

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Manajemen Pemeliharaan

Perkembangan manajemen peralatan. Persepsi dasar dari fungsi-fungsi pemeliharaan telah mengalami perkembangan dalam tiga dekade terakhir. Persepsi pemeliharaan secara tradisional adalah untuk memperbaiki komponen peralatan yang rusak. Sehingga dengan demikian kegiatan pemeliharaan terbatas pada tugas-tugas reaktif tindakan perbaikan atau penggantian komponen peralatan.

Pendekatan ini dengan demikian lebih dikenal dengan perawatan reaktif, pemeliharaan kerusakan atau pemeliharaan korektif. Pandangan yang lebih baru mengenai pemeliharaan didefinisikan dengan merujuk pada Gits (1992) sebagai: "Semua kegiatan yang ditujukan untuk menjaga suatu item dalam, atau mengembalikan ke, keadaan fisik yang dianggap perlu untuk memenuhi fungsi produksi". Lingkup tampilan yang diperbesar ini juga termasuk tugas proaktif seperti inspeksi pelayanan dan periodik rutin, penggantian pencegahan, dan pemantauan kondisi. Dalam rangka "mempertahankan" dan "mengembalikan" peralatan, pemeliharaan harus melakukan beberapa kegiatan tambahan. Kegiatan ini meliputi perencanaan kerja, pengendalian pembelian bahan, manajemen personalia, dan pengendalian kualitas (Priel, 1974). Tugas dan kegiatan yang sangat beragam ini dapat membuat pemeliharaan menjadi suatu fungsi yang rumit untuk dikelola.

Dalam upaya mendukung produksi, fungsi pemeliharaan harus mampu memastikan ketersediaan peralatan untuk menghasilkan produk pada tingkat kuantitas dan kualitas yang dibutuhkan. Dukungan ini juga harus dilakukan secara aman dan dengan biaya yang efektif (Pintelon dan Gelders, 1992). Maintenance Engineering Society of Australia (MESA) menjabarkan perspektif yang lebih luas dari pemeliharaan dan mendefinisikan fungsi pemeliharaan sebagai: "rekayasa keputusan dan tindakan terkait yang diperlukan dan cukup untuk mengoptimalkan kemampuan khusus". "Kemampuan" dalam definisi ini adalah kemampuan untuk melakukan tindakan tertentu dalam berbagai tingkat kinerja. Karakteristik

kemampuan meliputi fungsi, kapasitas, kecepatan, kualitas, dan respon. Ruang lingkup manajemen pemeliharaan, oleh karena itu, harus mencakup setiap tahap dalam siklus hidup sistem teknis (pabrik, mesin, peralatan dan fasilitas), spesifikasi, akuisisi, perencanaan, operasi, evaluasi kinerja, perbaikan, dan pembuangan (Murray dan kawan-kawan,1996). Dalam konteks yang lebih luas, fungsi pemeliharaan juga dikenal sebagai manajemen aset fisik.

Manajemen peralatan telah berkembang melalui banyak tahapan dan selama bertahun-tahun konsep pemeliharaan berevolusi mengikutinya.^[1]

- ❖ **Breakdown Maintenance (BM):** Mengacu pada strategi, di mana perbaikan dilakukan setelah terjadinya kegagalan peralatan/penghentian atau pada saat terjadinya penurunan kinerja yang parah (Wireman, 1990a). Strategi pemeliharaan ini diterapkan secara luas dalam industri manufaktur sebelum tahun 1950. Pada tahap ini, mesin diservis hanya bila diperlukan perbaikan besar. Konsep ini memiliki kelemahan-kelemahan dengan adanya penghentian operasi yang tidak direncanakan sebelumnya, kerusakan yang berulang kali, permasalahan suku cadang, biaya perbaikan tinggi, waktu tunggu dan trouble shooting yang tinggi (Telang, 1998).
- ❖ **Preventive Maintenance (PM):** Konsep ini diperkenalkan dalam tahun 1951, yang menerapkan pemeriksaan fisik atas peralatan untuk mencegah kerusakan dan memperpanjang usia layanan peralatan. PM adalah merupakan kegiatan yang dilakukan setelah jangka waktu tertentu atau lamanya pengoperasian mesin (Herbaty, 1990). Selama perioda ini, fungsi pemeliharaan dikembangkan dan kegiatan perawatan berdasarkan waktu (Time Based Maintenance - TBM) lazim dilakukan (Pai, 1997). PM dilaksanakan berdasarkan perkiraan probabilitas bahwa suatu peralatan akan mengalami kerusakan atau penurunan kinerja pada interval yang ditentukan. Pemeliharaan preventif yang dilakukan mencakup pelumasan peralatan, pembersihan, penggantian suku cadang, mengencangkan, dan penyetulan. Pemeriksaan atas peralatan produksi juga dapat dilakukan jika ada tanda-tanda kerusakan ditemukan selama pelaksanaan PM (Telang, 1998).

