



Penjadwalan Ulang Penggantian Komponen Fasilitas Produksi Industri Otomotif

Basuki Arianto, ST, MT, MM

**Program Studi Teknik Industri
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma**

PENJADWALAN ULANG PENGGANTIAN KOMPONEN FASILITAS PRODUKSI INDUSTRI OTOMOTIF

Tim Penyusun / Penulis:
Basuki Arianto, ST, MM, MT

Perancang Sampul:
Tim PS Teknik Industri Unsurya

Penata Letak:
Tim PS Teknik Industri Unsurya

Pracetak dan Produksi:
Tim PS Teknik Industri Unsurya

ISBN:
i-iii + 72 hlm, 18.2 cm x 25.7 cm

Dicetak oleh:
Program Studi Teknik Industri
Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma, Jakarta
Jl. Protokol Halim Perdanakusuma, Jakarta Timur 13610
Telp. 021-8093475

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
All Rights Reserved

Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang. Dilarang memfotocopy atau memperbanyak sebagian atau seluruh buku ini, tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita, atas selesainya buku Penjadwalan Ulang Penggantian Komponen Fasilitas Produksi Industri Otomotif. Buku ini berisi tentang materi sistem pemeliharaan pada umumnya dan fokus pada penjadwalan penggantian komponen.

Industri otomotif merupakan salah satu sektor andalan yang memiliki kontribusi cukup besar terhadap perekonomian nasional. Tahun 2021, terdapat 22 perusahaan industri kendaraan bermotor roda empat atau lebih yang ada di Indonesia. Sektor otomotif memberikan dampak luas kepada lebih dari 1,5 juta orang yang bekerja di sepanjang rantai nilai industri tersebut,” ungkapnya. Industri otomotif dinilai memiliki peran penting dan strategis sehingga dimasukkan ke dalam peta jalan making indonesia 4.0, yang mendapat prioritas pengembangan dalam implementasi industri 4.0. Buku ini menjelaskan tentang sistem pemeliharaan pada fasilitas produksi industri manufaktur khususnya industri otomotif.

Dengan adanya buku ini, diharapkan menambah wawasan dan pengetahuan tentang sistem pemeliharaan bagi mahasiswa Teknik Industri . Saran dan kritik atas buku ini sangat diharapkan untuk perbaikan di edisi berikutnya. Segala usaha perbaikan dan pemanfaatan buku ini, kami ucapkan terima kasih.

Jakarta, 1 Maret 2024
Penyusun

Basuki Arianto

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Bab 1 Persaingan Industri Otomotif.....	1
Bab 2 Sistem Pemeliharaan.....	4
Bab 3 Reliability Centered Maintenance	10
Bab 4 Penelitian-Penelitian Sistem Pemeliharaan.....	13
Bab 5 Industri Otomotif.....	19
Bab 6 Proses Perakitan Body Mobil Di Lini Body Shop.....	29
Bab 7 Komponen Kritis Fasilitas Produksi.....	44
Bab 8 Mean Time Between Failure (Mtbf) Komponen Kritis Fasilitas Lini Body Shop	49
Bab 9 Mean Time Between Maintenance (Mtbm), Availability dan Keandalan Komponen Kritis Fasilitas Lini Body Shop.....	60
Bab 10 Penjadwalan Ulang Penggantian Komponen dan Rekomendasi.....	65
Daftar Pustaka	67

BAB I PERSAINGAN INDUSTRI OTOMOTIF

Perkembangan industri otomotif saat ini semakin pesat. Berbagai Perusahaan berlomba-lomba menawarkan produk unggulannya, sehingga konsumen dihadapkan pada berbagai pilihan yang menarik. Ketatnya persaingan di industri otomotif ini ditandai dengan bermunculannya varian-varian baru demi menjawab keinginan konsumen. Saat ini kebutuhan akan kendaraan menjadi hal yang penting karena mobilitas manusia yang semakin meningkat. Meningkatnya permintaan akan kendaraan khususnya mobil menjadi peluang sekaligus tantangan bagi perusahaan dalam memasarkan kendaraan, karena saat ini pengguna mobil bukan saja dari kalangan menengah atas saja tetapi sudah menjangkau semua kalangan.

Laporan Gabungan Industri Kendaraan Bermotor Indonesia (Gaikindo), menyebutkan total penjualan ritel kendaraan roda empat atau lebih selama periode Januari sampai dengan Desember tahun 2019, 2020 dan 2021 secara berurutan adalah mencapai 1,043,017 unit, 578,762 unit dan 863,348 unit. Hal ini menunjukkan antara tahun 2019 dan 2020 terjadi penurunan sebesar 44,51%, sedangkan antara tahun 2020 dan 2021 terjadi kenaikan sebesar 49,17%. Di sisi yang lain, produk Wuling dengan perbandingan yang sama antara tahun 2019 dan 2020 mengalami penurunan sebesar 54,89% dan antara tahun 2020 dan 2021 mengalami kenaikan sebesar 151,18%.Daftar sepuluh merek mobil yang mencatatkan penjualan ritel terbanyak sepanjang tahun 2019, 2020 dan 2021 seperti terlihat pada tabel 1.1 dan tabel 1.2.

Tabel 1.1 Jumlah Penjualan Ritel Kendaraan Sepuluh Besar berdasarkan Brand Tahun 2019, 2020 dan 2021

No	2019		2020		2021	
	Brand	Jumlah	Brand	Jumlah	Brand	Jumlah
1	Toyota	331,004	Toyota	182,665	Toyota	290,499
2	Daihatsu	177,588	Daihatsu	100,026	Daihatsu	151,107
3	Honda	149,439	Honda	79,451	Mitsubishi Motors	104,407
4	Mitsubishi Motors	118,936	Suzuki	72,389	Honda	91,393
5	Suzuki	102,865	Mitsubishi Motors	54,768	Suzuki	89,596
6	Mitsubishi Fuso	41,735	Mitsubishi Fuso	24,000	Mitsubishi Fuso	34,375
7	Hino	31,471	Isuzu	17,855	Isuzu	27,278
8	Isuzu	25,315	Hino	13,038	Wuling	23,920
9	Wuling	21,112	Wuling	9,523	Hino	19,793
10	Nissan	12,570	Nissan	7,408	Nissan	6,185
	Total	1,043,017	Total	578,762	Total	863,348

Sumber: <https://www.gaikindo.or.id/>

Tabel 1.2 Market Share Penjualan Ritel Kendaraan Sepuluh Besar Berdasarkan Brand Tahun 2019, 2020 dan 2021

No	2019		2020		2021	
	Brand	Persentase	Brand	Persentase	Brand	Persentase
1	Toyota	31.7	Toyota	31.6	Toyota	33.6
2	Daihatsu	17.0	Daihatsu	17.3	Daihatsu	17.5
3	Honda	14.3	Honda	13.7	Mitsubishi Motors	12.1
4	Mitsubishi Motors	11.4	Suzuki	12.5	Honda	10.6
5	Suzuki	9.9	Mitsubishi Motors	9.5	Suzuki	10.4
6	Mitsubishi Fuso	4.0	Mitsubishi Fuso	4.1	Mitsubishi Fuso	4.0
7	Hino	3.0	Isuzu	3.1	Isuzu	3.2
8	Isuzu	2.4	Hino	2.3	Wuling	2.8
9	Wuling	2.0	Wuling	1.6	Hino	2.3
10	Nissan	1.2	Nissan	1.3	Nissan	0.7
	Total	100.0	Total	100.0	Total	100.0

Sumber: <https://www.gaikindo.or.id/>

Perusahaan harus mampu menghadapi persaingan yang semakin kompetitif. Keberadaan perusahaan tidak lepas dari keberadaan konsumen, jika konsumen merasa puas akan suatu produk maka konsumen akan enggan beralih ke merek lain, bahkan konsumen yang loyal akan merekomendasikan produk yang menurut mereka bermutu kepada orang lain. Konsumen merupakan faktor penting bagi kelangsungan hidup perusahaan sehingga perusahaan harus mampu mempertahankan loyalitas konsumen.

Kegiatan operasional yang berjalan di dalam industri berimplikasi pada kelangsungan hidup dari industri tersebut. Perusahaan dalam bidang manufaktur selalu mempertahankan suatu sistem atau mesin tetap berada dalam keadaan beroperasi sesuai yang diharapkan. Jika sistem atau mesin tersebut berhenti maka akan menghambat kegiatan operasional perusahaan tersebut.

Oleh karena itu diperlukan pemeliharaan terhadap mesin atau komponen penunjang produksi lainnya guna mencegah terhentinya kegiatan produksi karena adanya kegagalan atau kerusakan pada mesin tersebut. Segala bentuk kerusakan dan gejala – gejala kerusakan yang ada pada mesin akan dapat segera dideteksi dan diperbaiki dapat dicapai karena adanya kegiatan pemeliharaan.

Sistem pemeliharaan diperlukan karena merupakan aplikasi yang efektif dari pengetahuan dan usaha keteknikan guna mendukung kebutuhan operasional dengan mempertimbangkan berbagai aspek pemeliharaan sebagai sub sistem. Sehingga diharapkan mesin atau komponen – komponen pendukung di dalamnya dapat diketahui keandalannya. Sebagai pemain baru di industri otomotif Indonesia, produk Wuling membutuhkan kepercayaan dari konsumen Indonesia. Salah satu strategi yang dapat

digunakan untuk membangun kepercayaan konsumennya adalah meningkatkan mutu dari sistem pemeliharaannya, khususnya di lini body shop.

Body kendaraan adalah salah satu faktor yang menjadi penentu konsumen dalam memilih dan melakukan pembelian produk otomotif. Hal ini tentu saja menjadi pertimbangan produsen untuk menciptakan kendaraan dengan body sebaik mungkin sesuai kebutuhan konsumen. Mutu produk yang baik, tentu saja tergantung dari kemampuan perusahaan dalam memelihara peralatan dan fasilitas produksi yang digunakan.

BAB 2

SISTEM PEMELIHARAAN

Pemeliharaan atau yang lebih dikenal dengan perawatan mempunyai beragam definisi, antara lain (Fajar Kurniawan, 2013):

- a. Suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau memperbaikinya sampai suatu kondisi yang bisa diterima.
- b. Suatu penentuan pekerjaan, cara, bahan, alat, mesin dan karyawan pada saat dan waktu yang diperlukan.

Tujuan Pemeliharaan

Tujuan utama dari kegiatan pemeliharaan fasilitas produksi adalah sebagai berikut:

- a. Mencegah terjadinya kerusakan yang terjadi pada suatu mesin atau komponen.
- b. Memperpanjang umur mesin atau komponen.
- c. Mengurangi terjadinya down time akibat kerusakan fasilitas produksi, mesin dan komponen penunjang lainnya akibat kerusakan secara tiba-tiba.
- d. Menjaga mesin dan komponennya dapat berfungsi dengan baik.
- e. Tercapainya keselamatan baik para pekerja (teknisi) dan semua personil yang terlibat karena adanya inspeksi yang berkala.

Konsep dasar teori manajemen berlaku bagi seluruh bagian dalam semua jenis organisasi. Terutama dipemeliharaan, faktor lokal memainkan peran penting dalam organisasi dan bagaimana hal itu dapat diharapkan berfungsi.

- a. Jenis operasi. Pemeliharaan mungkin dominan di satu area gedung, peralatan mesin, peralatan proses, pemipaan, atau elemen listrik dan ini akan mempengaruhi karakter organisasi dan pengawasan yang diperlukan.
- b. Kontinuitas operasi. Apakah operasi adalah 5 hari, satu shift atau, katakanlah, 7 hari, tiga shift membuat perbedaan besar dalam bagaimana departemen teknik pemeliharaan harus terstruktur dan dalam jumlah personel yang akan diikuti sertakan.
- c. Situasi geografis. Pemeliharaan yang bekerja di pabrik kompak akan berbeda dari yang di satu yang tersebar melalui beberapa bangunan dan di area yang luas. Yang terakhir sering mengarah ke area toko dan lapisan tambahan pengawasan menengah di pusat-pusat lokal.
- d. Ukuran pabrik. Seperti pertimbangan geografis di atas, ukuran pabrik yang sebenarnya akan menentukan jumlah karyawan pemeliharaan yang dibutuhkan dan jumlah pengawasan untuk jumlah ini. Banyak lebih banyak subdivisi di lini dan staf dapat dibenarkan, karena overhead ini dapat didistribusikan atas lebih banyak departemen.
- e. Ruang lingkup departemen pemeliharaan pabrik. Ruang lingkup ini

merupakan fungsi langsung dari kebijakan manajemen. Dimasukkannya tanggung jawab untuk sejumlah fungsi sekunder berarti tambahan tenaga kerja dan pengawasan.

- f. Tingkat pelatihan dan keandalan tenaga kerja. Karakteristik yang sangat bervariasi ini memiliki dampak yang kuat pada organisasi pemeliharaan karena menentukan berapa banyak pekerjaan yang dapat dilakukan dan seberapa baik dapat dipertunjukkan. Dalam industri di mana peralatan canggih mendominasi, dengan insiden keausan atau kegagalan yang tinggi, lebih banyak mekanik dan lebih banyak supervisor akan dibutuhkan. (Mobley R. Keith, 2008).

Pemeliharaan peralatan pabrik yang ada mewakili alasan fisik untuk keberadaan profesional pemeliharaan. Tanggung jawab di sini hanyalah untuk melakukan perbaikan yang diperlukan untuk mesin produksi dengan cepat dan ekonomis dan untuk mengantisipasi perbaikan ini dan menggunakan pemeliharaan preventif jika memungkinkan untuk mencegahnya. Untuk ini, staf insinyur terampil, perencana, dan teknisi yang mampu melakukan pekerjaan harus dilatih, dimotivasi, dan terus-menerus dipertahankan untuk memastikan bahwa keterampilan yang memadai tersedia untuk melakukan pemeliharaan yang efektif.

Secara tradisional, semua inspeksi dan pelumasan peralatan telah ditugaskan ke organisasi atau fungsi pemeliharaan. Sementara inspeksi yang memerlukan peralatan khusus atau pembongkaran sebagian peralatan harus dipertahankan dalam fungsi pemeliharaan, penggunaan operator terlatih atau personel produksi dalam tugas kritis ini akan memberikan lebih efektif penggunaan personel pabrik. Hal yang sama berlaku untuk pelumasan. Karena kedekatannya dengan sistem produksi, operator cocok untuk tugas pelumasan rutin. (Mobley R. Keith, 2008).

Kategori Pemeliharaan

Pemeliharaan dikelompokkan menjadi (Benyamin S. Blanchard, et al, 1995:15):

- a. *Corrective Maintenance*. Corrective maintenance termasuk dalam kegiatan pemeliharaan tidak terjadwal yang disebabkan oleh kerusakan dari sebuah sistem ataupun komponen yang bertujuan untuk mengembalikan sistem atau komponen tersebut ke fungsi aslinya. Corrective maintenance dapat terjadi karena adanya indikasi kerusakan yang tidak terdeteksi pada periode sebelumnya.
- b. *Preventive Maintenance*. Jenis pemeliharaan ini mencakup semua kegiatan pemeliharaan terjadwal yang bertujuan agar sistem, mesin maupun komponen dapat berjalan dengan baik. Pemeliharaan terjadwal meliputi periodic inspection, condition monitoring, penggantian komponen (sebelum terjadinya kerusakan), kalibrasi dan lain sebagainya. Servicing (pengisian oli, bahan bakar, hidrolik) juga

- merupakan bagian dari pemeliharaan. berjadwal.
- c. *Predictive Maintenance*. Predictive maintenance sering dikenal sebagai condition monitoring preventive maintenance program yang mengarah menggunakan metode yang digunakan untuk mengetahui status komponen dan memprediksi kerusakan komponen.
 - d. *Maintenance Prevention*. Istilah tersebut lebih dikenal sebagai “Total Productive Maintenance (TPM)”.TPM bertujuan untuk meminimalisir terjadinya *downtime* sehingga dapat meningkatkan produktivitas penggunaan peralatan kerja.
 - e. *Adaptive Maintenance*. Adaptive maintenance berkaitan dengan proses penggantian software komputer dan data di dalamnya.
 - f. *Perfective Maintenance*. Istilah perfective maintenance berkaitan dengan penggantian software komputer untuk menambah performa.

Setiap keputusan berhubungan dengan penyebab kegagalan kasus per kasus. Solusi yang kita pilih harus secara teknis mampu mengatasi kegagalan penyebab, dan mereka harus layak dilakukan dari perspektif biaya atau risikomitigasi. Ini berarti bahwa tugas tersebut harus mampu menangani karakteristik kegagalan itu sendiri dan bahwa tugas tersebut harus mengurangi risiko atau biaya konsekuensi kegagalan ke tingkat yang dapat ditoleransi. Strategi pemeliharaan berulang adalah tugas yang dilakukan secara berulang, biasanya pada frekuensi tetap atau interval tugas. Hal tersebut dilakukan oleh pengelola atau operator yang sesuai. Strategi berulang meliputi pemeliharaan prediktif, preventif, dan detektif.(Jesús R.Sifonte et al, 2017)

Di masa lalu, pelaksanaan pemeliharaan preventif dianggap sebagai kegiatan yang tidak menambah nilai pada proses industri, namun, saat ini, pemeliharaan preventif merupakan persyaratan khusus untuk meningkatkan siklus hidup mesin dan peralatan yang digunakan dalam industri. (Singh et al. 2013 dalam Díaz-Reza et al, 2019:53).

Reliability

Reliability atau keandalan yaitu keadaan di mana suatu sistem, mesin maupun komponen dapat bekerja secara memuaskan dalam suatu periode waktu tertentu jika digunakan sesuai kondisi operasi standar (*specified operating conditions*) pada lingkungan tertentu dengan tanpa terjadinya kegagalan atau kerusakan. (Marco Gobetto:2013)

Reliability atau keandalan adalah pendekatan statistik untuk menggambarkan ketergantungan dan kemampuan suatu sistem atau komponen berfungsi di bawah kondisi yang ditentukan untuk jangka waktu tertentu dengan adanya ketidakpastian. (Tongdan Jin: 2018, 1)

Reliability atau keandalan adalah probabilitas suatu komponen atau sistem untuk melakukan fungsi yang ditentukan dalam periode waktu tertentu di bawah kondisi yang dirancang untuk beroperasi. (<https://environment-indonesia.com/>)

Reliability digunakan untuk menentukan kemungkinan beroperasinya suatu sistem, mesin maupun komponen tanpa terjadi kerusakan dengan pengoperasian secara terus menerus sesuai dengan fungsinya. Selain itu keandalan menjadi indikator kondisi suatu sistem, mesin maupun komponen. Kondisi tersebut dapat berupa positif ataupun negatif.

Mesin atau sistem manufaktur tertentu dapat dianggap sepenuhnya andal ketika mampu menjalankan fungsinya sendiri secara konsisten dan dengan carakoheren dengan penggunaannya yang ditetapkan selama waktu yang diperlukan untuk proyek tertentu. (Marco Gobetto:2013)

Tingkat keandalan tergantung pada faktor-faktor berikut:

- a. Keandalan Fungsional Intrinsik, ditentukan oleh kualitas dan ketahanan proyek, komponen dan kualitas sistem dalam perakitan. Teknik yang digunakan untuk tujuan ini adalah desain yang kuat, analisis FMEA, simulasi proses transformasi (selama fase desain), teknik pengujian fungsional komponen dan sistem (selama tahap konstruksi dan uji coba).
- b. Keandalan Durasi, terkait dengan penggunaan suku cadang mekanis dan mekatronik dan faktor kelelahan. Teknik yang digunakan untuk membangun dan memperpanjang umur komponen dasarnya didasarkan pada pilihan yang tepat dari bahan dan tes perhitungan, melalui metodologi CAD-CAE dan penerapan solusi standar, diuji dengan hasil positif.
- c. Keandalan Pemanfaatan dan Pemeliharaan, ditentukan oleh penggunaan yang benar dari "sistem" dan efektivitas proses pemeliharaan. Penting untuk mempertimbangkan bahwa operasi produktif menyebabkan risiko kegagalan. Suatu metodologi pemeliharaan diperlukan untuk membantu meningkatkan faktor keandalan tersebut.

