



P-ISSN : 2622-1276
E-ISSN: 2622-1284

The 6th Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH)

Website Ciastech 2023 : <https://ciastech.net>

Open Confrence Systems : <https://ocs.ciastech.net>

Proceeding homepage : <https://publishing-widyagama.ac.id/ejournal-v2/index.php/ciastech/issue/view/236>

EFEKTIVITAS PERALATAN DAN *TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE* (TPM): *REVIEW*

Angelia Kusuma Wardhani^{1*)}, Oyong Novareza²⁾, Purnami³⁾

¹⁾ Program Studi S2 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

²⁾ Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

²⁾ Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

INFORMASI ARTIKEL

Data Artikel :

Naskah masuk, 6 November 2023

Direvisi, 7 November 2023

Diterima, 12 Desember 2023

Email Korespondensi :

angeliakw@gmail.com

ABSTRAK

Di dunia modern, produktivitas dan efisiensi sangat diperhatikan. Beberapa sektor di dunia manufaktur mulai melakukan transformasi bisnis, terutama yang mengarah ke industri 4.0. Untuk menjaga efisiensi maka perlu dilakukan perawatan terhadap mesin. *Total Productive Maintenance* adalah suatu sistem yang didasarkan pada konsep pemeliharaan atau pencegahan. TPM dirancang untuk mencegah kerugian akibat penghentian pekerjaan karena kegagalan dan penyesuaian, kerugian kecepatan karena penghentian kecil dan pengurangan kecepatan, dan kerugian karena cacat. TPM berusaha untuk membuka "*hidden capacity*" dari peralatan yang tidak efektif dan tidak dapat diandalkan untuk meningkatkan *availability*, *performance*, *reliability*, dan kemampuan peralatan produksi dengan memanfaatkan partisipasi dari semua pegawai. TPM mempunyai alat untuk mengukur tingkat efektivitas suatu mesin, yaitu *overall equipment effectiveness* (OEE). Tulisan ini berfokus pada pembahasan dan penjelasan mengenai konsep *Total Productive Maintenance* dan *Overall Equipment Effectiveness*. Pertama akan dijelaskan mengenai konsep dari TPM dan OEE. Selanjutnya akan melihat bagaimana penelitian terdahulu menerapkan OEE dan TPM sehingga melihat sejauh mana penggunaan dari metode TPM dan OEE.

Kata Kunci : *Efektivitas, Total productive Maintenance, Overall Equipment Effectiveness, Six Big Losses*

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia modern saat ini, semua mulai menyadari akan pentingnya pengukuran dan keberadaan mengenai produktivitas dan efisiensi jika kita berbicara mengenai dunia manufaktur. Produktivitas dan efisiensi yang dimaksud disini adalah produktivitas dan efisiensi peralatan. Dimotivasi oleh keinginan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi, transformasi bisnis di beberapa industri manufaktur saat ini mulai terjadi, terutama dengan penerapan industri 4.0. Perubahan menuju digitalisasi yang efisien dan efektif akan menghubungkan perusahaan dengan pasar domestik dan internasional melalui jaringan rantai suplai yang terintegrasi. Negara-negara dengan tingkat transformasi rendah akan menghadapi biaya tinggi karena kapasitas dan efisiensi yang tidak dapat diandalkan, serta hambatan utama dalam mengintegrasikan dan bersaing dalam rantai pasok dan nilai global [1].

Produktivitas peralatan adalah komponen penting dalam kelangsungan proses pabrikasi dalam industri. Dalam setiap manufaktur yang menggunakan mesin dan peralatan penyokong, kecepatan dan ketetapan pada proses akan dianggap baik dan menguntungkan ketika mesin dalam kondisi baik [2]. Seiring bertambahnya usia mesin dan bertambahnya volume operasi produksi yang sedang berlangsung, kinerja mesin bisa saja menurun [3]. Agar perusahaan dapat menjalankan proses produksi secara efisien dan efektif, maka perlu dipastikan tidak terjadi gangguan produksi akibat kerusakan atau kerusakan mesin [4].