- ❖ **Predictive Maintenance (PdM):** Pemeliharaan prediktif sering juga disebut sebagai pemeliharaan berdasarkan kondisi (Condition Based Maintenance - CBM). Dalam strategi ini, tindakan perawatan diambil sebagai tanggapan terhadap kondisi peralatan tertentu atau ketika peralatan mengalami penurunan kinerja (Vanzile dan Otis, 1992). Teknik diagnostik yang digunakan mengukur kondisi fisik peralatan seperti temperatur mesin, kebisingan, getaran, pelumasan dan korosi (Brook, 1998). Bila satu atau lebih dari indikator ini mencapai ambang batas yang telah ditentukan, inisiatif pemeliharaan dilakukan untuk mengembalikan peralatan kepada kondisi yang diinginkan. Ini berarti bahwa peralatan dikeluarkan dari jalur produksi hanya jika ada bukti langsung bahwa telah terjadi kemerosotan kinerja yang nyata. Pemeliharaan prediktif didasarkan pada prinsip yang sama dengan pemeliharaan preventif meskipun menggunakan kriteria yang berbeda untuk menentukan kebutuhan pemeliharaan tertentu. Kelebihan lainnya adalah bahwa kebutuhan untuk melakukan pemeliharaan hanya terjadi ketika kebutuhan itu nyata, dan bukannya setelah berlalunya jangka waktu tertentu (Herbaty, 1990).
- ❖ **Corrective Maintenance (CM):** Diperkenalkan pada tahun 1957, di mana konsep untuk menghindari kegagalan peralatan diperluas menjadi peningkatan keandalan peralatan sehingga kegagalan peralatan dapat dihilangkan (peningkatan keandalan), dan peralatan dapat dengan mudah dipelihara (peningkatan kemampuan pemeliharaan peralatan) (Steinbacher dan Steinbacher, 1993). Perbedaan utama antara pemeliharaan korektif dan preventif adalah bahwa masalah harus ada sebelum tindakan korektif diambil (Higgins dan kawan-kawan, 1995). Tujuan dari perawatan korektif adalah meningkatkan kehandalan peralatan, kemampuan pemeliharaan, keamanan, kelemahan desain (bahan, bentuk); peralatan yang mengalami reformasi struktural, mengurangi kerusakan dan kegagalan, dan bertujuan dicapainya kondisi alat yang bebas pemeliharaan. Informasi yang diperoleh dari CM berguna untuk menghindari perlunya pemeliharaan atas peralatan yang akan datang serta peningkatan atas fasilitas manufaktur yang

ada. Tersedianya sarana untuk memberikan umpan balik informasi pemeliharaan menjadi penting.

- ❖ **Maintenance Prevention (MP):** Diperkenalkan pada tahun 1960-an, MP adalah kegiatan dimana peralatan dirancang sedemikian rupa sehingga menjadikannya bebas perawatan dan dicapainya kondisi ideal akhir dari "bagaimana semestinya suatu peralatan dan jalur produksi" (Steinbacher dan Steinbacher, 1993). Dalam perkembangan peralatan baru, inisiatif MP harus dimulai dari tahap desain dan secara strategis harus bertujuan untuk memastikan peralatan yang handal, mudah untuk dirawat dan digunakan (user friendly), sehingga operator dapat dengan mudah melakukan "retooling", penyetelan (adjustment), dan menjalankannya (Shirose, 1992). Pencegahan pemeliharaan belajar dari kegagalan peralatan sebelumnya, produk yang tidak berfungsi, umpan balik dari lini produksi, pelanggan dan fungsi pemasaran untuk memastikan suatu pengoperasian yang bebas dari kerumitan baik untuk sistem produksi yang ada maupun yang akan datang.
- ❖ **Reliability Centered Maintenance (RCM):** Diperkenalkan pada tahun 1960-an yang pada awalnya berorientasi pada perawatan pesawat terbang dan digunakan oleh produsen pesawat terbang, maskapai penerbangan, dan instansi pemerintah (Dekker, 1996). RCM dapat didefinisikan sebagai proses, struktur logis untuk mengembangkan atau mengoptimalkan kebutuhan pemeliharaan dari suatu sumber daya fisik dalam konteks operasi untuk mewujudkan "keandalan yang melekat", dimana tingkat kehandalan ini dapat dicapai melalui program pemeliharaan yang efektif. RCM merupakan suatu proses yang digunakan untuk menentukan kebutuhan pemeliharaan dari aset fisik apapun dalam konteks operasional dengan mengidentifikasi fungsi aset, penyebab kegagalan dan dampak dari kegagalan. Untuk memenuhi tantangan-tantangan ini RCM menerapkan filosofi tujuh-review langkah logis (Samanta dan kawan-kawan, 2001). Langkah-langkahnya adalah pertama - menentukan areal-areal pabrik yang signifikan, kedua - menentukan fungsi-fungsi utama dan standar-standar kinerja, ketiga - menentukan kegagalan-kegagalan fungsi yang

mungkin terjadi, keempat - menentukan modus-modus kegagalan yang mungkin terjadi dan dampak-dampaknya, kelima - memilih taktik perawatan layak dan efektif, keenam - penjadwalan dan pelaksanaan taktik yang dipilih, dan ketujuh - mengoptimalkan taktik dan program (Moubray, 1997). Berbagai alat yang digunakan untuk meningkatkan keefektifan pemeliharaan meliputi Analisa Mode Kegagalan dan Dampaknya (Failure Mode and Effect Analysis - FMEA), Analisa Efek Mode Kegagalan dan Kekritisannya (Failure Mode Effect and Criticality Analysis - FMECA), Physical Hazard Analysis (PHA), Fault Tree Analysis (FTA), Optimalisasi Fungsi Pemeliharaan (Optimizing Maintenance Function - OMF) dan Hazard & Operability (HAZOP) Analisis.

