

## ***Analisis Perawatan Mesin Injeksi Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness Dan Failure Mode and Effect Analysis***

### ***Analysis Of Injection Engine Maintenance Using Overall Equipment Effectiveness and Failure Mode and Effect Analysis Methods***

Sahrupi<sup>1</sup>, Sofian Bastuti<sup>2</sup>, Muhamad Hanif<sup>1</sup>, Rimasya Dinda Ramadhanty<sup>1</sup>

<sup>1</sup>\* Program Studi Teknik Industri Universitas Serang Raya, Serang-Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Industri Universitas Pamulang, Tangerang-Indonesia

\* Koresponden Email: sahrupi@gmail.com

#### **INFORMASI ARTIKEL    ABSTRAK**

##### Histori Artikel

- Artikel dikirim  
14/10/2022
- Artikel diperbaiki  
26/10/2022
- Artikel diterima  
27/10/2022

PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi produk berbahan baku plastik. Mesin yang digunakan dalam proses produksi adalah mesin injeksi. Permasalahan yang sering muncul adalah mesin injeksi sering mengalami breakdown dan tidak tercapainya target produksi pada beberapa mesin. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan penelitian menggunakan pendekatan analisis Overall Equipment Effectiveness, Six Big Losses dan Failure Mode and Effect Analysis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin injeksi berdasarkan tingkat efektivitasnya, mengetahui faktor penyebab terjadinya kerusakan dan menentukan prioritas perbaikan. Hasil analisis empat mesin injeksi diperoleh bahwa mesin injeksi E4 memiliki tingkat efektivitas paling rendah dengan nilai OEE sebesar 10,10%. Analisis Six Big Losses untuk mesin injeksi E4 menunjukkan bahwa kerugian paling besar terdapat pada Reduced Speed Losses dengan nilai sebesar 84,22%. Hal ini disebabkan karena adanya beberapa komponen yang mengalami kerusakan. Kerusakan komponen mesin injeksi E4 terjadi karena faktor usia pemakaian dan minimnya perawatan mesin. Oleh karena itu, perlu dilakukan prioritas perbaikan untuk meningkatkan kecepatan proses produksi mesin injeksi E4 yaitu dengan melakukan penggantian komponen PCB dan solid state relay secara berkala serta menerapkan Predictive Maintenance dan Corrective Maintenance.

**Kata Kunci:** Failure Mode and effect analysis; overall equipment effectiveness; six big losses; injection moulding.

#### **ABSTRACT**

*PT. XYZ is a business that manufactures plastic-based consumer and automotive goods. An injection machine is used in the manufacturing process. The issue that recurs regularly is the breakdown of injection machines and the failure of some equipment to meet output targets. In order to address these issues, a study was carried out utilizing the failure mode and effect analysis, overall equipment effectiveness, and the six big losses. In order to improve the performance of the injection engine in the company, this study intends to evaluate the effectiveness of the injection engine, identify the elements that lead to damage, and indicate the order of improvement that must be made. The result show that the E4 injection engine had the lowest level of effectiveness, with an OEE value of 10.10%, according to the analysis of four injection machines. The E4 injection engine's Six Big Losses research reveals that Reduced Speed Losses, with a value of 84.22%, suffer the biggest loss. This is brought on by the existence of numerous defective components. The E4 injection engine's component deterioration is caused by aging and a lack of engine maintenance. Therefore, it is vital to prioritize changes in order to speed up the production of the E4 injection machine, specifically by*

*regularly replacing PCB components and solidstate relays as well as putting Predictive Maintenance and Corrective Maintenance into practice.*

**Keywords:** *Failure Mode and Effect Analysis; Overall Equipment Effectiveness; Six Big Losses, Injection Moulding*

## 1. PENDAHULUAN

Mesin injeksi merupakan mesin yang digunakan untuk membuat produk dengan bahan baku utama plastik melalui proses injeksi. Proses injeksi dilakukan dengan cara memanaskan bahan biji plastik sehingga biji plastik mencair, plastik cair tersebut kemudian didorong sehingga masuk kedalam cetakan (*mold*), merupakan pembentuk produk plastik. Pada proses injeksi, bagian yang sangat berpengaruh pada hasil produk adalah bagian *mold*. Hal ini karena *mold* merupakan rongga atau cetakan dari bentuk benda yang akan diproduksi. Mesin injeksi horizontal pada umumnya memiliki beberapa bagian utama, yaitu *injection unit*, *clamping unit*, *drive system* dan *control system* [5]. Setiap tipe mesin injeksi yang berbeda akan mempunyai perbedaan dalam unit injeksi dan unit *clamping* nya. Bagian utama tersebut memiliki fungsi masing-masing yang berhubungan dengan proses percetakan. Beberapa contoh produk yang dihasilkan oleh mesin injeksi diantaranya adalah *baby product*, *dashboard* sepeda motor dan wadah kosmetik. Gambar 1 menunjukan contoh visual mesin injeksi *molding* yang diambil dari internet. Mesin injeksi yang ada di perusahaan tidak dapat ditampilkan untuk menjaga kerahasiaan dari sistem produksi perusahaan.



Gambar 1. Contoh Mesin Injeksi [5].

