



Raw Mill Machine Effectiveness Measurement through the Total Productive Maintenance (TPM) Implementation

Pengukuran Efektivitas Mesin *Raw Mill* melalui Implementasi *Total Productive Maintenance* (TPM)

Shandy Satria Wangsa Putra¹, Berty Dwi Rahmawati¹

¹ Program Studi Teknik Industri, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, Jl. SWK 104 Condongcatur, Yogyakarta 55283, Indonesia

email : berty.dr@upnyk.ac.id

doi: <https://doi.org/10.31315/opsi.v15i2.7729>

Received: 1st September 2022; Revised: 2nd December 2022; Accepted: 8th December 2022;

Available online: 30th December 2022; Published regularly: December 2022

ABSTRACT

PT X is a cement manufacturer company that experienced a loss of production caused by the high value of downtime. Based on downtime data, the raw mill machine appears to have the most significant value in machine downtime. This study aims to measure the raw mill machine's effectiveness in applying Total Productive Maintenance (TPM). The method used in this research is Overall Equipment Effectiveness (OEE). This method measures engine effectiveness and loss factor analysis using the Six Big Losses method, as well as finding the root cause through a five why and cause and effect diagram to give the most suitable recommendations. The result of this study found that the average OEE value in 2021 was below the international OEE standard of 85%, which is 72% and 67% for Raw Mill Plant 9 and Raw Mill Plant 10, respectively. The low performance of Raw Mill Plant 9 and Raw Mill Plant 10 machines is a consequence of breakdown losses and reduced speed losses that had happened. The root causes were a lack of training for mechanics and no stock control for spare parts. The recommendations are to improve training programs and facilities and create a spare parts inventory management system.

Keywords: Total Productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness, Six Big Losses, Five Whys, Cause, and Effect Diagram

ABSTRAK

PT X merupakan perusahaan manufaktur semen. yang mengalami kerugian produksi akibat tingginya nilai downtime. Berdasarkan data downtime, nilai downtime mesin terbesar terdapat pada mesin Raw Mill, sehingga mesin Raw Mill menjadi objek penelitian. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efektivitas mesin Raw Mill dalam penerapan Total Productive Maintenance (TPM). Metode yang digunakan adalah Overall Equipment Effectiveness (OEE) untuk mengukur efektivitas mesin dan analisis faktor kerugian dengan metode Six Big Losses, serta menemukan akar permasalahan melalui 5 whys dan diagram sebab akibat, sehingga rekomendasi perbaikan dapat disusun. Hasil penelitian menemukan bahwa nilai rata-rata OEE tahun 2021 berada di bawah standar OEE internasional 85%, yaitu sebesar 72% untuk Raw Mill Plant 9 dan 67% untuk Raw Mill Plant 10. Rendahnya kinerja mesin Raw Mill Plant 9 dan Raw Mill Plant 10 disebabkan oleh faktor breakdown loss dan faktor reduced speed loss. Akar penyebab yang ditemukan adalah kurang pelatihan untuk mekanik dan tidak ada kontrol stok untuk suku cadang. Rekomendasi yang diberikan adalah penerapan predictive maintenance, meningkatkan program dan fasilitas pelatihan, serta membuat sistem manajemen inventori suku cadang.

Kata Kunci: Total Productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness, Six Big Losses, 5 Whys, Diagram Sebab Akibat

1. PENDAHULUAN

Salah satu perubahan paling signifikan dalam ekonomi dunia selama dua dekade terakhir adalah pertumbuhan globalisasi pasar dan industri (Wiersema & Bowen, 2008). Perusahaan industri dituntut untuk lebih kompetitif dalam persaingan pasar (Nisak, 2013). Persaingan pasar meningkat seiring dengan pertumbuhan permintaan pasar, termasuk pasar semen di Indonesia (Naufal & Achmadi, 2017). Pertumbuhan konsumsi semen di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dengan target 8-9% pada periode 2015–2025 sesuai dengan *Masterplan* Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI) 2011-2025 (Suwama & Pramudiana, 2013).

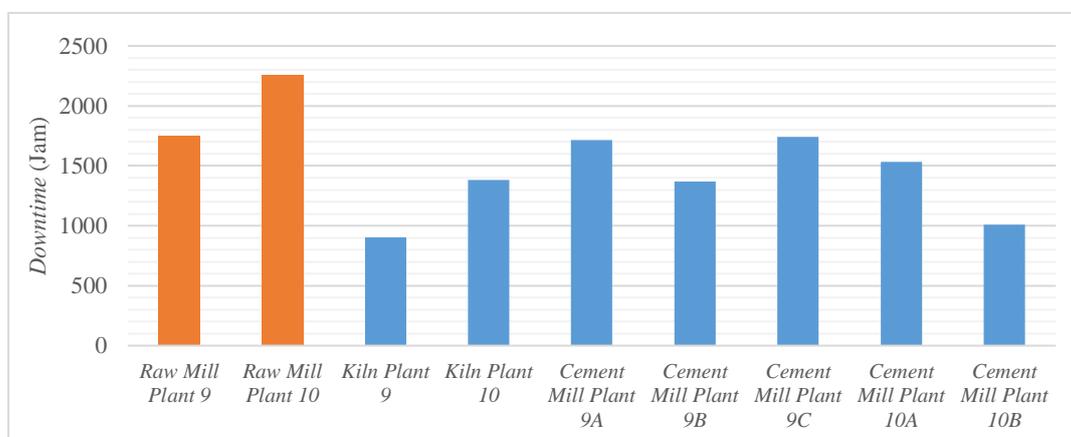
PT X merupakan perusahaan manufaktur semen sebagai salah satu pelaku utama yang menguasai pasar semen di Indonesia (Suarly et al., 2022). Berdasarkan informasi yang didapatkan dari web perusahaan, pasar semen PT X pada tahun 2018 adalah sebesar 26,2%. Nilai tersebut turun pada tahun 2020 menjadi 25,5% dan penyebabnya adalah terjadinya kerugian produksi (*loss production*). Beyene et al. (2018) mengungkapkan bahwa waktu henti (*downtime*) mesin ditemukan sebagai faktor yang memiliki pengaruh paling signifikan terhadap rendahnya produktivitas dan tingginya *loss production*. Di bidang manufaktur, timbulnya *downtime* mesin secara acak berdampak besar pada kinerja produksi (Li et al., 2015). Gambar 1 menunjukkan grafik nilai

downtime untuk setiap mesin produksi di PT X pada tahun 2021.