Faktor Reliability

Reliability didefinisikan sebagai kemungkinan sistem atau komponen dapat melakukan fungsinya dengan baik pada periode tertentu dan pada kondisi tertentu. Frekuensi kegiatan pemeliharaan terhadap sistem atau komponen akan berdampak pada keandalan suatu sistem atau komponen tersebut. Secara umum keandalan sistem atau komponen berbanding terbalik dengan frekuensi kegiatan pemeliharaan perbaikan. Fungsi reliability dapat dituliskan dengan rumus berikut:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}} = e^{-\lambda t}$$

Sehingga $R(t) = e^{-\lambda t}$

Dimana :

R = Nilai Keandalan

λ = *Failure Rate*

t = Waktu Operasi (1000 Jam)

e = Nilai exponential (2,718)

Tabel 2.1 Referensi Penyusutan, Kondisi dan Sisa Umur Ekonomis

Penyusutan	Kondisi	Sisa Umur Ekonomis
Baru		
0% - 5%	Belum pernah digunakan, kondisi prima	95% - 100%
Sangat Baik		
6% - 15%	Seperti baru, baru dipakai sebentar, belum memerlukan penggantian suku cadang atau perbaikan	85% - 94%
Baik		
16% - 35%	Telah dipergunakan dan pernah dilakukan perbaikan, kondisi prima	65% - 84%
Wajar		
36% - 60%	Telah dipergunakan dan pernah dilakukan perbaikan, masih memerlukan beberapa perbaikan serta penggantian suku cadang minor seperti seal, bearing dan sebagainya.	40% - 64%
Cukup		
61% - 80%	Telah dipergunakan dan pernah dilakukan perbaikan, masih memerlukan beberapa perbaikan serta penggantian suku cadang penting seperti motor penggerak, poros dan komponen penting lainnya.	20% - 39%
Buruk		
81% - 95%	Telah dipergunakan dan pernah dilakukan perbaikan, masih memerlukan cukup banyak serta penggantian komponen penting seperti poros utama, komponen dari struktur utama	5% - 19%
Sangat Buruk (Scrap)		
96% - 100%	Dalam keadaan rusak, tidak dapat dipergunakan dan diperbaiki lagi	0% - 4%

Failure Rate

Failure rate (λ) adalah frekuensi kerusakan atau laju kerusakan yang terjadi pada interval waktu tertentu. Reliability komponen mempunyai keterkaitan dengan failure rate dimana *failure rate* atau laju kerusakan akan mempengaruhi performa dan efisiensi sebuah komponen. Failure rate bersifat dinamis dan akan terus berubah berdasarkan waktu (detik, menit, jam, hari, minggu, bulan dan tahun). Rumus *failure rate* (λ) adalah :

$$\lambda = \frac{\text{Jumlah Kerusakan}}{\text{Jumlah Waktu Operasi}}$$

Mean Time To Repair (MTTR)

Mean time to repair (MTTR) adalah ukuran dasar dari kemampuan perawatan barang yang dapat diperbaiki. Ini mewakili waktu rata-rata yang diperlukan untuk memperbaiki komponen atau perangkat yang gagal. MTTR dinyatakan secara matematis, ini adalah total waktu pemeliharaan korektif untuk kegagalan dibagi dengan jumlah total tindakan pemeliharaan korektif untuk kegagalan selama periode waktu tertentu. Biasanya tidak termasuk waktu tunggu untuk suku cadang yang tidak tersedia.

MTTR dimaksudkan sebagai ukuran waktu rata-rata antara titik di mana

kegagalan pertama kali ditemukan sampai titik di mana peralatan kembali beroperasi.

$$MTTR = \frac{\sum TTR}{n}$$

Mean Time Between Failure (MTBF)

Faktor perhitungan reliability dapat dihitung menggunakan *Mean Time Between Failure* (MTBF). MTBF yaitu waktu rata-rata terjadinya kerusakan pada suatu komponen. Istilah MTBF mempunyai arti waktu peralatan atau komponen yang dimulai dari komponen tersebut beroperasi hingga terjadi kerusakan. Semakin tinggi nilai MTBF suatu komponen maka semakin tinggi nilai keandalannya. Perhitungan MTBF dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

dimana :

$\lambda = \text{Failure Rate}$

Mean Time Between Maintenance (MTBM)

MTBM sebagai dasar perhitungan dari frekuensi perawatan. Reliability dan maintainability sebagai parameter dalam penentuan MTBM. MTBM adalah rata-rata waktu operasi antara suatu kegiatan pemeliharaan dengan kegiatan pemeliharaan lainnya untuk memperbaiki suatu sistem atau komponen. Pengukuran reliability dengan mempertimbangkan kebijakan pemeliharaan yang merupakan total jumlah operasi komponen selama periode tertentu dibagi dengan jumlah kejadian kegiatan pemeliharaan baik pemeliharaan berjadwal ataupun tidak berjadwal yang dilakukan pada komponen tersebut. MTBM diperoleh dari perhitungan rumus sebagai berikut:

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_u} + \frac{1}{MTBM_s}}$$

di mana :

MTBM_u = *Mean Time Between Unscheduled (Corrective) Maintenance*

MTBM_s = *Mean Time Between Scheduled (Preventive) Maintenance*

BAB 3

RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE

Reliability Centered Maintenance adalah kerangka kerja terstruktur dan proses logis darimengoptimalkan sumber daya pemeliharaan untuk aset fisik dalam konteks operasinya. Reliability Centered Maintenance difokuskan pada pemeliharaan fungsi sistem, bukan pemeliharaanaset fisik. Reliability Centered Maintenance menganalisis fungsi, potensi kegagalan darisuku cadang dan ini adalah langkah tujuh tinjauan yang meminta untuk mengevaluasi keandalan, dengan manajemen risiko.

Reliability Centered Maintenance atau sering dikenal dengan istilah RCM merupakan metode pemeliharaan dengan memanfaatkan informasi yang berkenaan dengan keandalan suatu fasilitas dengan bertujuan mencapai strategi perawatan yang efektif, efisien dan mudah dalam pelaksanaannya.

Dengan metode RCM sebuah fasilitas produksi dapat mengembangkan dan memilih alternatif desain pemeliharaan berdasarkan kriteria keselamatan operasional yang menjadi tugas utama divisi engineering di departemen maintenance. Melalui metode ini dapat diperoleh informasi apa saja yang harus dilakukan untuk menjamin pesawat, engine dan komponen lainnya dapat beroperasi dengan baik.

Kriteria Evaluasi untuk Proses *Reliability-Centered Maintenance* (RCM) menurut SAE JA1011 menjelaskan lima kemungkinan strategi pemeliharaan yangharus diterapkan untuk mengurangi konsekuensi dari setiap kegagalan yang ada: (Sifonte Jesús R.et al, 2017:30-31)

- a. *Condition-based maintenance tasks* (tugas pemeliharaan berbasis kondisi). Tugas ini ditujukan untukmendeteksi potensi kegagalan. Deteksi seperti itu harus terjadi cukup dinisehingga tindakan korektif dapat diambil sebelum kehilangan fungsi.
- b. *Scheduled overhaul tasks* (tugas perbaikan terjadwal). Tugas perbaikan berbasis waktu harus dilakukan keluar berdasarkan masa manfaat komponen: yaitu, waktu di dimana tingkat kegagalan komponen tidak lagi konstan. Secara teoretis, pada akhir masa manfaat, tingkat kegagalan komponen meningkatmelebihi tingkat yang bisa kita toleransi.
- c. *Scheduled replacement tasks* (tugas penggantian terjadwal). Pembuangan dan penggantian terjadwal tugas dipertimbangkan ketika terbukti bahwa mengganti lebih hemat biaya daripada merombak item. Disarankan untuk melaksanakan penggantian tersebut pada akhir umur ekonominya.
- d. *Failure finding tasks* (tugas menemukan kegagalan). Tugas ini dimaksudkan untuk mendeteksi kegagalan tersembunyi yang sering dikaitkan dengan perangkat pelindung atau redundan komponen. Kita harus memastikan bahwa secara fisik memungkinkan untuk melakukan

tugas menemukan kegagalan yang direkomendasikan dan frekuensi tugas yang disarankan dapat diterima oleh pemilik aset.

- e. *Redesign tasks* (tugas mendesain ulang). Terkadang, waktu, kondisi, atau kegagalan yang tepat menemukan tugas untuk mode kegagalan kritis tidak dapat ditemukan. Kemudian, mungkin menjadi penting bahwa modifikasi (juga disebut perubahan satu kali) adalah diterapkan untuk mengatasi konsekuensi kegagalan dengan benar.

Tujuan Metode RCM

- a. Menentukan program pemeliharaan yang optimal dengan risiko dan dampak yang lebih rendah untuk kegagalan
- b. Untuk upaya pemeliharaan yang optimal dengan cara fokus pada peralatan fungsi kritis di sistem dan menghindari upaya tindakan pemeliharaan tidak perlu atau tidak lagi efektif
- c. Meningkatkan tugas pemeliharaan yang mengacu pada riwayat kegagalan atau perbaikan

Langkah-langkah Metode RCM

- a. Pemilihan sistem dan pengumpulan informasi. Dalam salah satu fase ini akan pemilihan terhadap sistem yang ada sehingga sistem yang berada di bawahulasanya tidak terlalu luas.
- b. Jelaskan sistemnya. Menjelaskan sistem dimaksudkan untuk menjaga tumpang tindih antara satusistem dengan sistem lain
- c. Sistem penjelasan dan fungsi diagram blok. Sistem studi diuraikan dalamdetail dari yang dijelaskan dalam fungsi diagram blok. Pada tahap ini juga akan dikembangkansistem rincian kerja struktur dari suatu sistem penelitian.
- d. Analisis FMEA. Tahap awal penyusunan analisis FMEA hanya suplemenperalatan matriks dan kegagalan fungsi. Matriks ini dibuat dengan daftar gabungan SWBS dengan informasi kegagalan fungsi. Di FMEA akan dilakukanperhitungan nilai *Risk Priority Number*(RPN) berdasarkan nilai keparahan,kejadian, dan deteksi
- e. LTA. Penyusunan LTA ini bertujuan untuk mendapatkan prioritas dalam setiapmode kegagalan totalnya dan tinjau implementasi dan fungsinya sampaistatus laporan kerusakan atau cedera bukan mode yang sama
- f. Pemilihan tindakan. Pemilihan tindakan yang merupakan tahap terakhir dalamproses RCM. Proses ini akan menentukan tindakan yang sesuai untuk jenis kerusakan pada tertentu.

Tingkat Ketersediaan (*Availability*)

Untuk sistem yang dapat diperbaiki, ketersediaan umumnya dianggap sebagai rasio waktu operasi yang sebenarnya, dengan waktu operasi yang dijadwalkan, tidak termasuk pencegahan atau pemeliharaan yang direncanakan. Karena ketersediaan mewakili kemungkinan suatu sistem berada dalam keadaan yang dapat dioperasikan bila diperlukan, pada

dasarnya memiliki konotasi yang sama, dari sudut pandang analisis kuantitatif, sebagai keandalan sistem yang tidak dapat diperbaiki. Perbedaannya, bagaimanapun, adalah bahwa keandalan adalah ukuran dari sistem atau peralatan kinerja fungsional tunduk pada kegagalan, sedangkan ketersediaan tunduk pada keduanya kegagalan dan perbaikan (atau restorasi). (Rudolph Frederick Stapelberg, 2009: 302)

Parameter availability merupakan proporsi dari waktu peralatan yang sebenarnya tersedia untuk melakukan suatu pekerjaan dengan waktu yang ditargetkan seharusnya tersedia untuk melakukan suatu pekerjaan. Availability (A) dipengaruhi oleh dua nilai yaitu operating time dan loading time. Availability dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = \frac{\text{Operating Time}}{\text{Loading Time}} = \frac{\text{Loading Time} - \text{Down Time}}{\text{Loading Time}}$$

$$= \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Analisis Biaya Pemeliharaan

Analisis biaya pemeliharaan dapat dihitung melalui perhitungan biaya pemeliharaan berdasarkan interval waktu pemeliharaan. Sehingga manajemen dapat mengetahui biaya terendah dan tertinggi pada suatu periode pemeliharaan tertentu. Perhitungan tersebut dilakukan untuk pengambilan keputusan preventive maintenance dengan kerusakan yang terendah. Waktu pemeliharaan yang optimal antara kegiatan penggantian preventive maintenance dapat diketahui dengan menentukan interval waktu yang mempunyai biaya terendah. Apabila interval waktu telah diperoleh, maka biaya pemeliharaan paling rendah dapat diketahui. (Rahman,2001)

Biaya penggantian suatu komponen dapat ditentukan berdasarkan pertimbangan berikut :

- a. Jumlah komponen yang diperlukan.
- b. Harga per 1 item komponen.

Biaya penggantian kerusakan dapat ditentukan berdasarkan pertimbangan berikut :

- a. Biaya yang dikeluarkan pada saat mesin berhenti produksi dalam kondisi rusak maka perusahaan akan tetap membayar operator mesin tersebut.
- b. Biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan dengan membayar teknisi pada saat mesin mengalami kerusakan.
- c. Biaya kehilangan kesempatan (*opportunity cost*) dimana biaya pada saat mesin berada dalam kondisi rusak maka perusahaan kehilangan kesempatan memperoleh keuntungan sesuai dengan yang direncanakan.

Biaya penggantian komponen – komponen terhadap kondisi tertentu dapat diasumsikan lebih rendah daripada biaya untuk penggantian kerusakan. Dengan adanya perhitungan biaya, maka dapat diketahui jumlah biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan berdasarkan interval waktu.

BAB 4

PENELITIAN-PENELITIAN SISTEM PEMELIHARAAN

Beberapa penelitian yang relevan dengan sistem pemeliharaan dan hal-hal yang terkait diuraikan sebagai berikut:

- a. **Periodic flexible maintenance planning in a single machine production environment, Mehdi Iranpoor and Ghomi S. M. T. Fatemi Journal of Industrial Engineering International, Springer, 2019.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa tujuan penelitian ini adalah meminimalkan perkiraan total biaya pemeliharaan korektif dan preventif, kelayakan yang tidak diinginkan (yaitu, ketidakpastian) dalam waktu pemeliharaan, dan keterlambatan dan tanggal jatuh tempo yang lama dari biaya pekerjaan. Dua variasi diskrit kontinu campuran dari algoritma optimasi koloni semut dan algoritma optimasi gerombolan partikel dikembangkan sebagai pendekatan solusi. Studi numerik digunakan untuk membandingkan kinerja algoritma ini. Selanjutnya, pengurangan rata-rata dari total biaya diperoleh dari fleksibilitas interval perawatan pada berbagai parameter dilaporkan.

- b. **Adaptive Policy Of Bufer Allocation And Preventive Maintenance, Actions In Unreliable Production Lines, Paolo Renna, Journal of Industrial Engineering International, Springer. 2019.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa Penelitian ini mengusulkan kontrol dinamis tingkat buffer dan interval antara dua tindakan pencegahan berturut-turut. Himpunan parameter kebijakan yang diusulkan memungkinkan memilih pengurangan biaya atau kenaikan tingkat throughput. Model simulasi dikembangkan untuk menguji model yang diusulkan untuk solusi yang diusulkan dalam literatur. Kebijakan yang diusulkan mengarah pada hasil yang lebih baik dalam hal pengurangan biaya total tingkat produksi yang tinggi, sedangkan desain tingkat bufer tetap bekerja lebih baik untuk tingkat produksi yang lebih rendah yang diperlukan.

- c. **JIT Single Machine Scheduling Problem With Periodic Preventive Maintenance, Mohammad Reza Shahriari, Naghi Shoja, Amir Ebrahimi Zade, Sasan Barak and Mani Sharif, Journal of Industrial Engineering International, Springer. 2016.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa Artikel ini menyelidiki mesin tunggal JIT masalah penjadwalan dengan pemeliharaan preventif berkala. Juga untuk menjaga kualitas produk, ada pembatasan jumlah maksimum pekerjaan yang diizinkan di setiap periode. Bilangan bulat campuran dua

tujuan yang diusulkan model meminimalkan keterlambatan total dan keterlambatan awal serentak. Karena kompleksitas komputasi masalahnya, optimasi gerombolan partikel multi-tujuan (MOPSO) algoritma diimplementasikan. Juga, serta MOPSO, dua algoritma optimasi lainnya digunakan untuk membandingkan hasilnya.

- d. **Availability analysis of mechanical systems with condition-based maintenance using semi-Markov and evaluation of optimal condition monitoring interval, Girish Kumar, Vipul Jain and O. P. Gandhi, Journal of Industrial Engineering International, Springer. 2018.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa Semi-Markov Process (SMP) yang dikembangkan model diselesaikan dengan menggunakan pendekatan analitis dua tahap untuk analisis ketersediaan kondisi mapan dari sistem. Juga, CBM interval diputuskan untuk memaksimalkan ketersediaan sistem menggunakan pendekatan Algoritma Genetika. Kontribusi utama makalah ini dalam bentuk alat prediksi untuk sistem ketersediaan yang akan membantu dalam memutuskan CBM yang optimal aturan. Metodologi yang diusulkan ditunjukkan untuk pompa sentrifugal.

- e. **Reliability and Availability Models of Belt Drive Systems Considering Failure Dependence, Peng Gao, Liyang Xie, and Jun Pan, Chinese Journal of Mechanical Engineering, Springer. 2019.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa Hasil dari model yang diusulkan dan dari simulasi Monte Carlo menunjukkan konsistensi. Selanjutnya, studi kasus menunjukkan bahwa ketergantungan kegagalan, pemeliharaan yang tidak sempurna dan inkonsistensi skala waktu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap ketersediaan sistem. Asumsi independensi tentang sistem penggerak sabuk menghasilkan perkiraan yang terlalu rendah dari kedua keandalan dan ketersediaan. Selain itu, pengabaian inkonsistensi skala waktu menyebabkan meremehkan ketersediaan sistem. Sementara itu, pengaruh ini menunjukkan karakteristik tergantung waktu yang jelas.

- f. **Maintenance Performance Evaluation of an RCM Implementation: A Functional Oriented Case Study, Supriyanto H, Kurniati N, dan Supriyanto MFR, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. 2021.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa konsep RCM yang disajikan dalam makalah ini menghasilkan kualitas yang lebih baik, menawarkan keunggulan kompetitif. Dengan penerapan RCM, memilih peralatan kritis menggunakan FMEA adalah mungkin. Keterlibatan operator untuk Program RCM menunjukkan peningkatan kontrol dan persyaratan operasional peralatan. RCM adalah metodologi terbukti yang berhasil mencapai perusahaan sasaran.

- g. Perancangan Aktivitas Perawatan pada Conveyor System Batu Bara dengan Metode Risk Based Maintenance (RBM) dan Reliability Centered Maintenance II (Studi Kasus: PLTU Tenayan Raya), Giffari Farouk, dan Prasetyawan Yudha, Jurnal Teknik ITS Vol. 9, No. 2, ISSN: 2337-3539, Surabaya. 2020.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa Terdapat 10 komponen yang menjadi objek amatan dalam conveyor system. Untuk komponen belt memerlukan perawatan scheduled restoration task dengan interval perawatan 8 hari berdasarkan hasil simulasi untuk 1 tahun mendatang dengan dasar angka 80% sebagai ambang bawah nilai reliability pada komponen belt. Untuk komponen pulley memerlukan perawatan finding failure task dilakukan selama 47 hari sekali. Untuk komponen motor direkomendasikan on condition task dengan interval selama 0,5 tahun berdasarkan hasil judgmental dari maintenance engineer.

- h. Preventive Maintenance Strategies: Literature Review And Directions, Supriatna Ade, Singgih Moses L., Kurniati Nani, and Widodo Erwin, 2016, The 7th International Conference on Operations and Supply Chain Management, Phuket Thailand. 2016.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa adanya banyak pendekatan dalam menentukan kebijakan perawatan yang optimal. Klasifikasi yang diusulkan didasarkan pada kasus-kasus praktis yang disajikan dalam referensi. Diskusi tentang pemikiran komprehensif dalam strategi Preventive Maintenance (PM) juga dielaborasi. Berdasarkan sepengetahuan penulis, ada makalah yang membahas masalah kami sebelumnya. Fitur ini, membuat makalah ini berbeda dari yang lain. Makalah ini menawarkan wawasan baru yang berguna bagi kedua akademisi dan praktisi di bidang PM.

- i. Preventive Maintenance Policy on Leasing by Considering The Usage Rate. Moh. Jufriyanto, Kurniati Nani and Supriatna Ade, MATEC Web of Conferences 204, 02016 IMIEC. 2018**

Penelitian ini menjelaskan bahwa perbaikan minimal dilakukan untuk memperbaiki peralatan yang gagal untuk kembali ke kondisi operasional, sementara pemeliharaan preventif yang tidak sempurna untuk meningkatkan kondisi operasional peralatan untuk menghindari kegagalan. Durasi waktu untuk perbaikan minimum ditelantarkan. Lessor akan membebankan penalti (penalty cost) jika sewa kegagalan peralatan. Model matematika yang dibangun untuk meminimalkan biaya kebijakan pemeliharaan. Di bagian akhir, eksperimen numerik diberikan untuk menunjukkan kebijakan pemeliharaan dengan

mempertimbangkan tingkat penggunaan dengan mengetahui minimalisasi biaya yang dihasilkan.