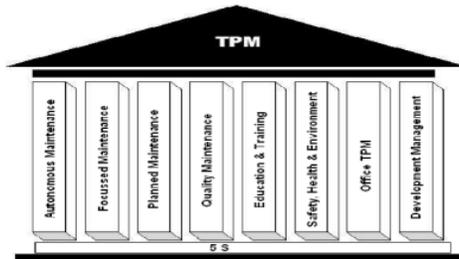
Karena kualitas dan efektivitas produksi menurun dari waktu ke waktu, perawatan sangat penting. Selain itu, tidak menutup kemungkinan bahwa mesin sering mengalami kegagalan [5]. TPM adalah konsep yang berasal dari Jepang yang dibentuk pada tahun 1970. TPM berusaha untuk membuka "*hidden capacity*" dari peralatan yang tidak efektif dan tidak dapat diandalkan untuk meningkatkan *availability, performance, reliability*, dan kemampuan peralatan produksi dengan memanfaatkan partisipasi dari semua pegawai. TPM merupakan sebuah pendekatan kepada sistem manajemen peralatan yang melibatkan semua pekerja dari departemen produksi dan perawatan melalui *cross-functional teams* [6].

TPM memberi alat atau metode untuk mengukur tingkat efektivitas peralatan yaitu *overall equipment effectiveness* (OEE). OEE dapat digunakan untuk mengukur seberapa baik peralatan yang digunakan dalam proses produksi dengan menggunakan faktor-faktor yang ada di dalamnya [7]. Tujuan manajemen OEE adalah memaksimalkan efisiensi kapasitas yang tersedia [8]. OEE diukur berdasarkan enam kerugian terbesar, disebut juga enam besar, dengan mempertimbangkan *availability, performance, dan quality* [9]. Tulisan ini akan membahas mengenai konsep dari *Total Productive Maintenance* dan *Overall Equipment Effectiveness* pada penelitian-penelitian terdahulu. Hal ini dimaksudkan agar penulis dapat menjelaskan bagaimana konsep dari metode TPM dan OEE

2. Total Productive Maintenance

Dalam bidang manufaktur, pemeliharaan merupakan suatu hal yang sangat krusial namun sering dilupakan oleh perusahaan. TPM menggabungkan fungsi pemeliharaan dan operasi produksi agar bekerjasama dari dua kegiatan independen yang masih bersifat tradisional. Dengan cara memusnahkan atau melenyapkan batasan yang ada di dalam organisasi dan mendeskripsikan ulang tanggung jawab dari pekerjaan [10]. Pendekatan TPM mengoptimalkan efektivitas peralatan, menghilangkan kerusakan, dan mendorong otonomi pemeliharaan yang melibatkan seluruh tenaga kerja. Hal ini adalah sistem pemeliharaan total yang mencakup pemeliharaan pencegahan, pemeliharaan preventif, dan peningkatan terkait pencegahan, dengan tujuan akhir untuk mencegah

kerugian dan pemborosan [11]. Menurut Mwanza dan Mbohwa [12], penerapan TPM dapat mengurangi kegagalan dan mengurangi pengerjaan ulang keluaran di bawah tingkat yang dapat diterima. TPM juga dapat membantu bisnis meningkatkan keuntungan dan menjaga citra, keduanya merupakan faktor penting dalam memastikan daya saing bisnis di masa perekonomian yang penuh gejolak saat ini.

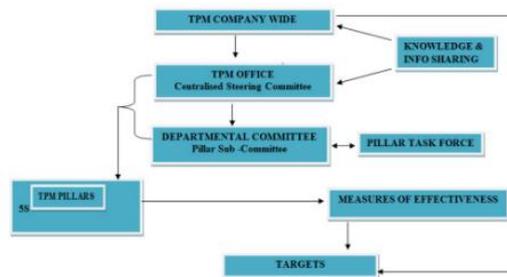


Gambar 1. 8 Pilar TPM [6]

Kigsirisin *et al.* [13] menyatakan bahwa dengan strategi pilar TPM dapat memotivasi seluruh pekerja untuk mengimplementasikan konsep *zero production defects*, *zero breakdowns* dan meminimalkan *product losses* dengan mengoptimalkan efektivitas dari peralatan. Selain itu juga meningkatkan keterampilan bagi operator dan petugas perawatan atau pemeliharaan. Perusahaan juga harus mengimplikasikan pencapaian *goals* dari perusahaan dengan cara penerapan *daily maintenance* yaitu pembersihan, penyetelan, serta pemeriksaan secara rutin serta peningkatan aktivitas dan restorasi minor pada peralatan. Pekerja yang memelihara dan memulihkan peralatan memerlukan keterampilan yang tinggi. Pemberdayaan operator pertama-tama harus didasarkan pada pelatihan. Hal ini harus dilakukan terus menerus untuk memaksimalkan efektivitas peralatan guna menghilangkan kesalahan operator dan perbaikan yang tidak tepat.