Grafik pada Gambar 1 menunjukkan bahwa mesin penggilingan bahan baku (*Raw Mill*) merupakan mesin yang memiliki nilai *downtime* tertinggi dibandingkan dengan mesin yang lainnya. Mesin *Raw Mill plant 9* memiliki *downtime* sebesar 1750 jam dan *Raw Mill plant 10* memiliki *downtime* sebesar 2257 jam. Nilai *downtime* mesin yang tinggi akan menurunkan efektivitas mesin, sehingga output produksi mesin berkurang dan dapat menyebabkan tidak terpenuhinya target perusahaan atau permintaan konsumen (Puteri, 2014). Berdasarkan paparan tersebut, dapat diketahui bahwa permasalahan yang terjadi adalah tingginya nilai *downtime* yang menyebabkan penurunan efektivitas mesin yang dapat berdampak pada *loss production*.

Beberapa penelitian mengenai pengukuran efektivitas mesin pada perusahaan dalam negeri sudah pernah dilakukan. Febriyanti & Fatma (2018) pernah melakukan pengukuran efektivitas mesin *blowing* pada pabrik pembuatan botol plastik menggunakan metode FMEA dan *logic tree analysis* untuk mencari akar masalah. Saipudin (2019) melakukan penelitian efektivitas mesin oven menggunakan metode FMEA dan diagram sebab akibat. Kedua metode tersebut membutuhkan *assesment* responden dari tim atau orang-orang dengan berbagai tanggung jawab dan tingkat pengalaman (Ben-Daya et al., 2009).

Beberapa penelitian sebelumnya membuat peneliti tertarik untuk melakukan pengukuran efektivitas mesin *raw mill*. Peneliti



Gambar 1. *Downtime* Mesin Produksi Semen di PT X pada Tahun 2021

menggunakan metode yang berbeda dengan penelitian sebelumnya, yaitu *5 whys* dan diagram sebab akibat untuk mencari akar masalah. Peneliti beranggapan bahwa metode ini lebih mudah digunakan karena tidak melibatkan banyak responden. Dari asumsi tersebut, maka peneliti ingin mengukur efektivitas mesin *raw mill* apakah sudah sesuai dengan standar internasional *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) saat ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengukur tingkat efektivitas mesin melalui perhitungan nilai OEE dengan atribut ketersediaan (*availability*), efisiensi kinerja (*performance efficiency*), dan tingkat kualitas (*rate of quality*), serta perhitungan faktor *losses* untuk mencari faktor *losses* dominan. Metode penelitian yang digunakan adalah analisis TPM dengan *tools OEE* dan Enam Kerugian Besar (*Six Big Losses*) untuk mengukur nilai efektivitas mesinnya, serta *tools 5 whys* dan diagram sebab akibat untuk mencari akar penyebab masalahnya.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa *tools TPM*, yaitu metode OEE untuk mengukur kinerja mesin dan *Six Big Losses* untuk mengukur nilai kerugian. *Tools* lain yang digunakan adalah diagram Pareto, *5 whys*, dan diagram sebab akibat untuk mencari akar masalah. Alur penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian pada penelitian ini adalah mesin *Raw Mill* di *Plant 9* (RM9) dan mesin *Raw Mill* di *Plant 10* (RM10) PT X. Gambar 2 menunjukkan gambar salah satu objek penelitian.



Gambar 2. Mesin *Raw Mill* di PT X

2.2 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data primer melalui wawancara dengan operator dan mekanik yang berisi mengenai faktor penyebab kerusakan mesin. Data lain berupa data sekunder dari perusahaan mengenai data *downtime* mesin, data waktu operasi tersedia, data produksi, dan data produk cacat periode Januari – Desember 2021.

2.3 Pengolahan Data

2.3.1 Overall Equipment Effectiveness

OEE merupakan ukuran performansi peralatan untuk mengevaluasi tingkat efektivitas peralatan berdasarkan pertimbangan ketersediaan waktu, kinerja kecepatan mesin, dan rasio produk noncacat dari peralatan. *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) menetapkan standar untuk OEE, yaitu sebesar 85% yang dianggap sebagai tolak ukur standar kelas dunia (Ben-Daya, et al., 2009). Rumus OEE adalah

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

Berdasarkan rumus (1), terdapat tiga elemen OEE, yaitu sebagai berikut:

- Ketersediaan (*availability*) merupakan rasio waktu operasi mesin (*operating time*) terhadap waktu operasi mesin tersedia (*loading time*) yang sudah direncanakan. Rumus perhitungan rasio *availability*, yaitu:

$$Availability\ (\%) = \frac{operating\ time}{loading\ time} \times 100\% \quad (2)$$

- Efisiensi kinerja (*performance efficiency*) merupakan perbandingan waktu proses ideal yang didapatkan dari hasil kali antara jumlah produk yang diproses (*processed amount*) dengan waktu siklus ideal (*ideal cycle time*) dengan *operating time*. Rumus *performance efficiency*, yaitu:

$$Performance\ efficiency\ (\%) = \frac{processed\ amount \times ideal\ cycle\ time}{operating\ time} \times 100\% \quad (3)$$

- Tingkat kualitas (*Rate of quality*) merupakan rasio jumlah produk noncacat yang didapat dari selisih antara *processed amount* dan jumlah produk cacat (*defect amount*) dengan *processed amount*. Rumus *rate of quality*, yaitu:

$$Rate\ of\ quality\ (\%) = \frac{processed\ amount - defect\ amount}{processed\ amount} \times 100\% \quad (4)$$



2.3.2 Six Big Losses

Beberapa kerugian dalam perusahaan terkait dengan peralatan yang biasa disebut dengan *Six Big Losses*. Menurut Prabowo et al (2015), *six big losses* digolongkan menjadi enam macam, yaitu sebagai berikut:

- 1) Kerugian kerusakan atau *breakdown loss* (BL), yaitu kerusakan mesin yang menyebabkan mesin berhenti beroperasi. Tingkat *breakdown loss* diukur dari rasio lama waktu kerusakan mesin (*breakdown time*) dengan *loading time*. Rumus BL, yaitu:

$$BL = \frac{\text{Breakdown time}}{\text{loading time}} \times 100\% \quad (5)$$