- j. Materials Used in Automotive Manufacture and Material Selection Using Ashby Charts, Fentahun Mekonnen Asmare and Savaş Mahmut Ahsen, International Journal of Materials Engineering, 8(3): 40-54. 2018.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa Komposit yang diperkuat serat menawarkan berbagai keuntungan bagi industri otomotif. Itu karena komposit struktur adalah kekuatan tinggi / rasio berat rendah. Penggunaan plastik ringan dan material komposit dalam otomotif industri telah meningkat dalam beberapa tahun terakhir karena tuntutan legislatif dan konsumen untuk bobot yang lebih ringan, hemat bahan bakar kendaraan. Salah satu metode untuk memilih material terbaik untuk aplikasi otomotif adalah dengan menggunakan bagan pemilihan material, yang memberikan indeks kinerja bahan yang sesuai dengan persyaratan dan kondisi untuk aplikasi tertentu.

- k. The Application of Reliability Centered Maintenance (RCM) Methods to Design Maintenance System in Manufacturing (Journal Review), Zulaikha Sajaradj, Listiani Nurul Huda dan Sukaria Sinulingga, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019.**

Penelitian ini menjelaskan pemanfaatan Reliability Centered Maintenance, ini adalah pendekatan yang terstruktur untuk menentukan jenis tahapan pemeliharaan serta optimal. Hal ini dilakukan melalui analisis terperinci dari FMEA. Meskipun tujuan utama dari Reliability Centered Pemeliharaan adalah untuk menentukan biaya pemeliharaan, hasil dari analisis juga dapat digunakan dalam kaitannya dengan prioritas dibesarkan dalam ketaatan yang memperbaiki, proyek karena mereka menganggap suku cadang mobil, pertimbangannya menjadi fakta batas logistik alami dan juga memiliki kepentingan peran dalam sistem manajemen.

- l. Proposed maintenance policy using reliability centered maintenance (RCM) method with FMECA analysis: A case study of automotive industry, Harits Dzulyadain, Endang Budiasih, Fransiskus Tatas Dwi Atmaji, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021.**

Penelitian ini menjelaskan bahwa PT XYZ merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri otomotif, khususnya pada industri sepeda motor yang memproduksi suku cadang pada sepeda motor. Salah satu komponen buatan PT XYZ adalah Guide Comp Level K1AA. Masalah di perusahaan adalah salah satu mesin untuk menghasilkan Panduan Comp Level K1AA komponen, yaitu mesin Press yang memiliki frekuensi kegagalan yang tinggi. Itu Mesin press itu sendiri

terdiri dari sistem kelistrikan dan mekanik yang masing-masing sistem terdiri dari subsistem sekuensial sebanyak 6 subsistem dan 10 subsistem. Dengan menggunakan matriks risiko, diperoleh dua subsistem kritis yaitu rem dan pemicu. Kemudian analisis mode kegagalan, efek dan analisis kekritisitas (FMECA) dilakukan dengan output berupa angka prioritas risiko (RPN), diperoleh bahwa subsistem kritis yang dipilih adalah rem. Menggunakan keandalan metode pemeliharaan terpusat (RCM), maka diperoleh kebijakan pemeliharaan untuk subsistem kritis rem adalah 2 tugas kondisi terjadwal dengan interval waktu adalah 2,55 bulan dan 2 tugas restorasi terjadwal dengan 5.394 bulan. yang diusulkan kebijakan pemeliharaan juga menurunkan total biaya pemeliharaan untuk kritis rem subsistem hingga 25% dari biaya perawatan yang ada.

m. A Case Study Maintenance Task Allocation Analysis on Marine Loading Arm Using Reliability Centered Maintenance, Siswantoro Nurhadi, Muhammad Badrus Zaman, Feizar Fahreza, Dwi Priyanta, Trika Pitana, Hari Prastowo, Adhitya Wicaksana, Haris Nur Fauzi, 2021, 6th International Conference on Marine Technology (SENTA), IOP Publishing, 2021.

Penelitian ini menjelaskan bahwa marine loading arm (MLA) mendukung semua bongkar muat curah cair terutama kegiatan impor bahan baku kimia seperti NH_3 , H_2SO_4 , dan H_3PO_4 . Oleh karena itu, untuk meminimalisir terjadinya kegagalan maka perlu adanya suatu metode pengobatan. Reliability Centered Maintenance (RCM) adalah metode perawatan yang berfokus pada peningkatan keandalan komponen dalam sistem. RCM menggunakan prinsip manajemen risiko untuk menentukan tugas dan jadwal pemeliharaan dengan tepat. Proses RCM diimplementasikan menggunakan Pedoman American Bureau Shipping (ABS). Menurut hasil penelitian ini, ada tiga jenis tugas pemeliharaan untuk MLA, di mana kategori A memiliki 14 pemeliharaan tugas, kategori B memiliki 21 tugas pemeliharaan, dan tidak ada tugas pemeliharaan dalam kategori C. Di semua kategori pemeliharaan untuk Pemeliharaan Pencegahan sebesar 54% dengan 19 tugas, untuk Kondisi Monitoring sebesar 37% dengan 13 tugas, sedangkan untuk Run-To-Failure sebesar 9% dengan 3 tugas.

n. Design of Automobile Rapid Maintenance Based on Digital Maintenance Assistant System, Cong Luo, Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing, 2020.

Perbaikan cepat mobil mengacu pada kegiatan pemeliharaan mobil dan perbaikan kecil, tetapi bukan perbaikan kendaraan, perbaikan perakitan mobil dan perawatan sekunder. Lingkup layanan terkunci dalam 120 item perbaikan dan pemeliharaan cepat yang dapat diselesaikan dalam waktu 2 jam. Pada Saat ini, jumlah kendaraan bermotor di negara kita sangat

besar, dan jumlah perusahaan pemeliharaan tidak dapat memenuhi permintaan pemeliharaan, sehingga potensi pasar perbaikan mobil cepat tidak terbatas. Sebagai bisnis utama industri perbaikan cepat, perbaikan cepat mobil semakin diperhatikan oleh orang-orang. Aplikasi dari mode manajemen digital dan kasus pemeliharaan menciptakan kondisi yang baik untuk pengembangan perusahaan perbaikan cepat, dan memungkinkan perusahaan perbaikan cepat untuk mengadopsi metode pemeliharaan yang wajar. Makalah ini berfokus pada kekacauan di manajemen pemeliharaan, Atas dasar penelitian dan analisis mobil sistem manajemen pemeliharaan dan konsep manajemen digital, mengambil pelanggan permintaan sebagai titik awal, makalah ini merancang perawatan mobil digital sistem tambahan khusus untuk perusahaan perbaikan mobil cepat untuk membantu manajer dalam manajemen pemeliharaan, sehingga mencapai tujuan manajemen standar bisnis "cepat dan wajar" pemeliharaan, dan meningkatkan kepuasan pelanggan.

o. Preventive Maintenance Scheduling for Shifter Machine in Flour Mills, Wahyukaton, ISIEM 12 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing. 2020.

Hasil penelitian menjelaskan bahwa PT. Indofood Sukses Makmur Tbk, Divisi Bogasari Flour Mills adalah salah satu makanan terbesar pabrik terutama untuk memproduksi tepung. Pada divisi pabrik tepung terigu ini memiliki beberapa mesin yaitu : terdiri dari beberapa komponen, sehingga divisi maintenance harus menjaga semua mesin dalam performa yang baik. Pabrik memiliki tiga mesin shifter yang terdiri dari: 3 komponen kritis yaitu motor, bearing, dan shifter dan mengalami 133 kerusakan dalam 6 bulan terakhir di tahun 2019. Pemeliharaan dilakukan dengan menentukan Nilai Mean Time to Failure (MTTF) dan dilakukan pemeliharaan preventif. Perhitungannya Hasil penelitian menunjukkan untuk 3 komponen kritis motor memiliki interval waktu penggantian sebesar 781 jam (hari ke-98) dengan nilai availability 0.99914, bearing memiliki interval waktu penggantian sebesar 994 jam (hari ke 124) dengan nilai ketersediaan 0,999255, dan shifter memiliki interval penggantian waktu 575 jam (hari ke-72) dengan nilai availability 0,998729.

BAB 5

INDUSTRI OTOMOTIF

Perubahan kunci dalam strategi industri, dari satu sisi, adalah evolusi kondisi pasar dan penggunaan kendaraan dan, dari sisi lain, ketersediaan teknologi baru, dan pembatasan keselamatan dan lingkungan. Kompetisi antara pesaing mengarah pada kecepatan perkembangan yang berbeda pada waktu.

Model kerjasama antara produsen akhir dan menengah disusun dalam profil strategis yang berbeda, berdasarkan kebutuhan industri makro (Marco Gobetto, 2014):

- a. Model Jerman mempromosikan pemasok lokal menjadi pemimpin kegiatan penelitian dan pengembangan dan memprioritaskan penerapan inovasi bagi pembuat mobil Jerman (misalnya, aliansi strategis inovasi antara Bosch dan Mercedes);
- b. Model Jepang memimpin pembuat mobil yang mendukung rantai pasokan sebagai pemilik kemampuan penelitian dan pengembangan tingkat pertama dan menghubungkan mereka melalui modal perusahaan sebagai partisipasi investasi (misalnya, Toyota mengendalikan Denso) bukannya mempromosikan dana tanpa tingkat bunga apa pun;
- c. Model Amerika, secara komersial lebih terbuka dan berorientasi pada memperoleh hasil ekonomis yang maksimal dalam waktu singkat, membuat para pembuat mobil memilih rantai pasokan yang berkonsentrasi pada pemasok independen dengan pasar dan terlibat dalam mengembangkan sistem produksi di seluruh dunia serta mendesentralisasikan proses padat karya ke negara-negara dengan biaya produksi yang rendah.

Ada empat tahapan dalam proses produksi mobil di pabrik kendaraan beroda empat. Keempatnya adalah *press shop*, *body shop*, *paint shop*, dan *general assembly*.

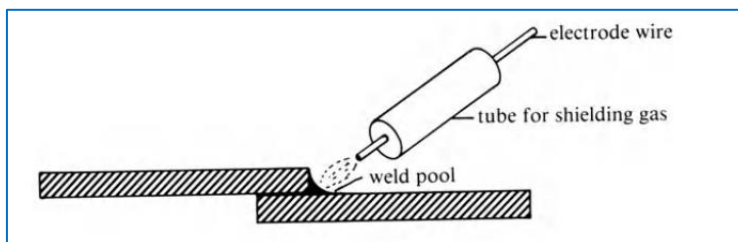
- a. *Press shop* adalah tahap paling awal. Pada tahap ini, gulungan baja dicetak menjadi bagian-bagian pada mobil, dari mulai pintu, atap, hingga kap mesin. Setelah diolah, baja-baja yang sudah dibentuk tadi dikirim ke *body shop* untuk dirakit menjadi bentuk mobil yang utuh.
- b. *Body shop* adalah proses perakitan dengan menggabungkan tenaga manusia dan robot. Setelah stamping baru kita masuk ke proses building. Building sudah jadi dalam bentuk mobil semua. Setelah bentuk mobil secara utuh jadi, proses selanjutnya adalah *paint shop*.
- c. *Paint shop*. Di sini mobil akan dicat menggunakan warna khusus. *Paint shop* merupakan tahap paling sulit. Sebab pengerjaannya perlu kehati-hatian. Tujuannya agar warna yang ditempelkan di body mobil memiliki

- tingkat kecerahan yang akurat. Karena debu kecil saja bisa berdampak. Jadi harus dipastikan tidak ada debu sama sekali yang melekat di body. Setelah dicat, barulah kemudian mobil dibawa ke general assembly.
- d. *General Assembly*. Di sini, mobil mulai dipasang semua kelengkapan kendaraan, baik sisi interior dari mulai dasbor, kursi dan AC, sisi eksterior seperti wiper, ban, dan lampu; hingga mesin beserta transmisinya. Mesin dipasang paling akhir. Jika semua tahap sudah dilalui, mobil akan dites lebih dulu di trek pengujian. Trek pengujian terdiri dari berbagai kondisi lintasan, dari mulai lurus, bergelombang hingga yang tergenang air. Usai dites, mobil akan masuk kembali di pabrik untuk dicek ulang. Jika ada bagian yang belum sesuai, maka mobil akan diperbaiki lebih dulu.

Jenis Pengelasan pada Body Mobil

- a. **Pengelasan titik**. Pengelasan titik bodi mobil adalah penggunaan robot industri yang paling terkenal, terutama karena industri motor lebih banyak dilihat publik daripada kebanyakan. Garis las titik dengan hujan bunga api dan sejumlah besar robot lebih spektakuler daripada robot tunggal yang membongkar mesin die-casting. Dalam pengelasan titik, yang hanya berguna untuk logam dengan resistif sedang seperti baja ringan, dalam lembaran tipis, dua bagian yang akan disambung dijepit di antara elektroda tembaga dan arus yang cukup dilewatkan melalui titik kontak untuk memanaskan baja hingga titik leleh dengan hambatan Pemanasan. Daya AC dapat digunakan, dan biasanya digunakan selama 1/5 detik. Kepala las membutuhkan kabel tebal dan selang pendingin dan dapat menimbang sebanyak 100 kg (kecuali didukung, seperti senjata las yang dioperasikan secara manual), jadi diperlukan robot yang kuat. Sebagian besar waktu dihabiskan untuk bergerak di antara lasan, jadi itu harus cukup cepat. Akurasi tidak perlu ekstrim: beberapa milimeter mungkin cukup baik
- b. **Pengelasan Busur**. Pengelasan busur yang berlaku untuk robotika umumnya menggunakan teknik Metal Inert Gas (MIG) yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Busur dipukul antara benda kerja dan kawat logam pengisi yang perlahan diperpanjang saat dikonsumsi. Itu dikelilingi oleh tabung di mana argon atau helium dihembuskan untuk melindungi area lasan dari oksigen dan nitrogen di atmosfer, yang keduanya dapat bergabung dengan logam las pada suhu busur. Pengelasan busur dapat digunakan dengan berbagai macam logam termasuk paduan aluminium dan baja tahan karat. Kondisi busur tipikal adalah 100 A pada 20 V dan celah beberapa milimeter. Dalam pengelasan busur elektroda sering terombang-ambing di sudut kanan ke jahitan atau dipindahkan dalam lingkaran kecil; ini disebut tenun dan diperlukan untuk membuat lasan dengan lebar yang memadai. Juga, beberapa lintasan dapat dibuat di sepanjang jahitan untuk menambah ketebalan lasan. Oleh karena itu robot las memiliki fasilitas untuk menenun dan banyak lintasan. Ini dapat menjadi fungsi kontrol, atau menenun dapat dilakukan dengan obor las

berosilasi. Sambungan melingkar harus sering dilas, jadi perangkat lunak untuk ini juga disediakan. Alternatifnya adalah memasang benda kerja pada meja pemosisian putar dan memutarkannya saat mengelas. Metal inert gas (MIG), juga disebut sebagai gas metal arc welding (GMAW), adalah proses pengelasan busur di mana elektroda kawat padat terus menerus diumpangkan melalui pistol las dan ke dalam kolam las untuk menggabungkan keduanya. bahan dasar bersama-sama. Gas pelindung juga dikirim melalui pistol las untuk melindungi kolam las dari kontaminasi. Tungsten inert gas (TIG), juga disebut gas tungsten arc welding (GTAW), adalah proses pengelasan busur yang menggunakan elektroda tungsten yang tidak dapat dikonsumsi untuk membuat lasan. Daerah yang dilas dan elektroda dilindungi dari oksidasi atau penurunan kadar atmosfer lainnya oleh gas pelindung inert (argon atau helium). Biasanya, logam pengisi juga digunakan, meskipun beberapa lasan, yang disebut sebagai las autogenous, tidak memerlukannya. Ketika helium digunakan, ini dikenal sebagai pengelasan heliarc.



Gambar 5.1 Susunan Dasar untuk Pengelasan Busur.

- c. **Pengelasan Laser.** Pengelasan laser seringkali merupakan proses yang mahal karena peralatan yang dibutuhkan. Untuk banyak aplikasi, melakukan operasi secara manual tidak mungkin dilakukan, dan robot memberikan solusi yang lebih fleksibel dan cekatan daripada bentuk otomatisasi lainnya. Dua masalah utama muncul berkaitan dengan aplikasi pengelasan laser. Pertama, presentasi bagian sangat penting. Pemasangan bagian harus tepat, dengan celah minimal antara bagian yang akan dilas. Jika tidak, laserproses tidak akan berhasil beroperasi. Ini membutuhkan bagian input yang sangat dapat diulang dengan pemasangan yang sesuai untuk memastikan celah minimal. Kedua, laser harus diumpangkan ke pergelangan tangan robot dengan cara yang tidak membahayakan kinerja robot tetapi juga mencapai umpan laser yang andal. Hal ini sering dicapai melalui paket laser khusus yang dirancang agar sesuai dengan lengan robot tertentu. Ada juga robot laser yang dikembangkan untuk menyediakan umpan yang terintegrasi di dalam lengan robot, tetapi ini cenderung sangat mahal, sebagian karena desainnya tetapi juga karena saat ini diproduksi dalam volume rendah. (Mike Wilson, 2015:76-80)

Tahap Produksi Otomotif

Pabrik mengadopsi sistem satu line produksi, yaitu proses pembuatan mobil tipe tertentu. Press Shop merupakan ruangan pertama dimana material yang masih berbentuk lempengan besi dicetak hingga membentuk komponen seperti pintu, sasis, rantai, hingga atap mobil. Pabrik ini memiliki empat alat cetak bertekanan tinggi dan memiliki berat mulai 1.000 ton sampai 2.000 ton. Fungsi dari masing-masing alat tersebut berbeda-beda. Ada yang hanya membentuk lempengan, sampai membuat lubang pada lempengan yang sudah dicetak.

Setelah dicetak, lempengan besi yang sudah berbentuk itu dipindahkan ke ruang selanjutnya yaitu lini body shop. Tetapi sebelum masuk dilakukan pemeriksaan terlebih dahulu menggunakan metode random dengan mengambil satu sampel saja, tidak semuanya menjalani pemeriksaan.

Jika pada sampel tersebut ditemukan masalah seperti tergores dan lainnya, maka semua lempengan baja tidak bisa masuk ke tahap selanjutnya. Usai pengecekan, komponen yang masih terpisah seperti pintu, sasis, rantai dan sebagainya disatukan dengan menggunakan alat khusus sampai membentuk sebuah rangkaian bodi mobil yang utuh. Usai disatukan, rangkaian bodi mobil itu kembali menjalani pemeriksaan dan pembersihan sebelum masuk ke tahap berikutnya yaitu lini paint shop.

Di ruangan tersebut mobil akan dicelupkan ke cairan khusus anti karat, kemudian dikeringkan menggunakan oven berukuran besar. Setelah itu baru dilakukan pengecatan seluruh body luar mobil dengan warna yang sudah ditentukan. Paint Shop merupakan ruangan yang steril.

Setelah melalui proses pengecatan, mobil masuk ke ruangan berikutnya yaitu *general assembly*. Bisa dikatakan ruangan ini merupakan tahap akhir pembuatan mobil. Semua komponen dan fitur mulai dari mesin, kaca, kabel-kabel, dashboard, jok, dan perangkat elektronik lainnya dipasang di ruangan ini. Usai semua peralatan, baik itu yang ada di eksterior maupun interior dipasang, proses selanjutnya adalah pemeriksaan secara menyeluruh mulai dari bodi hingga fungsi dari peralatan yang telah dipasang.

Selanjutnya masuk ke proses tes performa mesin mobil atau *dyno test*. Kemudian tes kebocoran dengan menyiramkan air berkekuatan tinggi ke semua bagian luar mobil. Setelah semua proses dilakukan, mobil kembali diperiksa untuk memastikan tidak ada masalah sedikit pun dan layak untuk dikirim ke dealer resmi Wuling.

Berhubung baru menggunakan satu model dalam satu line produksi, maka jumlah unit yang dihasilkan masih terbilang sedikit. Dalam satu hari sebanyak 117 mobil lahir. Perusahaan memberlakukan satu shift atau delapan jam kerja. Memungkinkan adanya penambahan shift jika permintaan terhadap mobil mengalami peningkatan.

Proses Standar Pembuatan Mobil. Proses membuat kendaraan di Indonesia dilakukan melalui urutan bertahap. Peralatan modern berbasis komputer, seperti general welder dan automatic spray machine, kini sudah menjadi standar yang diterapkan pabrikan. General welder adalah sistem

pengelasan titik pada bodi mobil secara otomatis dengan tingkat akurasi tinggi. Begitu pula dengan peralatan automatic spray machine yang mampu melakukan pengecatan secara otomatis.

Urutan pembuatan mobil diawali dengan tahapan welding dan painting. Lini produksi pertama adalah proses welding. Dalam tahapan ini beragam body parts disatukan untuk membentuk rangka dasar kendaraan. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan teknologi general welder, sedangkan penghalusan bodi memakai alat khusus.

Selesai tahap tersebut, proses selanjutnya adalah pengecatan bodi. Setelah keluar dari bagian welding, bodi dilapisi dengan coating dasar antikorosi melalui 12 tahap treatment. Setelah itu, proses berlanjut dengan pelapisan bodi memakai bahan sealer dan PVC. Bodi pun dipanaskan pada temperatur teratur agar lapisan itu melekat kuat.