PT. XYZ merupakan perusahaan injeksi plastik yang terletak dikawasan Industri Modern Kabupaten Serang Provinsi Banten. Perusahaan ini berdiri pada tahun 1991 dan sudah bersertifikat SNI ISO 9001:2015. Jenis produk yang dihasilkan diantaranya suku cadang otomotif, suku cadang elektronik, peralatan rumah tangga dan segala jenis macam produk yang berbahan material plastik. Perusahaan ini mempunyai mesin *injection* terdiri dari 40T-1250T, *painting*, *printing*, *hot stamping*, *line assembly* dan *mould workshop*. PT. XYZ saat ini memiliki banyak konsumen dari berbagai macam perusahaan. Masalah yang dihadapi perusahaan saat ini adalah kondisi mesin sering mengalami kerusakan atau *downtime*. Berdasarkan data *downtime* mesin injeksi yang diperoleh selama bulan Januari sampai dengan Juni 2022, didapatkan nilai *downtime* pada mesin injeksi E1 sebesar 118,31 jam, E2 sebesar 32,7 jam, E3 sebesar 54,95 jam dan E4 sebesar 157,2 jam.

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, diperoleh bahwa permasalahan yang sering terjadi pada mesin injeksi yaitu mesin sering mengalami *breakdown*. Hal ini terjadi disebabkan oleh adanya kerusakan pada beberapa jenis komponen mesin seperti *mould*, hidrolis, *nozzle*, kontaktor, barrel dan PCB. Adapun proses pemecahan

masalah yang dilakukan saat ini yaitu dengan melakukan perbaikan sesuai kerusakan yang terjadi. Meskipun perbaikan sudah dilakukan, tetapi masalah selalu muncul kembali. Diperlukan langkah-langkah yang tepat agar dapat meningkatkan kembali kinerja mesin. Metode yang dianggap lebih tepat untuk mengatasi masalah tingginya *downtime* mesin injeksi adalah metode *Overall Equipment Effectiveness (OEE)*, *Six Big Losses* dan *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

OEE adalah salah satu metode pengukuran kinerja yang banyak digunakan oleh perusahaan untuk mengatasi masalah efektifitas mesin [1]. Perusahaan menggunakan OEE sebagai dasar penggerak kinerja bisnis perusahaan yang berfokus pada kualitas, produktivitas, dan masalah pemanfaatan mesin dalam rangka mengurangi kegiatan-kegiatan yang tidak bernilai tambah dalam proses bisnis perusahaan. OEE merupakan salah satu metrik kuantitatif yang digunakan dalam industri untuk mengontrol dan memantau produktivitas peralatan produksi serta sebagai indikator dan penggerak proses dan peningkatan kinerja [6]. Metrik ini telah diterima secara luas sebagai alat kuantitatif yang penting untuk pengukuran tingkat produktivitas dalam sebuah operasi manufaktur [7]. OEE dapat digunakan untuk mengukur kinerja, mengidentifikasi peluang pengembangan, dan fokus dalam upaya peningkatan yang terkait dengan peralatan atau pemanfaatan proses (*availability*), tingkat operasional (*performance*) dan kualitas (*quality*). OEE memiliki standar ketersediaan sebesar 90 persen, efisiensi kinerja sebesar 95 persen, dan tingkat kualitas sebesar 99 persen. [8]. Sehingga secara keseluruhan, OEE kinerja kelas dunia memiliki nilai rata-rata sebesar 85 [9].

*Availability* merupakan rasio atau perbandingan antara aktual waktu mesin memproduksi dengan jumlah waktu yang dijadwalkan untuk produksi [10]. Faktor penting dalam perhitungan *availability* adalah jumlah *loading time*. *Loading time* dapat didefinisikan sebagai *total loading time* setelah dikurangi *planned downtime* yang terjadi [11]. *Performance efficiency* yaitu hasil perkalian dari *operations speedrate* dan *net operation rate*, atau ratio kuantitas produk yang dihasilkan kemudian dikalikan dengan waktu siklus idealnya terhadap waktu yang tersedia yang melakukan proses produksi (*operation time*). Sedangkan *operation speed rate* adalah perbandingan antara ideal *cycle time* mesin dengan kecepatan aktual mesin (*actual cycle time*).

Sedangkan *Six big losses* yaitu enam kerugian yang dapat mengurangi tingkat efektifitas mesin. Keenam kerugian tersebut diantaranya adalah *breakdown loses/equipment failure, setup and adjustment losses, idling and minor stoppages, reduced speed, defect losses* dan *reduced yield/scrapp*. *Root cause analysis tools (RCA)* digunakan untuk mengetahui akar penyebab terjadinya masalah secara lebih detail. Sedangkan *FMEA* merupakan sebuah metode yang berguna untuk mengevaluasi potensi-potensi kegagalan yang dapat terjadi dalam sebuah sistem, desain, proses, atau pelayanan (*service*). Identifikasi potensi kegagalan dilakukan dengan cara memberikan nilai atau skor 1 sampai dengan 10 pada masing-masing moda kegagalan berdasarkan atas tingkat kejadian (*occurrence*), tingkat keparahan (*severity*), dan tingkat deteksi (*detection*) [2]. Metode OEE dan FMEA mampu mengukur tingkat efektifitas mesin sekaligus menentukan prioritas perbaikan pada mesin yang diteliti [3]. Pengolahan data dilakukan pada empat mesin injeksi yaitu E1, E2, E3 dan E4. Namun demikian, fokus penyelesaian masalah akan diprioritaskan pada mesin injeksi yang memiliki tingkat efektifitas paling rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin injeksi di PT.XYZ berdasarkan tingkat efektifitasnya, mengetahui faktor penyebab terjadinya kerusakan dan menentukan prioritas perbaikan.