- 2) Kerugian persiapan dan penyesuaian atau *set up and adjustment loss* (SAL), yaitu kerugian yang disebabkan karena kegiatan persiapan dan penyesuaian konfigurasi mesin. Tingkat *set up and adjustment loss* diukur dari rasio lama waktu persiapan dan penyesuaian konfigurasi mesin (*set up and adjustment time*) dengan *loading time*. Rumus SAL yaitu:

$$SAL = \frac{\text{set up \& adjusment time}}{\text{loading time}} \times 100\% \quad (6)$$

- 3) Kerugian menganggur dan berhenti sementara atau *idling and minor stoppage loss* (IMSL), yaitu kerugian yang disebabkan oleh mesin yang berhenti sejenak, kemacetan mesin, *idle time* mesin. Tingkat *idling and minor stoppage loss* diukur dari rasio waktu nonproduktif (*nonproductive time*) dengan *loading time*. Rumus IMSL, yaitu:

$$IMSL = \frac{\text{non productive time}}{\text{loading time}} \times 100\% \quad (7)$$

- 4) Kerugian penurunan kecepatan atau *reduced speed loss* (RSL) adalah kerugian yang diakibatkan oleh kecepatan aktual proses lebih rendah daripada kecepatan optimal/ kecepatan desain mesin yang menyebabkan proses produksi tidak berjalan optimal. Tingkat *reduced speed losses* diukur dari hasil kali dari selisih antara waktu siklus aktual (*actual cycle time*) dan *ideal cycle time* dengan *processed amount* kemudian dirasioikan dengan *loading time*. Rumus RSL, yaitu:

$$RSL = \frac{(\text{actual cycle time} - \text{ideal cycle time})}{\text{loading time}} \times \text{processed amount} \times 100\% \quad (8)$$

- 5) Kerugian cacat atau *defect loss* (DL) adalah kerugian yang disebabkan oleh adanya produk yang cacat. Tingkat *defect loss* diukur dari hasil kali *defect amount* dengan *ideal cycle time* kemudian dirasioikan dengan *loading time*. Rumus DL, yaitu:

$$DL = \frac{\text{defect amount} \times \text{ideal cycle time}}{\text{loading time}} \times 100\% \quad (9)$$

- 6) Kerugian penurunan hasil atau *reduced yield loss* (RYL) adalah kerugian waktu dan material yang timbul selama proses produksi. Tingkat *reduced yield loss* diukur dari hasil kali penurunan hasil (*reduced yield*) dengan *ideal cycle time* kemudian dirasioikan dengan *loading time*. Rumus RYL, yaitu:

$$RYL = \frac{\text{reduced yield} \times \text{ideal cycle time}}{\text{loading time}} \times 100\% \quad (10)$$

2.3.3 Diagram Pareto

Menurut Ariani (2020), diagram Pareto merupakan diagram batang dan garis yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri ke kanan menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah dan dapat mengidentifikasi masalah yang paling penting dan memberikan petunjuk dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk menyelesaikan masalah. Menurut Ben-Daya et al. (2009), implementasi diagram Pareto dalam TPM menggunakan ambang prinsip Pareto atau yang dikenal dengan aturan 80/20 yang menggambarkan bahwa 80% masalah berasal dari 20% penyebabnya. Apabila ambang tersebut tidak cukup, Ben-Daya merekomendasikan untuk memilih dua *losses* terbesar.

2.3.4 5 whys

Menurut Harrington & Voehl (2016), 5 *Whys* adalah metode untuk mengidentifikasi penyebab yang mendasari suatu masalah. Praktiknya dengan menanyakan sebanyak lima kali atau lebih penyebab suatu kegagalan hingga menemukan penyebab sebenarnya suatu masalah.

2.3.5 Diagram sebab akibat

Diagram sebab akibat merupakan diagram garis dan simbol yang menunjukkan hubungan antara akibat dengan penyebab dari suatu masalah (Ariani, 2020). Diagram tersebut diaplikasikan untuk mengetahui akibat dari suatu masalah, sehingga dapat diambil tindakan perbaikan.

2.4 Analisis Hasil

Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan nilai OEE dengan standar OEE kelas dunia dan menganalisis hasil *six big losses* untuk mencari penyebab kerugian paling dominan menggunakan diagram Pareto. Analisis akar permasalahan dilakukan menggunakan 5 *whys* dan diagram sebab akibat.

2.5 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan analisis hasil yang telah dilakukan dan disusun rekomendasi perbaikan yang relevan, serta saran-saran yang berkaitan dengan penelitian berikutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini tersaji pada Tabel 1. Data tersebut merupakan data *downtime*, data waktu operasi tersedia, data produksi, dan data produk cacat pada mesin RM9 dan RM10. Data tersebut kemudian diolah menggunakan metode OEE untuk mengukur performansi efektivitas mesin. Ambang yang digunakan dalam OEE adalah standar internasional yang ditetapkan oleh JIPM. OEE memiliki standar *availability* 90%, *performance efficiency* 95%, dan *rate of quality product* 99%. Secara keseluruhan, Nilai OEE sebesar 85% dianggap sebagai tolak ukur standar kelas dunia (Ben-Daya, et al., 2009). Hasil perhitungan nilai OEE ditunjukkan pada Gambar 3 untuk perhitungan nilai OEE mesin *Raw Mill Plant* 9

dan Gambar 4 untuk perhitungan nilai OEE mesin *Raw Mill Plant* 10.