Keluar dari proses pelapisan, bodi dicat dalam ruang tertentu sehingga tidak tercemar debu. Automatic spray machine akan beroperasi secara bertahap, mulai dari proses primary coat, base coat, diakhiri dengan clear coat. Semua proses ini ditujukan untuk meningkatkan kualitas produk bodi agar tidak mudah rusak.

Proses pembuatan mobil tahap kedua adalah melakukan assembling. Pada bodi kendaraan yang sudah jadi ditambahkan komponen lainnya sehingga menjadi kendaraan utuh. Seluruh lini assembling ini dikontrol melalui program komputer, menggunakan sistem ban berjalan.

Tahapan kerja *assembling* dimulai dari routing, yaitu tahap instalasi kabel-kabel, pipa-pipa, lampu, spion, dan peralatan elektronik lainnya. Kemudian dilanjutkan dengan proses interior, berupa pemasangan bagian roof ceiling, pedal bracket, pillar garnish, dan bagian lainnya. Setelah selesai, proses berikutnya adalah pemasangan tangki bahan bakar, suspensi, pipa pembuangan, engine assy, dan ban.

Komponen eksterior menempati urutan terakhir pada proses perakitan kendaraan. Di dalamnya termasuk pemasangan kaca depan, kaca belakang, emblem, bumper, door trim, rem tangan, dan lain-lain.

Kendaraan yang sudah berbentuk utuh ini, kemudian diisi dengan coolant radiator, freon AC, oli *power steering*, dan cairan penting lainnya, termasuk bahan bakar. Ini diperlukan karena kendaraan akan diuji kelayakannya.

Selesai di tahap perakitan, proses beralih ke kontrol kualitas terpadu. Tahapan ini berfungsi untuk menjamin kesempurnaan. Setelah itu, kendaraan dibawa ke tempat road test course untuk uji kelayakan jalan. Di sini, kendaraan diuji untuk melewati berbagai kondisi jalan.

Proses pengujian kelayakan kendaraan diakhiri dengan water leak test. Seluruh bodi kendaraan disiram air selama lima menit. Kendaraan yang sudah lulus inspeksi akan dibawa menuju tempat pengiriman untuk dihantarkan ke dealer mobil.

Proses fabrikasi mobil, secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. **Perencanaan.** Perencanaan sebuah mobil baru dimulai 3 sampai dengan 4 tahun sebelumnya. Di sini ditentukan jenis mobil apa yang akan diproduksi, serta diteliti saat peluncurannya nanti model apa yang sedang trend. Jadi gaya hidup masa depan juga dipertimbangkan
- b. **Desain, Planning, dan Proses Pembuatan Prototype.** Proses pendesainan dan perencanaan dilakukan dengan hati-hati. Setelah proses investigasi produk apa yang akan dikeluarkan selesai, dimulailah proses pembuatan sket-sket mobil. Proses ini dicek dan rick secara berulang-ulang untuk menghasilkan sket yang terbaik. Dipertimbangkan pula desain bagian luar (bentuk), warna, interior, material yang akan dipakai, serta *lay out* part yang berbeda-beda.
- c. **Pemilihan Beberapa Desain Mobil.** Desain mobil divisualisasikan secara 3D di komputer. Dari beberapa model ini, dipilih satu jenis model saja yang akan diproduksi. Selanjutnya di komputer, dirancang detail interior dan eksterior, bagian-bagian untuk fungsi utama seperti sistem kemudi, pengereman, dan mesin.
- d. **Numerous Test.** Kemudian dilanjutkan pembuatan prototype mobil berdasar design yang telah ditentukan tadi. Prototype ini selanjutnya dites beberapa kali meliputi : crosswind test, break performance test, low temperature test, radio wave effects test, wet road test, dan terakhir tes di kondisi daerah di penjuru dunia. Banyak inovasi dilakukan produsen untuk menghasilkan kendaraan dengan cepat dan harga yang murah. Untuk itu, layout/tata letak per proses menjadi kunci penting dalam proses produksi untuk mempercepat aliran dari proses 1 ke proses berikutnya. Berikut adalah contoh layout dalam proses produksi kendaraan.
- e. **Press Shop (Stamping).** Untuk membuat body part per partnya digunakan alat yang disebut die (cetakan) dan dipress dengan mesin press yang tekanannya puluhan hingga ribuan Ton. Panel / part body dibuat dari material dengan ukuran dan ketebalan berbeda-beda, semula material ini berbentuk gulungan kemudian dipotong-potong dengan mesin shearing dipress di die dengan mesin press dan dicek kualitasnya untuk mendapatkan hasil terbaik. Part yang dihasilkan oleh proses stamping memerlukan proses yang bervariasi, tergantung dari dimensi, bentuk dan bagaimana part akan digunakan. Beberapa part memerlukan banyak sekali proses tergantung dari bagaimana part tersebut akan digunakan dan diaplikasikan saat proses perakitan menjadi suatu produk. Part dengan bentuk rumit dalam perencanaan pembuatannya pada beberapa kesempatan akan memerlukan dies yang berbeda tergantung dari beberapa faktor yang menentukan.



Gambar 5.2 Lini Press Shop Pabrik Mobil

- f. **Body Shop (Welding).** Part hasil proses stamping digabungkan dengan cara dilas. Kebanyakan proses pengelasan dikerjakan dengan robot, walaupun ada juga part yang dilas secara manual. Body Shop dirancang untuk menyatukan seluruh komponen rangka dan bodi dengan proses welding yang akurat. Untuk menyatukan beragam komponen, di Body Shop digunakan proses welding dengan pengukuran 3-dimensi melalui *Coordinate Measuring Machine (CMM)*. Pembuatan body kendaraan dimulai dengan pembentukan beberapa jenis sub assy panel sampai menjadi panel utuh. Pembentukan dilakukan dengan menggunakan peralatan welding gun dengan metode las titik (*spot welding*), las brazing (*oxy-acetilene*), las argon dan las CO₂, selain itu terdapat pula proses hamming (pelipatan sisi plat untuk jenis pintu).



Gambar 5.3 Lini Body Shop Pabrik Mobil

- g. **Paint Shop (Pengecatan).** Dari proses pengelasan, body mobil diteruskan ke proses pengecatan yang meliputi : pengecatan dasar (*undercoat*) di mana body dicelupkan ke dalam cairan cat dan diproses secara elektrolisa untuk menghasilkan cat yang rata. lapisan ini berfungsi untuk mencegah karat. Pelapisan kedua di

mana robot menyemprotkan cat berwarna abu-abu (*grey*) untuk menjaga cat luar tetap baik dan melapisi panel agar tetap halus. Pengecatan ahir (*top coat*) di mana pengecatan dilakukan oleh robot dari segala arah untuk menghasilkan warna ahir kendaraan yang diinginkan.



Gambar 5.4 Lini Paint Shop Pabrik Mobil

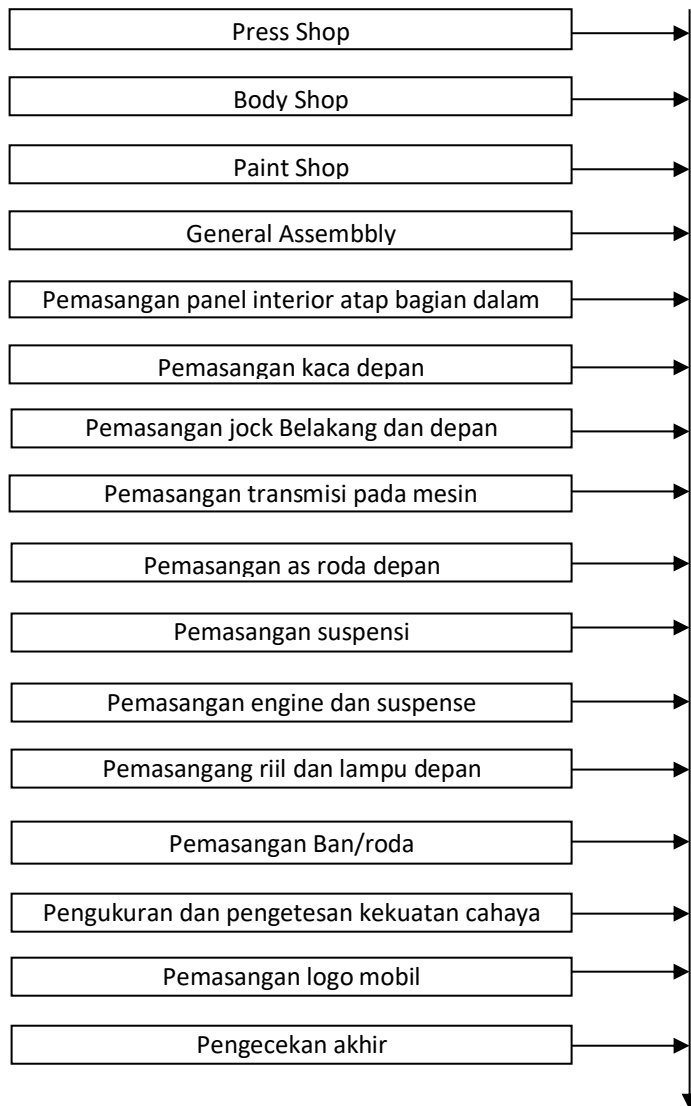
- h. **Pembuatan Mesin.** Blok Mesin dibuat dari campuran besi, sisa/scrap material untuk membuat body, dan aluminium yang dilelehkan/dicor dalam tungku dan dituang dalam sebuah alat cetak . Proses ini disebut casting. Mesin digunakan untuk memproses material yang dipanaskan seperti roda gigi, batang torak, dan lainnya. Proses ini disebut Forging. Blok silinder dan part-part lain seperti piston, crankshaft, dan lainnya masih harus diproses di mesin CNC untuk mendapatkan dimensi sesuai ukuran dan toleransinya. Di samping itu untuk mendapatkan hasil yang sangat halus di bagian yang saling bergesekan, masih dilakukan proses polishing. Komponen mesin yang sudah siap, selanjutnya dirakit, disetting, dan dites untuk mendapatkan mesin yang ideal. Mesin sendiri terdiri dari sekitar 550 komponen
- i. **General Assembling.** Satu buah mobil terdiri lebih dari 30.000 komponen yang saling mendukung. Komponen-komponen ini dibuat oleh produsen mobil itu sendiri atau subcount di luar mereka yang selanjutnya diassy di pabrik produsen. Proses assy dilakukan alam konveyor yang berjalan dan berhenti dengan kecepatan dan waktu yang telah ditentukan (tergantung *tact time* per proses). Karena permintaan konsumen berbeda, dalam 1 konveyor bisa terdiri beragam warna, part dan spesifikasi mobil yang berbeda.



Gambar 5.5 Lini General Assembly Pabrik Mobil

- j. **Inspeksi.** Selanjutnya mobil yang sudah jadi dilakukan proses inspeksi (lebih dari 1000 item pengecekan) untuk memastikan produk yang dihasilkan sesuai standard. Setelah dinyatakan OK, mobil siap dikirimkan ke konsumen
- k. **Pengiriman dan Penjualan.** Mobil yang sudah jadi siap untuk dikirimkan dan dijual ke konsumen.

Proses fabrikasi mobil, secara umum dapat digambarkan seperti terlihat pada gambar 5.6.



Gambar 5.6 Proses Fabrikasi Kendaraan Bermotor Roda Empat

BAB 6

PROSES PERAKITAN BODY MOBIL DI LINI BODY SHOP

Proses perakitan body mobil di lini body shop meliputi perakitan kerangka utama mobil, perakitan body bagian bawah depan dan bawah belakang, perakitan body bagian atas, perakitan atap mobil, pemasangan pintu-pintu, pemasangan penutup ruang mesin, pengecatan dasar warna putih, dan pemasangan dashboard mobil. Perakitan body mobil diuraikan seperti terlihat pada gambar 6.1.



Gambar 6.1 Proses Perakitan Body Mobil di Lini Body Shop

Peralatan Fasilitas Lini Body Shop

Peralatan body shop yang dimiliki PT SGMW Motor Indonesia antara lain Robot R2000ib (Robot Weld), Robot M200iB (Robot hand), Manual Welding Gun, Multifuntional Soldering Machine, Barcode Printer, Material Lifter, Hemming / Press machine dan lain-lain. Daftar lengkap peralatan body

shop dapat dilihat pada tabel 6.1.

Tabel 6.1 Daftar Peralatan pada Fasilitas Produksi Lini Body Shop

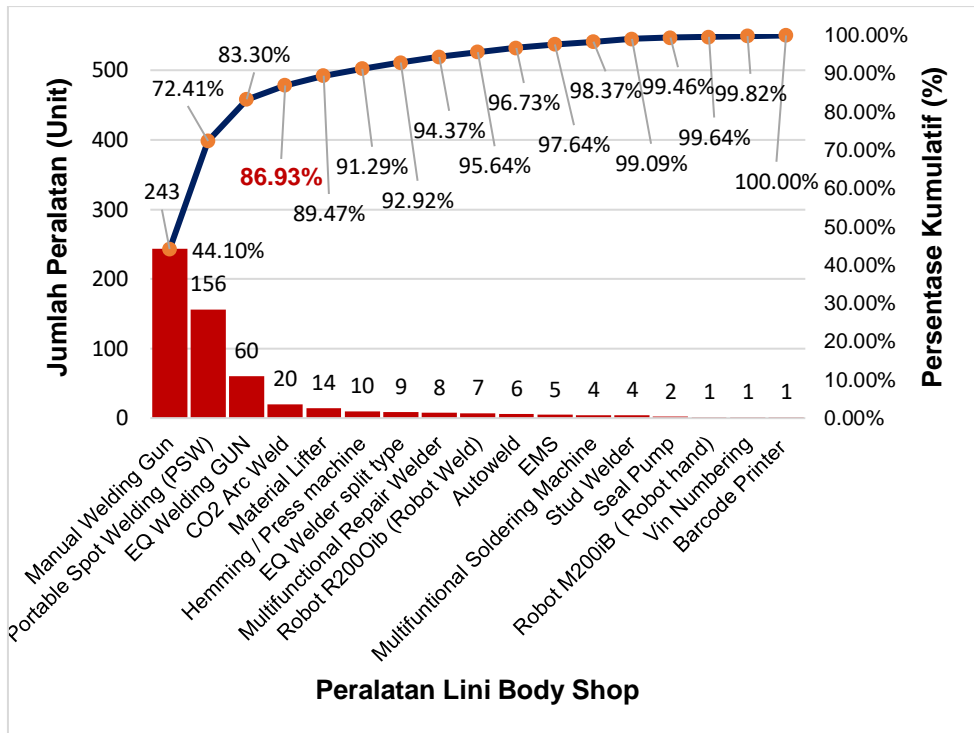
No	Item	Jumlah	Spare Part	
1	Robot R200Iib (Robot Weld)	7	1	Set
2	Robot M200iB (Robot hand)	1		Set
3	EMS	5		Set
4	Portable Spot Welding (PSW)	156		Set
5	Manual Welding Gun	243		Set
6	Multifunctional Repair Welder	8		set
7	Multifunctional Soldering Machine	4		set
8	Stud Welder	4		Set
9	Vin Numbering	1	1	Set
10	Autoweld	6		Set
11	Co2 Arc Weld	20		Set
12	EQ Welder split type	9		Set
13	EQ Welding GUN	60		Set
14	Barcode Printer	1		Set
15	Material Lifter	14		set
16	Hemming / Press machine	10		set
17	Seal Pump	2		set

Peralatan pada fasilitas produksi lini body shop meliputi 17 macam peralatan utama. Rekayasa ulang sistem pemeliharaan pada lini produksi ini akan efektif dan efisien dengan memprioritaskan peralatan dengan jumlah yang banyak dan hampir semua sub lini body shop menggunakannya. Langkah yang ditempuh untuk mendapatkan peralatan yang menjadi prioritas adalah membuat diagram pareto berdasarkan daftar peralatan yang digunakan oleh lini body shop. Diagram pareto dari peralatan tersebut seperti terlihat pada gambar 6.2.

Tabel 6.2 Peralatan pada Fasilitas Produksi Lini Body Shop Berdasarkan Jumlah, Jumlah Kumulatif dan Frekuensi Kumulatif

No	Item	Jumlah	Jumlah Kumulatif	Persentase Kumulatif
1	Manual Welding Gun	243	243	44,10%
2	Portable Spot Welding (PSW)	156	399	72,41%
3	EQ Welding Gun	60	459	83,30%
4	CO2 Arc Welding	20	479	86,93%
5	Material Lifter	14	493	89,47%
6	Hemming / Press machine	10	503	91,29%
7	EQ Welder split type	9	512	92,92%
8	Multifunctional Repair Welder	8	520	94,37%
9	Robot R2000ib (Robot Weld)	7	527	95,64%
10	Autoweld	6	533	96,73%
11	EMS	5	538	97,64%
12	Multifunctional Soldering Machine	4	542	98,37%
13	Stud Welder	4	546	99,09%
14	Seal Pump	2	548	99,46%
15	Robot M200iB (Robot hand)	1	549	99,64%
16	Vin Numbering	1	550	99,82%
17	Barcode Printer	1	551	100,00%
Jumlah		551		

Berdasarkan tabel 6.2 Peralatan pada Fasilitas Produksi Lini Body Shop Berdasarkan Jumlah, Jumlah Kumulatif dan Frekuensi Kumulatif maka dapat dibuat diagram pareto, seperti terlihat pada gambar 6.2.

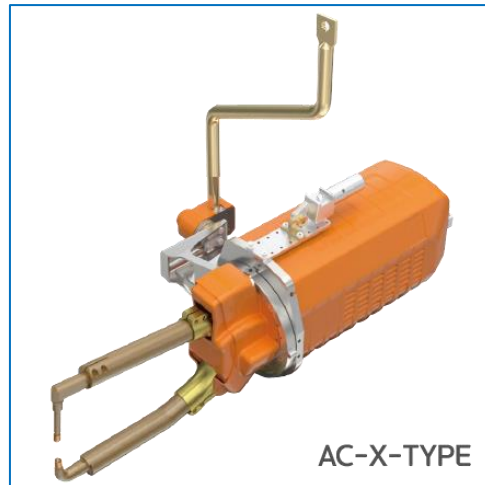


Gambar 6.2 Diagram Pareto Peralat pada Fasilitas Produksi Lini Body Shop

Berdasarkan Gambar 4.2 diagram pareto peralatan pada fasilitas produksi lini body shop, dapat jelaskan bahwa peralatan yang akan menjadi prioritas dalam pemeliharannya adalah manual welding gun, portable spot welding, EQ welding gun dan CO2 arc welding karena keempat peralatan tersebut menempati peringkat empat besar dengan jumlah kumulatif sebanyak 479 unit dari 551 unit keseluruhan atau 86,93%. Penjelasan keempat peralatan lini body shop yang menjadi prioritas pemeliharaan adalah sebagai berikut:

a. Manual Welding Gun

Manual welding gun yaitu suatu mesin yang digunakan untuk melakukan pengelasan titik di mana welding gun yang digunakan untuk melakukan pengelasan yang digerakkan secara manual.



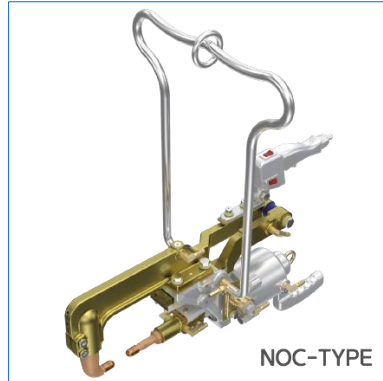
Gambar 6.3 Manual Welding Gun

Brand	: Obara
Tahun	: 2017
Name	: IT GUN (Integrated Transformer Gun)
Driving System	: Air Cylinder Way(double-acting)
Welding Force	: 600kg.f
Input Voltage	: 380V/415V/440V/480V, 50HZ/60HZ (=10%,-10%)

Ikhtisar Produk : Manual welding gun dengan transformator yang dipasang di dalam dengan fitur produk memungkinkan untuk melakukan pengelasan kelas-a pada sepertiga atau seperempat kapasitas listrik, dapat mengelas aluminium bila menggunakan trafo inverter, didesain untuk menjaga keseimbangan yang baik (naik turun / maju mundur) sehingga sangat baik dalam workability dan menggunakan bail support hanger dengan putaran 360 derajat.

b. Portable Spot Welding (PSW)

Portable spot welding yaitu suatu mesin yang digunakan untuk melakukan pengelasan titik dimana welding gun yang digunakan untuk melakukan pengelasan dapat digerakkan sehingga dapat digunakan untuk melakukan pengelasan segala posisi. Berbeda dengan stationary spot welding yang harus menggerakkan benda kerja untuk melakukan pengelasan.