## 2. METODE

Penelitian dilakukan di perusahaan injeksi plastik yang terletak dikawasan Industri Modern Cikande, Kabupaten Serang Provinsi Banten. Penelitian ini bersifat deskriptif analisis yang mendeskripsikan objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul sebagaimana adanya, tanpa melakukan analisis dan membuat kesimpulan yang berlaku umum [4]. Adapun data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif yang dikumpulkan meliputi data *loading time*, *operation time*, *downtime*, *cycle time*, *setup time* dan data produksi. Sedangkan data kualitatif yang dikumpulkan meliputi data profil perusahaan dan data-data yang diperoleh dari kuesioner dan wawancara dengan reponden.

Proses pengumpulan data dilakukan melalui tiga cara yaitu observasi lapangan, wawancara dan studi literatur. Proses observasi dilakukan untuk menemukan permasalahan yang sering terjadi pada mesin injeksi E1, E2, E3 dan E4. Observasi dilakukan sebagai pembuktian adanya kegagalan mesin sebagaimana yang ditunjukkan dalam data *downtime* mesin. Selain itu observasi juga dimaksudkan untuk menghindari adanya permasalahan yang tersembunyi dari kegagalan mesin tersebut. Kegiatan observasi dilakukan selama kegiatan penelitian berlangsung yaitu selama 2 bulan sesuai yang ditentukan oleh pihak perusahaan. Adapun wawancara dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan informasi secara lebih detail terkait permasalahan yang sedang diteliti sehingga informasi tentang permasalahan, faktor penyebab dan tindakan pengendaliannya dapat dilakukan secara optimal. Kemudian untuk menambah data dukung secara teroris terhadap penelitian maka dilakukan studi literatur. Studi literatur bersumber dari artikel-artikel yang masih relevan dan aktual, bersumber dari buku-buku dan bersumber dari data digital lain yang berhubungan dengan tema penelitian.

Setelah dilakukan pengumpulan data, maka tahap berikutnya adalah tahap pengolahan data. Pengolahan data dimulai dengan melakukan perhitungan nilai OEE meliputi perhitungan *availability*, *performance efficiency* dan *quality rate*. Pengukuran OEE dilakukan pada keempat mesin injeksi yaitu E1, E2, E3 dan E4. Mesin injeksi yang memiliki tingkat efektivitas paling rendah atau mesin injeksi dengan nilai OEE paling rendah akan dilakukan analisis *Six Big Losses*. Analisis *Six Big Losses* dimaksudkan untuk mengetahui letak kerugian paling tinggi dari enam kerugian yang dialami mesin. Setelah kerugian pada tahap analisis *Six Big Losses* diketahui, maka selanjutnya dilakukan analisis kerusakan komponen dan analisis akar masalah menggunakan *tool RCA* untuk mengetahui faktor penyebab terjadinya kerugian sebagaimana yang diperoleh pada perhitungan *Six Big Losses*. Setelah akar masalah diketahui maka selanjutnya dilakukan analisis dampak potensi kegagalan menggunakan metode FMEA. Pengukuran FMEA melibatkan pegawai yang mengetahui permasalahan dan memiliki pengalaman yang cukup untuk membantu dalam memberikan penilaian tentang dampak kegagalan (*severity*), frekuensi kejadian (*occurance*) dan tingkat kesulitan deteksi (*detection*). Tahapan penelitian secara lebih detail sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir penelitian pada gambar 2.

### 2.1 Metode perhitungan OEE

Perhitungan OEE dilakukan dengan mengalikan nilai *Availability*, *Performance Efficiency* dan *Quality Rate*. Adapun persamaan OEE ditunjukkan pada persamaan (1).

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \text{ rate} \times 100\% \quad (1)$$

2.1.1 Nilai *Availability* dihitung dengan persamaan (2)

$$Availability = \frac{Operation\ Time}{Loading\ Time} \times 100 \quad (2)$$

2.1.2 Nilai *Performance efficiency* ditunjukkan pada persamaan (3) :

$$Performance\ Efficiency = \frac{Processed\ amount\ time\ x\ ideal\ cycle\ time}{operation\ time} \times 100\% \quad (3)$$

Tiga faktor penting yang dibutuhkan untuk menghitung *performance efficiency* adalah:

- a. *Ideal cycle* (waktu siklus ideal/waktu standar)
- b. *Processed amount* (jumlah produk yang diproses)
- c. *Operation time* (waktu operasi mesin)

2.1.3 Nilai *quality rate* dihitung menggunakan persamaan (4).

$$Quality\ rate = \frac{output\ amount - defect\ amount}{ouput\ amount} \times 100\%. \quad (4)$$

*Quality rate* atau *rate of quality product* yaitu rasio atau perbandingan jumlah produk yang lebih baik terhadap jumlah total produk yang diproses. Jadi *rate of quality product* adalah hasil perhitungan dengan menggunakan dua faktor berikut:

- a. *Output amount* (jumlah produk yang diproses)
- b. *Defect amount* (jumlah produk yang cacat)

2.2 Metode perhitungan *six big losses*

*Six big losses* bertujuan untuk mengetahui nilai kerugian secara lebih spesifik. Keenam kerugian tersebut meliputi sebagai berikut [12]:

2.2.1 *Breakdown Loses/equipment failure* adalah kerusakan mesin atau peralatan yang bersifat tiba-tiba atau kerusakan yang tidak diinginkan. *Breakdown losses* dihitung menggunakan persamaan (5).

$$Equipment\ failure\ losses = \frac{Total\ Breakdown}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (5)$$

2.2.2 *Setup and adjusment losses* adalah kerugian yang diakibatkan karena adanya pemasangan atau penyetelan. Waktu *setup* termasuk penyesuaian (*adjusment*) dan waktu yang dibutuhkan untuk penggantian. *Setup and adjusment losses* dihitung menggunakan persamaan (6).

$$Setup\ and\ adjusment\ losses = \frac{Total\ Setup\ and\ adjusment\ time}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (6)$$

2.2.3 *Idling and minor stoppages* terjadi disebabkan oleh kejadian-kejadian seperti pemberhentian sejenak, kemacetan mesin, dan *idling time* dari mesin yang bersifat *Non Productive Time*. Salah satu contoh *Non Productive Time* adalah waktu pemeliharaan mesin yang terencana (*Planned Maintenance* atau *Planned Downtime*). *Idling and minor stoppages* dihitung menggunakan persamaan (7).

$$Idling\ minor\ and\ stoppages = \frac{Non\ productive\ time}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (7)$$

2.2.4 *Reduced speed* adalah kerugian karena mesin tidak dapat berkerja dengan maksimal. (penurunan kecepatan produksi). *Reduced speed* dihitung menggunakan persmaan (8).

$$Reduced\ speed\ losses = \frac{Operation\ time - (ideal\ cycle\ time \times total\ product)}{Loading\ Time} \times 100\% \quad (8)$$

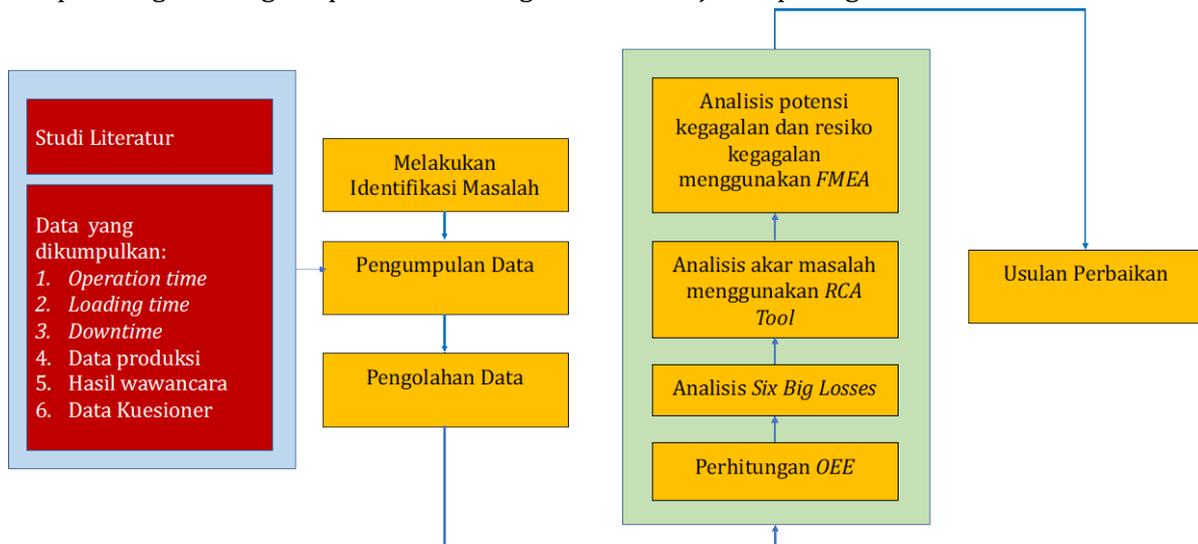
2.2.5 *Defect Losses* adalah kerugian yang disebabkan adanya produk yang cacat atau *rework*. Produk yang cacat akan merugikan material, mengurangi jumlah produksi, biaya tambahan untuk pengerjaan ulang. *Defect Losses* dihitung menggunakan persamaan (9).

$$\begin{aligned} & \text{Process defect losses} \\ & = \frac{\text{ideal cycle time} \times \text{Total Reject}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \end{aligned} \quad (9)$$

2.2.6 *Reduced Yield/scrap* disebabkan adanya material yang tidak terpakai atau sampah bahan baku akibat adanya kegagalan saat awal proses produksi. *Reduced Yield/scrap* dihitung menggunakan persamaan (10).

$$\begin{aligned} & \text{Reduced yield losses} \\ & = \frac{\text{Ideal cycle time} \times \text{Total Yield}}{\text{Loading Time}} \times 100\% \end{aligned} \quad (10)$$

Adapun langkah-langkah penelitian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil pengumpulan data

##### 3.2.1 Data *maintenance* mesin

Berdasarkan hasil pengumpulan data di Bagian Produksi PT.XYZ diperoleh beberapa data pemeliharaan mesin yaitu data *loading time*, *downtime*, *operation time*, *cycle time*, *actual time* dan *setup time*. Data waktu tersebut diukur dalam satuan jam, menit dan detik. Adapun *loading time*, *downtime* dan *operation time* masing-masing injeksi E1, E2, E3 dan E4 selama bulan januari sampai dengan Juni 2022 sebagaimana pada tabel 1.