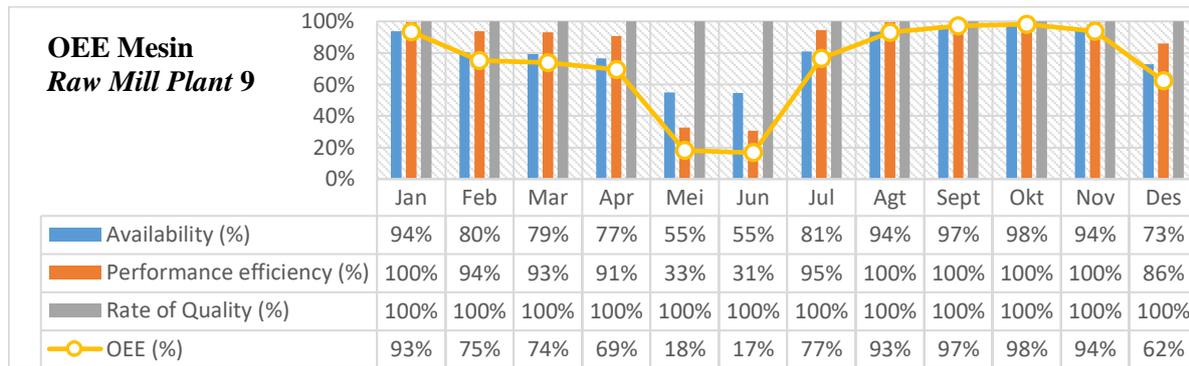
Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan nilai *availability*, *performance efficiency*, dan *rate of quality* dari mesin RM9 dan RM10. Berdasarkan ketiga nilai tersebut, dihitung nilai OEE setiap periodenya. Grafik tersebut menunjukkan bahwa masih banyak nilai OEE yang dibawah 85% atau tidak memenuhi standar kelas dunia. Nilai OEE terendah pada RM9 adalah 17% pada bulan Juni dan nilai terendah untuk RM10 adalah 31% pada periode Desember. Penyebab rendahnya nilai OEE pada kedua periode tersebut adalah rendahnya nilai *performance efficiency* mesin. Nilai *performance efficiency* yang rendah disebabkan oleh menurunnya kecepatan mesin, sehingga output produksi aktual tidak sesuai dengan kondisi idealnya.

Dari perspektif lain, nilai rata-rata OEE mesin RM9 dan mesin RM10 masing-masing adalah 72% dan 67%. Rata-rata penyebabnya adalah rendahnya nilai *availability*. Nilai *availability* yang rendah disebabkan oleh *downtime* yang berasal dari kerusakan mesin (*breakdown*) dan mati mesin yang berturut-turut (*consecutive shutdown*), sehingga mesin perlu diperbaiki untuk memulai proses produksi kembali.

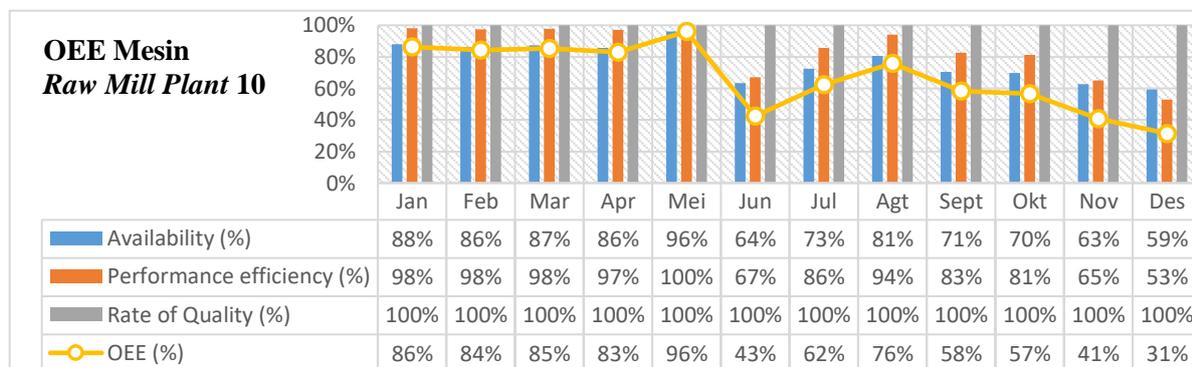
Atas dasar adanya nilai OEE dibawah standar kelas dunia, sehingga diperlukan pengolahan *six big losses* untuk mengetahui penyebab kinerja mesin tidak memenuhi standar. Hasil pengolahan *six big losses* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Data *downtime* mesin, data waktu operasi tersedia, data produksi, dan data produk cacat tahun 2021

Periode		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
<i>Planned downtime</i> (jam)	RM9	41,6	0	20,5	29,6	17,6	357,8	62,6	21,6	70,8	130,1	47,7	0
	RM10	484,8	24,1	0	57,2	33,6	224,0	28,7	0	17,5	0	0	0
<i>Breakdown time</i> (jam)	RM9	29,2	100,4	105,0	117,0	229,9	74,1	84,9	32,8	0	7	25,4	144,3
	RM10	8,9	70	73,6	70,9	19,5	104,2	143,5	104,6	156,8	179,8	204,1	224,5
<i>Setup and adjustment time</i> (jam)	RM9	2,5	4,5	0,4	0	0	3,3	3,3	0	12,3	0	3,5	0
	RM10	2,1	2	0	0,6	1,1	15,6	0	2,2	0,8	1,4	1	0
<i>Unplanned downtime</i> (jam)	RM9	31,7	104,9	105,4	117,0	229,9	77,4	88,2	32,8	12,3	7,0	28,9	144,3
	RM10	11,0	72,1	73,6	71,5	20,6	119,7	143,5	106,8	157,7	181,2	205,1	224,5
<i>Loading time</i> (jam)	RM9	510,5	528	507,5	498,4	510,4	170,2	465,4	506,4	457,2	397,9	480,3	528
	RM10	91,2	527,9	576	494,8	542,4	328,1	523,3	552	534,6	600	552	552
<i>Operating time</i> (jam)	RM9	478,8	423,1	402,1	381,5	280,5	92,9	377,2	473,6	444,9	390,9	451,4	383,7
	RM10	80,3	455,8	502,4	423,3	521,8	208,3	379,8	445,2	376,9	418,9	346,9	327,5
<i>Processed amount</i> (ton)	RM9	188141	155421	155061	158289	93490	56420	157973	157939	142658	139054	151944	129003
	RM10	34877	222401	214100	178570	212237	85981	189423	197577	177744	176210	144266	156089
<i>Defect amount</i> (ton)	RM9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	RM10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Gambar 3. Perbandingan performansi mesin Raw Mill Plant 9



Gambar 4. Perbandingan performansi mesin Raw Mill Plant 10

Tabel 2. Rekapitulasi nilai Six Big Losses

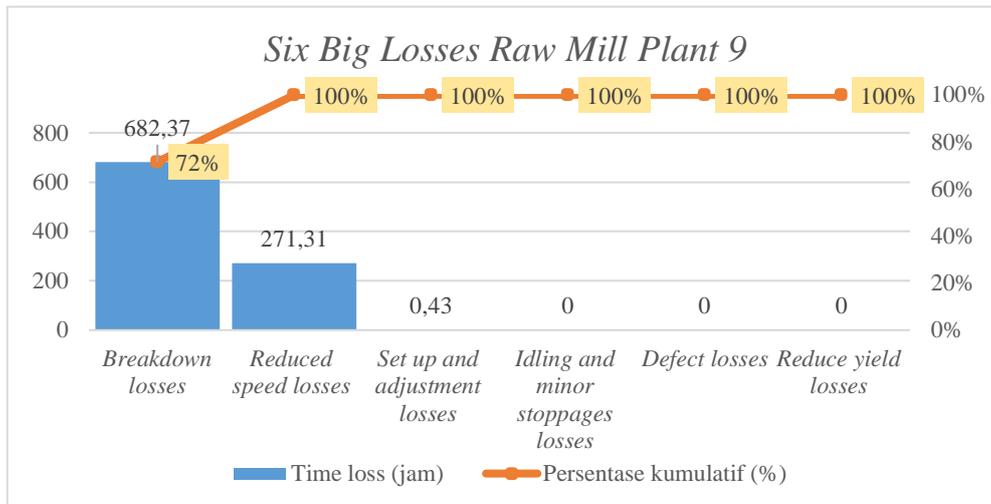
Periode		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt	Nov	Des
Breakdown loss (%)	RM9	5,72	19,01	20,69	23,46	45,05	43,50	18,25	6,48	0,00	1,76	5,28	27,33
	RM10	9,75	13,26	12,77	14,33	3,60	31,75	27,42	18,94	29,34	29,96	36,98	40,66
Reduced speed loss (%)	RM9	0,41	4,92	5,44	7,19	36,93	37,86	4,43	0,45	0,07	0,03	0,38	10,28
	RM10	1,64	2,16	1,87	2,44	0,15	20,97	10,35	4,64	12,34	13,06	21,98	27,87
Setup and adjustment loss (%)	RM9	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00
	RM10	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Idle and minor stoppage loss (%)	RM9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	RM10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Defect loss (%)	RM9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	RM10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Reduced yield loss (%)	RM9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	RM10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Berdasarkan Tabel 2, nilai AQ *breakdown loss* terbesar terjadi pada periode Mei untuk RM9 sebesar 45,05% dan Desember untuk RM10 sebesar 40,66%. Nilai tersebut disebabkan oleh tingginya *downtime* karena *breakdown maintenance* yang membuat mesin berhenti beroperasi, sehingga dapat mengakibatkan *loss production*.

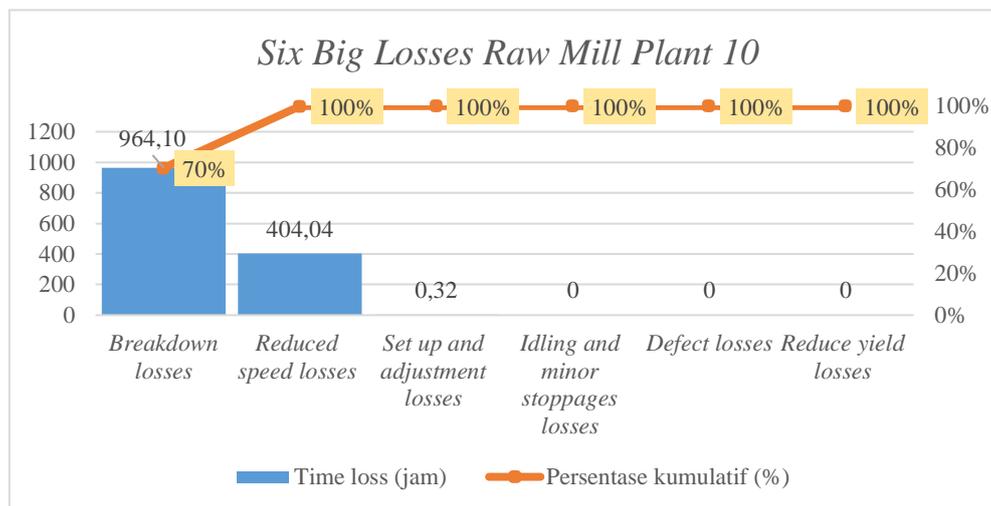
Nilai *reduced speed loss* tertinggi untuk RM9, yaitu sebesar 37,86% pada periode Juni dan nilai tertinggi untuk RM10 sebesar 27,87% pada periode Desember. Hasil tersebut dipengaruhi oleh ketidaksesuaian waktu siklus

aktual dengan waktu siklus ideal yang penyebabnya adalah banyak komponen mesin yang mengalami aus karena sudah memasuki akhir periode dari operasi mesin menjelang *overhaul* tahunan, sehingga terjadi perlambatan kecepatan putar mesin dan menurunkan output produksi yang lebih signifikan dibandingkan dengan periode lainnya.

Nilai *set up and adjustment loss* baik untuk RM9 maupun RM10 cenderung mendekati nol dan relatif bisa diabaikan. Hal ini dikarenakan manufaktur semen berorientasi pada sistem produksi *flow shop* dan variasi produk pada



Gambar 5. Diagram pareto *six big losses Raw Mill Plant 9*



Gambar 6. Diagram Pareto *six big losses Raw Mill Plant 10*

mesin *Raw Mill* hanya satu jenis, yaitu tepung baku, sehingga membuat mesin beroperasi terus-menerus dan sangat jarang berhenti untuk melakukan *set up*. Alasan yang sama dengan nilai *idle and minor stoppage loss* yang bernilai nol karena mesin beroperasi terus-menerus.

Kedua mesin *raw mill* memiliki nilai *defect loss* sebesar nol. Hal tersebut terjadi karena perusahaan telah mencapai salah satu dari tiga tujuan utama TPM, yaitu *zero defect* (Vardhan et al., 2015). *Zero defect* memungkinkan untuk dicapai dengan tidak membiarkan produk di luar spesifikasi standar mencapai langkah selanjutnya dalam proses produksi (Lindström et al., 2020). Begitu juga dengan nilai *reduced yield loss* sebesar nol karena tidak ada *yield*.