Gambar 6.4 Portable Spot Welding

Brand	: Obara
Tahun	: 2017
Name	: Portable Spot Gun (PSW)
Driving System	: Air Cylinder Way
Welding Force	: 450kg.f
Input Voltage	: 380V/415V/440V/480V, 50HZ/60HZ (=10%,-10%)

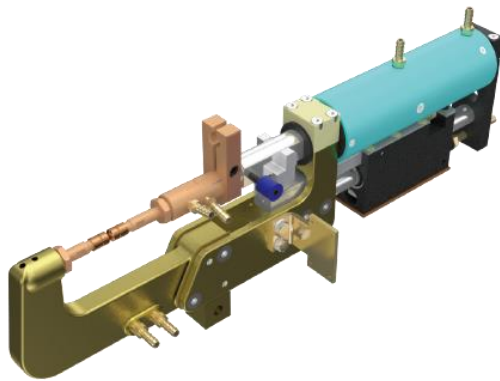
Ikhtisar Produk : Manual welding gun dengan transformator dipasang di luar dengan fitur Kecil dan ringan, meningkatkan kemampuan kerja, dan menerapkan gantungan, dapat dilepas untuk mengganti elektroda dengan jenis yang berbeda dengan mudah, ini mengurangi jumlah bagian yang digunakan dan dirancang untuk meminimalkan beratnya, dirancang untuk membuatnya menjadi beberapa jenis produk dengan merakit bagian-bagian dalam kombinasi yang berbeda.

Portable spot welding mempunyai bagian – bagian antara lain:

- 1) *Trafo*. Trafo merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi untuk menaikkan maupun untuk menurunkan tegangan. Sisi trafo yang dihubungkan dengan sumber tegangan merupakan sisi primer, sedangkan sisi yang dihubungkan dengan beban merupakan sisi sekunder. Perbandingan jumlah kumparan pada sisi primer dan sisi sekunder akan mempengaruhi besar kecilnya tegangan pada sisi sekunder.
- 2) *Kickless cable*. Kickless cable yaitu kabel yang menghubungkan dari trafo PSW ke aid cable/jumper. Arus listrik yang digunakan untuk proses pengelasan disalurkan melalui kickless cable,

sehingga peran dari *kickless cable* sangatlah penting. Sirkulasi air pada *kickless cable* perlu diperhatikan karena arus listrik yang melewati *kickless cable* sangatlah besar, jika tidak diperhatikan maka bisa mengakibatkan kerusakan.

- 3) *Aid cable/jumper* yaitu kabel yang menghubungkan dari *kickless cable* ke *welding gun*. Fungsi dari *aid cable* tidak beda jauh dari fungsi *kickless cable* yaitu sebagai media penyalur arus listrik. Sirkulasi air pada *aid cable* juga perlu diperhatikan karena digunakan untuk menghantarkan arus dalam jumlah yang besar.
 - 4) *Welding gun* terdiri dari beberapa bagian, yaitu: arm, silinder pneumatic, grip switch, tip, air filter, oil lubricator, air regulator, solenoid valve, miniatur circuit breaker (MCB), timer, program box, thyristor, current transformer, dan spring balancer.
- c. EQ Welding Gun. Suatu mesin yang digunakan untuk melakukan pengelasan titik di mana *welding gun* yang digunakan untuk melakukan pengelasan dapat digerakkan sehingga dapat digunakan untuk melakukan pengelasan segala posisi.



Gambar 6.5 Equalizing Welding Gun

Brand	: Obara
Tahun	: 2017
Name	: Equalizing Gun (Auto Gun)
Driving System	: Air Cylinder Way
Welding Force	: 350kg.f
Input Voltage	: 380V/415V/440V/480V, 50HZ/60HZ (=10%,-10%)

Ikhtisar Produk : Welding gun yang terpasang pada jig las yang dioptimalkan untuk pengelasan titik khusus dengan fitur kecil, ringan, dan strukturnya sederhana, unit elektroda yang dapat dilepas, mudah dirawat (karena aus) dan dapat diubah menjadi bentuk elektroda yang berbeda, setiap bagian

distandarisasi sehingga memungkinkan untuk memilih di antara beberapa bentuk dalam kombinasi, penggunaan yang menguntungkan secara paralel untuk lebarnya yang sempit.

- d. CO₂ Arc Welding. Suatu mesin yang digunakan untuk melakukan salah satu proses pengelasan atau penyambungan logam sejenis dengan menggunakan bahan tambahan berupa kawat gulungan dan gas pelindung dengan melalui proses pencairan. Gas pelindung yang digunakan adalah CO₂.



Gambar 6.6 CO₂ Arc Welding

Distribusi peralatan pada body shop tiap lini produksi dapat dilihat pada tabel 6.2.

Tabel 6.2 Distribusi Peralatan Body Shop Tiap Lini Produksi

No.	Item	Quantity Per Line									
		Door Line	Upper Body	Frmming	MC/ Front Body	B S	Front Floor	Rear Floor	Das h	Roo f	Body in White (BIW)
1	Robot R200Oib (Robot Weld)	-	2	5	-	-	-	-	-	-	-
2	Robot M200iB (Robot hand)	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
3	EMS	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-
4	PSW	35	16	20	12	26	8	30	6	2	-
5	Manual Welding Gun	55	22	26	22	43	8	56	9	2	-
6	Multifunctional Repair Welder	4	-	-	-	-	-	-	-	-	2
7	Multifunctional Soldering Machine	4	-	-	-	-	-	-	-	-	6
8	Stud Welder	-	-	-	-	-	1	-	1/2	2	-
9	Vin Numbering	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Autoweld	-	4	-	-	2	-	-	-	-	-
11	CO ₂ Arc Welding	8	-	-	1	2	1	1	1	-	6
12	EQ Welder split type	6	-	3	-	-	-	-	-	-	-
13	EQ Welding GUN	28	-	32	-	-	-	-	-	-	-
14	Barcode Printer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
15	Material Lifter	-	8	6	-	-	-	-	-	-	-
16	Hemming / Press machine	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	Seal Pump	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Data Waktu Kerja Perusahaan

Perusahaan menerapkan satu shift kerja dengan jam kerja reguler 8 jam dan lembur maksimal 2 jam. Rata-rata hari kerja dalam satu bulan sebanyak 25 hari.




Data Hari Kerja Perusahaan


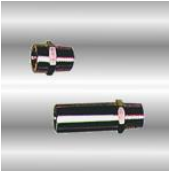


Periode data penelitian adalah Januari 2018 sampai dengan Mei 2022. Berikut ini diuraikan data hari kerja sesuai dengan data yang diperoleh dari perusahaan, seperti terlihat pada tabel 6.3.

Tabel 6.3 Data Hari Kerja Tiap Tahun dari Januari 2018 sampai dengan Mei 2022

No.	Tahun	Bulan	Jumlah Bulan	Jumlah Hari / Bulan	Hari Kerja
1	2018	Januari - Desember	12	25	300
2	2019	Januari - Desember	12	25	300
3	2020	Januari - Desember	12	25	300
4	2021	Januari - Desember	12	25	300
5	2022	Januari - Mei	5	25	125
Jumlah					1325

Tabel 6.4 Sepuluh Komponen Kritis Fasilitas Lini Body Shop

No.	Nama Komponen	Gambar	Fungsi Utama
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)		Aid cable/jumper yaitu kabel yang menghubungkan dari kickless cable ke welding gun. Fungsi dari aid cable tidak beda jauh dari fungsi kickless cable yaitu sebagai media penyalur arus listrik.
2	Joint Fitting		Penyambung
3	Welding shank		Batang mesin las

4	Spring Balancer		<p>Penyeimbang Pegas / Penyeimbang Beban / Penyeimbang Alat dirancang khusus untuk membebaskan operator dari beban perkakas tangan. Alat ini dapat ditarik ke bawah dengan sedikit tekanan, tanpa ketegangan atau kelelahan.</p>
5	Magnet Switch		<p>Pemutus arus listrik</p>
6	Electrode Adapter		<p>Bagian antara gun body dan shank, menyesuaikan panjang bagian elektroda serta melindungi body gun. Dilengkapi dengan taper atau sekrup.</p>
7	Bakelite Tube		<p>Insulator arus listrik</p>
8	Switch gun with Cable		<p>Pemutus arus listrik</p>

9	Electrode Holder		Tempat untuk menjepit Electrode.
10	Kickless Cable		Kickless cable yaitu kabel yang menghubungkan dari trafo PSW ke aid cable/jumper. Arus listrik yang digunakan untuk proses pengelasan disalurkan melalui kickless cable, sehingga peran dari kickless cable sangatlah penting.

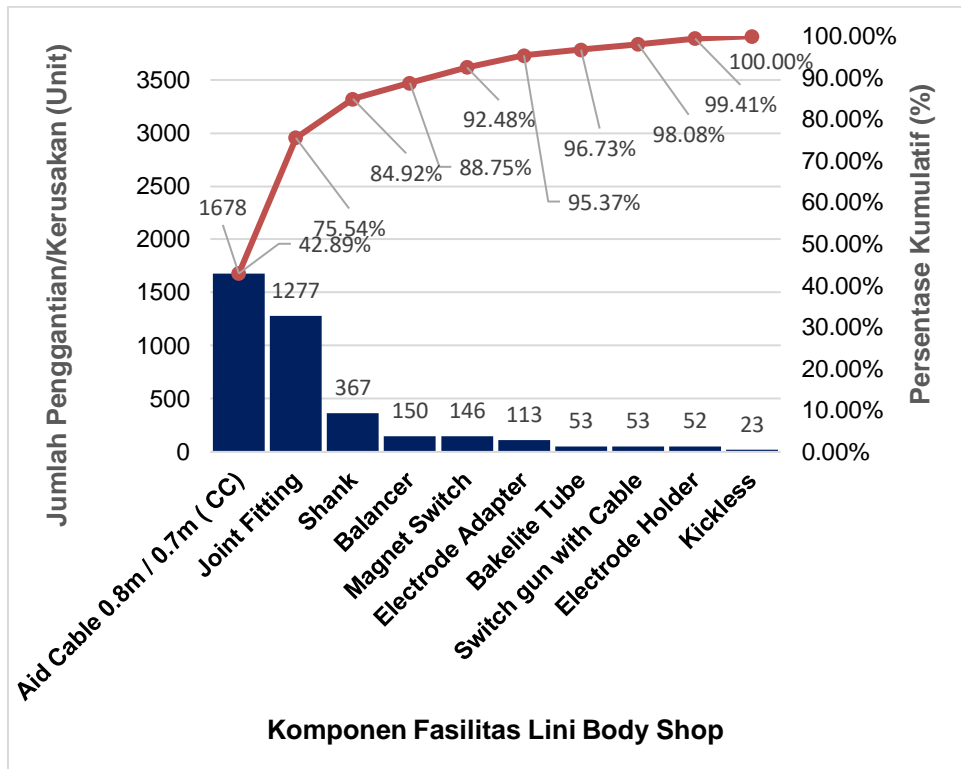
Data Frekuensi Kerusakan Komponen Fasilitas Lini Body Shop

Data frekuensi kerusakan komponen fasilitas lini body shop untuk periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022 dengan frekuensi kerusakan sepuluh terbesar diuraikan seperti terlihat pada tabel 6.5.

Tabel 6.5 Data Frekuensi Penggantian / Kerusakan Komponen Fasilitas Lini Body Shop selama Periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022

No.	Nama Komponen	Frekuensi Kerusakan	Frekuensi Kumulatif	Persentase Kumulatif	Persentase Kumulatif (%)
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)	1678	1678	0,4289	42,89
2	Joint Fitting	1277	2955	0,7554	75,54
3	Welding shank	367	3322	0,8492	84,92
4	Balancer	150	3472	0,8875	88,75
5	Magnet Switch	146	3618	0,9248	92,48
6	Electrode Adapter	113	3731	0,9537	95,37
7	Bakelite Tube	53	3784	0,9673	96,73
8	Switch gun with Cable	53	3837	0,9808	98,08
9	Electrode Holder	52	3889	0,9941	99,41
10	Kickless	23	3912	1,0000	100,00
Jumlah		3912			

Berdasarkan tabel 6.5 menunjukkan bahwa komponen pada fasilitas lini body shop yang paling sering mengalami kerusakan dan diganti adalah komponen aid cable, komponen joint fitting dan komponen welding shank dengan frekuensi penggantian secara berurutan sebesar 1678 kali, 1277 kali dan 367 kali. Frekuensi kumulatif penggantian ketiga komponen tersebut sebanyak 3322 kali atau 84,92% dari sepuluh komponen. Visualisasi dari data frekuensi penggantian / kerusakan komponen fasilitas lini body shop selama periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022 dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Diagram Pareto Frekuensi Kerusakan Komponen Fasilitas Lini Body Shop selama Periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022

Data Kerusakan Komponen Fasilitas Lini Body Shop

Fasilitas body shop terdiri atas tujuh belas macam peralatan antara lain manual welding gun, PSW, EQ welding gun, CO₂ arc welding, material lifter, press machine, dan lain-lain. Data kerusakan sehingga diperlukan penggantian komponen diprioritaskan pada komponen-komponen yang berkaitan dengan empat peralatan lini body shop yaitu manual welding gun, portable spot welding, EQ welding gun dan CO₂ arc welding. Komponen-komponen yang akan diteliti lebih lanjut adalah komponen-komponen yang masuk tiga besar seperti terlihat pada gambar 4.7. Komponen-komponen tersebut antara lain komponen aid cable 0,8m/0,7m, komponen joint fitting

dan komponen welding shank. Jumlah kumulatif kerusakan / penggantian ketiga komponen sebanyak 3322 unit dari 3912 unit atau mencapai 84,92% dari seluruh penggantian komponen. Data kerusakan ketiga komponen fasilitas body shop tersebut akan diuraikan sebagai berikut:

Data Kerusakan / Penggantian Komponen Aid Cable

Data kerusakan komponen aid cable diperoleh dari lini body shop dari seluruh bagian, di mana komponen tersebut terpasang pada manual welding gun, PSW, EQ welding gun, CO₂ arc welding dengan jumlah masing-masing sebanyak 243 unit, 156 unit, 60 unit dan 20 unit sehingga jumlah keempat peralatan sebanyak 479 unit. Data kerusakan / penggantian komponen Aid Cable 0.8m / 0.7m (cc) dijelaskan pada tabel 6.6.

**Tabel 6.6 Data Penggantian / Kerusakan Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)
Januari 2018 sampai dengan Mei 2022**

No.	Tahun	Bulan	Frekuensi
1	2018	Januari - Desember	205
2	2019	Januari - Desember	438
3	2020	Januari - Desember	235
4	2021	Januari - Desember	506
5	2022	Januari - Mei	294
Jumlah			1678

a. Data Kerusakan Joint Fitting

Data kerusakan / penggantian joint fitting diperoleh dari lini body shop dari seluruh bagian, di mana komponen tersebut terpasang pada manual welding gun, PSW, EQ welding gun, CO₂ arc welding dengan jumlah sebanyak 479 unit. Data kerusakan / penggantian komponen joint fitting dijelaskan pada tabel 6.7.

**Tabel 6.7 Data Penggantian / Kerusakan Joint Fitting
Januari 2018 sampai dengan Mei 2022**

No.	Tahun	Bulan	Frekuensi
1	2018	Januari - Desember	229
2	2019	Januari - Desember	323
3	2020	Januari - Desember	161
4	2021	Januari - Desember	417
5	2022	Januari - Mei	147
Jumlah			1277

b. Data Kerusakan Welding shank

Data kerusakan / penggantian komponen welding shank diperoleh dari lini body shop dari seluruh bagian, di mana komponen tersebut terpasang pada manual welding gun, PSW, EQ welding gun, CO₂ arc welding dengan jumlah sebanyak 479 unit. Data kerusakan / penggantian komponen welding shank dijelaskan pada tabel 4.8. Data kerusakan / penggantian kompoen welding shank dijelaskan pada tabel 6.8.

**Tabel 6.8 Data Penggantian / Kerusakan Komponen Welding shank
Januari 2018 sampai dengan Mei 2022**

No.	Tahun	Bulan	Frekuensi
1	2018	Januari - Desember	51
2	2019	Januari - Desember	123
3	2020	Januari - Desember	21
4	2021	Januari - Desember	126
5	2022	Januari - Mei	46
Jumlah			367

Data Penyebab Kerusakan Komponen pada Fasilitas Lini Body Shop

Penyebab kerusakan pada enam fasilitas body shop dijelaskan pada tabel 6.9.

**Tabel 6.9 Penyebab Penggantian / Kerusakan Komponen Peralatan
Fasilitas Lini Body Shop**

No.	Komponen	Kemungkinan Penyebab
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Broken due leakage ▪ Replace due leakage ▪ Broken ▪ Broken due life time ▪ Broken due worn out and leakage ▪ Broken due Fragile and Leakage ▪ Broken (Aid Cable over hit) ▪ Replace aid cable broken ▪ Modification
2	Joint Fitting	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Replace due leakage ▪ Broken due leakage ▪ Improvement ▪ Broken due Seal fragile and Leakage ▪ Repair
3	Welding shank	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Replace due broken ▪ Replace due leakage ▪ Welding shank worn out due life time

BAB 7

KOMPONEN KRITIS FASILITAS PRODUKSI

Komponen kritis atau komponen penting merupakan komponen dan atau sub-rakitan yang diidentifikasi selama evaluasi produk yang dianggap berdampak pada pengoperasian yang aman atau fitur keselamatan suatu produk sebagaimana ditentukan oleh standar yang diterapkan. Ini bisa menjadi komponen listrik, mekanik, atau struktural. Penentuan komponen kritis dari fasilitas produksi lini body shop diuraikan sebagai berikut:

Penentuan Komponen Kritis

Tahap pertama yang dilakukan dalam pengolahan data ini adalah penentuan komponen fasilitas body shop yang kritis. Total downtime dari masing-masing fasilitas dapat diketahui berdasarkan data penggantian / kerusakan komponen fasilitas lini body shop dari bulan Januari 2018 sampai dengan Mei 2022..

Perhitungan Mean Time To Failure (MTTR) Komponen Aid Cable

Tahap berikutnya dalam pengolahan data adalah menentukan mean time to repair dari komponen fasilitas body shop yang sering mengalami penggantian. Besarnya time to repair menunjukkan lamanya waktu saat melakukan penggantian mesin sampai dengan mesin dapat beroperasi kembali. Mean time to repair komponen aid cable diperoleh dengan cara membagi antara Jumlah time to repair dengan banyaknya sampel penggantian komponen aid cable.

$$MTTR_{aid\ cable} = \frac{\sum TTR}{n} = \frac{24.517}{30} = 0,817\ jam$$

Hasil perhitungan time to repair komponen aid cable dapat dilihat pada tabel 7.1.

Tabel 7.1 Perhitungan Time to Repair Komponen Aid Cable Berdasarkan Sampel dengan n = 30.

No.	Tanggal	Time to Repair (Jam)	No.	Tanggal	Time to Repair (Jam)
1	25 Jan 2022	0,733	16	26 Mar 2022	0,817
2	26 Jan 2022	0,817	17	28 Mar 2022	0,717
3	28 Jan 2022	0,867	18	30 Mar 2022	0,667
4	29 Jan 2022	0,933	19	6 Apr 2022	0,717
5	31 Jan 2022	0,667	20	8 Apr 2022	0,933
6	5 Feb 2022	0,783	21	11 Apr 2022	0,883
7	7 Feb 2022	0,700	22	13 Apr 2022	0,900
8	11 Feb 2022	0,683	23	14 Apr 2022	0,983
9	18 Feb 2022	0,817	24	18 Apr 2022	0,933
10	21 Feb 2022	0,683	25	18 Apr 2022	0,733
11	22 Feb 2022	0,717	26	22 Apr 2022	0,883
12	15 Mar 2022	0,733	27	9 Mei 2022	0,917
13	17 Mar 2022	0,817	28	10 Mei 2022	0,700
14	23 Mar 2022	0,967	29	11 Mei 2022	0,983
15	25 Mar 2022	0,967	30	12 Mei 2022	0,867
Jumlah					24,517
Rata-rata					0,817
Simpangan Baku					0,107

Perhitungan Mean Time To Failure (MTTR) Komponen Joint Fitting

Perhitungan time to repair komponen joint fitting dihitung dari waktu akhir kerusakan dikurangi waktu awal kerusakan.

Mean time to repair komponen joint fitting diperoleh dengan cara membagi antara Jumlah time to repair dengan banyaknya sampel penggantian komponen joint fitting.

$$MTTR_{joint\ fitting} = \frac{\sum TTR}{n} = \frac{17.533}{30} = 0,584\ jam$$

Hasil perhitungan time to repair dapat dilihat pada tabel 7.2.

Tabel 7.2 Perhitungan Time to Repair Komponen Joint Fitting Berdasarkan Sampel dengan n = 30.