- ❖ **Productive Maintenance (PrM):** Diartikan sebagai pemeliharaan yang paling ekonomis yang meningkatkan produktivitas peralatan. Tujuan pemeliharaan produktif adalah untuk meningkatkan produktivitas dari suatu peralatan dengan mengurangi biaya keseluruhan peralatan sepanjang usia pakainya dari tahapan desain, fabrikasi, operasi dan pemeliharaan, dan menekan kerugian yang disebabkan oleh menurunnya kehandalan dan kinerja peralatan. Karakteristik utama dari filosofi pemeliharaan ini adalah kehandalan peralatan dan fokus kemampuan-perawatan, disamping kesadaran atas biaya-biaya kegiatan pemeliharaan. Strategi yang melibatkan semua kegiatan untuk meningkatkan produktivitas peralatan dengan melakukan PM, CM dan MP sepanjang siklus hidup peralatan ini disebut Pemeliharaan Produktif (Wakaru dan Bhadury, 1988).
- ❖ **Computerized Maintenance Management System (CMMS):** Komputerisasi sistem manajemen pemeliharaan membantu dalam mengelola berbagai informasi mengenai tenaga kerja pemeliharaan, persediaan suku cadang, jadwal perawatan & perbaikan peralatan, dan riwayat mesin. Sistem ini dapat digunakan untuk merencanakan dan menjadwalkan perintah-perintah kerja pemeliharaan, mempercepat pengiriman panggilan gangguan, dan untuk mengelola beban kerja perawatan secara keseluruhan. CMMS juga dapat digunakan untuk mengotomatisasi fungsi PM, dan untuk membantu mengendalikan persediaan pemeliharaan dan pembelian

bahan. CMMS berpotensi memperkuat kemampuan pelaporan dan analisa (Hannan dan Keyport, 1991; Singer, 1999). Kemampuan CMMS untuk mengelola informasi pemeliharaan berkontribusi meningkatkan komunikasi dan kemampuan pengambilan keputusan dalam fungsi pemeliharaan (Higgins dan kawan-kawan, 1995). Aksesibilitas informasi dan hubungan komunikasi pada CMMS meningkatkan komunikasi yang lebih baik mengenai kebutuhan perbaikan dan prioritas kerja, koordinasi ditingkatkan melalui hubungan kerja yang lebih erat antara pemeliharaan dan produksi, dan peningkatan responsivitas pemeliharaan (Dunn dan Johnson, 1991).

- ❖ **Total Productive Maintenance (TPM):** TPM adalah filosofi pemeliharaan yang berasal dari Jepang yang dikembangkan berdasarkan konsep-konsep dan metodologi Pemeliharaan Produktif. Konsep ini pertama kali diperkenalkan oleh Nippon Denso Co Ltd dari Jepang, sebuah perusahaan pemasok Toyota Motor Company pada tahun 1971. TPM adalah sebuah pendekatan inovatif yang mengoptimalkan keefektifan peralatan, meniadakan gangguan dan mempromosikan pemeliharaan otonom oleh para operator dalam kegiatan sehari-hari yang melibatkan keseluruhan pekerja (Bhadury, 2000). Pendekatan strategis untuk meningkatkan kinerja kegiatan pemeliharaan adalah dengan cara mengadaptasi dan mengimplementasikan inisiatif-inisiatif TPM strategis dalam organisasi manufaktur. TPM lebih mengfokuskan kegiatan pemeliharaan dan menjadikannya sebagai bagian penting dari bisnis. Inisiatif TPM diarahkan kepada peningkatan daya saing perusahaan yang dijabarkan dengan pendekatan terstruktur yang kuat untuk mengubah pola pikir karyawan sehingga membuat perubahan terlihat nyata dalam budaya kerja perusahaan. TPM berusaha untuk melibatkan semua tingkat dan fungsi dalam organisasi untuk memaksimalkan keefektifan peralatan produksi. Lebih lanjut lagi metode ini juga memperbaiki proses dan peralatan yang ada dengan mengurangi tingkat kesalahan dan kecelakaan. TPM adalah inisiatif manufaktur kelas dunia (World Class Manufacturing - WCM) yang bertujuan untuk mengoptimalkan keefektivitasan peralatan pabrik (Shirose, 1995). Dimana departemen pemeliharaan secara tradisional adalah pusat dari pengelolaan program

pemeliharaan preventif (PM), disisi lain TPM merangkul pekerja dari semua departemen dan tingkatan, dari pekerja pabrik hingga eksekutif senior, dalam upaya memastikan pengoperasian peralatan yang efektif.

2.2 Total Productive Maintenance (TPM)

TPM memperkenalkan konsep baru pemeliharaan pabrik dan peralatan. TPM telah lahir dalam industri mobil Jepang di tahun 1970-an. Cikal bakal TPM bermula di Nippondenso, pemasok utama perusahaan mobil Toyota, sebagai elemen penting dari Sistem Produksi Toyota (Toyota Production System – TPS) yang baru dikembangkan.

Asal-usul TPM dapat ditelusuri kebelakang hingga ke tahun 1951, saat pemeliharaan preventif diperkenalkan di Jepang. TPM mengfokuskan kegiatan pemeliharaan dan menjadikannya sebagai bagian penting dari bisnis. Inisiatif-inisiatif TPM membantu menyelaraskan fungsi manufaktur dengan fungsi-fungsi lainnya dalam upaya meraih keuntungan yang berkelanjutan (Ahuja dan Khamba, 2007).