Tabel 1. Data *loading time*, *downtime* dan *operation time*

Mesin injeksi	E1	E2	E3	E4
<i>Loading Time</i> (Jam)	3186	3810	2978	3379
<i>Downtime</i> (Jam)	118,31	32,7	54,95	157,2
<i>Operation Time</i> (Jam)	3067,7	3777,3	2923,1	3221,8

Sedangkan data *cycle time*, *actual time* dan *setup time* masing-masing mesin injeksi sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Data cycle time, actual time dan setup time

Mesin injeksi	Cycle time (detik)	Actual time (detik)	Setup time (menit)
E1	55,00	58	30
E2	46,00	47	40
E3	60,00	62	60
E4	60,00	64	40

### 3.2.2 Data hasil produksi

Hasil produksi yang berhasil dikumpulkan datanya selama 6 bulan yaitu bulan Januari sampai dengan Juni 2022 pada mesin injeksi mesin E1, E2, E3 dan E4 sebagaimana terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Data hasil produksi mesin injeksi (Januari – Juni 2022)

Mesin injeksi	Jumlah produksi (lusin)	Jumlah produk cacat (lusin)	Yields (lusin)
E1	180122	856	1,1
E2	101441	240	1,5
E3	185215	1183	1,8
E4	20828	353	1,5

### 3.2 Hasil perhitungan OEE

Hasil perhitungan *Availability*, *Performance Rate* dan *Quality Rate* masing-masing ditunjukkan pada tabel 4, tabel 5 dan tabel 6. Adapun hasil perhitungan *OEE* ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 4. Hasil perhitungan availability mesin injeksi E1, E2, E3 dan E4 (Januari -Juni 2022)

Mesin injeksi	Loading time (Jam)	Operation time (Jam)	Availability (%)
E1	3186	3068	96,29
E2	3810	3777	99,14
E3	2978	2923	98,15
E4	3379	3222	95,35

Tabel 5. Hasil perhitungan performance mesin injeksi E1, E2, E3 dan E4 (Januari -Juni 2022)

Mesin injeksi	Jumlah produksi (lusin)	Ideal cycle time (jam)	Operation time (Jam)	Performance (%)
E1	180122	0,0153	3068	89,70
E2	101441	0,0128	3777	34,32
E3	185215	0,0167	2923	105,61
E4	20828	0,0167	3222	10,77

Tabel 6. Hasil perhitungan quality rate mesin injeksi E1, E2, E3 dan E4 (Januari -Juni 2022)

Mesin injeksi	Output amount (lusin)	Defect amount (lusin)	Quality Rate (%)
E1	180122	856	99,53
E2	101441	240	99,76
E3	185215	1183	99,36
E4	20828	353	98,31

Tabel 7. Hasil perhitungan OEE mesin injeksi E1, E2, E3 dan E4 (Januari -Juni 2022)

Mesin injeksi	<i>Availability (A)</i>	<i>Performance (P)</i>	<i>Quality Rate (Q)</i>	OEE
E1	96,29	89,70	99,53	85,96%
E2	99,14	34,32	99,76	33,94%
E3	98,15	105,61	99,36	103,00%
E4	95,35	10,77	98,31	10,10%

Berdasarkan nilai OEE pada tabel 7 diperoleh nilai OEE paling tinggi sampai paling rendah yaitu nilai OEE mesin injeksi E3 103,00%, nilai OEE mesin injeksi E1 85,96%, nilai OEE mesin injeksi E2 33,94% dan nilai OEE mesin injeksi E4 10,10%. Nilai OEE untuk level *word class* adalah 85%, dengan rincian nilai masing-masing variabel terdapat pada tabel 8 [8,9].

Tabel 8. Standar nilai OEE world class

OEE Faktor	Word Class
<i>Availability (A)</i>	90
<i>Performance (P)</i>	95
<i>Quality (Q)</i>	99,9
OEE	85

Hasil perhitungan nilai OEE pada tabel 7 diperoleh nilai OEE paling rendah terdapat pada mesin injeksi E4. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa *six big losses* pada mesin injeksi E4 untuk mengetahui kerugian secara lebih spesifik yang diakibatkan oleh adanya *breakdown* mesin. Selain itu, untuk mengetahui faktor penyebab rendahnya tingkat efektivitas mesin injeksi E4 dan juga prioritas perbaikan, diperlukan analisis akar penyebab masalah menggunakan *Root Cause Analysis Tool* dan FMEA.

### 3.3 Hasil perhitungan *six big losses*

Adapun hasil perhitungan *Six Big Losses* mesin injeksi E4 sebagaimana yang terdapat pada tabel 9.