No.	Tanggal	Time to Repair (Jam)	No.	Tanggal	Time to Repair (Jam)
1	2 Nop 2021	0,483	16	18 Feb 2022	0,667
2	9 Nop 2021	0,600	17	22 Feb 2022	0,567
3	19 Nop 2021	0,617	18	23 Feb 2022	0,767
4	22 Nop 2021	0,467	19	26 Feb 2022	0,667
5	1 Des 2021	0,450	20	7 Mar 2022	0,483
6	7 Des 2021	0,533	21	8 Mar 2022	0,483
7	14 Des 2021	0,600	22	15 Mar 2022	0,450
8	15 Des 2021	0,450	23	17 Mar 2022	0,467
9	17 Des 2021	0,617	24	29 Mar 2022	0,550
10	20 Des 2021	0,500	25	7 Apr 2022	0,433
11	24 Des 2021	0,717	26	12 Apr 2022	0,683
12	11 Jan 2022	0,550	27	22 Apr 2022	0,567
13	20 Jan 2022	0,783	28	10 Mei 2022	0,800
14	31 Jan 2022	0,517	29	12 Mei 2022	0,767
15	14 Feb 2022	0,650	30	23 Mei 2022	0,650
Jumlah					17,533
Rata-rata					0,584
Simpangan Baku					0,111

Perhitungan Mean Time To Failure (MTTR) Komponen Welding Shank

Perhitungan mean time to repair fasilitas komponen welding shank dihitung dari jumlah seluruh time to repair dibagi jumlah sampel penggantian komponen welding shank.

$$MTTR_{welding\ shank} = \frac{\sum TTR}{n} = \frac{15.300}{30} = 0,510\ jam$$

Hasil perhitungan time to repair komponen welding shank dapat dilihat pada tabel 7.3.

Tabel 7.3 Perhitungan Time to Repair Komponen Welding shank Berdasarkan Sampel dengan n = 30.

No.	Tanggal	Time to Repair (Jam)	No.	Tanggal	Time to Repair (Jam)
1	28 Jul 2021	0,533	16	10 Des 2021	0,533
2	2 Agust 2021	0,450	17	20 Des 2021	0,533
3	16 Agust 2021	0,417	18	22 Des 2021	0,650
4	25 Agust 2021	0,567	19	24 Des 2021	0,450
5	3 Sep 2021	0,367	20	30 Des 2021	0,683
6	6 Sep 2021	0,533	21	4 Jan 2022	0,500
7	21 Sep 2021	0,517	22	14 Jan 2022	0,683
8	26 Okt 2021	0,517	23	20 Jan 2022	0,350
9	29 Okt 2021	0,417	24	7 Mar 2022	0,650
10	2 Nop 2021	0,583	25	15 Mar 2022	0,633
11	9 Nop 2021	0,367	26	23 Mar 2022	0,350
12	19 Nop 2021	0,450	27	29 Mar 2022	0,583
13	20 Nop 2021	0,333	28	29 Mar 2022	0,500
14	4 Des 2021	0,617	29	7 Apr 2022	0,750
15	7 Des 2021	0,367	30	25 Mei 2022	0,417
Jumlah					15,300
Rata-rata					0,510
Simpangan Baku					0,115

Penentuan komponen yang kritis ditentukan dengan menghitung besarnya persentase downtime peralatan yang disebabkan oleh kerusakan masing-masing komponen fasilitas lini body shop. Besarnya down time yang disebabkan penggantian / kerusakan komponen dapat dengan cara sebagai berikut:

$$Downtime_{aid\ cable} = Frekuensi\ Kerusakan \times MTTR_{aid\ cable}$$

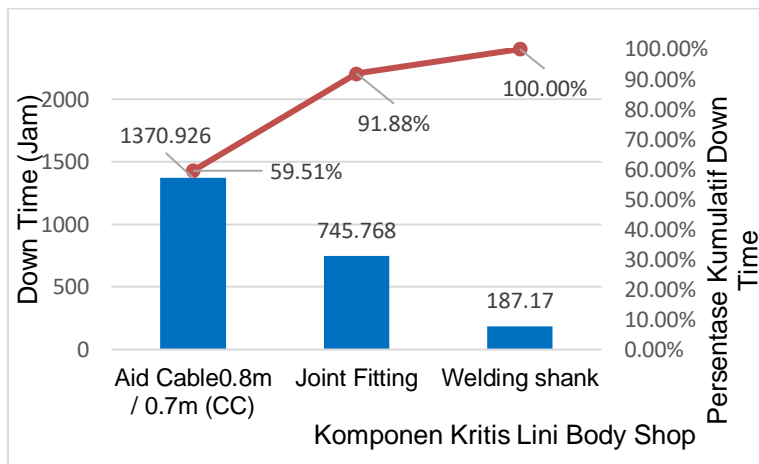
$$Downtime_{aid\ cable} = 1678 \times 0,817 = 1370,926\ jam$$

Komponen yang kritis adalah komponen fasilitas lini body shop dengan persentase downtime terbesar. Persentase downtime kerusakan komponen aid cable adalah sebesar 59,51%. Hasil perhitungan persentase downtime peralatan berdasarkan kerusakan komponen kritis pada fasilitas lini body shop dapat dilihat pada tabel 7.4

Tabel 7.4 Persentase Downtime Peralatan berdasarkan Kerusakan Komponen Kritis pada Fasilitas Lini Body Shop Periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022

No.	Nama Fasilitas	Frekuensi Kerusakan	MTTR (Jam)	Down Time (Jam)	Persentase Downtime	Persentase Downtime Kumulatif
1	Aid Cable0.8m / 0.7m (CC)	1678	0,817	1370,926	59,51%	59,51%
2	Joint Fitting	1277	0,584	745,768	32,37%	91,88%
3	Welding shank	367	0,510	187,170	8,12%	100,00%
Jumlah				2303,864	100,00%	

Berdasarkan tabel 7.4 menunjukkan bahwa downtime terbesar dari fasilitas pada lini body shop disebabkan oleh penggantian / kerusakan komponen aid cable diikuti oleh komponen joint fitting dan komponen welding shank sebesar 59,51%, 32,37% dan 8,12%. Visualisasi dari persentase downtime peralatan berdasarkan kerusakan komponen kritis pada fasilitas lini body shop periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022 dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 7.1 Diagram Pareto Down Time Komponen Kritis Body Shop

BAB 8

MEAN TIME BETWEEN FAILURE (MTBF) KOMPONEN KRITIS FASILITAS LINI BODY SHOP

Tahap setelah penentuan Persentase Downtime Peralatan berdasarkan Kerusakan Komponen Kritis pada Fasilitas Lini Body Shop adalah menentukan mean time to failure dari komponen fasilitas body shop yang kritis. Besarnya time between failure menunjukkan rentang waktu dari selesainya perbaikan kerusakan awal sampai dengan waktu terjadinya kerusakan berikutnya.

Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Aid Cable

Perhitungan mean time between failure komponen aid cable dihitung dari jumlah waktu operasi dibagi jumlah kerusakan pada periode tertentu. Jumlah waktu operasi fasilitas lini body shop diperoleh dari jumlah waktu operasi seluruh peralatan manual welding gun, portable spot welding, equalizing welding gun dan CO₂ arc welding selama periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022. Jumlah waktu operasi tahun 2018 dihitung sebagai berikut:

$$\sum \text{Waktu Operasi}_{2018} = \text{Jumlah Peralatan} \times \frac{\text{Waktu Operasi Setahun}}{\text{Peralatan}}$$

$$\sum \text{Waktu Operasi}_{2018} = (243 + 156 + 60 + 20) \times \frac{300 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 10 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}}{\text{Peralatan}}$$

$$\sum \text{Waktu Operasi}_{2018} = (479) \times \frac{3000 \frac{\text{jam/tahun}}{\text{Peralatan}}}{\text{Peralatan}} = 1.437.000 \text{ jam}$$

$$\sum \text{Waktu Operasi}_{2020} = (243 + 156 + 60 + 20) \times \frac{225 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 8 \frac{\text{jam}}{\text{hari}}}{\text{Peralatan}}$$

$$\sum \text{Waktu Operasi}_{2020} = (479) \times \frac{1800 \frac{\text{jam/tahun}}{\text{Peralatan}}}{\text{Peralatan}} = 862.200 \text{ jam}$$

Laju kerusakan (λ) pertahun dapat dihitung dengan membagi antara jumlah penggantian / kerusakan komponen dengan jumlah waktu operasi tahun tersebut atau periode tersebut. Laju kerusakan dan mean time between failure komponen aid cable tahun 2018 dihitung sebagai berikut:

$$\lambda_{2018} = \frac{\text{Jumlah Kerusakan}}{\text{Jumlah Waktu Operasi}} = \frac{205}{1437000} = 0,0001427 \text{ kerusakan/jam}$$

$$MTBF_{2018} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0001427} = 7007,7 \text{ jam}$$

Hasil perhitungan jumlah waktu operasi, laju kerusakan dan mean time between failure dapat dilihat pada tabel 8.1.

Tabel 8.1 Perhitungan Mean Time between Failure (Jam) Komponen Aid Cable Tahun 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 dan Penjualan Mobil (Unit)

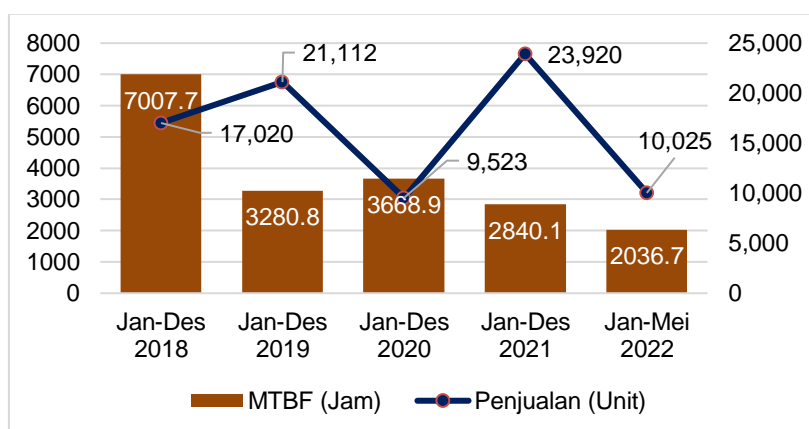
No.	Tahun	Jumlah Kerusakan	Jumlah Waktu Operasi (Jam)	Laju Kerusakan	MTBF (Jam)	Penjualan (Unit)
1	2018	205	1.437.000	0,0001427	7007,7	17.020
2	2019	438	1.437.000	0,0003048	3280,8	21.112
3	2020	235	862.200	0,0002726	3668,9	9.523
4	2021	506	1.437.000	0,0003521	2840,1	23.920
5	2022	294	598.750	0,0004910	2036,7	10.025
Total		1678	5.771.950	0,0002907	3439,8	81,600

Catatan.

Tahun 2018, 2019, dan 2021 (Januari – Desember)

Tahun 2020 (Januari – Desember) tidak termasuk Mei, Juni dan September

Tahun 2022 (Januari - Mei)



Gambar 8.1 Grafik Mean Time between Failure (Jam) Komponen Aid Cable Tahun 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 dan Penjualan Mobil (Unit)

Gambar 8.1 menunjukkan mean time between failure komponen aid cable mempunyai kecenderungan menurun. Mean time between failure kompoen aid cable tahun 2020 sebesar 3668,9 jam menunjukkan kondisi yang berbeda hal ini disebabkan adanya pandemi Covid 19 sehingga penggantian / kerusakan komponen aid cable relatif kecil sementara waktu operasional fasilitas lini body shop relatif stabil.

Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Joint Fitting

Laju kerusakan (λ) pertahun dapat dihitung dengan membagi antara jumlah penggantian / kerusakan komponen dengan jumlah waktu operasi tahun tersebut atau periode tersebut. Laju kerusakan dan mean time between failure komponen joint fitting tahun 2018 dihitung sebagai berikut:

$$\lambda_{2018} = \frac{\text{Jumlah Kerusakan}}{\text{Jumlah Waktu Operasi}} = \frac{229}{1437000} = 0,0001594 \text{ kerusakan/jam}$$

$$MTBF_{2018} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0001594} = 6273,5 \text{ jam}$$

Hasil perhitungan laju kerusakan dan mean time between failure dapat dilihat pada tabel 8.2.

Tabel 8.2 Perhitungan Mean Time between Failure (Jam) Komponen Joint Fitting Tahun 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 dan Penjualan Mobil (Unit)

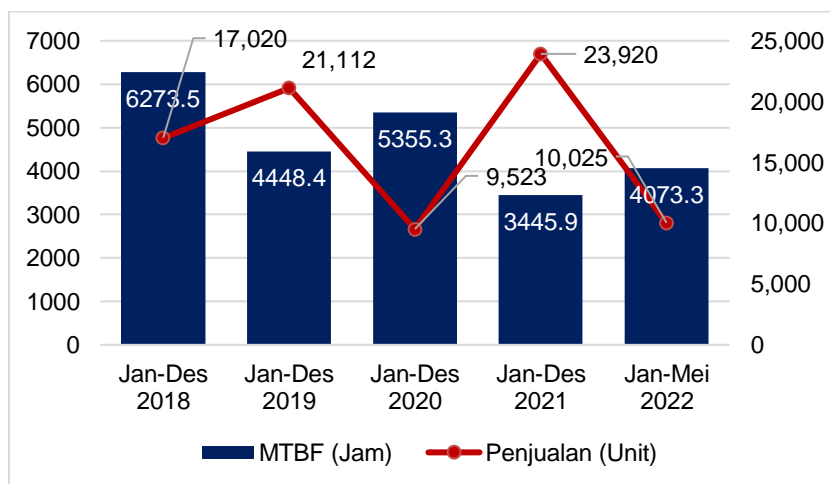
No.	Tahun	Jumlah Kerusakan	Jumlah Waktu Operasi (Jam)	Laju Kerusakan	MTBF (Jam)	Penjualan (Unit)
1	2018	229	1.437.000	0,0001594	6273,5	17.020
2	2019	323	1.437.000	0,0002248	4448,4	21.112
3	2020	161	862.200	0,0001867	5355,3	9.523
4	2021	417	1.437.000	0,0002902	3445,9	23.920
5	2022	147	598.750	0,0002455	4073,3	10.025
Total		1277	5.771.950	0,0002212	4519,9	81.600

Catatan.

Tahun 2018, 2019, dan 2021 (Januari – Desember)

Tahun 2020 (Januari – Desember) tidak termasuk Mei, Juni dan September

Tahun 2022 (Januari - Mei)



**Gambar 8.2 Grafik Mean Time between Failure (Jam)
Komponen Joint Fitting Tahun 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 dan
Penjualan Mobil (Unit)**

Gambar 8.2 menunjukkan mean time between failure komponen joint fitting mempunyai kecenderungan menurun. Mean time between failure kompoen aid cable tahun 2020 sebesar 5355,3 jam menunjukkan kondisi yang berbeda hal ini disebabkan adanya pandemi Covid 19 sehingga penggantian / kerusakan komponen joint fitting relatif kecil sementara waktu operasional fasilitas lini body shop relatif stabil. MTBF pada Januari sampai dengan Mei 2022 sebesar 4073,3 jam menunjukkan adanya kenaikan hal ini disebabkan oleh membaiknya sistem pemeliharaan di industri tersebut dengan pemanfaatan total productive maintenance (TPM) pada tahun-tahun sebelumnya.

Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF) Komponen Welding shank

Laju kerusakan (λ) pertahun dapat dihitung dengan membagi antara jumlah penggantian / kerusakan komponen dengan jumlah waktu operasi tahun tersebut atau periode tersebut. Laju kerusakan dan mean time between failure komponen welding shank tahun 2018 dihitung sebagai berikut:

$$\lambda_{2018} = \frac{\text{Jumlah Kerusakan}}{\text{Jumlah Waktu Operasi}} = \frac{51}{1437000} = 0,0000355 \text{ kerusakan/jam}$$

$$MTBF_{2018} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0,0000355} = 28.169,0 \text{ jam}$$

Hasil perhitungan laju kerusakan dan mean time between failure dapat dilihat pada tabel 8.3.

Tabel 8.3 Perhitungan Mean Time between Failure (Jam) Komponen Welding shank Tahun 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 dan Penjualan Mobil (Unit)

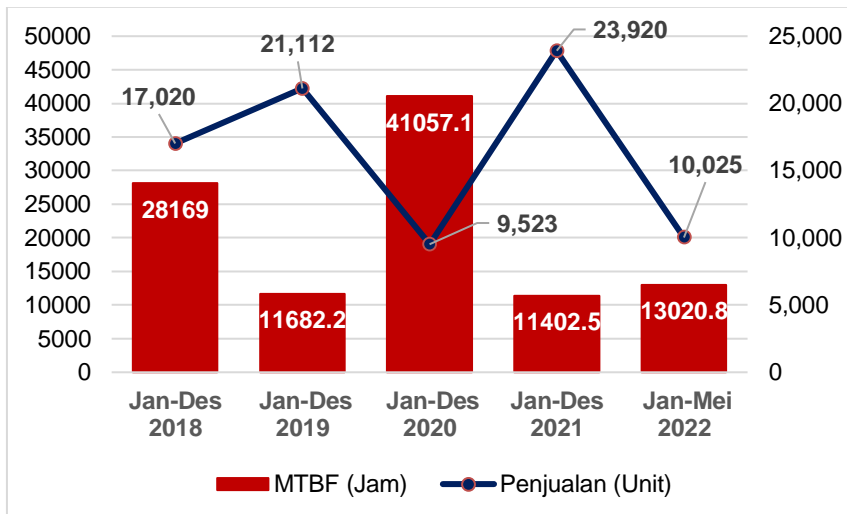
No.	Tahun	Jumlah Kerusakan	Jumlah Waktu Operasi (Jam)	Laju Kerusakan	MTBF (Jam)	Penjualan (Unit)
1	2018	51	1.437.000	0,0000355	28169,0	17.020
2	2019	123	1.437.000	0,0000856	11682,2	21.112
3	2020	21	862.200	0,0000244	41057,1	9.523
4	2021	126	1.437.000	0,0000877	11402,5	23.920
5	2022	46	598.750	0,0000768	13020,8	10.025
		367	5.771.950	0,0000636	15727,4	81.600

Catatan.

Tahun 2018, 2019, dan 2021 (Januari – Desember)

Tahun 2020 (Januari – Desember) tidak termasuk Mei, Juni dan September

Tahun 2022 (Januari - Mei)



Gambar 8.3 Grafik Mean Time between Failure (Jam) Komponen Welding Shank Tahun 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 dan Penjualan Mobil (Unit)

Gambar 8.3 menunjukkan mean time between failure komponen welding shank mempunyai kecenderungan menurun. Mean time between failure komponen welding shank tahun 2020 sebesar 41.057,1 jam menunjukkan kondisi yang berbeda hal ini disebabkan adanya pandemi Covid 19 sehingga penggantian / kerusakan komponen welding shank relatif kecil sementara waktu operasional fasilitas lini body shop relatif stabil.

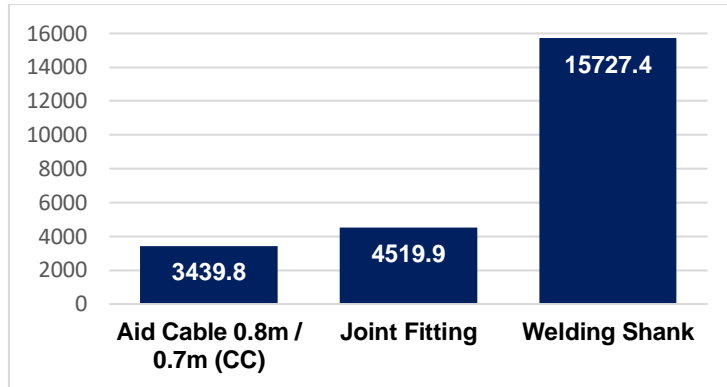
Perhitungan Keandalan

Perhitungan nilai keandalan dilakukan pada enam peralatan pada lini body shop. Untuk menghitung nilai keandalan diperlukan mean time between failure dari masing-masing peralatan. MTTR dan MTBF dari komponen kritis peralatan fasilitas lini body shop dapat dilihat pada tabel 8.4.

Tabel 8.4 MTTR dan MTBF Komponen Kritis Peralatan Fasilitas Lini Body Shop Periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022

No.	Nama Fasilitas	MTTR (Jam)	MTBF (Jam)
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)	0,817	3439,8
2	Joint Fitting	0,584	4519,9
3	Welding shank	0,510	15727,4

Perbandingan mean time between failure antara komponen aid cable, Joint fitting dan welding shank periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022 dapat dilihat pada gambar 8.4.



Gambar 8.4 Diagram Balok Mean Time between Failure Komponen Kritis Peralatan Fasilitas Lini Body Shop antara Januari 2018 sampai dengan Mei 2022

Gambar 8.4 menunjukkan bahwa komponen aid cable mempunyai mean time between failure yang paling kecil yang dapat diartikan komponen ini paling sering mengalami kerusakan sehingga harus diganti.

Berdasarkan tabel 8.4 menunjukkan komponen fasilitas lini body shop yang memiliki mean time to repair paling cepat adalah komponen shank 0,510 jam atau 30,6 menit, sedangkan yang paling lama adalah komponen aid cable selama 0,817 jam atau 49 menit. Mean time between failure yang paling singkat dimiliki oleh komponen aid cable selama 3782,1 jam, sedangkan yang paling lama adalah komponen welding shank selama 17301 jam.