TPM adalah upaya perbaikan proses (efisiensi mesin dan reliabilitas) yang melibatkan seluruh karyawan untuk bersama-sama mengupayakan sedapat mungkin produksi dengan tingkat kerusakan nihil dan tanpa cacat. TPM adalah metodologi perbaikan yang didorong oleh alasan-alasan produksi yang dirancang untuk mengoptimalkan kehandalan peralatan dan memastikan pengelolaan yang efisien dari aset pabrik (Robinson dan Ginder, 1995). TPM menyediakan pendekatan siklus-hidup yang komprehensif bagi manajemen peralatan yang meminimalkan kegagalan peralatan, cacat produksi, dan kecelakaan. Kegiatan ini melibatkan seluruh jajaran karyawan dalam organisasi perusahaan, dari manajemen tingkat atas hingga mekanik di lapangan, dari bagian-bagian penunjang produksi hingga pemasok luar (Ahuja dan Khamba, 2008). Ini meliputi peran serta seluruh bagian termasuk produksi, pemeliharaan, perancangan, teknik proyek, rekayasa konstruksi, persediaan dan gudang, pembelian, akuntansi dan keuangan, manajemen pabrik dan lapangan (Wireman, 1990). Pemeliharaan produktif total adalah berbasis kerja tim dan mengajarkan sebuah metode untuk

mencapai Keefektifitasan Peralatan Secara Keseluruhan (Overall Equipment Effectiveness – OEE) pada tingkat kelas dunia melalui orang-orang, dan tidak hanya melalui teknologi maupun sistem saja (Willmott, 1994). TPM ini dimaksudkan untuk menggabungkan kedua fungsi (produksi dan pemeliharaan) dalam suatu kebersamaan dengan mengkombinasikan metode kerja yang baik, kerja tim, dan perbaikan secara terus-menerus (Cooke, 2000).

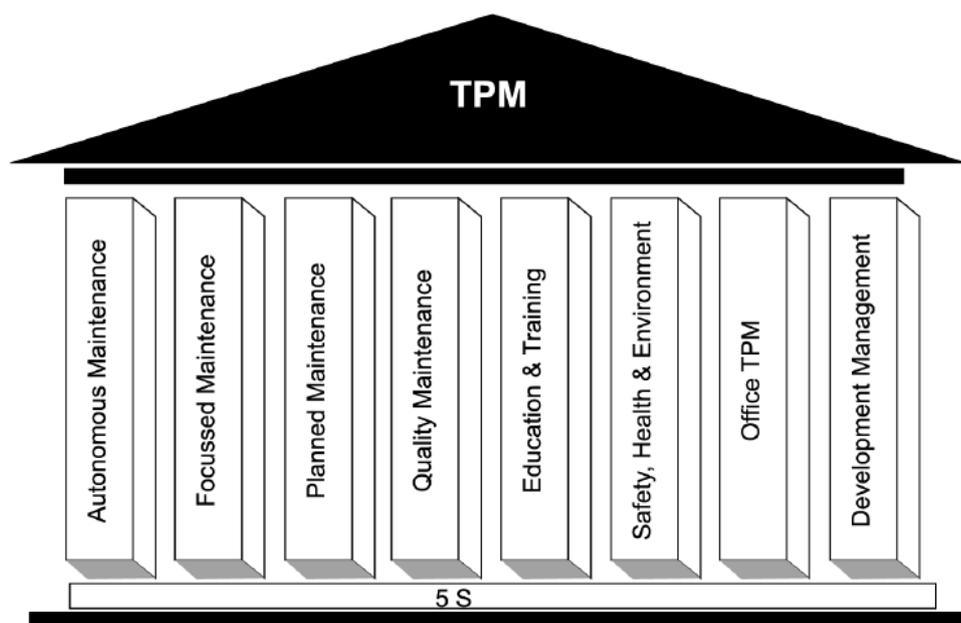
TPM adalah suatu proses perbaikan berkesinambungan yang terstruktur dan berorientasi kepada peralatan pabrik yang berupaya untuk mengoptimalkan efektivitas produksi dengan jalan mengidentifikasi dan menghilangkan kerugian peralatan dan kehilangan efisiensi produksi sepanjang siklus hidup sistem produksi melalui partisipasi aktif karyawan berbasis tim di semua tingkat hirarki operasional. Tujuan dari program TPM adalah untuk secara nyata meningkatkan produksi dan pada saat yang sama meningkatkan semangat dan kepuasan kerja karyawan. TPM tampil sebagai cara ampuh untuk meningkatkan kinerja perusahaan secara keseluruhan.

Program-program strategis TPM telah menunjukkan dampak yang besar pada kinerja perusahaan, disamping secara substansial meningkatkan kapasitas juga secara signifikan mengurangi tidak hanya biaya pemeliharaan tetapi juga biaya operasional secara keseluruhan. Keberhasilan pelaksanaan program TPM menciptakan tempat kerja yang jauh lebih aman dan lebih ramah lingkungan. Hasil lain penerapan program-program strategis TPM adalah terjadinya penurunan kerusakan peralatan yang mengganggu produksi dan dapat mengakibatkan kerugian jutaan dolar setiap tahunnya (Gosavi, 2006). TPM menggunakan Keefektifitasan Peralatan Secara Keseluruhan (Overall Equipment Effectiveness – OEE) sebagai ukuran kuantitatif inti untuk mengukur kinerja sistem produktif (Shirose, 1989; Jeong dan Phillips, 2001; Huang, 1991). OEE digunakan untuk memberikan gambaran harian mengenai kinerja peralatan pabrik serta menggalakkan keterbukaan dalam berbagi informasi dan pendekatan yang tidak saling menyalahkan dalam menangani isu-isu yang berhubungan dengan peralatan. Praktek-praktek dasar TPM sering disebut "pilar" atau "elemen" dari TPM. Seluruh bangunan TPM dibangun dan berdiri di atas delapan pilar (Sangameshwaran dan Jagannathan, 2002). TPM mengarahkan kepada

perencanaan yang baik, pengorganisasian, pengawasan dan pengendalian melalui metodologi yang unik yang melibatkan pendekatan kedelapan pilar sebagai yang disarankan oleh Japan Institute of Plant Maintenance – JIPM (Ireland dan Dale, 2001; Rodrigues dan Hatakeyama, 2006) sebagai berikut:

1. Pemeliharaan Otonom (Autonomous Maintenance)
2. Perbaikan Terfokus (Focused Improvement)
3. Pemeliharaan Terencana (Planned Maintenance)
4. Pemeliharaan Mutu (Quality Maintenance)
5. Pendidikan dan Latihan (Education and Training)
6. Keselamatan, Kesehatan dan Lingkungan (Safety, Health and Environment)
7. TPM Kantor (Office TPM)
8. Manajemen Pengembangan (Development Management)

Delapan pilar TPM sebagaimana diilustrasikan dalam Gambar 1.



