38, 18, 16	10, 30, 4	24, 34, 28, 32	24, 26, 28, 18	35, 18, 34
26	Quantity of substance/ matter	35	7, 18, 25	6, 3, 10, 24	24, 28, 35	35, 38, 18, 16	all	18, 3, 28, 40	13, 2, 28	33, 30	35, 33, 29, 31
27	Reliability	21, 11, 26, 31	10, 11, 35	10, 35, 29, 39	10, 28	10, 30, 4	21, 28, 40, 3	all	32, 3, 11, 23	11, 32, 1	27, 35, 2, 40
28	Measurement accuracy	3, 6, 32	26, 32, 27	10, 16, 31, 28	all	24, 34, 28, 32	2, 6, 32	5, 11, 1, 23	all	all	28, 24, 22, 26
29	Manufacturing precision	32, 2	13, 32, 2	35, 31, 10, 24	all	32, 26, 28, 18	32, 30	11, 32, 1	all	all	26, 28, 10, 36
30	External harm affects the object	19, 22, 31, 2	21, 22, 35, 2	33, 22, 19, 40	22, 10, 2	35, 18, 34	35, 33, 29, 31	27, 24, 2, 40	28, 33, 23, 26	26, 28, 10, 18	all
31	Object-generated harmful factors	2, 35, 18	21, 35, 2, 22	10, 1, 34	10, 21, 29	1, 22	3, 24, 39, 1	24, 2, 40, 39	3, 33, 26	4, 17, 34, 26	all
32	Ease of manufacture	27, 1, 12, 24	19, 35	15, 34, 33	32, 24, 18, 16	35, 28, 34, 4	35, 23, 1, 24		1, 35, 12, 18	all	24, 2
33	Ease of operation	35, 34, 2, 10	2, 19, 13	28, 32, 2, 24	4, 10, 27, 22	4, 28, 10, 34	12, 35	17, 27, 8, 40	25, 13, 2, 34	1, 32, 35, 23	2, 25, 28, 39
34	Ease of repair	15, 10, 32, 2	15, 1, 32, 19	2, 35, 34, 27	all	32, 1, 10, 25	2, 28, 10, 25	11, 10, 1, 16	10, 2, 13	25, 10	35, 10, 2, 16
35	Adaptability or versatility	19, 1, 29	18, 15, 1	15, 10, 2, 13	all	35, 28	3, 35, 15	35, 13, 8, 24	35, 5, 1, 10	all	35, 11, 32, 31
36	Device complexity	20, 19, 30, 34	10, 35, 13, 2	35, 10, 28, 29	all	6, 29	13, 3, 27, 10	13, 35, 1	2, 26, 10, 34	26, 24, 32	22, 19, 29, 40
37	Difficulty of detecting and measuring	18, 1, 16, 10	35, 3, 15, 19	1, 18, 10, 24	35, 33, 27, 22	18, 28, 32, 9	3, 27, 29, 18	27, 40, 28, 8	26, 24, 32, 28	all	22, 19, 29, 28
38	Extent of automation	28, 2, 27	23, 28	35, 10, 18, 5	35, 33	24, 28, 35, 30	35, 13	11, 27, 32	28, 26, 10, 34	28, 26, 18, 23	2, 33
39	Productivity	35, 20, 10	28, 10, 29, 35	28, 10, 35, 23	13, 15, 23	all	35, 38	1, 35, 10, 38	1, 10, 34, 28	18, 10, 32, 1	22, 35, 13, 24

Improved Feature	Worsened Feature										
	31	32	33	34	35	36	37	38	39		
1	Weight of moving object	22, 35, 31, 39	27, 28, 1, 36	35, 3, 2, 24	2, 27, 28, 11	29, 5, 15, 8	26, 30, 36, 34	28, 29, 26, 32	26, 35, 18, 19	35, 3, 24, 37	
2	Weight of stationary object	35, 22, 1, 39	28, 1, 9	6, 13, 1, 32	2, 27, 28, 11	19, 15, 29	1, 10, 26, 39	25, 28, 17, 15	2, 26, 35	1, 28, 15, 35	
3	Length of moving object	17, 15	1, 29, 17	15, 29, 35, 4	1, 28, 10	14, 15, 1, 16	1, 19, 26, 24	35, 1, 26, 24	17, 24, 26, 16	14, 4, 28, 29	
4	Length of stationary object	all	15, 17, 27	2, 25	3	1, 35	1, 26	26	all	30, 14, 7, 26	
5	Area of moving object	17, 2, 18, 39	13, 1, 26, 24	15, 17, 13, 16	15, 13, 10, 1	15, 30	14, 1, 13	2, 36, 26, 18	14, 30, 28, 23	10, 26, 34, 2	
6	Area of stationary object	22, 1, 40	40, 16	16, 4	16	15, 16	1, 18, 36	2, 35, 30, 18	23	10, 15, 17, 7	
7	Volume of moving object	17, 2, 40, 1	29, 1, 40	15, 13, 30, 12	10	15, 29	26, 1	29, 26, 4	35, 34, 16, 24	10, 6, 2, 34	
8	Volume of stationary object	30, 18, 35, 4	35	all	1	all	1, 31	2, 17, 26		35, 37, 10, 2	
9	Speed	2, 24, 35, 21	35, 13, 8, 1	32, 28, 13, 12	34, 2, 28, 27	15, 10, 26	10, 28, 4, 34	3, 34, 27, 16	10, 18	all	
10	Force	13, 3, 36, 24	15, 37, 18, 1	1, 28, 3, 25	15, 1, 11	15, 17, 18, 20	26, 35, 10, 18	36, 37, 10, 19	2, 35	3, 28, 35, 37	
11	Stress or pressure	2, 33, 27, 18	1, 35, 16	11	2	35	19, 1, 35	2, 36, 37	35, 24	10, 14, 35, 37	

12	Shape	35, 1	1, 32, 17, 28	32, 15, 26	2, 13, 1	1, 15, 29	16, 29, 1, 28	15, 13, 39	15, 1, 32	17, 26, 34, 10	
13	Stability of the object's composition	35, 40, 27, 39	35, 19	32, 35, 30	2, 35, 10, 16	35, 30, 34, 2	2, 35, 22, 26	35, 22, 39, 23	1, 8, 35	23, 35, 40, 3	
14	Strength	15, 35, 22, 2	11, 3, 10, 32	32, 40, 25, 2	27, 11, 3	15, 3, 32	2, 13, 25, 28	27, 3, 15, 40	15	29, 35, 10, 14	
15	Duration of action by a moving object	21, 39, 16, 22	27, 1, 4	12, 27	29, 10, 27	1, 35, 13	10, 4, 29, 15	19, 29, 39, 35	6, 10	35, 17, 14, 19	
16	Duration of action by a stationary object	22	35, 10	1	1	2	all	25, 34, 6, 35	1	20, 10, 16, 38	
17	Temperature	22, 35, 2, 24	26, 27	26, 27	4, 10, 16	2, 18, 27	2, 17, 16	3, 27, 35, 31	26, 2, 19, 16	15, 28, 35	
18	Illumination intensity	35, 19, 32, 39	19, 35, 28, 26	28, 26, 19	15, 17, 13, 16	15, 1, 19	6, 32, 13	32, 15	2, 26, 10	2, 25, 16	
19	Use of energy by moving object	2, 35, 6	28, 26, 30	19, 35	1, 15, 17, 28	15, 17, 13, 16	2, 29, 27, 28	35, 38	32, 2	12, 28, 35	

	Improved Feature	Worsened Feature								
		31	32	33	34	35	36	37	38	39
20	Use of energy by stationary object	19, 22, 18	1, 4	all	all	all	all	19, 35, 16, 25	all	1, 6
21	Power	2, 35, 18	26, 10, 34	26, 35, 10	35, 2, 10, 34	19, 17, 34	20, 19, 30, 34	19, 35, 16	28, 2, 17	28, 35, 34
22	Loss of energy	21, 35, 2, 22	all	35, 32, 1	2, 19	all	7, 23	35, 3, 15, 23	2	28, 10, 29, 35
23	Loss of substance	10, 1, 34, 29	15, 34, 33	32, 28, 2, 24	2, 35, 34, 27	15, 10, 2	35, 10, 28, 24	35, 18, 10, 13	35, 10, 18	28, 35, 10, 23
24	Loss of information	10, 21, 22	32	27, 22	all	all	all	35, 33	35	13, 23, 15
25	Loss of time	35, 22, 18, 39	35, 28, 34, 4	4, 28, 10, 34	32, 1, 10	35, 28	6, 29	18, 28, 32, 10	24, 28, 35, 30	all
26	Quantity of substance/ matter	3, 35, 40, 39	29, 1, 35, 27	35, 29, 25, 10	2, 32, 10, 25	15, 3, 29	3, 13, 27, 10	3, 27, 29, 18	8, 35	13, 29, 3, 27
27	Reliability	35, 2, 40, 26	all	27, 17, 40	1, 11	13, 35, 8, 24	13, 35, 1	27, 40, 28	11, 13, 27	1, 35, 29, 38
28	Measurement accuracy	3, 33, 39, 10	6, 35, 25, 18	1, 13, 17, 34	1, 32, 13, 11	13, 35, 2	27, 35, 10, 34	26, 24, 32, 28	28, 2, 10, 34	10, 34, 28, 32
29	Manufacturing precision	4, 17, 34, 26	all	1, 32, 35, 23	25, 10	all	26, 2, 18	all	26, 28, 18, 23	10, 18, 32, 39
30	External harm affects the object	all	24, 35, 2	2, 25, 28, 39	35, 10, 2	35, 11, 22, 31	22, 19, 29, 40	22, 19, 29, 40	33, 3, 34	22, 35, 13, 24

31	Object-generated harmful factors	all	all	all	all	all	19, 1, 31	2, 21, 27, 1	2	22, 35, 18, 39
32	Ease of manufacture	all	all	2, 5, 13, 16	35, 1, 11, 9	2, 13, 15	27, 26, 1	6, 28, 11, 1	8, 28, 1	35, 1, 10, 28
33	Ease of operation	all	2, 5, 12	all	12, 26, 1, 32	15, 34, 1, 16	32, 26, 12, 17	all	1, 34, 12, 3	15, 1, 28
34	Ease of repair	all	1, 35, 11, 10	1, 12, 26, 15	all	7, 1, 4, 16	35, 1, 13, 11	all	34, 35, 7, 13	1, 32, 10
35	Adaptability or versatility	all	1, 13, 31	15, 34, 1, 16	1, 16, 7, 4	all	15, 29, 37, 28	all	27, 34, 35	35, 28, 6, 37
36	Device complexity	19, 1	27, 26, 1, 13	27, 9, 26, 24	1, 13	29, 15, 28, 37	all	15, 10, 37, 28	15, 1, 24	12, 17, 28
37	Difficulty of detecting and measuring	2, 21	5, 28, 11, 29	2, 5	12, 26	1, 15	15, 10, 37, 28	all	34, 21	35, 18
38	Extent of automation	2	1, 26, 13	1, 12, 34, 3	1, 35, 13	27, 4, 1, 35	15, 24, 10	34, 27, 25	all	5, 12, 35, 26
39	Productivity	35, 22, 18, 39	35, 28, 2, 24	1, 28, 7, 10	1, 32, 10, 25	1, 35, 28, 37	12, 17, 28, 24	35, 18, 27, 2	5, 12, 35, 26	all



## Lampiran 4 – Kuesioner FMEA

### IDENTIFIKASI PRIORITAS PERMASALAHAN *SIX BIG LOSSES* MENGUNAKAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA)

Kuesioner ini merupakan *tools* untuk mengetahui tingkat prioritas dari akar permasalahan pada *six big losses* mesin *reheating furnace, sizing press, roughing mill, finishing mill, laminar cooling, dan down coiler* dengan parameter tingkat keparahan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurrence*) dan kemudahan untuk adanya pendeteksian (*detection*). Hasil kuesioner ini akan digunakan diolah lebih lanjut untuk kepentingan akademik, yaitu tugas akhir. Atas kerja sama Bapak/Ibu dalam kesediannya untuk mengisi kuesioner ini, kami ucapkan terima kasih.

#### Identitas Responden

Nama :

Jabatan :

Lama waktu bekerja di Pabrik *Hot Strip Mill* (HSM):

#### Keterangan Pengisian Kuesioner

Silakan mengisi angka pada *severity, occurrence* dan *detection* berdasarkan panduan yang telah disediakan. Berikut ini merupakan panduan dalam menentukan skala *severity, occurrence* dan *detection* dalam kuesioner:

<b>Kriteria Severity</b>	<b>Kriteria Occurance</b>	<b>Kriteria Detection</b>	<b>Nilai</b>
<i>Failure</i> dapat menyebabkan bahaya keselamatan pada operator dan sistem tanpa ada peringatan	Terjadi setiap < 1 jam sekali	Tidak ada sistem pendeteksi terjadinya <i>failure</i>	10
<i>Failure</i> dapat menyebabkan bahaya keselamatan pada operator dan sistem dengan peringatan	Terjadi setiap < 1 hari sekali	Sistem tidak dapat mendeteksi <i>failure</i>	9
<i>Failure</i> dapat menyebabkan downtime >8 jam	Terjadi setiap < 1 minggu sekali	Sistem memiliki peluang sangat kecil untuk mendeteksi <i>failure</i>	8
<i>Failure</i> dapat menyebabkan downtime 4-8 jam	Terjadi setiap < 2 minggu sekali	Sistem memiliki peluang kecil untuk mendeteksi <i>failure</i>	7
<i>Failure</i> dapat menyebabkan downtime 14 jam	Terjadi setiap < 1 bulan sekali	Sistem berpeluang mendeteksi <i>failure</i>	6
<i>Failure</i> dapat menyebabkan downtime 30 menit - 1jam	Terjadi setiap < 3 bulan sekali	Sistem berpeluang besar mendeteksi <i>failure</i>	5
<i>Failure</i> dapat menyebabkan downtime 10-30 menit, tanpa ada defect	Terjadi setiap < 6 bulan sekali	Sistem berpeluang sangat besar mendeteksi <i>failure</i>	4
<i>Failure</i> dapat menyebabkan downtime <10 menit, tanpa ada defect	Terjadi setiap < 1 tahun sekali	Sistem dapat mendeteksi <i>failure</i>	3

<b>Kriteria Severity</b>	<b>Kriteria Occurance</b>	<b>Kriteria Detection</b>	<b>Nilai</b>
Tidak menyebabkan <i>downtime</i> dan produk <i>defect</i> , namun membutuhkan penyesuaian pada mesin	Terjadi setiap 1-3 tahun sekali	Sistem hampir selalu mendeteksi <i>failure</i>	2
<i>Failure</i> tidak mempengaruhi apapun	Terjadi setiap > 3 tahun sekali	Sistem selalu mendeteksi <i>failure</i>	1

- **FMEA Pada Mesin *Reheating Furnace***

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada part <i>Discharging Door RF</i> 1	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>		Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>		
2	Kerusakan pada part <i>Discharging Door RF</i> 2							
3	Kerusakan pada part <i>Hydraulic A</i>							
4	Kerusakan pada part <i>Trackling</i>							
5	Kerusakan pada part <i>Water Descaler</i>							
6	Kerusakan pada part <i>Compressor WTP</i>							

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
7	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part						
8	Pintu <i>Discharging</i> RF1 tidak mau buka, tekanan udara drop	Pengurangan <i>speed</i> mesin		Kelalaian operator dalam melakukan pengecekan		Tidak terdapat pengendalian		
9	Roll Table Tidak Memutar	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>		Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin		
10	Kerusakan pada <i>crane</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>						

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
11	Volume dan Kecepatan Nozzle Water Descaler tidak sesuai	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan checking secara mendalam		yang mengalami delay <i>maintenance</i>		
12	Kekerasan baja panas tidak sesuai keinginan	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan checking secara mendalam				

- FMEA Pada Mesin *Sizing Press*

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada <i>part</i> Baut <i>Synchronizing</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>		Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>		
2	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Slider</i>							
3	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Hydraulic SP</i>							
4	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Die Clamp</i>							
5	Mesin mengalami <i>breakdown</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part						

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
6	Slab mengalami slip	Pengurangan <i>speed</i> mesin		Kurangnya cleaning pada <i>Working Roll Table</i>				
7	Slider tidak jalan (macet)	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>				
8	Baut <i>Synchronizing</i> kurang kencang							
9	Break Motor Macet							



No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
10	<i>Measuring Roll Lepas</i>	Proses produksi terhambat		Kelalaian operator dalam melakukan pengecekan		Tidak terdapat pengendalian		
11	Baja panas kurang terbentuk	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan checking secara mendalam		Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>		

- FMEA Pada Mesin *Roughing Mill*

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada <i>part</i> Baut <i>Keeper Plate</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>		Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>		
2	Kerusakan pada <i>part</i> <i>EWC</i>							
3	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Spindle</i>							
4	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Pinch Roll</i>							
5	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Edger</i>							
6	Kerusakan pada <i>part</i> <i>Disk Break</i>							

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
7	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part						
8	Slab mengalami Slip	Pengurangan <i>speed</i> mesin		Kurangnya cleaning pada <i>Working Roll Table</i>				
9	<i>Hydraulic B</i> mengalami trip	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>				
10	<i>Laser Speed</i> tidak memotong							

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
11	<i>Water Descaler</i> tidak menyemprot							
12	Slip Ring rotor terbakar							
13	Volume dan Kecepatan Nozzle Water Descaler tidak sesuai	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan checking secara mendalam				
14	Kekerasan baja panas tidak sesuai keinginan	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan checking secara mendalam				
15	Ukuran baja panas tidak sesuai keinginan	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan checking secara mendalam				

- FMEA Pada Mesin *Finishing Mill*

No	Jenis Faivre	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Work Roll Balancing mengalami trip	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>		Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>		
2	<i>Cobble</i> karena <i>problem tracking</i>							
3	<i>Main Drive</i> mengalami trip							
4	<i>Hydraulic System</i> trip & bocor							
5	Strip nabrak antistiker							
6	Kalibrasi F1 gagal							

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
7	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part						
8	Slab mengalami Slip	Pengurangan <i>speed</i> mesin		Kurangnya <i>cleaning</i> pada <i>Working Roll Table</i>				
9	Kerusakan pada <i>part HGC F4</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>				
10	Kerusakan pada <i>part Water Catcher</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>						
11	Ukuran baja panas tidak sesuai keinginan	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan <i>checking</i> secara mendalam				

- FMEA Pada Mesin *Laminar Cooling*

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 1</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>		Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>		
2	Kerusakan pada <i>part Discharging Door RF 2</i>							
3	Kerusakan pada <i>part Water Descaler</i>							
4	Kerusakan pada <i>part Compressor WTP</i>							
7	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part						
8	Slab mengalami Slip	Pengurangan <i>speed</i> mesin		Kurangnya <i>cleaning</i> pada <i>Working Roll Table</i>				

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
9	Power Water mati	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>				
10	Pompa P2.3 Mati							
11	<i>Scale Well Water Treatment</i> Banjir							
12	Volume dan Kecepatan Nozzle Water Descaler tidak sesuai	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan checking secara mendalam				
13	Kekerasan baja panas tidak sesuai keinginan	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan checking secara mendalam				



- **FMEA Pada Mesin Down Coiler**

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
1	Kerusakan pada <i>part Hydraulic G</i>	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>		Pengecekan setiap mesin akan dilakukan sebelum proses produksi dan dengan segera untuk melakukan <i>maintenance</i> pada mesin yang mengalami <i>delay maintenance</i>		
2	Kerusakan pada <i>part Baut Pinch Roll</i>							
3	Kerusakan pada <i>part Hydraulic F</i>							
4	Kerusakan pada <i>part RORT</i>							
7	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>	Dilakukannya penyesuaian mesin akibat adanya penggantian part						
8	<i>Wrap Roll</i> Macet	Pengurangan <i>speed</i> mesin		Kurangnya pengecekan pada <i>part Wrap Roll</i>				

No	Jenis Faiure	Potential Effect	Severity	Potential Cause	Occurance	Control	Detection	RPN
9	<i>Wrap Roll</i> tidak mau membuka	Mesin mengalami <i>Breakdown</i>		Terdapat penundaan dan kurangnya pengecekan dalam <i>maintenance</i>				
10	<i>SG Down Coiler</i> kurang membuka							
11	<i>Filler Roll Table</i> tidak mutar							
12	Coil baja miring di <i>Lifting Car Down Coiler</i>	Meningkatnya <i>defect rate</i>		Tidak dilakukan checking secara mendalam				

## BIOGRAFI PENULIS



Bagas Saestu Adi Putera lahir di Serang Banten pada tanggal 07 Juli 1998. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara pasangan Adi Nugroho dan Rini Susilowati. Pendidikan formal yang telah ditempuh oleh penulis berawal dari SD Mardi Yuana Serang, SMP Negeri 1 Cilegon, SMA Negeri 1 Serang hingga ke jenjang sarjana di Departemen Teknik dan Sistem Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2020. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam beberapa kegiatan organisasi mahasiswa diantaranya staf Departemen Kominfo Keluarga Mahasiswa Katolik 2017/2018 dan Ketua Departemen Kominfo Keluarga Mahasiswa Katolik 2018/2019. Selain itu penulis juga aktif pada berbagai kegiatan kepanitiaan, diantaranya menjadi koordinator Publication LKMM Pra TD FTI ITS 2017, menjadi koordinator Cakrawala Ilmiah Red Euphorbia Month FTI ITS 2016, dan menjadi koordinator Publication Gathering di Keluarga Mahasiswa Katolik ITS. Pelatihan yang pernah diikuti oleh penulis antara lain Gerigi ITS 2016, LKMM Pra-TD, LKMM TD, dan PKTI. Penulis aktif mengikuti lomba dan memenangkan perlombaan antara lain menjadi Finalis Internasional of CIIC - *Chula International Innovation Challenge Thailand* 2017, juara 2 dalam *Green Wave Environmental Care Competition Sembcorp Marine* Singapore 2018, dan menjadi Finalis *Second Round Airbus Competition Fly You Ideas* 2019. Penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Krakatau Steel pada Departemen SCM. Untuk informasi lebih lanjut mengenai hasil penelitian Tugas Akhir, penulis dapat dihubungi melalui email [saestubagas@gmail.com](mailto:saestubagas@gmail.com).