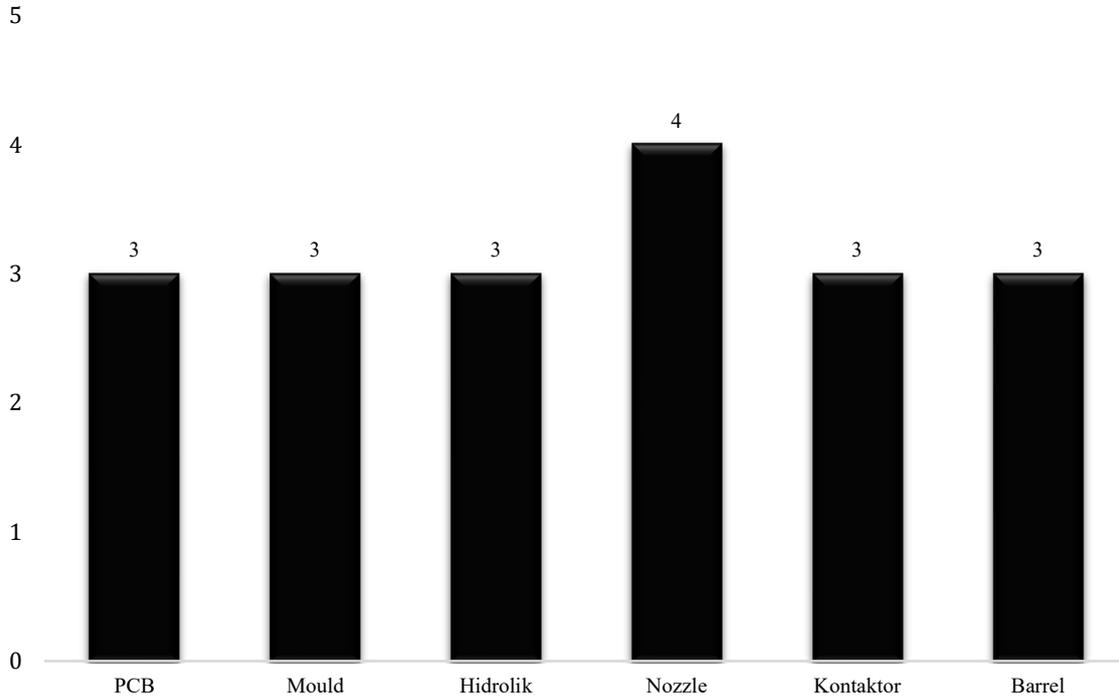
Berdasarkan hasil analisis *six big losses* pada mesin injeksi E4, diperoleh kerugian paling besar terletak pada *reduced speed losses*. Nilai kerugian *speed losses* penurunan kecepatan produksi dari bulan Januari sampai dengan Juni 2022 sebesar 84,22%. Adanya kerugian ini menyebabkan rendahnya nilai *overall effectiveness equipment* pada mesin injeksi E4 yaitu hanya mencapai 10,10%.

Tabel 9. Hasil perhitungan *six big losses* mesin injeksi E4 (Januari -Juni 2022)

Bulan	<i>Equipment failure losses</i>	<i>Setup and adjustment losses</i>	<i>Idling and minor stopages</i>	<i>Reduced speed</i>	<i>Defect losses</i>	<i>Reduced yield</i>
Januari	3,84%	0,19%	0,21%	83,65%	0,22%	0,004%
Februari	2,21%	0,16%	0,16%	86,23%	0,17%	0,004%
Maret	10,32%	0,15%	0,17%	81,71%	0,18%	0,005%
April	4,44%	0,13%	0,17%	84,20%	0,15%	0,005%
Mei	5,07%	0,10%	0,20%	82,91%	0,22%	0,004%
Juni	1,14%	0,13%	0,17%	86,25%	0,19%	0,005%
Rata-rata	4,51%	0,14%	0,18%	84,22%	0,19%	0,004%

### 3.4 Analisis akar masalah menggunakan RCA tool

Hal yang menyebabkan mesin injeksi E4 memiliki tingkat efektivitas yang paling rendah adalah disebabkan adanya beberapa komponen yang mengalami kerusakan. Data kerusakan komponen mesin E4 dari bulan Januari sampai dengan Juni 2022 ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 3. Komponen rusak pada mesin injeksi E4

Berdasarkan data kerusakan komponen mesin injeksi E4 pada gambar 3, Nozzle adalah komponen yang sering mengalami kerusakan dengan jumlah kerusakan sebanyak 4 kali, sedangkan kerusakan komponen yang lain jumlahnya sama yaitu sebanyak 3 kali selama Januari sampai Juni 2022.

Hasil *brainstorming* diperoleh hasil analisis akar masalah menggunakan *root cause analysis tool* sebagaimana ditunjukkan pada tabel 10.

Setelah dilakukan analisis akar masalah menggunakan *Root Cause Analysis* [14], maka tahap berikutnya adalah melakukan analisa potensi kegagalan, dampak kegagalan dan menentukan prioritas perbaikan menggunakan metode FMEA sebagaimana yang terdapat pada tabel 11.

Tabel 10. Hasil analisis akar masalah *reduce speed losses* mesin injeksi E4 menggunakan *RCA tool*.

No	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4
1.	Moulding mengalami kerusakan	PCB rusak	PCB terbakar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Faktor usia pemakaian</li> <li>▪ Kurang pemeliharaan</li> </ul>
2.	Hidrolik macet	Oli mengalami kebocoran	Selang seal rusak	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Selang seal pecah</li> <li>▪ Kurang pemeliharaan</li> </ul>
3.	Barrel mengalami	Ring screw torpedo aus	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Faktor usia pemakaian</li> </ul>	

No	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4
	trouble		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kurang pemeliharaan</li> <li>▪ Torpedo screw sering digunakan untuk menekan material</li> <li>▪ Faktor usia pemakaian</li> </ul>	
4.	Kontaktor mengalami kerusakan	Torpedo screw patah	Temperatur heater barrel sangat panas (temperatur melebihi 300 derajat <i>celcius</i> )	Heater barrel sering digunakan
5.	Nozzle mengalami trouble	Nozzle panas karena sering terkena aliran listrik	Solid state relay mengalami kerusakan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Faktor usia pemakaian</li> <li>▪ Kurang pemeliharaan</li> </ul>

### 3.5 Analisis akar masalah menggunakan *FMEA*

*FMEA* sangat berguna dalam mengidentifikasi bentuk kegagalan yang mungkin terjadi. Selain itu, metode ini berfungsi untuk memastikan pengaruh kegagalan berhubungan dengan setiap bentuk kegagalan [13]. Analisis *FMEA* dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya kegagalan dalam operasional mesin dengan mengetahui potensi-potensi penyebab terjadinya kegagalan. Untuk mengetahui akar masalah penyebab kegagalan, dilakukan melalui proses *brainstorming* dengan beberapa pegawai perusahaan. Pegawai yang menjadi responden terdiri dari seorang Supervisor yang memiliki pengalaman kerja 15 tahun dan seorang Operator yang memiliki pengalaman selama 6 tahun. *Brainstorming* dengan responden tidak hanya menentukan akar penyebab masalah, termasuk juga melakukan penilaian dampak kerusakan (*severity*), frekuensi terjadinya kejadian kerusakan (*occurrence*) dan penilaian tingkat kesulitan mendeteksi terjadinya kerusakan (*detection*).

Nilai *Risk Priority Number* paling tinggi terdapat pada kegagalan *Moulding* yaitu sebesar 308, dengan kategori resiko "medium" [16] dengan kriteria pemeliharaan bersifat Prediktif [17]. Kemudian RPN tertinggi kedua adalah kegagalan *nozzle* yang memiliki nilai RPN sebesar 180 dengan kategori resiko "low to medium" [16], dengan kriteria pemeliharaan bersifat Korektif [17].

Tabel 11. *FMEA* mesin injeksi E4

No	Equipment	Function	Failure Mode	Cause	Effect Of Failure	Action	S	O	D	RPN
1	Mold	Sebagai pembentuk lelehan material menjadi bentuk produk yang diinginkan	mold tidak berfungsi	PCB rusak akibat terbakar	Mengakibatkan cacat pada produk	Mengganti PCB secara berkala untuk menghindari kerusakan PCB secara mendadak yang mengakibatkan moulding tidak bekerja dan	7	8	5,5	308

No	Equipment	Function	Failure Mode	Cause	Effect Of Failure	Action	S	O	D	RP N
						menerapkan Predictive Maintenance untuk mengetahui masa pakai tiap-tiap komponen.				
2	Nozzle	Mengalirkan material kedalam mold	temperature tidak stabil	Solid state relay tidak dapat memutuskan aliran listrik	Mesin mold tidak dapat mengoperasikan material	Mengganti solid state relay yang rusak dan melakukan pengecekan berkala untuk memastikan kondisi komponen tersebut	5	8	4,5	180
3	Barrel	Melakukan proses peleburan material	Pada saat operasional produksi tidak stabil	Ring screw torpedo sudah haus, torpedo screw patah	Tidak dapat mendorong material ke dalam mold	Mengganti torpedo screw, mengganti ring screw dengan diameter 70	7	3	4,5	94,5
4	PCB	Sebagai tempat untuk meletakkan komponen - komponen mesin	Mesin alarm rusak	Inverter rusak, PCB rusak akibat terbakar	Open clamping injection unit tidak bekerja	Membersihkan PCB, service inverter	7	2	5,5	77
5	Hidrolik	Sebagai mesin penggerak untuk menutup cetakan dan menghisap oli dari tangki kedala ruang clam cylinder	terdapat kebocoran oli saat running	Selang seal rusak/ pecah	Menyebabkan oli berceceran di mesin	Memasang selang hydolic ysgng baru 3/4" x 95 cm	7	2	4,5	63
6	Filter	Sebagai penyaring sisa material tidak terpakai	terdapat produk yang cacat	Filter tidak dapat menyaring material	Produk yang dikeluarkan mengalami defect	Mengganti filter baru, melakukan pemeriksaan rutin dan melakukan predictive maintenance untuk menentukan umur pakai komponen	4	2	6	48

No	Equipment	Function	Failure Mode	Cause	Effect Of Failure	Action	S	O	D	RPN
7	Kontaktor	Memutus dan meyambungkan aliran listrik	temperatur heater barrel trip	Heater barrel zone 5 shot, kontakto r rusak	Mesin injeksi tidak beroperasi	Mengganti heater 150 x 75 / 1200 W, mengganti kontakto r coil 220 V	2	2	5	20

*Risk Priority Number* (RPN) dihitung dengan menggunakan rumus [14].