Gambar 2.1. Kedelapan pilar TPM sebagaimana yang disarankan JIPM

Perusahaan yang menerapkan TPM pada umumnya selalu mencapai hasil yang mengesankan, terutama pada keberhasilan mengurangi kerusakan peralatan, meminimalkan waktu tak beroperasinya mesin dan menghilangkan gangguan-gangguan kecil, menekan cacat produksi dan klaim penggantian, meningkatkan

produktivitas, memangkas tenaga kerja dan biaya-biaya, menekan persediaan, mengurangi kecelakaan, dan mengajak peran serta karyawan (contoh: dalam penyampaian saran perbaikan) (Suzuki, 1994).

Pelaksanaan program strategis TPM memperlihatkan realisasi signifikan dari pencapaian kinerja manufaktur yang mengarah kepada peningkatan daya saing inti organisasi (Ahuja dan Khamba, 2008). TPM memiliki efek nyata dan terukur terhadap produksi, kualitas, dan keuntungan: meningkatkan kualitas, mengurangi biaya, meningkatkan kesiapan peralatan, menekan persediaan, pengurangan waktu pengiriman, partisipasi karyawan dan terselenggaranya suatu lingkungan kerja yang lebih bersih. Sasaran-sasaran aktual TPM terfokus lebih pada produktivitas (*productivity*), kualitas (*quality*), biaya (*cost*), pengiriman (*delivery*), keselamatan (*safety*) dan moral (*morale*), (PQCDSM - Tajiri and Gotoh, 1992).

Keterlibatan total karyawan dalam program TPM berperan besar dalam upaya mengurangi kerugian dan meningkatkan keuntungan (Gardner, 2000). Terlebih, keberhasilan implementasi TPM juga membawa manfaat tak berwujud yang signifikan seperti perbaikan keterampilan dan pengetahuan tenaga kerja, mendorong motivasi karyawan melalui pemberdayaan yang memadai, klarifikasi peran dan tanggung jawab karyawan, adanya sistem untuk secara terus menerus menjaga dan mengendalikan peralatan, meningkatkan kualitas kehidupan kerja, mengurangi ketidakhadiran dan membaiknya komunikasi di tempat kerja (Carannante, 1995). Kepuasan kerja menjadikan tingkat produktivitas dan kualitas yang lebih tinggi yang pada akhirnya memberikan kontribusi pada biaya produksi yang lebih rendah, dan ini dikarenakan TPM menganjurkan organisasi untuk memperhitungkan aspek manusia dalam perpaduannya dengan dampak-dampak teknis dan keuangan (Hamrick, 1994).

2.3 Overall Equipment Effectiveness (OEE)

OEE diusulkan oleh Nakajima (1988) sebagai suatu pendekatan untuk mengevaluasi kemajuan yang dicapai melalui inisiatif-inisiatif perbaikan sebagai bagian dari filosofi TPM. Nakajima (1988) mendefinisikan OEE sebagai metrik atau ukuran untuk mengevaluasi efektivitas peralatan. OEE berupaya untuk

mengidentifikasi kehilangan produksi dan kehilangan biaya lain yang tidak langsung dan tersembunyi, yang mana menurut Ericsson (1997) adalah yang memiliki kontribusi besar terhadap biaya total produksi. Kehilangan/kerugian ini dirumuskan sebagai fungsi dari sejumlah komponen eksklusif yang berhubungan (Huang dan kawan-kawan, 2003), yakni: Ketersediaan (Availability - A), Kinerja (Performance - P) dan Kualitas (Quality - Q). Pada dasarnya, OEE adalah hasil dicapai dengan cara mengalikan ketiga faktor ini bersama-sama seperti yang ditunjukkan oleh persamaan:

$$OEE = A \times P \times Q$$

Faktor-faktor OEE

Faktor Ketersediaan mengukur waktu total dimana sistem tidak beroperasi karena kerusakan, set-up, penyesuaian, dan pemogokan lain (Jonsson dan Lesshammar, 1999). Secara tradisional dihitung dengan menggunakan rumus Nakajima (1988) sebagaimana disajikan dibawah ini. Dalam formula ini, "Loading Time" mengacu pada lamanya waktu operasi peralatan setelah dikurangi "Downtime" yaitu waktu yang dibutuhkan untuk kegiatan yang telah direncanakan yang menyebabkan tidak berproduksinya mesin, misalnya: pemeliharaan yang telah direncanakan dan terjadwal, pabrik resmi tidak berproduksi, inisiatif perbaikan proses atau tes peralatan, pemeliharaan yang dilakukan oleh operator mesin (misalnya membersihkan peralatan), pelatihan, dll:

$$A = \frac{\text{Loading time} - \text{downtime}}{\text{Loading time}}$$

Unsur kedua OEE, Kinerja, mengukur rasio dari kecepatan operasi aktual peralatan (misalnya kecepatan ideal dikurangi kehilangan kecepatan, penghentian operasi sementara) terhadap kecepatan idealnya (Jonsson dan Lesshammar, 1999). Hal ini dapat dihitung dalam beberapa cara yang berbeda. Namun, Nakajima (1988) mengukur jumlah output tetap, dan dalam definisinya tentang

"kinerja", ini menunjukkan deviasi yang sebenarnya dibanding waktu siklus idealnya. Kinerja (P) dihitung menggunakan persamaan Nakajima (1988) berikut:

$$P = \frac{\text{Ideal cycle time} \times \text{output}}{\text{Operating time}}$$

Unsur ketiga OEE adalah Kualitas (Q). Menunjukkan proporsi produksi yang rusak terhadap volume produksi total. Karakteristik penting yang perlu dicatat adalah bahwa konsep kualitas, sebagaimana yang didefinisikan oleh Nakajima (1988), hanya melibatkan cacat yang terjadi dalam tahapan produksi tertentu, biasanya pada mesin atau lini produksi tertentu. Kualitas (Q) dihitung dengan menggunakan persamaan Nakajima (1988):

$$Q = \frac{\text{Input} - \text{volume of quality defects}}{\text{Input}}$$

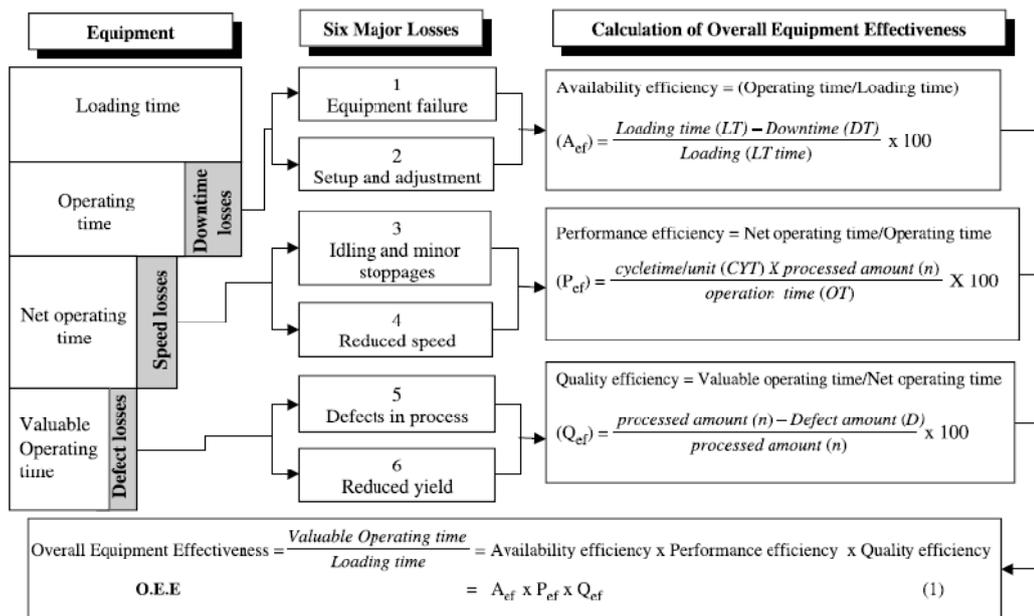
Pengembangan dan Aplikasi OEE

Sebagai didefinisikan pada awalnya oleh Nakajima (1988), tujuan OEE adalah untuk mengevaluasi kemajuan dari filosofi TPM melalui pengukuran peralatan individu. Namun, karena peningkatan penggunaannya dalam industri dan efektivitasnya sebagai ukuran kinerja untuk peralatan per unit, penelitian lebih lanjut berupaya untuk memperluas cakupan aplikasi OEE untuk seluruh proses atau pabrik. Selain itu, ruang lingkup evaluasi juga telah diperluas dengan dimasukkannya unsur-unsur kinerja lainnya selain dari sekedar ketersediaan, kinerja dan kualitas.

Sebagai contoh, Sherwin (2000) mengusulkan proses keefektifan untuk mengukur kinerja proses secara keseluruhan, Nachiappan dan Anantharam (2006) mendefinisikan efektivitas lini secara keseluruhan untuk mengevaluasi efektivitas sistem manufaktur lini produksi yang berkesinambungan, Braglia dan kawan-kawan (2009) menyajikan efektifitas keseluruhan peralatan dari suatu lini manufaktur untuk menilai kinerja lini produksi, dan Oechsner dan kawan-

kawan (2003) mengusulkan keefektifan fab keseluruhan untuk mengukur kinerja dari seluruh pabrik. Di kesempatan lain, Garza-Reyes (2008) mengembangkan efektivitas sumber daya secara keseluruhan, yang juga mempertimbangkan efisiensi bahan dan variasi biaya bahan dan proses sebagai bagian dari evaluasi efektivitas keseluruhan, lihat juga Garza-Reyes dan kawan-kawan (2008).

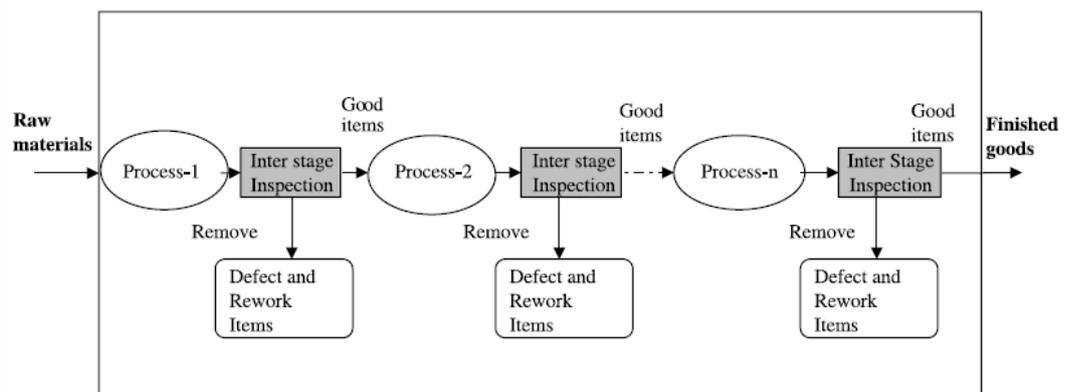
Akhirnya, meskipun OEE awalnya dirancang untuk memantau dan mengendalikan kinerja, Dal (1999) menunjukkan bahwa peran OEE jauh melampaui fungsi dari hanya sekedar pemantauan dan pengendalian. Hal ini karena OEE juga memperhitungkan inisiatif perbaikan proses, mencegah sub-optimalisasi mesin atau jalur produksi, menyediakan metode sistematis untuk menetapkan target produksi, dan juga menjadi alat dan teknik manajemen yang praktis dalam rangka memperoleh pandangan yang seimbang atas ketersediaan proses, kinerja dan kualitas. Selain itu, OEE dapat digunakan sebagai indikator perbaikan proses dan juga sebagai pendekatan untuk mencapainya. Dal dan kawan-kawan (2000), misalnya, menggunakannya untuk mengukur perbaikan proses dalam suatu lingkungan manufaktur. Bamber dan kawan-kawan (2003) berpendapat bahwa OEE sering digunakan sebagai pendorong untuk meningkatkan kinerja bisnis dengan cara berkonsentrasi pada isu-isu kualitas, produktivitas dan pemanfaatan mesin sehingga dan diarahkan pada pengurangan kegiatan-kegiatan yang tidak bernilai tambah yang sering ditemukan dalam proses manufaktur. Dalam studi kasus Dal dan kawan-kawan (2000), dilaporkan bahwa OEE tidak hanya membantu untuk mengukur peningkatan di area mana ia diterapkan tetapi ia juga membuka pengembangan tingkatan baru atas pengukuran kinerja. Gambar 2.2. menyajikan skema konsep dan perhitungan OEE menurut JIPM untuk peralatan produksi yang berdiri sendiri-sendiri.



Gambar 2.2. Skema konsep dan perhitungan OEE.

2.4 Overall Line Effectiveness (OLE)

Penelitian lebih lanjut dengan menggunakan pendekatan dan metodologi OEE yang sama dikembangkan oleh Nachiappan dan Anantharaman (2005), untuk sistem manufaktur lini kontinyu yang tidak memiliki penyangga (buffer) yang memisahkan (decouple) proses antara satu alat dengan alat lain dalam lini produksi yang sama, untuk mengukur efektifitas lini produksi keseluruhan (Overall Line Effectiveness – OLE).^[8]



Gambar 2.3. Sistem manufaktur lini produksi kontinyu.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Braglia, Frosolini, dan Zammori (2009), yang mengusulkan formulasi baru pengukuran efektifitas peralatan lini manufaktur keseluruhan (Overall Equipment Effectiveness of a Manufacturing Line (OEEML)), namun dengan aplikasi yang diperuntukkan bagi suatu lini produksi yang memiliki penyangga berupa work in process (WIP) yang memisahkan proses satu alat dengan alat lain dalam lini produksi yang sama.^[3]

Dalam konteks ini penulis memilih untuk menggunakan pendekatan sederhana dimana faktor-faktor OLE yang berkontribusi, yakni LA, LP dan LQ dihitung dengan cara menghitung rata-rata (TPM Chairman, 2004) parameter-parameter terkait (A_{ef} , P_{ef} dan Q_{ef}) yang terdapat dalam alur sistem produksi (proses-1 hingga proses -n) sebagai berikut:

$$LA = \text{Average of } (A_{ef1}, A_{ef2}, A_{ef3}, \dots, A_{efn})$$

$$LP = \text{Average of } (P_{ef1}, P_{ef2}, P_{ef3}, \dots, P_{efn})$$

$$LQ = \text{Average of } (Q_{ef1}, Q_{ef2}, Q_{ef3}, \dots, Q_{efn})$$

Sehingga OLE diperoleh dari hasil perkalian faktor-faktornya:

$$OLE = LA \times LP \times LQ$$

2.5 Kapabilitas Proses (Process Capability – PC)

Kapabilitas Proses didefinisikan oleh Wetherill dan Brown (1991) sebagai kemampuan yang melekat pada suatu proses untuk menghasilkan produk-produk yang sama dalam jangka waktu yang berkelanjutan pada kondisi tertentu. Mengevaluasi kemampuan dari suatu proses penting untuk mengukur seberapa baik suatu proses dapat menghasilkan produk yang memenuhi persyaratan kualitas tertentu. Dengan demikian manajer dan insinyur dapat memprioritaskan kebutuhan perbaikan proses.

Evaluasi PC dilakukan melalui kerangka yang disebut analisis kapabilitas proses (Process Capability Analysis - PCA). PCA didefinisikan oleh Deleryd

(1999) sebagai metode perbaikan mana karakteristik produk diukur dan dianalisa untuk menentukan kemampuan proses untuk memenuhi karakteristik spesifikasi tertentu. Meskipun kemampuan proses dapat diukur melalui beberapa langkah dan metode seperti rasio kapabilitas, peta kendali atau analisis histogram, cara yang paling umum untuk melakukannya adalah dengan menggunakan indeks kapabilitas (Capability Indices - CI). CI adalah ukuran-ukuran spesifik yang membandingkan keluaran proses aktual dengan batas-batas spesifikasi untuk suatu karakteristik tertentu (Deleryd, 1999). Dengan kata lain, ia menunjukkan kemampuan proses untuk memenuhi kebutuhan numeriknya melalui suatu studi pola. Diantara CI yang paling dikenal adalah Cp dan Cpk.

Indeks Cp

Cp adalah indeks kapabilitas pertama yang diusulkan oleh Juran (1974). Cp adalah suatu indeks (angka sederhana) yang digunakan untuk menilai lebar penyebaran proses dibanding dengan lebar spesifikasi. Hal ini dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Pada persamaan di atas, USL adalah batas spesifikasi atas, LSL adalah batas spesifikasi bawah dan σ menunjukkan estimasi standar deviasi karakteristik yang diteliti.

Semakin besar indeks, semakin kecil kemungkinan bahwa karakteristik kualitas yang diukur berada di luar spesifikasi, ini menunjukkan bahwa produk cacat yang akan dihasilkan akan rendah. Tabel I adalah penyederhanaan dari Juran dan Godfrey's (1999). Disini ditunjukkan hubungan antara nilai Cp dengan jumlah produk yang cacat dan tindakan korektif yang biasanya diambil.

Salah satu batasan dari Cp adalah bahwa ia hanya berfokus pada penyebaran proses yang diamati tetapi tidak memperhitungkan pemusatan (centering) dari proses itu. Indeks Cp hanya mempertimbangkan variabilitas proses (σ) sehingga

sama sekali tidak memiliki sensitivitas atas penyimpangan proses (Pearn dan kawan-kawan, 2001). Keterbatasan ini menyebabkan dikembangkannya indeks baru, yaitu Cpk.

Indeks Cpk

Indeks ini diperkenalkan oleh Kane (1986) yang mengukur jarak antara batas spesifikasi terdekat dan nilai yang diharapkan dari karakteristik kualitas belajar, μ , untuk berhubungan jarak ini untuk menyebarkan proses alam setengah, $3s$. Dari sudut pandang seorang praktisi, indeks Cpk dianggap lebih maju dibanding Cp karena ia dapat digunakan untuk mengukur karakteristik kualitas dimana hanya satu batas spesifikasi yang penting. Indeks dinyatakan dengan rumus berikut:

$$C_{pk} = \frac{\text{Min}(USL - \mu, \mu - LSL)}{3\sigma}$$

Seperti halnya dalam indeks Cp, USL adalah batas spesifikasi atas, LSL batas spesifikasi bawah dan s menunjukkan estimasi standar deviasi karakteristik yang diteliti. Semakin besar indeks, semakin kecil kemungkinan bahwa karakteristik kualitas yang diukur akan berada diluar batas spesifikasi, yang juga berarti bahwa "kurva lonceng" berada pada posisi terpusat terhadap batas-batasnya.

Juran dan Godfrey (1999) menyebutkan bahwa peningkatan nilai Cpk dapat memerlukan perubahan dalam rata-rata proses, deviasi standar proses, atau keduanya. Mereka juga menambahkan bahwa untuk proses tertentu, akan lebih mudah meningkatkan nilai Cpk dengan cara merubah nilai rata-rata, mungkin melalui penyesuaian sederhana dari tujuan proses daripada menurunkan deviasi standar, dan meneliti banyaknya penyebab variabilitas.

Nilai-nilai Kapabilitas Proses yang dapat diterima

Dengan asumsi suatu distribusi proses adalah normal dan rata-rata proses berada terpusat diantara persyaratan-persyaratan teknis, suatu Cp dan Cpk 1,0 akan menyatakan bahwa proses tersebut "mampu" (Pyzdek, 2003). Dalam konteks ini, proses akan menghasilkan sekitar 99,70 persen produk yang baik (dari sudut pandang seorang optimistis) atau 0,30 persen produk yang buruk (dari sudut pandang seorang pesimistis).

Dalam hal Cp, ini menunjukkan proporsi potensi ketidak-sesuaian dari 2.700 bagian per sejuta (Littig dan Lam, 1993). Bagaimanapun juga ini menunjukkan banyaknya produk cacat dimana untuk sebagian proses tingkat ini tidak bisa diterima. Oleh karena itu, nilai minimum berlaku umum dan diterima untuk Cp dan Cpk adalah 1,33 (Pyzdek 2003).

Sebagai misalnya, Littig dan Lam (1993) menyebutkan bahwa di Ford Motor Company suatu Cp dan Cpk sebesar 1,33 adalah merupakan persyaratan perusahaan, dan bahwa produsen harus mengejar perbaikan proses untuk meningkatkan kapabilitas. Pada tingkat Cp dan Cpk dari 1,33 proses ini akan menghasilkan sekitar 99,9937 persen produk yang baik atau 0,0063 persen produk buruk. Di Ford Motor Company, persepsi bahwa 1.0 diterima secara marjinal dan 1,33 atau lebih adalah baik harus dicapai untuk semua proses sangat tertanam dalam benak para manajer dan insinyur (Littig dan Lam, 1993). Dapat dikatakan bahwa persepsi ini tidak hanya berlaku di Ford Motor Company namun juga pada seluruh perusahaan yang mengukur PC dengan menggunakan Cp dan Cpk.^[5]

Cp value	Quality characteristic or product outside the limit	Typical action to be taken
<1.0	≥ 5.0%	High process control, sorting, reworking, etc.
1.0	0.3%	High process control, inspection
1.33	64 ppm	Inspection reduced, selected use of control charts
1.63	1 ppm	Spot checking, selected use of control charts

Tabel 2.1. Hubungan antara nilai indeks Cp dan persentase cacat produksi serta langkah-langkah perbaikan yang biasa diambil.