Keandalan Komponen Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)

Keandalan komponen adalah probabilitas bahwa suatu komponen akan bekerja sesuai dengan fungsi yang diinginkan tanpa adanya kegagalan pada kondisi pengoperasian tertentu dan pada periode waktu tertentu, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{MTBF}}$$

Keandalan komponen aid cable 0.8m / 0.7m (cc) pada $t = 100$ jam dan $MTBF = 3782,1$ jam adalah sebagai berikut:

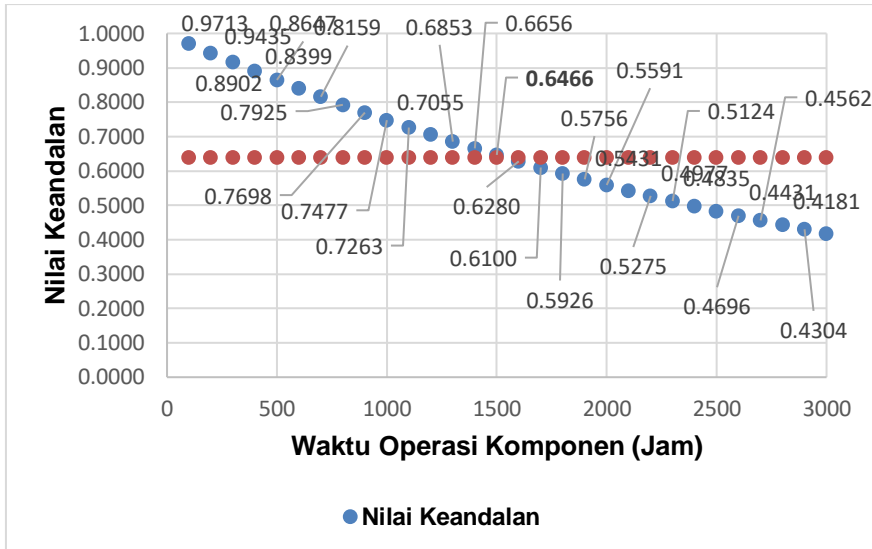
$$R(100) = e^{-\frac{100}{3439,8}} = e^{-0,02907} = 0,9713 = 97,13\%$$

Hasil nilai keandalan komponen aid cable 0.8m / 0.7m (cc) untuk waktu operasi selama 100 jam sampai dengan 3000 jam adalah sebagai berikut:

Tabel 8.5 Simulasi Nilai Keandalan Komponen Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC) untuk Beberapa Waktu Operasi Menggunakan MTBF Periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022

No.	Waktu Operasi (Jam)	MTBF (Jam)	Nilai Keandalan	No.	Waktu Operasi (Jam)	MTBF (Jam)	Nilai Keandalan
1	100	3439,8	0,9713	16	1600	3439,8	0,6280
2	200	3439,8	0,9435	17	1700	3439,8	0,6100
3	300	3439,8	0,9165	18	1800	3439,8	0,5926
4	400	3439,8	0,8902	19	1900	3439,8	0,5756
5	500	3439,8	0,8647	20	2000	3439,8	0,5591
6	600	3439,8	0,8399	21	2100	3439,8	0,5431
7	700	3439,8	0,8159	22	2200	3439,8	0,5275
8	800	3439,8	0,7925	23	2300	3439,8	0,5124
9	900	3439,8	0,7698	24	2400	3439,8	0,4977
10	1000	3439,8	0,7477	25	2500	3439,8	0,4835
11	1100	3439,8	0,7263	26	2600	3439,8	0,4696
12	1200	3439,8	0,7055	27	2700	3439,8	0,4562
13	1300	3439,8	0,6853	28	2800	3439,8	0,4431
14	1400	3439,8	0,6656	29	2900	3439,8	0,4304
15	1500	3439,8	0,6466	30	3000	3439,8	0,4181

Berdasarkan tabel 8.5, hasil simulasi perhitungan nilai keandalan komponen aid cable menunjukkan bahwa pencapaian keandalan minimal 64% diperoleh pada saat komponen tersebut digunakan selama 1500 jam atau 150 hari kerja atau 6 bulan dengan nilai keandalan mencapai 64,66%. Nilai keandalan 64,66% memberikan arti peluang komponen tersebut diganti di luar jam operasional sebesar 64,66%, sedangkan peluang komponen tersebut diganti di dalam jam operasional sebesar 35,34%. Visualisasi dari simulasi nilai keandalan komponen aid cable 0.8m / 0.7m (CC) untuk beberapa waktu operasi menggunakan MTBF periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022 terlihat lebih baik pada gambar 8.5.



Gambar 8.5 Nilai Keandalan Komponen Aid Cable 0.8 m / 0.7 m (CC) untuk Beberapa Waktu Operasi dengan MTBF = 3782,1 Jam

Keandalan Komponen Joint Fitting

Keandalan komponen joint fitting pada $t = 100$ jam dan $MTBF = 4970,2$ jam adalah sebagai berikut:

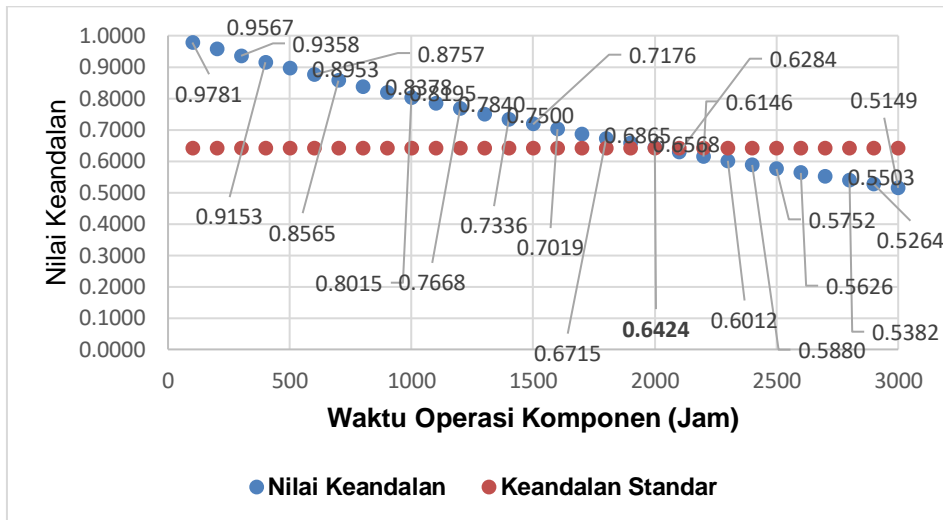
$$R(100) = e^{-\frac{100}{4970,2}} = e^{-0,02012} = 0,9801 = 98,01\%$$

Hasil nilai keandalan komponen joint fitting untuk waktu operasi selama 100 jam sampai dengan 3000 jam adalah sebagai berikut:

Tabel 8.6 Simulasi Nilai Keandalan Komponen Joint Fitting untuk Beberapa Waktu Operasi Menggunakan MTBF Periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022

No.	Waktu Operasi (Jam)	MTBF (Jam)	Nilai Keandalan	No.	Waktu Operasi (Jam)	MTBF (Jam)	Nilai Keandalan
1	100	4519,9	0,9781	16	1600	4519,9	0,7019
2	200	4519,9	0,9567	17	1700	4519,9	0,6865
3	300	4519,9	0,9358	18	1800	4519,9	0,6715
4	400	4519,9	0,9153	19	1900	4519,9	0,6568
5	500	4519,9	0,8953	20	2000	4519,9	0,6424
6	600	4519,9	0,8757	21	2100	4519,9	0,6284
7	700	4519,9	0,8565	22	2200	4519,9	0,6146
8	800	4519,9	0,8378	23	2300	4519,9	0,6012
9	900	4519,9	0,8195	24	2400	4519,9	0,5880
10	1000	4519,9	0,8015	25	2500	4519,9	0,5752
11	1100	4519,9	0,7840	26	2600	4519,9	0,5626
12	1200	4519,9	0,7668	27	2700	4519,9	0,5503
13	1300	4519,9	0,7500	28	2800	4519,9	0,5382
14	1400	4519,9	0,7336	29	2900	4519,9	0,5264
15	1500	4519,9	0,7176	30	3000	4519,9	0,5149

Berdasarkan tabel 8.6, hasil simulasi perhitungan nilai keandalan komponen joint fitting menunjukkan bahwa pencapaian keandalan minimal 64% diperoleh pada saat komponen tersebut digunakan selama 2000 jam atau 200 hari kerja atau 8 bulan dengan nilai keandalan mencapai 64,24%. Nilai keandalan 64,24% memberikan arti peluang komponen tersebut diganti di luar jam operasional sebesar 64,24%, sedangkan peluang komponen tersebut diganti di dalam jam operasional sebesar 35,76%. Visualisasi dari simulasi nilai keandalan komponen joint fitting untuk beberapa waktu operasi menggunakan MTBF periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022 terlihat lebih baik pada gambar 8.6.



Gambar 8.6 Nilai Keandalan Komponen Joint Fitting untuk Beberapa Waktu Operasi dengan MTBF = 4970,2 Jam.

Keandalan Komponen Welding shank

Keandalan komponen welding shank pada $t = 5100$ jam dan $MTBF = 17301,0$ jam adalah sebagai berikut:

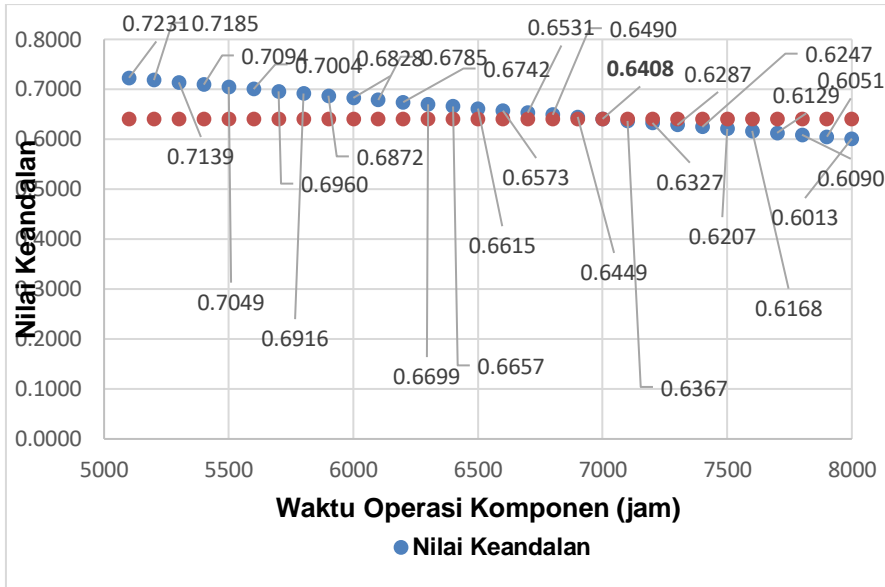
$$R(5100) = e^{-\frac{5100}{17301}} = e^{-0,2948} = 0,7447 = 74,47\%$$

Hasil nilai keandalan komponen welding shank waktu operasi selama 5100 jam sampai dengan 8000 jam adalah sebagai berikut:

**Tabel 8.6 Simulasi Nilai Keandalan Komponen Welding shank
untuk Beberapa Waktu Operasi Menggunakan MTBF
Periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022**

No.	Waktu Operasi (Jam)	MTBF (Jam)	Nilai Keandalan	No.	Waktu Operasi (Jam)	MTBF (Jam)	Nilai Keandalan
1	5100	15727,4	0,7231	16	6600	15727,4	0,6573
2	5200	15727,4	0,7185	17	6700	15727,4	0,6531
3	5300	15727,4	0,7139	18	6800	15727,4	0,6490
4	5400	15727,4	0,7094	19	6900	15727,4	0,6449
5	5500	15727,4	0,7049	20	7000	15727,4	0,6408
6	5600	15727,4	0,7004	21	7100	15727,4	0,6367
7	5700	15727,4	0,6960	22	7200	15727,4	0,6327
8	5800	15727,4	0,6916	23	7300	15727,4	0,6287
9	5900	15727,4	0,6872	24	7400	15727,4	0,6247
10	6000	15727,4	0,6828	25	7500	15727,4	0,6207
11	6100	15727,4	0,6785	26	7600	15727,4	0,6168
12	6200	15727,4	0,6742	27	7700	15727,4	0,6129
13	6300	15727,4	0,6699	28	7800	15727,4	0,6090
14	6400	15727,4	0,6657	29	7900	15727,4	0,6051
15	6500	15727,4	0,6615	30	8000	15727,4	0,6013

Berdasarkan tabel 8.6, hasil simulasi perhitungan nilai keandalan komponen welding shank menunjukkan bahwa pencapaian keandalan minimal 64% diperoleh pada saat komponen tersebut digunakan selama 7000 jam atau 700 hari kerja atau 28 bulan kerja dengan nilai keandalan mencapai 64,08%. Nilai keandalan 64,08% memberikan arti peluang komponen tersebut diganti di luar jam operasional sebesar 64,08%, sedangkan peluang komponen tersebut diganti di dalam jam operasional sebesar 35,92%. Visualisasi dari simulasi nilai keandalan komponen welding shank untuk beberapa waktu operasi menggunakan MTBF periode Januari 2018 sampai dengan Mei 2022 terlihat lebih baik pada gambar 8.7.



Gambar 8.7 Nilai Keandalan Komponen Shank untuk Beberapa Waktu Operasi dengan MTBF = 17301 Jam.

BAB 9

MEAN TIME BETWEEN MAINTENANCE (MTBM), AVAILABILITY DAN KEANDALAN KOMPONEN KRITIS FASILITAS LINI BODY SHOP

Mean Time Between Maintenance (MTBM)

MTBM adalah rata-rata waktu operasi antara suatu kegiatan pemeliharaan dengan kegiatan pemeliharaan lainnya untuk memperbaiki suatu sistem atau komponen.

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_u} + \frac{1}{MTBM_s}}$$

Mean Time Between Unscheduled (Corrective) Maintenance (MTBM_u) didasarkan pada MTBF dari masing-masing fasilitas *body shop* sedangkan *Mean Time Between Scheduled (Preventive) Maintenance (MTBM_s)* didasarkan pada waktu operasi yang menghasilkan nilai keandalan di atas 0,64 atau 64%.

MTBM untuk komponen aid cable adalah sebagai berikut:

MTBM_u = 3782,1 jam dan MTBM_s = 1600 jam

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{3782,1} + \frac{1}{1600}} = \frac{1}{0,0002644 + 0,0006250} = 1124,3$$

MTBM untuk komponen aid cable adalah setiap 1124,3 jam. Hasil perhitungan MTBM untuk ketiga komponen kritis dapat dilihat pada tabel 9.1.

Tabel 9.1 Perhitungan MTBM Komponen Kritis Fasilitas Lini Body Shop

No.	Nama Komponen	MTBM _u (Jam)	MTBM _s (Jam)	$\frac{1}{MTBM_u}$	$\frac{1}{MTBM_s}$	MTBM (Jam)
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (cc)	3782,1	1600	0,0002644	0,0006250	1124,3
2	Joint Fitting	4970,2	2200	0,0002012	0,0004545	1525,0
3	Welding shank	17301,0	7700	0,0000578	0,0001299	5328,5

Availability Komponen Fasilitas Lini Body Shop

Availability fasilitas body shop dihitung menggunakan rumus berikut:

$$A = \frac{\text{Loading Time} - \text{Down Time}}{\text{Loading Time}} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

Availability (A) manual welding gun dihitung sebagai berikut:

$$A = \frac{3782,1}{3782,1 + 0,817} = \frac{3782,100}{3782,917} = 0,99978 = 99,978\%$$

Tabel 9.2 Hasil Perhitungan MTTR, MTBF dan Availability Fasilitas Body Shop

No.	Nama Fasilitas	MTTR (Jam)	MTBF (Jam)	Availability (A)
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)	0,817	3782,1	0,99978
2	Joint Fitting	0,584	4970,2	0,99988
3	Welding shank	0,510	17301,0	0,99997

Nilai Keandalan Komponen Kritis dari Fasilitas Lini Body Shop

Nilai keandalan komponen kritis peralatan fasilitas lini body shop dengan waktu operasi selama 3000 jam, dapat dilihat pada tabel 9.3

Tabel 9.3 Nilai Keandalan Komponen Kritis dari Fasilitas Lini Body Shop Berdasarkan Waktu Operasi 3000 Jam

No.	Nama Fasilitas	Waktu Operasi (Jam)	Nilai Keandalan
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)	3000	45,24%
2	Joint Fitting	3000	54,68%
3	Welding shank	3000	84,08%

Pemilihan keandalan minimal komponen peralatan fasilitas lini body shop didasarkan pada tabel 2.1 Referensi Penyusutan, Kondisi dan Sisa Umur Ekonomis. Keandalan minimal yang dipilih adalah peralatan pada kondisi wajar, di mana nilai penyusutan berkisar antara 36% sampai dengan 60% dan sisa umur ekonomis berkisar antara 40% sampai dengan 64%. Karakteristik peralatan pada kondisi wajar adalah telah dipergunakan dan pernah dilakukan perbaikan, masih memerlukan beberapa perbaikan serta penggantian suku cadang. Berdasarkan peralatan kondisi wajar tersebut maka keandalan minimalnya adalah 64%. Berdasarkan perhitungan sebelumnya dan minimal nilai keandalan sebesar 64%, penentuan periode preventive maintenance enam fasilitas body shop dapat dilihat pada tabel 9.4.

Tabel 9.4 Waktu Operasi Komponen pada Fasilitas Lini Body Shop dengan Keandalan Minimal 64%

No.	Nama Fasilitas	Waktu Operasi (Jam)	Nilai Keandalan
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)	1600	65,50%
2	Joint Fitting	2200	64,23%
3	Welding shank	7700	64,08%

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, nilai keandalan peralatan lini body shop kondisi awal didasarkan pada waktu operasi yang sesuai dengan *mean time between failure (MTBF)*. Waktu operasi yang akan diusulkan untuk setiap peralatan didasarkan pada keandalan minimal 64%. Waktu operasi tersebut sesuai dengan kelipatan 100 jam. Seratus jam operasi berarti sepuluh hari kerja, di mana satu hari kerja beroperasi selama 10 jam. Hasil lengkap perbandingan waktu operasi dan nilai keandalan antara kondisi awal (MTBF) dan kondisi usulan pada komponen kritis peralatan fasilitas lini body shop dapat dilihat pada tabel 9.5.

Tabel 9.5 Perbandingan Waktu Operasi dan Nilai Keandalan antara Kondisi Awal (MTBF) dan Kondisi Usulan pada Komponen Peralatan Fasilitas Lini Body Shop

No.	Nama Fasilitas	Kondisi Awal (MTBF)		Kondisi Usulan	
		Waktu Operasi (Jam)	Nilai Keandalan	Waktu Operasi (Jam)	Nilai Keandalan
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)	3782,1	36,79%	1600	65,50%
2	Joint Fitting	4970,2	36,79%	2200	64,23%
3	Welding shank	17301,0	36,79%	7700	64,08%

Komponen aid cable 0.8m / 0.7m (CC) yang pada awalnya digantisebagaipemeliharaan korektif setiap 3782,1 jam, diusulkan untuk diganti secara terjadwal setiap 1600 jam sekali atau setiap 160 hari kerja atau setiap 6 bulan. Pemeliharaan terjadwal setiap 1600 jam, diharapkan akan memberikan nilai keandalan peralatan sebesar 65,50%.

Komponen joint fitting yang pada awalnya diganti setiap 4970,2 jam, diusulkan untuk diganti secara terjadwal setiap 2200 jam atau setiap 220 hari kerja atau setiap 9 bulan. Pemeliharaan terjadwal setiap 2200 jam diharapkan akan memberikan nilai keandalan komponen peralatan tersebut sebesar 64,23%.

Komponen welding shank yang pada awalnya diganti setiap 17301 jam, diusulkan untuk diganti secara terjadwal setiap 7700 jam atau setiap 770 hari kerja atau setiap 31 bulan. Pemeliharaan terjadwal setiap 7700 jam diharapkan akan memberikan nilai keandalan komponen peralatan tersebut sebesar 64,08%.

Tabel 9.6 Hasil Availability Komponen Kritis Fasilitas Lini Body Shop

No.	Nama Fasilitas	Availability (A)
1	Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC)	0,9946
2	Joint Fitting	0,9965
3	Welding shank	0,9975

Nilai availability Aid Cable 0.8m / 0.7m (CC) sebesar 0,9946 atau 99,46%, hal ini menunjukkan peluang ketersediaan komponen peralatan tersebut untuk dapat digunakan sebesar 99,46%, sedangkan peluang ketidakterersediaan peralatan tersebut hanya sebesar 0,54%. Nilai availability komponen joint fitting sebesar 0,9965 atau 99,65%, hal ini menunjukkan peluang ketersediaan komponen peralatan tersebut untuk dapat digunakan sebesar 99,65%, sedangkan peluang ketidakterersediaan peralatan tersebut hanya sebesar 0,35%.