Tsai [14] mengatakan bahwa komunikasi adalah salah satu hal yang krusial. Jika mesin rusak, anggota grup TPM harus menghubungi tim pemeliharaan spesialis eksternal untuk mendapatkan dukungan teknis. Anggota tim juga harus menerima pelatihan eksternal untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mereka. Dengan pelatihan tambahan, anggota tim harus terus memperbarui keterampilan khusus mereka untuk menggunakan alat dan implementasi instrumen baru. Dalam sistem manusia-mesin, TPM menyediakan koordinasi untuk mengintegrasikan teknologi dengan pekerja.

Untuk menerapkan TPM, informasi dan pengetahuan tentang TPM sangatlah penting, dan manajer tim TPM perlu mengetahui informasi dan pengetahuan ini. Setelah memahami mengenai TPM, lalu *top management* perlu mengambil keputusan untuk mengenalkan TPM di perusahaan. Pilar-pilar TPM berfokus pada *improvement maintenance*, perawatan yang terjadwal, edukasi dan pelatihan, *early maintenance*, *quality maintenance*, *office TPM*, dan *safety and healthy environment*. Semua model dari TPM bertujuan agar mencapai target yaitu *zero breakdowns*, *zero defects*, dan *zero adjustment* dengan produktivitas, kualitas, biaya, pengiriman, dan keselamatan sebagai indikator kerja, yang merupakan indikator kerja utama. Gambar 2 merupakan model TPM yang diajukan menjadi perbaikan [12].



Gambar 2. Model TPM yang Diusulkan [12]

Penerapan mengenai pilar TPM dapat menghilangkan tingkat kegagalan, meningkatkan efektivitas mesin, dan mengurangi kerugian. Dalam studi mengenai *chlorinators*, tingkat kegagalan, waktu pemeliharaan preventif, waktu perbaikan, dan *water loss* berkurang, sehingga *chlorinators* terus beroperasi dengan efektivitas maksimum [13]. TPM melibatkan semua orang dan bekerja bersama, mengembangkan kemampuan untuk operator mesin, dan meningkatkan komunikasi antara operator dan teknisi, selain mengembangkan tanggung jawab operator atas penggunaan peralatan mereka [15]. Eswaramurthi [16] mengemukakan *Japan Institute of Plant Engineering* (JIPE) mengidentifikasi 16 kerugian terbesar yang ada dan kemudian dikelompokkan menjadi enam kategori yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pada tabel 1 disajikan mengenai rangkuman dari pilar TPM.

Tabel 1. Rangkuman dari Delapan Pilar TPM [17] [18], [19]

TPM Pillars	Deskripsi	Kelebihan
Autonomous Maintenance	Operator diberi tanggung jawab untuk melakukan perawatan dasar dari peralatan	Operator merasa bertanggungjawab atas peralatan mereka, peralatan menjadi lebih dapat diandalkan
Planned Maintenance (Keikaku-Hozen)	Penjadwalan perawatan menggunakan data historis laju kegagalan dari peralatan	Pemeliharaan dapat dijadwalkan ketika aktivitas produksi sedikit
Quality Maintenance	Kualitas melekat pada peralatan untuk mengurangi <i>defect</i>	Pengurangan cacat & peningkatan keuntungan yang konsekuensi
Continuous Improvement (Kaizen)	Menggunakan tim lintas fungsi untuk aktivitas perbaikan	Meningkatkan kemampuan pemecahan masalah para pekerja
Early Equipment Management	Mendesain peralatan baru menggunakan ilmu yang dipelajari dari aktivitas TPM sebelumnya	Peralatan baru mencapai potensi penuhnya dalam waktu yang lebih singkat
Education & Training	Menjembatani kesenjangan keterampilan dan pengetahuan melalui pelatihan bagi seluruh pekerja	Karyawan memperoleh keterampilan yang diperlukan untuk memungkinkan mereka memecahkan masalah dalam organisasi
Healthy, Safety & Environment	Menyediakan lingkungan kerja yang ideal tanpa kecelakaan dan cedera	Penghapusan kondisi berbahaya & tenaga kerja yang sehat
TPM in Office	Penyebaran prinsip-prinsip ke fungsi administratif dalam suatu organisasi	Fungsi pendukung memahami manfaat perbaikan ini

3. Overall Equipment Effectiveness

Metode dari TPM yang digunakan untuk mengukur seberapa nilai efektif mesin yaitu OEE. OEE digunakan untuk mengevaluasi berapa besar nilai efektivitas dari peralatan dan dapat digunakan untuk menghilangkan faktor yang mempengaruhi kinerja mesin [7], [20]. OEE merupakan matriks untuk mengukur efisiensi operasi manufaktur yang dilakukan. OEE dapat digunakan sebagai kerangka kerja bagi dunia industri terutama pada yang ketergantungan dengan modal peralatan dan

biaya bahan baku. OEE dapat dinyatakan sebagai perbandingan antara kapasitas aktual mesin dibagi dengan kapasitas maksimum mesin pada saat berada pada kondisi terbaiknya [21]. Tujuan dari manajemen OEE adalah memaksimalkan efisiensi kapasitas yang tersedia dan menciptakan waktu siklus yang ideal dengan mengurangi waktu henti, kecepatan, dan defect losses [8].

Persamaan 1 mewakili model perhitungan OEE. Persamaan ini mencakup tiga komponen yang selaras dengan tujuan TPM, yaitu nihil kegagalan (diwakili oleh *availability*), tidak ada penghentian atau perlambatan kecil (diwakili oleh *performance*), dan tidak ada cacat cacat (diwakili oleh kualitas) [22].

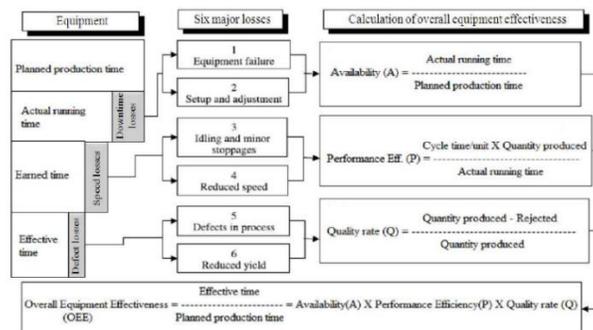
$$OEE = Availability \times Performance \times Quality \quad (1)$$

World class menargetkan untuk standar kinerja yang dimiliki OEE sebesar 85% dikarenakan ketiga komponen diatas tentunya tidak dapat berjalan penuh sebesar 100%. Namun faktanya, saat ini sebagian besar perusahaan manufaktur masih memiliki skor berkisar 60%. Hal penting yang perlu ditekankan adalah jangan terpaku pada nilai absolut dari standar tersebut. Hal yang harus diperhatikan adalah fokus pada kemampuan meningkatkan hasil sehingga angka yang diperoleh bisa meningkat. Mengidentifikasi tujuan OEE yang ingin dicapai akan mendorong perbaikan proses secara bertahap. Tujuan itu sendiri harus merupakan tujuan yang benar-benar dapat dicapai [20]. Untuk nilai yang dimiliki *world class* OEE yaitu (1) *availability*: 90%, (2) *Performance*: 95%, (3) *quality*: 99.9%, dan untuk nilai OEE keseluruhan yaitu 85.4% [20].

Standar acuan OEE yang telah ditetapkan oleh *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) dan telah digunakan di seluruh dunia. Standar berikut ini merupakan standar acuan dari OEE, yaitu: (1) jika nilai OEE pada tingkat 100% maka proses produksi dianggap sempurna artinya perusahaan manufaktur tidak mengalami cacat produk, beroperasi dengan kinerja yang cepat, tidak terjadi downtime pada mesin, (2) jika nilai OEE pada tingkat 85% maka produksi tergolong kelas dua, artinya nilai tersebut merupakan nilai yang layak untuk dijadikan target jangka panjang perusahaan, (3) jika nilai OEE pada tingkat 60% maka produksi dianggap wajar namun masih banyak ruang untuk perbaikan, (4) jika nilai OEE pada tingkat 40% maka produksi dianggap bernilai rendah sehingga kemajuan perbaikan dapat dilakukan dengan mudah [23].

3.1 FAKTOR-FAKTOR OEE

Nilai OEE merupakan skala untuk efektivitas suatu instalasi dalam waktu yang tersedia yang digunakan untuk produksi. Nilai OEE adalah indikasi tingkat kerugian teknis secara keseluruhan. Selisih nilai OEE 0 atau 100% menunjukkan tingkat kerugian terkait dengan waktu pemrosesan yang tersedia [24]. Gambar 3 merupakan gambar perhitungan OEE [16]. Gambar 4 menunjukkan model waktu yang terdapat pada OEE dan kategorinya [25].



Gambar 3: Tabel perhitungan untuk OEE [16]

Operation time						
Loading time (LT)					Planned downtime	
Operating time (OPT)				Time losses		
Net Operating time (NOT)			Speed losses			
Valuable operating time (VOT)	Quality losses		Minor stops (MST)	Slowdown time (SLT)	Downtime (DT)	Setup time (ST)
	Defective production time (DPT)	Reworking time (RWT)				

Gambar 4: Model waktu yang ada pada OEE [25]

Availability memperhitungkan kerugian yang menyebabkan penghentian produksi yang direncanakan untuk jangka waktu yang cukup lama (biasanya beberapa menit atau lebih lama). Ini mencakup tentang kerusakan perbaikan, pergantian penyesuaian, dan permulaan [22]. *Availability* merupakan probabilitas suatu aset mampu menjalankan fungsinya dengan memuaskan, kapanpun dibutuhkan, dalam keadaan yang dinyatakan [7]. Persamaan 2 merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai *availability* [6].

$$availability = \frac{operation\ time}{loading\ time} = \frac{loading\ time - downtime}{loading\ time} \quad (2)$$

Performance mempertimbangkan kerugian yang terjadi karena kinerja sistem produksi dengan kecepatan berjalan kurang dari maksimum yang dimungkinkan. Hal ini mencakup siklus lambat dan penghentian singkat [22]. Persamaan 3 merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai *performance* [6].

$$performance = \frac{processed\ amount}{operating\ time} \frac{operating\ time}{theoretical\ cycle\ time} \quad (3)$$

Quality dapat diartikan sebagai kemampuan untuk menghasilkan suatu produk yang sesuai dengan standar. *Quality* disini adalah perbandingan antara produk yang sesuai standar dengan total hasil produksi [26]. Kualitas pada matriks OEE mempunyai porsi yang mewakili unit-unit baik yang diproduksi sebagai persentase dari total unit yang diproduksi. Dengan kata lain kualitas adalah produk yang dihasilkan memenuhi persyaratan teknis yang ditentukan oleh pelanggan [27]. Persamaan 4 adalah persamaan untuk menghitung nilai *quality* [6].

$$quality = \frac{processes\ amount - defect\ amount}{processes\ amount} \quad (4)$$

Menurut Ginste *et al.* [28] *availability* pertama-tama terkait dengan pemberhentian yang tidak direncanakan yang berhubungan dengan kegagalan peralatan dan *breakdown losses*. Yang kedua terkait dengan waktu pemberhentian yang telah direncanakan untuk waktu *set-up* dan *adjustment*. *Performance* berfokus pada pemberhentian kecil dan *idle*, tetapi juga siklus lambat dikarenakan berkurangnya kecepatan. *Quality* mengidentifikasi kerugian yang terkait dengan *start-up*, cacat, dan pengerjaan ulang.

Penelitian yang dilakukan oleh Tatar & Ingaldi [29] menggunakan dua alat peningkatan dasar yaitu *value stream mapping* dan indikator dari TPM. Tujuan utama yaitu menentukan apakah penerapan solusi digital akan meningkatkan efisiensi proses produksi yang dikelola sistem di UMKM. VSM digunakan untuk memetakan proses produksi (proses *injection molding*), data pada peta diperkaya dengan analisis komponen koefisien OEE. Kesusahan adalah pada UMKM struktur organisasi tidak sistematis dan proses manajemen yang tidak stabil. Dan dengan penjabaran mengenai kerugian pada

efficiency pada proses mengindikasikan bahwa digitalisasi data perlu diperkenalkan. Berdasarkan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa visualisasi proses dengan VSM untuk variabilitas indikator TPM memotivasi untuk meningkatkan organisasi dan efisiensi kerja.

Sivakumar dan Manivel [24] menyatakan bahwa dalam melakukan produksi, keputusan untuk melakukan pengkategorisasian atau mendiferensiasikan *quality losses* harus dibuat. Tetapi jika melakukan diferensiasi dalam kualitas, keputusan harus dibuat mengenai produksi dan tidak menyesuaikan dengan perencanaan produk. Namun langkah selanjutnya perusahaan harus memutuskan jika terjadi produk yang tidak sesuai dengan standar akan diberi perlakuan seperti apa. Saat dilakukan penentuan kualitas, perusahaan harus memperhitungkan apa yang masih bisa diperjual-belikan di pasar. Sivakumar dan Manivel melakukan penelitian di PEMAMEK dimana efektivitas mesin secara bertahap turun hingga 50%. Sehingga dilakukan analisis menggunakan OEE. Didapatkan ketiga parameter OEE meningkat 40% yang awalnya 40% menjadi 78.26%. dan dengan menggunakan *time study, idle* pada mesin selama 20 menit bisa dikurangi dimana hal ini menjadi bisa dihitung. Peningkatan ini juga dibarengi dengan menggunakan tenaga kerja secara tepat dan pengurangan pengerjaan ulang pengelasan di PEMAMEK.

Hedman *et al.* [30] melakukan penelitian pada 23 perusahaan berbeda dengan objek 884 mesin yang ada. Tujuannya adalah mengidentifikasi faktor-faktor kritis dan potensi jebakan ketika dilakukannya pengukuran OEE secara otomatis. Rata-rata nilai OEE yang dihasilkan 65% dengan nilai tertinggi yaitu di bidang *food and beverage* yaitu 74%. Kerugian terbesar yang diklasifikasikan yaitu kerugian yang berhubungan dengan kontribusi operator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun dalam pengukuran OEE secara otomatis mengakuisisi data yang terperinci dalam jumlah yang besar, sejauh mana pengukuran OEE yang dihasilkan benar-benar mencerminkan bahwa peralatan melakukan apa yang seharusnya dilakukan secara langsung bergantung pada seberapa baik perusahaan mampu menafsirkannya dan menentukan faktor yang mendasari OEE. Terlebih lagi setengah dari waktu hilang tidak bisa diklasifikasikan, sehingga dapat berdampak negatif terhadap betapa berharganya data dalam menggerakkan inisiatif perbaikan. Hal penting adalah perusahaan tidak menjauhkan diri dari mengelola karakteristik rinci dari proses manufaktur mereka.

Menurut Cercós [31] semakin besar selisih nilai *availability* yang dihasilkan berkorelasi negatif dengan perbedaan antara waktu operasi dan total waktu kerja. Selain itu, nilai *quality* produk meningkat seiring dengan menurunnya jumlah produk yang ditolak. Parameter *performance* meningkat seiring dengan jarak antara kecepatan aktual dan kecepatan teoritis. Meskipun ada kemungkinan perbaikan pada setiap parameter, penting untuk memahami bahwa produksi dan efek yang akan dihasilkan harus diimbangi. Penelitian dilakukan terkait dengan perilaku komponen OEE dan hubungannya dengan emisi CO₂. Hasil OEE menunjukkan pengoperasian yang baik, sedangkan OEEE menunjukkan hasil yang jauh di bawah hasil yang dianggap valid secara teoritis, karena pembangkit listrik yang memiliki dampak lingkungan yang besar. Kunci hasil yang baik pada parameter OEEE terdapat pada parameter Sustainability yang harus sebesar mungkin. Semakin besar nilai OEEE maka mengindikasikan bahwa manufaktur semakin ramah lingkungan.

Mwanza & Mbohwa [12] melakukan penelitian dengan menilai sistem *maintenance*, yang digunakan untuk menentukan nilai OEE dan mengidentifikasi bagaimana *performance indicator* dan faktor kesuksesan TPM. OEE dilakukan untuk mengetahui kerugian apa saja yang terjadi sehingga dapat disambungkan dengan model yang akan dibuat. Hasil perhitungan OEE menunjukkan bahwa nilai OEE sebesar 36.5% dengan 51% *downtime* yang terjadi karena kekurangan suku cadang, 33% karena kekurangan bahan baku, 8% karena masalah listrik dan 8% karena tidak diterapkan. Penilaian

terhadap sistem pemeliharaan saat ini menunjukkan bahwa perusahaan menghadapi masalah-masalah berikut; kurangnya ketersediaan dan keandalan peralatan, waktu henti yang berkepanjangan, seringnya kegagalan peralatan, produksi rendah, ketidakpuasan pekerja dan penyebab masalah ini termasuk kekurangan suku cadang, buruknya integrasi departemen pemeliharaan dengan departemen lain, kurangnya pelatihan dan keterampilan yang sesuai. Penerapan TPM yang efektif memerlukan integrasi yang tepat antara departemen pemeliharaan dengan departemen lain dalam organisasi karena hal ini meningkatkan hubungan antardepartemen. Perusahaan harus menyipakan pondasi sebelum penerapan aktual pilar TPM melalui aplikasi 5S. Diperoleh hasil bahwa mengadopsi TPM dapat mengurangi kerugian dan mengurangi benda *rework*, selain itu, aktivitas pemeliharaan tidak boleh lagi dianggap sebagai fungsi terpisah dan terisolasi yang melakukan perbaikan.

Tabel 2. Penelitian mengenai OEE dan TPM

Peneliti	Penerapan OEE	Penerapan TPM
Tatar & Ingaldi	✓	✓
Sivakumar & Manivel	✓	
Hedman	✓	
Cercós	✓	
Mwanza & Mbohwa	✓	✓

4. KESIMPULAN

Dari uraian diatas dapat diketahui bahwa dengan menggunakan OEE mampu menemukan nilai efektivitas yang dimiliki peralatan maupun Perusahaan. dengan OEE juga dapat digunakan untuk melihat dan menganalisis kegagalan mana yang berpengaruh terhadap nilai efektivitas. Namun Perusahaan sendiri harus mendeskripsikan kategori-kategori dan karakteristik secara rinci dari proses manufakturnya, sehingga pada saat mencari penyebab kegagalan dapat mendefinisikan penyebab apa yang menyebabkan kegagalan tersebut. Selain itu dengan penerapan TPM sebagai langkah perbaikan dapat mengurangi *losses* yang ada di Perusahaan. Namun belum banyak penerapan pilar-pilar TPM dan hanya menghitung nilai OEE untuk melihat sejauh mana aktivitas manufaktur telah berjalan. Hal ini dapat menjadi celah dan peluang untuk penelitian yang selanjutnya untuk menggunakan pilar TPM sebagai rekomendasi perbaikan setelah melakukan perhitungan OEE dan mengetahui kegagalan-kegagalan yang terjadi. Selanjutnya, kita dapat membuktikan lebih lanjut mengenai pengaruh TPM terhadap jalannya proses produksi maupun proses manufaktur yang terjadi, sehingga dapat diketahui bagaimana perubahan sebelum dilakukannya penerapan TPM dan setelah diterapkannya TPM.

6. REFERENSI

- [1] kemenpri, "Transformasi industri 4.0 pacu produktivitas saat pandemi." Accessed: Nov. 18, 2022. [Online]. Available: <https://kemenperin.go.id/artikel/22075/Kemenperin:-Transformasi-Industri-4.0-Pacu-Produktivitas-Saat-Pandemi>,
- [2] D. Ika Rinawati, N. Cynthia Dewi, and J. S. Sudharto, *Prosiding SNA TIF Ke-1 Tahun 2014 ANALISIS PENERAPAN TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM) MENGGUNAKAN OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) DAN SIX BIG LOSSES PADA MESIN CAVITEC DI PT. ESSENTRA SURABAYA.*

- [3] H. Abdul Samat, S. Kamaruddin, and I. Abdul Azid, "Integration of overall equipment effectiveness (OEE) and reliability method for measuring machine effectiveness," *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 92–113, May 2012, doi: 10.7166/23-1-222.
- [4] H. Mad Lazim and T. Ramayah, "Maintenance strategy in Malaysian manufacturing companies: a total productive maintenance (TPM) approach," *Business Strategy Series*, vol. 11, no. 6, pp. 387–396, Nov. 2010, doi: 10.1108/17515631011093098.
- [5] Xh. Mehmeti, B. Mehmeti, and Rr. Sejdiu, "The equipment maintenance management in manufacturing enterprises," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 30, pp. 800–802, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.11.192.
- [6] M. Ben-Daya, S. O. Duffuaa, J. Knezevic, D. Ait-Kadi, and A. Raouf, *Handbook of maintenance management and engineering*. Springer London, 2009. doi: 10.1007/978-1-84882-472-0.
- [7] Ramesh. Gulati and Ricky. Smith, *Maintenance and reliability best practices*.
- [8] Y. H. Hung, L. Y. O. Li, and T. C. E. Cheng, "Uncovering hidden capacity in overall equipment effectiveness management," *Int J Prod Econ*, vol. 248, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.ijpe.2022.108494.
- [9] C. P. Ahire and A. S. Relkar, "Correlating failure mode effect analysis (FMEA) & overall equipment effectiveness (OEE)," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2012, pp. 3482–3486. doi: 10.1016/j.proeng.2012.06.402.
- [10] J. W. Tsai, "OPERATOR EMPOWERMENT FOR TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE," 1996.
- [11] L. W. Hooi and T. Y. Leong, "Total productive maintenance and manufacturing performance improvement," *J Qual Maint Eng*, vol. 23, no. 1, pp. 2–21, 2017, doi: 10.1108/JQME-07-2015-0033.
- [12] B. G. Mwanza and C. Mbohwa, "Design of a Total Productive Maintenance Model for Effective Implementation: Case Study of a Chemical Manufacturing Company," *Procedia Manuf*, vol. 4, pp. 461–470, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.11.063.
- [13] S. Kigsirisin, S. Pussawiro, and O. Noohawm, "Approach for Total Productive Maintenance Evaluation in Water Productivity: A Case Study at Mahasawat Water Treatment Plant," in *Procedia Engineering*, Elsevier Ltd, 2016, pp. 260–267. doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.472.
- [14] S. B. Tsai *et al.*, "A study on solving the production process problems of the photovoltaic cell industry," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82. Elsevier Ltd, pp. 3546–3553, Feb. 01, 2018. doi: 10.1016/j.rser.2017.10.105.
- [15] G. F. L. Pinto, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho, R. B. Casais, A. J. Fernandes, and A. Baptista, "Continuous improvement in maintenance: A case study in the automotive industry involving Lean tools," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2019, pp. 1582–1591. doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.127.
- [16] K. G. Eswaramurthi and P. V. Mohanram, "Improvement of manufacturing performance measurement system and evaluation of overall resource effectiveness," *Am J Appl Sci*, vol. 10, no. 2, pp. 131–138, Mar. 2013, doi: 10.3844/ajassp.2013.131.138.
- [17] I. P. S. Ahuja and J. S. Khamba, "Total productive maintenance: Literature review and directions," *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 25, no. 7. pp. 709–756, 2008. doi: 10.1108/02656710810890890.
- [18] D. Pandey and N. Raut, "Implementing TPM by doing Root Cause Analysis of the Downtime losses," 2016. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/338409453>

- [19] E. Y. T. Adesta, H. A. Prabowo, and D. Agusman, "Evaluating 8 pillars of Total Productive Maintenance (TPM) implementation and their contribution to manufacturing performance," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jan. 2018. doi: 10.1088/1757-899X/290/1/012024.
- [20] vorne industri, "overall equipment effectiveness." Accessed: Oct. 25, 2023. [Online]. Available: <https://www.oeo.com>
- [21] Thomas. Dunn, *Manufacturing flexible packaging : materials, machinery, and techniques*. William Andrew, 2014.
- [22] A. Zarreh, H. Da Wan, Y. Lee, C. Saygin, and R. Al Janahi, "Cybersecurity concerns for total productive maintenance in smart manufacturing systems," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2019, pp. 532–539. doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.067.
- [23] V. Industri, "Introduction to lean manufacturing." Accessed: Nov. 25, 2022. [Online]. Available: <https://www.oeo.com/world-class-oeo.html>
- [24] R. Sivakumar and R. Manivel, "Analysis on overall equipment effectiveness of a PEMAMEK panel processing machine," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2020, pp. 367–370. doi: 10.1016/j.matpr.2019.06.132.
- [25] M. M. Schiraldi and M. Varisco, "Overall Equipment Effectiveness: consistency of ISO standard with literature," *Comput Ind Eng*, vol. 145, p. 106518, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.cie.2020.106518.
- [26] R. C. Hansen, *Overall equipment effectiveness: a powerful production/maintenance tool for increased profits*. Industrial Press, 2002.
- [27] D. Stamatis, "The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability."
- [28] L. Van De Ginste, E. H. Aghezzaf, and J. Cottyn, "The role of equipment flexibility in Overall Equipment Effectiveness (OEE)-driven process improvement," in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2022, pp. 289–294. doi: 10.1016/j.procir.2022.04.047.
- [29] D. Klimecka-Tatar and M. Ingaldi, "Digitization of processes in manufacturing SMEs - Value stream mapping and OEE analysis," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 660–668. doi: 10.1016/j.procs.2022.01.264.
- [30] R. Hedman, M. Subramaniyan, and P. Almström, "Analysis of Critical Factors for Automatic Measurement of OEE," in *Procedia CIRP*, Elsevier B.V., 2016, pp. 128–133. doi: 10.1016/j.procir.2016.11.023.
- [31] M. P. Cercós, L. M. Calvo, and R. Domingo, "An exploratory study on the relationship of Overall Equipment Effectiveness (OEE) variables and CO2 emissions," *Procedia Manuf*, vol. 41, pp. 224–232, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.07.050.