Persentase *six big losses* dikalikan dengan *operating time* kemudian ditotalkan untuk menghitung waktu yang hilang (*time loss*) dari setiap kerugian (*losses*) sebagai acuan dalam pembuatan diagram Pareto. Hasil perhitungan *time loss* berdasarkan *six big losses* ditunjukkan pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan nilai *time loss* yang disebabkan oleh *breakdown loss* sebesar 682 jam pada RM9 dan 964 jam pada RM10. Nilai tersebut menempati 70 – 72% dari keseluruhan *downtime* yang ada dan menjadi nilai terbesar.

Diagram Pareto *six big losses* mesin *Raw Mill Plant 9* dan mesin *Raw Mill Plant 10* tersaji pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Tabel 3. Rekapitulasi persentase dan *time loss*

<i>Losses</i>		<i>Time loss</i> (jam)	Persentase (%)	Kumulatif (%)
BL	RM9	682,4	72%	72%
	RM10	964,1	70%	70%
RSL	RM9	271,3	28%	100%
	RM10	404,0	30%	100%
SAL	RM9	0,4	0,05%	100%
	RM10	0,3	0,02%	100%
IMSL	RM9	0	0%	100%
	RM10	0	0%	100%
DL	RM9	0	0%	100%
	RM10	0	0%	100%
RYL	RM9	0	0%	100%
	RM10	0	0%	100%

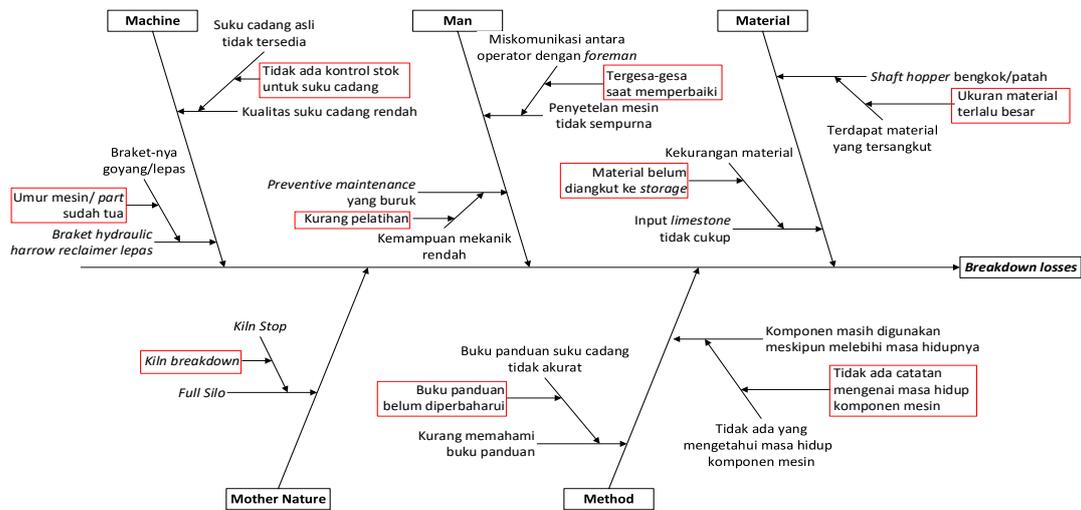
Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6, urutan *losses* yang menyebabkan efektivitas mesin *raw mill* tidak memenuhi standar internasional dari terbesar ke terkecil baik mesin

RM9 maupun RM10 terdapat pada *breakdown loss*, *reduced speed loss*, kemudian *set up and adjustment loss*. Dengan demikian, faktor dominan yang dipilih dari 2 *losses* terbesar adalah *breakdown loss* dan *reduced speed loss*. Oleh karena itu, kedua *losses* tersebut perlu diteliti lebih lanjut mengenai akar penyebab masalahnya dan dijadikan fokus dalam menyusun rekomendasi untuk meningkatkan efektivitas mesin *raw mill*. *Losses* lainnya yang menyebabkan efektivitas mesin menurun adalah *set up and adjustment loss* sebesar 0,05% dan 0,02% yang relatif kecil dan dapat diabaikan.

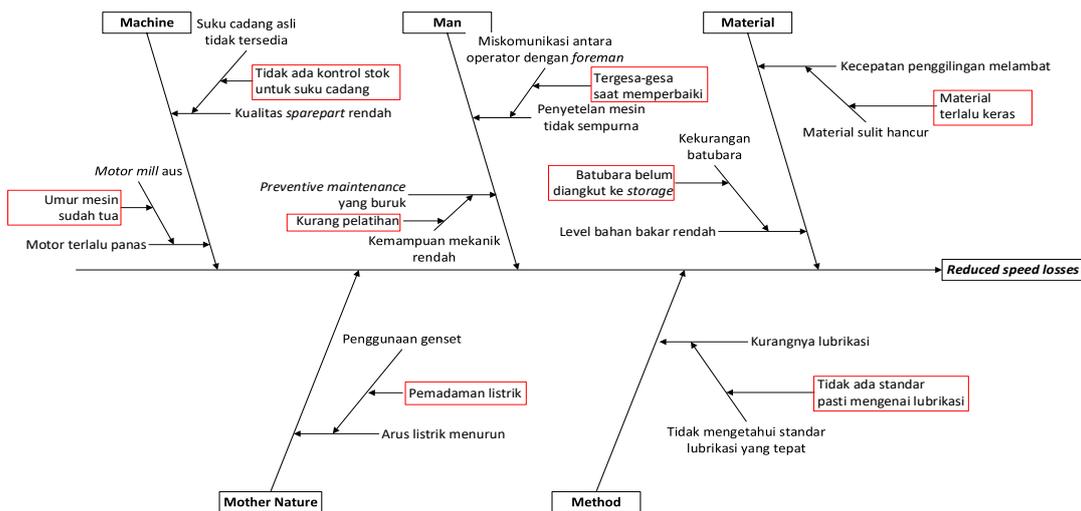
Faktor *losses* dominan digunakan untuk mencari akar permasalahan menggunakan analisis 5 *whys*. Tabel 4 menunjukkan proses

Tabel 4. Analisis 5 *whys* faktor *losses* dominan

<i>Losses</i>	<i>Why 1</i>	<i>Why 2</i>	<i>Why 3</i>	<i>Why 4</i>	<i>Why 5</i>
<i>Breakdown losses</i>	Sering berganti suku cadang	Suku cadang mudah aus/rusak	Kualitas suku cadang rendah	Suku cadang asli tidak tersedia	Tidak ada kontrol stok untuk suku cadang
	Braket <i>hydraulic harrow reclamer</i> lepas	Braketnya goyang/lepas	Umur mesin/part sudah tua		
	<i>Raw Mill fan high vibration</i>	Penyetelan mesin tidak sempurna	Miskomunikasi antara operator dengan <i>foreman</i>	Tergesa-gesa dalam melakukan penyetelan	
	Rantai <i>belt conveyor</i> sering putus	<i>Belt joint</i> -nya lepas	<i>Preventive maintenance</i> yang buruk	Kemampuan mekanik rendah	Kurang pelatihan
	<i>Hopper</i> macet	<i>Shaft hopper</i> bengkok/patah	Terdapat material yang tersangkut	Ukuran material terlalu besar	
	Waiting karena material belum memenuhi standar	Kadar CaO masih rendah	Input <i>limestone</i> tidak cukup	Kekurangan material	Material belum diangkut ke <i>storage</i>
	<i>drive chain apron feeder</i> putus	Komponen mesin masih digunakan meskipun melebihi masa hidupnya	Tidak ada yang mengetahui masa hidup komponen mesin	Tidak ada catatan mengenai masa hidup komponen mesin	
	Suku cadang salah pasang	Kurang memahami buku panduan	Buku panduan suku cadang tidak akurat	Buku panduan belum diperbaharui	
<i>Full Silo</i>	<i>Kiln stop</i>	<i>Kiln breakdown</i>			
<i>Reduced speed losses</i>	<i>Motor mill</i> melambat	Suku cadang mudah aus	Kualitas suku cadang rendah	Suku cadang asli tidak tersedia	Tidak ada kontrol stok untuk suku cadang
	Kecepatan penggilingan berkurang	Motor terlalu panas	<i>Motor mill</i> aus	Umur mesin sudah tua	
	<i>Raw Mill fan high vibration</i>	Penyetelan mesin tidak sempurna	Miskomunikasi antara operator dengan <i>foreman</i>	Tergesa-gesa dalam melakukan penyetelan	
	Rantai <i>belt conveyor</i> kendor	<i>Belt joint</i> -nya goyang	<i>Preventive maintenance</i> yang buruk	Kemampuan mekanik rendah	Kurang pelatihan
	<i>Cycle time</i> meningkat	Kecepatan penggilingan melambat	Material sulit hancur	Material terlalu keras	
	Kinerja mesin menurun	Kurangnya energi panas	Level bahan bakar rendah	Kekurangan batubara	Batubara belum diangkut ke <i>storage</i>
	Mesin aus	Kurangnya lubrikasi	Tidak mengetahui standar lubrikasi yang tepat	Tidak ada standar pasti mengenai lubrikasi	
Arus listrik menurun	Penggunaan genset	Pemadaman listrik			



Gambar 7. Diagram sebab akibat *breakdown loss*



Gambar 8. Diagram sebab akibat *reduced speed loss*

penelitian akar permasalahan yang paling mendasar dari dua faktor *losses* dominan.

Berdasarkan Tabel 4, permasalahan kerusakan yang sering terjadi adalah kerusakan pada *belt conveyor* dan *reclaimer*. Jenis kerusakannya, seperti rantai sabuk (*belt chain*) mengalami kendur atau putus dan pada *reclaimer* mengalami permasalahan rantai penggerak (*drive chain*) yang putus. Kerusakan tersebut dapat menyebabkan terhentinya aliran material yang akan diangkat dari tumpukan (*pile*) ke mesin untuk diproses. Masalah lainnya adalah kesalahan teknisi dalam melakukan bongkar pasang saat proses pemeliharaan yang membuat waktu pemeliharaan lebih lama.

Pemadaman listrik juga menjadi masalah karena harus berganti menjadi *generator set* dan arus listrik yang dihasilkan tidak sebesar sebelumnya, sehingga membuat mesin lebih lambat dan produktivitasnya menurun. Akar permasalahan selengkapnyadirangkum dalam diagram sebab akibat yang digolongkan berdasarkan 5M (*Man, Machine, Material, Method, dan Mother Nature*) pada Gambar 7 dan Gambar 8. Diagram tersebut didasarkan pada hasil studi wawancara tidak terstruktur dan sesi curah pendapat (*brainstorming*) antara penulis dengan operator dan mekanik PT X. Hasilnya adalah akar permasalahan yang mendasari penurunan efektivitas mesin berasal dari mesin



(*Machine*), manusianya (*Man*) dan metodenya (*Method*) karena ketiga faktor tersebut yang paling berpengaruh menyebabkan *downtime*. Sebagai contoh, akar permasalahan tidak adanya kontrol stok untuk suku cadang jika ditelusuri lebih lanjut, maka akan ditemukan bahwa hal tersebut disebabkan karena tidak adanya metode dan personel yang membuat sistem manajemen persediaan suku cadang.

Tabel 5. Rekomendasi peningkatan efektivitas mesin

Akar penyebab masalah	Rekomendasi
Kurang pelatihan untuk mekanik	Melakukan lebih banyak investasi untuk pengadaan program pelatihan mekanik yang lebih baik dan peningkatan fasilitas pelatihan
Mesin sudah tua	Penggantian suku cadang yang sudah tua
Tidak adanya kontrol stok untuk suku cadang asli	Membuat sistem perencanaan untuk persediaan suku cadang mesin
Buku panduan belum diperbaharui	Memperbaharui setiap buku panduan menjadi lebih detail dan mudah dipahami secara rutin
Tidak ada catatan mengenai masa hidup komponen mesin	Membuat catatan mengenai masa hidup komponen mesin sebagai referensi untuk antisipasi kerusakan komponen
<i>Kiln breakdown</i>	Menerapkan sistem <i>predictive maintenance</i>
Tidak ada standar mengenai lubrikasi	Membuat standar dan penjadwalan lubrikasi
Pemadaman listrik	Mencari sumber energi baru yang dapat menggantikan listrik tanpa mengurangi efektivitasnya

Tabel 5 menunjukkan rekomendasi peningkatan efektivitas mesin berdasarkan akar masalah yang sudah dirumuskan. Penulis cenderung berfokus pada peningkatan berdasarkan mesin, metode, dan kualitas manusianya karena mudah diimplementasikan. Penulis memprioritaskan rekomendasi untuk pembuatan sistem manajemen persediaan suku cadang karena suku cadang dirancang untuk penggunaan spesifik, konsumsinya sangat acak, dan *replenishment lead time*-nya bervariasi atau bahkan tidak diketahui. Tujuan stok suku cadang ini adalah untuk melindungi ketersediaan waktu operasi mesin dari lamanya waktu *downtime* dari kerusakan mesin yang datangnya secara acak, sehingga setiap kali terjadi kerusakan mesin, suku cadang berkualitas akan selalu tersedia.

Rekomendasi lain yang juga penting adalah meningkatkan kualitas SDM melalui peningkatan program dan fasilitas pelatihan. Tujuannya adalah untuk mengurangi tingkat kesalahan manusia (*human error*) yang menyebabkan *downtime* mesin. Selain itu, salah satu pilar TPM, yaitu *autonomous maintenance* menuntut operator untuk dapat melakukan pembersihan, pengecekan, penyetelan, dan perbaikan ringan pada mesin secara mandiri.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data disimpulkan bahwa selama periode Januari – Desember 2021, nilai *Overall Effectiveness Equipment* rata-rata untuk mesin *Raw Mill Plant 9* dan *Raw Mill Plant 10* di PT X masing-masing adalah 72% dan 67%. Kedua nilai tersebut berada tidak memenuhi standar OEE internasional, yaitu 85%. Faktor *six big losses* yang memengaruhi nilai OEE baik pada mesin *Raw Mill Plant 9*, maupun *Raw Mill Plant 10* adalah *breakdown loss*, *reduced speed loss*, dan *setup and adjustment loss*. Dua *losses* dominan berdasarkan diagram Pareto adalah *breakdown loss* dan *reduced speed loss*. Berdasarkan faktor *losses* dominan, akar penyebab efektivitas mesin tidak memenuhi standar adalah kurang pelatihan, dan tidak adanya kontrol stok untuk suku cadang asli. Rekomendasi yang diberikan untuk meningkatkan efektivitas mesin, yaitu membuat sistem manajemen persediaan suku cadang dan meningkatkan investasi untuk program dan fasilitas pelatihan yang menunjang implementasi TPM tingkat lanjut. Penulis memberikan saran kepada perusahaan untuk mengimplementasikan rekomendasi yang diberikan dan saran penelitian selanjutnya dapat berupa pengukuran efektivitas setelah perbaikan dan dibandingkan hasilnya. Selain itu, *benchmarking* serupa dapat dilakukan dengan objek dan metode penelitian yang berbeda, serta meneliti faktor lain penyebab *downtime* selain dari *six big losses*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani, D. W. (2020). *Manajemen Kualitas* (2nd ed.). Tangerang: Universitas Terbuka.
- Ben-Daya, M., et al. (2009). *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Cham: Springer.



- Beyene, T. D., Gebeyehu, S. G., & Mengistu, A. T. (2018). Application of Failure Mode Effect Analysis (FMEA) to Reduce Downtime in a Textile Share Company. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 8(1), 40–46. <https://doi.org/10.32738/jepm.201801.0005>.
- Febriyanti, D., & Fatma, E. (2018). Analisis Efektivitas Mesin Produksi Menggunakan Pendekatan Failure and Mode Effect Analysis dan Logic Tree Analysis. *Jiems (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, 11(1), 39–47. <https://doi.org/10.30813/jiems.v11i1.101>.
- Harrington, H. J., & Voehl, F. (2016). *The Innovation Tools Handbook*. CRC Press. <https://doi.org/10.1002/9781118823194.ch10>.
- Li, Y., Chang, Q., Xiao, G., & Arinez, J. (2015). Data-Driven Analysis of Downtime Impacts in Parallel Production Systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 12(4), 1541–1547. <https://doi.org/10.1109/TASE.2015.2443111>.
- Lindström, J., Kyösti, P., Birk, W., & Lejon, E. (2020). An Initial Model for Zero Defect Manufacturing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(13), 1–16. <https://doi.org/10.3390/app10134570>.
- Naufal, A. F., & Achmadi, F. (2017). Pasar Industri Semen di Jawa Timur (Studi Kasus Perusahaan “ A”). *Jurnal Bisma*, 11(2), 124–138.
- Nisak, Z. (2013). Analisis SWOT untuk Menentukan Strategi Kompetitif. *Jurnal Ekbis*, 9(2), 468–476.
- Prabowo, H. A., Farida, & Rahmawan, D. I. (2015). Improve the Work Effectiveness with Overall Equipment Effectiveness (OEE) as the Basis for Optimizing Production. *Jurnal Penelitian Dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, IX(3), 286–299.
- Puteri, R. A. M. (2014). Analisis Pengaruh Nilai Availability dan Waktu Downtime terhadap Produktivitas Mesin pada Automatic Ampoule Filling Dan Sealing Machine Di PT Indofarma Tbk. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2014, November*, 1–4.
- Saipudin, S. (2019). *Analisis Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) Untuk Peningkatan Nilai Efektivitas Mesin Oven Line 7 Pada PT . UPA*. Skripsi. Jakarta: Universitas Mercu Buana <http://mercubuana.ac.id>.
- Suarly, I., Purba, J. T., Pramono, R., & Ugut, G. S. (2022). Strategi Menghadapi Badai Krisis Industri Semen di Indonesia Studi Kasus: SMGR dan INTP. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(3), 3309–3323.
- Suwarma, R. R., & Pramudiana, Y. (2013). Pemetaan Struktur, Perilaku, dan Kinerja Pada Industri Semen Indonesia. *Jurnal Manajemen Indonesia*, 12(4), 249–264.
- Vardhan, S., Gupta, P., & Gangwar, V. (2015). The impact of Quality Maintenance Pillar of TPM on Manufacturing Performance. *IEOM 2015 - 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Proceeding*. <https://doi.org/10.1109/IEOM.2015.7093741>.
- Wiersema, M. F., & Bowen, H. P. (2008). Corporate Diversification: The Impact of Foreign Competition, Industry Globalization, and Product Diversification. *Strategic Management Journal*, 29(2), 115–132. <https://doi.org/10.1002/smj.653>.