$$RPN = severity \times occurrence \times detection \quad (11)$$

### 3.6 Menentukan prioritas perbaikan

Berdasarkan analisis FMEA maka prioritas perbaikan yang perlu dilakukan untuk meningkatkan efektivitas mesin injeksi E4 dari urutan paling pertama sampai terakhir adalah sebagai berikut:

- Mengganti PCB secara berkala untuk menghindari kerusakan PCB secara mendadak yang mengakibatkan moulding tidak bekerja dan menerapkan Predictive Maintenance untuk mengetahui masa pakai tiap-tiap komponen.
- Mengganti solid state relay yang rusak dan melakukan pengecekan berkala untuk memastikan kondisi komponen tersebut
- Mengganti torpedo screw, mengganti ring screw dengan diameter 70
- Membersihkan PCB, service inverter
- Memasang selang hydolic yang baru 3/4" x 95 cm
- Mengganti filter baru, melakukan pemeriksaan rutin dan melakukan predictive maintenance untuk menentukan umur pakai komponen.
- Mengganti heater 150 x 75 / 1200 W, mengganti kontakto r coil 220 V.

## 4. SIMPULAN

Hasil analisis empat mesin injeksi diperoleh bahwa secara rata-rata tingkat efektifitas mesin masih dibawah standar kelas dunia. Mesin injeksi E4 memiliki tingkat efektivitas paling rendah dibandingkan ketiga mesin lainnya dengan nilai *OEE* sebesar 10,10%. Analisis *Six Big Losses* untuk mesin injeksi E4 menunjukkan bahwa kerugian paling besar terdapat pada *Reduced Speed Losses* dengan nilai kerugian sebesar 84,22%. Adapun akar penyebab masalah rendahnya efektivitas mesin E4 adalah disebabkan adanya beberapa komponen yang mengalami kerusakan. Kerusakan komponen terjadi karena faktor usia pemakaian dan minimnya perawatan mesin. Oleh karena itu, perlu dilakukan prioritas perbaikan untuk meningkatkan kecepatan proses produksi mesin injeksi E4 yaitu dengan melakukan penggantian komponen PCB dan solid state relay secara berkala serta menerapkan *Predictive Maintenance* dan *Corrective Maintenance* untuk meningkatkan kinerja mesin injeksi E4.

## 4. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2022 dengan No. Kontrak 156/E5/PG.02.00.PT/2022 tanggal 10 Mei 2022

## REFERENSI

- [1] Muslim, Erlinda, Fauzia Dianawati, and Irwandi Panggalo. "Pengukuran Dan Analisis Nilai OEE Sebagai Dasar Perbaikan Sistem Manufaktur Pipa Baja." *Proceeding SMART UGM*, 2009.
- [2] Stamatis, Diomidis H. *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. Quality Press, 2003.
- [3] Dewi, Nila Kusuma, and Ahmad Kholid Al Ghofari. "Analisis Tingkat Efektifitas Mesin Menggunakan Metode Grey FMEA Pada Mesin Injection (Studi Kasus: Asia Protendo Graha)". *Diss. Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 2018.
- [4] Sugiyono, "Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D", Bandung: CV. ALVABETA, 2009.
- [5] Wijaya, Hadi. 2010. Mengenal Mesin Injeksi Plastik. Diambil dari <http://injeksiplastik.blogspot.com/2010/02/plastic-injection-molding-machine.html>
- [6] Garza-Reyes, Jose Arturo, et al. "OEE and process capability (PC) measures: A relationship analysis." *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2010.
- [7] Huang, Samuel H., et al. "Manufacturing system modeling for productivity improvement." *Journal of manufacturing systems* 21.4., 2002.
- [8] Nakajima, S. "Introduction To TPM : Total Productive Maintenance", 1ST Edition, *Productivity Inc, Cambridge*, 1988.
- [9] Blanchard, Benjamin S. "An enhanced approach for implementing total productive maintenance in the manufacturing environment." *Journal of quality in Maintenance Engineering*, 1997.
- [10] Zammori, Francesco, Marcello Braglia, and Marco Frosolini. "Stochastic overall equipment effectiveness." *International Journal of Production Research* 49.21 (2011): 6469-6490.
- [11] Dal, Bulent, Phil Tugwell, and Richard Greatbanks. "OEE as a measure of operational improvement—a practical analysis." *International Journal of Operations & Production Management* 20.12 (2000): 1488-1502.
- [12] Nachnul Ansori, A., and M. Imron Mustajib. "Sistem Perawatan Terpadu (Integrated Maintenance System)." *Yogyakarta: Graha Ilmu*, 2013.
- [13] Tannady, Hendy. "Pengendalian kualitas." *Yogyakarta: Graha Ilmu*, 2015.
- [14] Peerally, Mohammad Farhad, et al. "The problem with root cause analysis." *BMJ quality & safety* 26.5., 2017.
- [15] Gaspersz, Vincent. "Pedoman implementasi program six sigma terintegrasi dengan ISO 9001: 2000, MBNQA, dan HACCP." (2002).
- [16] García, Javier Puente, et al. "Artificial Intelligence Tools For Applying Failure Mode And Effects Analysis." *Universidad de Oviedo: Spain*, 2001.
- [17] Puthillath, Beena, and R. Sasikumar. "Selection of maintenance strategy using failure mode effect and criticality analysis." *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* 1.6., 2012