Nilai availability ketiga komponen kritis peralatan dapat dikategorikan tinggi, hal ini tentu saja perlu perhatian untuk dapat dipertahankan di masa mendatang. Nilai availability dapat ditingkatkan dengan mempersingkat downtime di satu sisi dan memperpanjang time between failure di sisi yang lain. Kebijakan keandalan yang tinggi akan berimplikasi pada makin pendeknya periode perawatan terjadwal. Nilai availability yang tinggi dapat dipertahankan bahkan ditingkatkan dengan cara perawatan terjadwal dilaksanakan di luar jam kerja mesin, hal ini dimungkinkan karena perusahaan masih menerapkan satu shift kerja.

Tuntutan perbaikan sistem pemeliharaan peralatan fasilitas lini body shop sejalan dengan hasil uji beda terhadap rata-rata jumlah nilai persepsi responden antara kondisi yang diharapkan dan kondisi aktual sistem pemeliharaan pada lini body shop. Rata-rata jumlah nilai persepsi responden terhadap kondisi yang diharapkan lebih besar dari pada rata-rata jumlah nilai persepsi responden terhadap kondisi aktualnya dengan rata-rata beda dua rata-rata sebesar 13,73333 dengan simpangan bakunya sebesar 1,69759.

Tingkat keandalan komponen pada fasilitas body shop dengan waktu operasi selama 3000 jam atau penggantian setahun sekali adalah sebagai berikut: aid cable 45,24%, joint fitting 54,68% dan komponen welding shank 84,08%. Berdasarkan standar keandalan minimal 64%, dapat dinyatakan bahwa terdapat dua komponen kritis yang berada dibawah standar tersebut yaitu komponen aid cable dan joint fitting, di sisi yang lain komponen welding shank berada di atas standar tersebut. Penggantian komponen dalam rangka preventive maintenance peralatan penyusun fasilitas lini body shop dilaksanakan dengan mempertimbangkan nilai keandalan di atas 64% sehingga penjadwalannya adalah sebagai berikut: aid cable setiap 1600 jam, joint fitting setiap 2200 jam, dan komponen welding shank setiap 7700 jam. Penggantian komponen dengan mempertimbangkan minimal keandalan 64%, diharapkan akan menekan peluang penggantian komponen pada waktu operasi di bawah 36%, karena lebih dari 64% penggantian terjadwal dapat

dilakukan di luar waktu operasi sehingga akan mengurangi jumlah downtime secara keseluruhan. Tingkat ketersediaan komponen peralatan pada fasilitas lini body shop adalah sebagai berikut: aid cable 99,978%, joint fitting 99,988%, dan komponen welding shank 99,997%. Tingkat ketersediaan komponen yang tinggi akan berimplikasi tidak dibutuhkannya persediaan pengaman untuk ketiga komponen tersebut.

Perbandingan obyek penelitian ini dengan penelitian Preventive Maintenance Scheduling for Shifter Machine in Flour Mills dengan penulis Wahyukaton, ISIEM 12 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 2020.

Penelitian ini membahas mengenai keandalan komponen-komponen peralatan pada lini body shop yang terdiri dari aid cable, joint fitting dan welding shank dengan produksi mobil penumpang, sedangkan penelitian pembanding meneliti tentang komponen-komponen kritis yang ada di mesin shifter yang terdiri dari motor, bearing dan shifter.

Perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian Preventive Maintenance Scheduling for Shifter Machine in Flour Mills dengan penulis Wahyukaton, ISIEM 12 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 2020.

Penelitian ini menghasilkan temuan bahwa tingkat keandalan komponen pada fasilitas body shop dengan waktu operasi selama 3000 jam atau penggantian setahun sekali adalah sebagai berikut: aid cable 45,24%, joint fitting 54,68% dan komponen welding shank 84,08%. Berdasarkan standar keandalan minimal 64%, dapat dinyatakan bahwa terdapat dua komponen kritis yang berada dibawah standar tersebut yaitu komponen aid cable dan joint fitting, di sisi yang lain komponen welding shank berada di atas standar tersebut. Tingkat ketersediaan komponen peralatan pada fasilitas lini body shop adalah sebagai berikut: aid cable 99,978%, joint fitting 99,988%, dan komponen welding shank 99,997%. Tingkat ketersediaan komponen yang tinggi akan berimplikasi tidak dibutuhkannya persediaan pengaman untuk ketiga komponen tersebut.

Penelitian pembanding menghasilkan temuan bahwa pabrik memiliki tiga mesin shifter yang terdiri dari: 3 komponen kritis yaitu motor, bearing, dan shifter dan mengalami 133 kerusakan dalam 6 bulan terakhir di tahun 2019. Pemeliharaan dilakukan dengan menentukan Nilai Mean Time to Failure (MTTF) dan dilakukan pemeliharaan preventif. Perhitungannya Hasil penelitian menunjukkan untuk 3 komponen kritis motor memiliki interval waktu penggantian sebesar 781 jam (hari ke-98) dengan nilai availability 0,99914, bearing memiliki interval waktu penggantian sebesar 994 jam (hari ke 124) dengan nilai ketersediaan 0,999255, dan shifter memiliki interval penggantian waktu 575 jam (hari ke-72) dengan nilai availability 0,998729.

BAB 10

PENJADWALAN ULANG PENGGANTIAN KOMPONEN DAN REKOMENDASI

Penjadwalan Ulang Penggantian Komponen

Tingkat keandalan komponen pada fasilitas lini body shop dengan waktu operasi selama 3000 jam atau penggantian setahun sekali adalah sebagai berikut: aid cable 45,24%, joint fitting 54,68% dan komponen welding shank 84,08%. Berdasarkan standar keandalan minimal 64%, dapat dinyatakan bahwa terdapat dua komponen kritis yang berada dibawah standar tersebut yaitu komponen aid cable dan joint fitting, di sisi yang lain komponen welding shank berada di atas standar tersebut.

Penggantian komponen dalam rangka preventive maintenance peralatan penyusun fasilitas lini body shop dilaksanakan dengan mempertimbangkan nilai keandalan di atas 64% sehingga penjadwalannya adalah sebagai berikut: aid cable setiap 1600 jam, joint fitting setiap 2200 jam, dan komponen welding shank setiap 7700 jam. Penggantian komponen dengan mempertimbangkan minimal keandalan 64%, diharapkan akan menekan peluang penggantian komponen pada waktu operasi di bawah 36%, karena lebih dari 64% penggantian terjadwal dapat dilakukan di luar waktu operasi sehingga akan mengurangi jumlah downtime secara keseluruhan.

Tingkat ketersediaan komponen peralatan pada fasilitas lini body shop adalah sebagai berikut: aid cable 99,978%, joint fitting 99,988%, dan komponen welding shank 99,997%. Tingkat ketersediaan komponen yang tinggi akan berimplikasi tidak dibutuhkannya persediaan pengaman untuk ketiga komponen tersebut.

Rekomendasi Penjadwalan Ulang Penggantian Komponen

Rekomendasi yang dapat diberikan dalam rangka penjadwalan ulang komponen fasilitas produksi lini body shop adalah sebagai berikut:

- a. Komponen aid cable dan joint fitting memiliki tingkat keandalan yang paling rendah pertama dan kedua dibandingkan komponen kritis yang lain, sehingga membutuhkan perhatian lebih, khususnya pada saat pelaksanaan preventive maintenance dengan penggantian komponen tersebut.
- b. Periode pelaksanaan preventive maintenance dilaksanakan sesuai dengan nilai keandalan setiap komponen fasilitas lini body shop, terutama aid cable dan joint fitting yang dilaksanakan lebih pendek yaitu setiap 1600 jam kerja efektif atau 160 hari kerja atau 6 bulan dan setiap 2200 jam atau 220 hari kerja atau 9 bulan. Hasil uji beda antara kondisi harapan dan kondisi aktual sistem pemeliharaan di lini body shop menunjukkan bahwa perusahaan perlu melakukan perbaikan signifikan sistem pemeliharaan yang ada pada lini body shop. Hal ini diharapkan

dapat meningkatkan citra perusahaan di mata karyawan dan konsumen potensial.

- c. Tingkat ketersediaan komponen peralatan pada fasilitas lini body shop sangat tinggi karena tingkat ketersediaan terendah sebesar 99,978%. Tingkat ketersediaan yang sangat tinggi sebaiknya dipertahankan dan sebisa mungkin ditingkatkan dengan melaksanakan preventive maintenance di luar waktu operasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiady, Tina Kanti, and Elizabeth A. Cudney, 2016, **Total Productive Maintenance, Strategies and Implementation Guide**, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Aji Munaji, M. Adha Ilhami, dan Bobby Kurniawan. 2016. **Usulan Penjadwalan Perawatan Mesin Dengan Mempertimbangkan Reliability Block Diagram Pada Unit Stand CPL Di PT Krakatau Steel**. Jurnal Teknik Industri. Volume 4, Nomor 2.
- Amrutha Hippalgaonkar, Ajinkya Joshi dan Surabhi More, 2021, **Application of Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) in Automated Spot Welding Process of an Automobile Industry: A Case Study**, Journal of Engineering Education Transformations, Volume 34, January 2021, Special issue, eISSN 2394-1707
- Andrian David, Karningsih Putu Dana dan Ciptomulyono Udisubakti, 2013, **Pengembangan Model Preventive Maintenance dengan Pendekatan Multikriteria : Reliability, Availability, Maintainability, Safety, and Cost (RAMS+C)**, Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVII, Program Studi MMT-ITS, Surabaya.
- Bhirawa W.T. , 2015, **Proses Pengelasan Menggunakan Electric Welding Machine**, Jurnal Teknik Industri, ISSN:2302-2205, Volume 4, Nomor 1, Jakarta.
- Birolini Alessandro, 2017, **Reliability Engineering Theory and Practice**, 8th Edition, Springer-Verlag GmbH Deutschland.
- Danak Mehdi Nazarzadeh, and Hamidzadeh Mohammad Reza, 2013, **The Study of Welding and U-Press Machine Maintenance and Repairing Policies with Markov Approach: A Case Study in APM**, European Online Journal of Natural and Social Sciences, Vol.2, No.3 ISSN 1805-3602
- Deb Dipankar, Dey Rajeeb and Balas Valentina E., 2019, **Engineering Research Methodology A Practical Insight for Researchers**, Springer Nature Singapore.
- Denton Tom, 2011, **Automobile Mechanical and Electrical Systems Automotive Technology: Vehicle Maintenance and Repair**, Published by Elsevier Ltd, Oxford.
- Devore Jay, 2012, **Probability and Statistics for Engineering and the Sciences**, Brooks/Cole, Cengage Learning, Boston.
- Díaz-Reza, José Roberto, Jorge Luis García-Alcaraz, Valeria Martínez-Loya, 2019, **Impact Analysis of Total Productive Maintenance Critical Success Factors and Benefits**, Springer Nature Switzerland AG.
- Dzulyadain Harits, Endang Budiasih, Fransiskus Tatas Dwi Atmaji, 2021, **Proposed maintenance policy using reliability centered maintenance (RCM) method with FMECA analysis: A case study of automotive industry**, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

- Fentahun Mekonnen Asmare and Savaş Mahmut Ahsen, 2018, **Materials Used in Automotive Manufacture and Material Selection Using Ashby Charts**, International Journal of Materials Engineering, 8(3): 40-54
- Gao Peng, Liyang Xie and Jun Pan, 2019, **Reliability and Availability Models of Belt Drive Systems Considering Failure Dependence**, Chinese Journal of Mechanical Engineering, Springer
- Genta Giancarlo, Morello Lorenzo, Cavallino Francesco, and Filtri Luigi, 2014, **The Motor Car Past, Present and Future**, Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Giffari Farouk, dan Prasetyawan Yudha, 2020, **Perancangan Aktivitas Perawatan pada Conveyor System Batu Bara dengan Metode Risk Based Maintenance (RBM) dan Reliability Centered Maintenance II (Studi Kasus: PLTU Tenayan Raya)**, Jurnal Teknik ITS Vol. 9, No. 2, ISSN: 2337-3539, Surabaya
- Gobetto, Marco, 2014, **Operations Management in Automotive Industries From Industrial Strategies to Production Resources Management, Through the Industrialization Process and Supply Chain to Pursue Value Creation**, Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Iranpoor Mehdi and Ghomi S. M. T. Fatemi, 2019, **Periodic flexible maintenance planning in a single-machine production environment**, Journal of Industrial Engineering International, Springer.
- Jackson Sherri L., 2009, **Research Methods and Statistics A Critical Thinking Approach**, Third Edition, Cengage Learning, , Wadsworth Belmont.
- Jufriyanto Moh., Kurniati Nani and Supriatna Ade, 2018, **Preventive Maintenance Policy on Leasing by Considering The Usage Rate**, MATEC Web of Conferences 204, 02016 IMIEC.
- Kenda Miha, Klobcar Damjan, and Bracun Drago, 2021, **Condition based maintenance of the two-beam laser welding in high volume manufacturing of piezoelectric pressure sensor**, Journal of Manufacturing Systems, Elsevier 117-126
- Kumar Girish, Vipul Jain, O. P. Gandhi, 2018, **Availability analysis of mechanical systems with condition-based maintenance using semi-Markov and evaluation of optimal condition monitoring interval**, Journal of Industrial Engineering International, Springer
- Kumar, Uday, Alireza Ahmadi, Ajit Kumar Verma, Prabhakar Varde, 2016, **Current Trends in Reliability, Availability, Maintainability and Safety, An Industry Perspective**, Springer International Publishing Switzerland.
- Kurniawan, Fajar. 2013. **Teknik dan Aplikasi Manajemen Perawatan Industri**. Edisi I. Jogjakarta: Graha Ilmu
- Luo Cong, 2020, **Design of Automobile Rapid Maintenance Based on Digital Maintenance Assistant System**, Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing.

- Masruchin Imam, Arianto Basuki, Meladiyani Ervini, 2019, **Perancangan Jadwal Pemeliharaan Penggantian Komponen Spindle Pada Helikopter Bell 412 Ep Berdasarkan Perhitungan Keandalan**, Jurnal Teknik Industri, ISSN:2302-2205, Volume 8 Nomor 1, Jakarta.
- Mobley R. Keith, Lindley R. Higgins and Darrin J. Wikoff, 2008, **Maintenance Engineering Handbook**, Seventh Edition, Mc Graw Hill, New York
- Morello Lorenzo, Rossini Lorenzo Rosti, Pia Giuseppe, and Tonoli Andrea, 2011, **The Automotive Body, Volume I: Components Design**, Springer Science + Business Media, Dordrecht.
- Morello Lorenzo, Rossini Lorenzo Rosti, Pia Giuseppe, and Tonoli Andrea, 2011, **The Automotive Body, Volume II: System Design**, Springer Science + Business Media, Dordrecht.
- Omar Mohammed A., 2011, **The Automotive Body Manufacturing Systems And Processes**, John Wiley & Sons, Ltd., Publication, West Sussex.
- Palmer Richard D, 2006, **Maintenance Planning and Scheduling Handbook**, Second Edition, McGraw-Hill, New York
- Pamungkas Deni Rosiyanto, Bhirawa W.T. dan Arianto Basuki, 2019, **Analisis Performansi Pemeliharaan Generator Set (Genset) dengan Metode TPM (Total Productive Maintenance) untuk Meningkatkan Kinerja di PT. Lativi Media Karya**, Jurnal Teknik Industri, ISSN:2302-2205, Volume 8, Nomor 1, Jakarta.
- Pascual Diego Galar and Uday Kumar, 2016, **Maintenance Audits Handbook A Performance Measurement Framework**, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Pham Hoang, 2003, **Handbook of Reliability Engineering**, Springer-Verlag, London
- Prasmoro Alloysius Vendhi, 2020, **Analisa sistem perawatan pada mesin las MIG dengan metode Failure Mode and Effect Analysis: Studi kasus di PT. TE**, Operations Excellence, Volume 12, Nomor , UMB, Jakarta. 13-27
- Putri Oktalisa P, Matondang Nazaruddin , dan Ishak Aulia . 2013. **Perancangan Sistem Perawatan Mesin Dengan Pendekatan Reliability Engineering dan Maintenance Value Stream Mapping (MVSM) Pada PT XXX**. E-Jurnal Teknik Industri FT USU. III(1).
- Rasyid Riantono dan Drastiawati Novi Sukma, 2020, **Pengaruh Waktu Pengelasan Titik (Spot Welding) Terhadap Kekerasan, Kekuatan Geser Dan Diameter Nugget Pada Baja Spcen 1,6 mm**, Otopro Volume 16 Nomor 1, Universitas Negeri Surabaya. 1-6
- Renna Paolo, 2019, **Adaptive Policy Of Bufer Allocation And Preventive Maintenance, Actions In Unreliable Production Lines**, Journal of Industrial Engineering International, Springer.

- Shahriari Mohammadreza, Naghi Shoja, Amir Ebrahimi Zade, Sasan Barak and Mani Sharif, 2016, **JIT Single Machine Scheduling Problem With Periodic Preventive Maintenance**, Journal of Industrial Engineering International, Springer.
- Sifonte, Jesús R., James V. Reyes-Picknell, 2017, **Reliability Centered Maintenance Reengineered Practical Optimization of the RCM Process with RCM-R**, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Smith, David J, 2011, **Reliability, Maintainability and Risk Practical Methods for Engineers**, Eighth Edition, Elsevier Ltd.
- Singgih M L, Prasetyawan Y, Sutikno, Hartanto D, Kurniawan F R, dan W T Wicaksana, 2018, **Maintenance Management Improvement Based On Reliability Centered Maintenance II in Energy Generating Industries**, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 528 (2019) 012054 ISIEM IOP Publishing
- Siswanto Nurhadi, Muhammad Badrus Zaman, Feizar Fahreza, Dwi Priyanta, Trika Pitana, Hari Prastowo, Adhitya Wicaksana, Haris Nur Fauzi, 2021, **A Case Study Maintenance Task Allocation Analysis on Marine Loading Arm Using Reliability Centered Maintenance**, 6th International Conference on Marine Technology (SENTA 2021), IOP Publishing.
- Supriatna Ade, Singgih Moses Laksono, dan Widodo Erwin, 2017, **Preventive maintenance considering OEE threshold for lease equipment**, Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference, D2.13 – D2.18.
- Supriatna Ade, Singgih Moses L., Kurniati Nani, and Widodo Erwin, 2016, **Preventive Maintenance Strategies: Literature Review And Directions**, The 7th International Conference on Operations and Supply Chain Management, Phuket Thailand.
- Supriyanto H, Kurniati N, dan Supriyanto MFR, 2021, **Maintenance Performance Evaluation of an RCM Implementation: A Functional Oriented Case Study**, Jilid 10, Terbitan 12, International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research.
- Ulugbeka Fayzimatov, Buyuna Sheng, Zhenga Xiao and Ismaela Toure, 2018, **A Reliability-Based Preventive Maintenance Methodology for The Projection Spot Welding Machine**, Growing Science, Canada.
- Verma Ajit Kumar, Ajit Srividya, and Karanki, Durga Rao, 2016, **Reliability and Safety Engineering**, Second Edition, Springer-Verlag London.
- Weman Klas, 2012, **Welding Processes Handbook**, Second edition, Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge
- Wessels William R. and Sillivant Daniel S., 2015, **Affordable Reliability Engineering Life-Cycle Cost Analysis for Sustainability and Logistical Support**, CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton.
- Wilson Mike, 2015, **Implementation of Robot Systems An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing**, Elsevier Inc., Butterworth-Heinemann

Zulheri, Mandagie Karel L, Arianto Basuki, 2019, **Analisis Penerapan Total Productive Maintenance dan Kaizen untuk Meningkatkan Overall Equipment Effectiveness pada Line Liquid di PT.PTI**, Volume 8, Jurnal Teknologi Industri, Jakarta.

RIWAYAT PENULIS



Basuki Arianto, ST, MM, MT, IPM.

Lahir di Batang, Jawa Tengah, 23 Mei 1975. Saat ini menjabat sebagai Kepala Laboratorium pada Program Studi Teknik Industri, Universitas Dirgantara Marsekal Suryadarma (Unsurya), Jakarta sejak tahun 2021. Sebelum menjabat Kepala Laboratorium, jabatan struktural penulis adalah Ketua Program Studi Teknik Industri Unsurya dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2021 dan Kepala Laboratorium Program Studi Teknik Industri dari tahun 2002 sampai dengan tahun 2015.

Menyelesaikan Pendidikan Sarjana Teknik tahun 2001 pada Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya. Program Pascasarjana (S-2) diselesaikan tahun 2012 pada Program Studi Manajemen, Universitas Suryadarma, Jakarta. Program Pascasarjana (S-2) diselesaikan tahun 2022 pada Program Studi Teknik Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta.