

# Perencanaan Perawatan Pada Unit Kompresor Tipe *Screw* Dengan Metode RCM di Industri Otomotif

Agustinus Dwi Susanto<sup>1\*</sup>, Hery Hamdi Azwir<sup>1#</sup>

**Abstract.** *Production process at PT. Showa Indonesia Manufacturing is not always smooth, due to the ignorance of the reliability of the machine. Breakdown can occur at any time and cause uncertainty of the availability of machinery in the production process, causing considerable losses to the company. This study was conducted on a compressor machine used to produce the pressurized air that used to run the production machinery. Based on the research, the highest damage level is on the compressor machine 4, 8, 10, 5, 16, and 6 with total damage of 70.1%. This is due to the complex machine system and the less optimal maintenance system. Reliability Centered Maintenance (RCM) method is used to analyze the system to identify components that fall within the critical category. The results of the analysis, obtained some critical components which required optimal replacement interval by minimizing downtime. Further planning activities on each critical component is based on FMEA and RCM Decision Worksheet. With the application of RCM method, total downtime decreased by 44.59% from previous preventive actions.*

**Keywords:** *breakdown, Reliability Centered Maintenance, age replacement, FMEA, RCM decision worksheet, downtime.*

**Abstrak.** *Proses produksi di PT. Showa Indonesia Manufacturing tidak selalu lancar, dikarenakan ketidak tahuan akan kehandalan mesin. Kerusakan dapat terjadi sewaktu-waktu dan menyebabkan ketidak pastian akan ketersediaan mesin didalam proses produksi sehingga menyebabkan kerugian yang cukup besar terhadap perusahaan. Penelitian dilakukan pada mesin kompresor yang digunakan untuk memproduksi udara bertekanan yang digunakan untuk menjalankan mesin-mesin produksi. Berdasarkan penelitian tingkat kerusakan tertinggi ada pada mesin kompresor 4, 8, 10, 5, 16, dan 6 dengan total kerusakan sebesar 70.1%. Hal ini disebabkan oleh sistem mesin yang kompleks dan sistem perawatan yang kurang optimal. Metode Reliability Centered Maintenance (RCM) digunakan untuk menganalisis sistem tersebut untuk mengetahui komponen – komponen yang termasuk dalam kategori kritis. Hasil dari analisis, didapatkan beberapa komponen kritis yang mana diperlukan interval penggantian (age replacement) yang optimal dengan meminimalkan downtime. Selanjutnya dilakukan perencanaan kegiatan pada masing – masing komponen kritis tersebut berdasarkan FMEA dan RCM Decision Worksheet. Dengan penerapan metode RCM maka total downtime turun sebesar 44.59% dari tindakan preventive sebelumnya.*

**Kata Kunci:** *kerusakan, RCM, penggantian, FMEA, waktu henti.*

## I. PENDAHULUAN

Persaingan pasar di dunia industri otomotif saat ini sangat ketat, hal ini disebabkan banyaknya industri otomotif di dunia. Agar dapat bersaing, salah satu caranya yaitu dengan meningkatkan produktivitas yang diantaranya dapat dilakukan dengan menjaga kelancaran

proses produksi. Kelancaran proses produksi dipengaruhi oleh beberapa hal seperti sumber daya manusia serta kondisi dari fasilitas produksi yang dimiliki, dalam hal ini mesin produksi dan peralatan pendukung lain. Untuk menjaga agar peralatan produksi selalu berada pada kondisi yang baik maka diperlukan kegiatan perawatan yang bertujuan untuk mengoptimalkan keandalan (*reliability*) dari komponen-komponen peralatan maupun sistem tersebut. Dengan adanya perawatan diharapkan peralatan mampu memberikan kinerja seoptimal mungkin dalam mendukung kelancaran proses produksi.

PT. Showa Indonesia dalam proses produksinya tidak lepas dari dukungan mesin-mesin di mana salah satunya adalah mesin kompresor. Mesin ini merupakan mesin utama yang berfungsi untuk menghasilkan udara

---

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, President University, Cikarang, Jababeka Industrial Park, Jl. Ki Hajar Dewantara, Kota Jababeka, Bekasi 17530

\* email: [agustinus.id@gmail.com](mailto:agustinus.id@gmail.com)

# email: [hery.azwir@president.ac.id](mailto:hery.azwir@president.ac.id)

bertekanan yang mana digunakan untuk menggerakkan mesin produksi yang bekerja secara otomatis selama 24 jam nonstop dan membutuhkan ketersediaan udara bertekanan yang kontinyu untuk menjamin kualitas dan availabilitas produksi. Apabila terjadi kegagalan pada mesin kompresor maka dapat mengganggu kinerja mesin produksi bahkan dapat menyebabkan terhentinya proses produksi. Mengingat pentingnya mesin kompresor, perusahaan ingin mengetahui kehandalan mesin ini untuk mendapat prediksi yang tepat akan kemampuannya didalam mendukung proses produksi. Dalam situasi tidak adanya kejelasan tentang keandalan mesin kompresor, kerusakan dapat terjadi sewaktu-waktu dan dapat menyebabkan ketidakpastian akan availabilitas mesin dalam mendukung proses produksi. Hal ini terjadi karena adanya kegiatan *overhaul* dan *replacement* atau *corrective maintenance* yang tidak terjadwalakan menimbulkan *breakdown* dan kemacetan atau berhentinya proses produksi sehingga menyebabkan kerugian yang cukup besar bagi perusahaan.

Perawatan atau yang lebih dikenal dengan kata *maintenance* dapat didefinisikan sebagai suatu aktivitas yang diperlukan untuk menjaga atau untuk mempertahankan kualitas pemeliharaan suatu fasilitas agar fasilitas tersebut tetap dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi siap pakai (Sudrajat, 2011). Fasilitas yang dimaksud disini, sudah barang tentu bukannya hanya fasilitas seperti mesin – mesin produksi saja yang memerlukan perawatan tetapi juga fasilitas lain seperti kompresor, *generator*, diesel, turbin, dan utilitas pabrik lainnya, bahkan peralatan kantor seperti komputer, mesin tik ataupun peralatan angkut, seperti *crane*, *forklift*, dan lain-lain.

*Maintenance* merupakan kegiatan pendukung produksi yang sangat dibutuhkan guna mencegah atau mengurangi terjadinya kerusakan pada suatu alat produksi. *Maintenance* dapat dipandang sebagai bayangan dari sistem produksi, dimana apabila sistem produksi beroperasi dengan kapasitas yang sangat tinggi, maka perawatan akan menjadi lebih intensif (Sudrajat, 2011). Menurut Ebeling (1997), definisi

dari keandalan atau *reliability* adalah probabilitas dimana suatu asset mempunyai performansi sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam selang waktu dan kondisi operasi tertentu. Secara umum keandalan merupakan ukuran kemampuan suatu komponen beroperasi secara terus menerus tanpa adanya kerusakan, tindakan perawatan pencegahan yang dilakukan dapat meningkatkan keandalan sistem. *Maintainability* suatu perawatan didefinisikan sebagai probabilitas peralatan yang rusak akan beroperasi kembali dalam periode waktu perawatan tertentu, dimana tindakan perawatan seperti perbaikan (*repair*), *overhaul* atau penggantian (*replacement*) dilakukan. *Maintainability* berkaitan erat dengan standar desain suatu peralatan. *Availability* adalah probabilitas suatu komponen atau sistem dapat beroperasi sesuai dengan fungsi yang telah ditetapkan dalam waktu tertentu ketika digunakan pada kondisi operasi yang telah ditetapkan (Ebeling, 1997). *Availability* juga dapat diinterpretasikan sebagai persentase waktu operasi dari sebuah komponen atau sistem selama interval waktu tertentu atau persentase komponen yang beroperasi pada waktu tertentu. Perbedaannya dengan *reliability* yaitu bahwa *availability* merupakan probabilitas komponen saat ini dapat beroperasi meskipun sebelumnya komponen tersebut pernah mengalami kerusakan dan telah dipulihkan atau diperbaiki kembali pada kondisi operasinya yang normal. Karena itu sistem *availability* tidak pernah lebih kecil dari nilai *reliability*. *Availability* merupakan pengukuran yang lebih sering digunakan untuk sistem atau komponen yang dapat diperbaiki, karena memperhitungkan baik kegagalan atau kerusakan (*reliability*) maupun perbaikan (*maintainability*) (Ebeling, 1997).

*Reliability Centered Maintenance* (RCM) disebut perawatan berbasis keandalan karena RCM mengakui bahwa perawatan tidak dapat bertindak lebih daripada menjamin agar aset terus menerus mencapai keandalan inherennya. Dalam sudut pandang *engineering*, manajemen asset terbagi menjadi dua unsur yaitu pemeliharaan aset dan modifikasi aset, yang merupakan usaha untuk memastikan bahwa semua aset fisik dapat terus melakukan apa yang

diinginkan penggunaannya dan dalam kondisi siap pakai. Menurut Mobray (1991), definisi RCM II adalah suatu proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan agar setiap asset fisik dapat terus melakukan apa yang diinginkan oleh penggunaannya dalam konteks operasionalnya.

RCM fokus pada penanganan item agar tetap handal dalam menjalankan fungsinya dengan tetap mengacu pada efektifitas biaya perawatan. Metodologi RCM menyadari bahwa semua peralatan pada sebuah fasilitas tidak memiliki tingkat prioritas yang sama. RCM menyadari bahwa desain dan operasi dari peralatan berbeda-beda sehingga memiliki peluang kegagalan yang berbeda-beda juga. Pendekatan RCM terhadap program maintenance memandang bahwa suatu fasilitas tidak memiliki keterbatasan finansial dan sumber daya, sehingga perlu diprioritaskan dan dioptimalkan. RCM sangat bergantung pada *predictive maintenance* tetapi juga menyadari bahwa kegiatan *maintenance* pada peralatan yang tidak berbiaya mahal dan tidak penting terhadap reliability peralatan lebih baik dilakukan pendekatan *reactive maintenance*. RCM II merupakan teknik manajemen perawatan yang mengkombinasikan dua jenis tindakan pencegahan yakni *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*.

Tujuan metode RCM pada *maintenance* adalah: (1) Untuk mengembangkan desain yang sifat mampu dipeliharanya (*maintainability*) baik. (2) Untuk memperoleh informasi yang penting untuk melakukan *improvement* pada desain awal yang kurang baik. (3) Untuk mengembangkan sistem *maintenance* yang dapat mengembalikan kepada *reliability* dan *safety* seperti awal mula *equipment* dari deteriorasi yang terjadi setelah sekian lama dioperasikan. (4) Untuk mewujudkan semua tujuan diatas dengan biaya minimum (Masruroh, 2008).

Karena RCM sangat menitik beratkan pada penggunaan *predictive maintenance* maka keuntungan dan kerugiannya juga hampir sama. Adapun keuntungan RCM adalah sebagai berikut: (1) Meningkatkan integritas keselamatan dan juga lingkungan. (2) Meningkatkan performansi

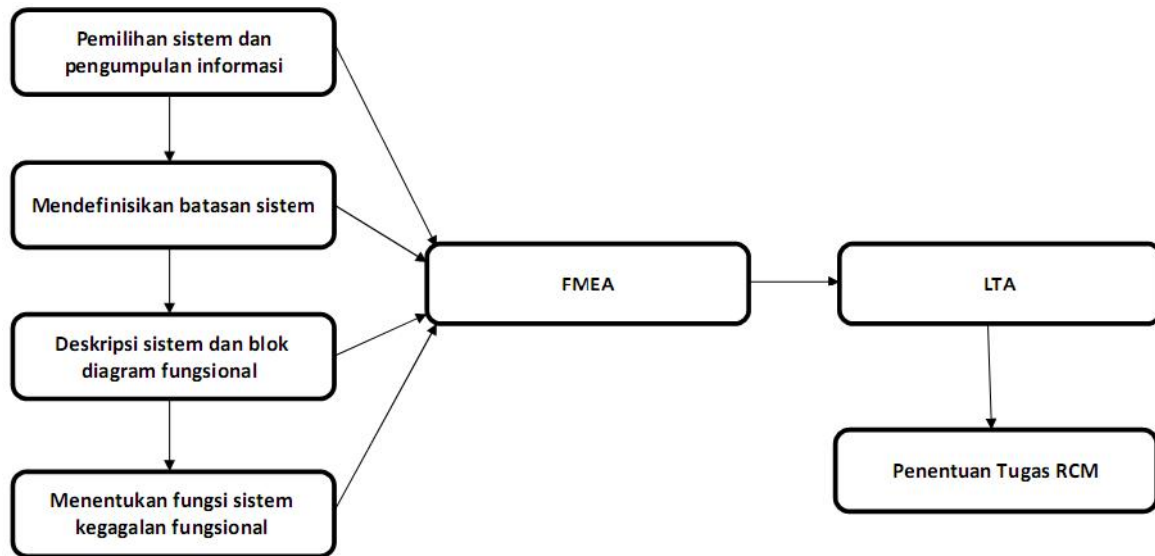
operasi (*output*, kualitas produk, serta pelayanan terhadap konsumen). (3) Meningkatkan efektifitas biaya perawatan, RCM II memfokuskan perhatian pada aktivitas perawatan yang memiliki efek langsung terhadap performansi. (4) Meningkatkan masa pakai/ umur suatu peralatan. Difokuskan pada kegiatan teknik *scheduled on-condition maintenance*. (5) Menyediakan/ sebagai *database* yang lengkap (*comprehensive*). Selain itu juga, informasi yang tersimpan dalam RCM II *worksheet* dapat membantu staf/ pekerja baru yang kurang memiliki pengalaman atau kemampuan (keahlian) untuk menjalankan kegiatan *maintenance* (Moubrey, 1991).

Beberapa penelitian yang telah dipublikasikan dalam aplikasi metode RCM telah dilakukan di industri tekstil dengan fokus pada mesin blowing (Sari & Ridho, 2016), sistem boiler di PLTU (Rachman, dkk, 2017), mesin-mesin pemrosesan aluminium di UKM (Kurniawati & Muzaki, 2017), mesin *blowmould* di sebuah industri minuman multinasional (Hidayah & Ahmadi, 2017). Penelitian ini mengaplikasikan metode RCM dalam ruang lingkup industri otomotif. Tujuan dari penelitian ini adalah: (1) Menemukan komponen kritis dalam sistem kompresor, (2) Meningkatkan kehandalan dan ketersediaan dari mesin kompresor, (2) Menentukan kegiatan dan interval perawatan yang paling efisien.

## II. METODE PENELITIAN

Didalam metode RCM terdapat tujuh tahapan menurut (Moubrey, 1991) yang akan dijelaskan pada Gambar 1.

Dari hasil observasi dan wawancara, maka data yang didapat, dikumpulkan untuk kemudian diolah. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data, meliputi penentuan mesin dan komponen kritis berdasarkan pada data kerusakan mesin yang menyebabkan *downtime* produksi dengan frekuensi terbesar. Pemilihan mesin dan komponen kritis ini menggunakan bantuan diagram Pareto agar lebih memudahkan dalam menentukan frekuensi yang terbesar diantara mesin atau komponen yang satu dengan yang lainnya.



Gambar 1. Tujuh tahap metode RCM (Moubray, 1991)

Berikutnya dilakukan identifikasi penyebab kegagalan yaitu menggunakan tabel FMEA yang mana dilakukan berdasarkan data fungsi dari masing-masing komponen serta laporan histori perawatan yang pernah dilakukan, kemudian baru ditentukan penyebab kegagalan (*failure mode*) yang mengakibatkan kegagalan fungsi (*functional failures*) serta efek atau dampak (*failure effect*) yang ditimbulkan dari kegagalan fungsi.

Selanjutnya dilakukan *Logic Tree Analysis* (LTA) yang merupakan metode yang digunakan untuk melihat dampak yang ditimbulkan oleh masing-masing mode kegagalan yang terjadi. Tujuan LTA adalah untuk mengklasifikasikan mode kegagalan ke dalam beberapa kategori sehingga nantinya dapat ditentukan tingkat prioritas penanganannya

Kemudian *RCM Decision Work Sheet* digunakan untuk mencari jenis tindakan perawatan yang tepat sesuai dengan mode kegagalan yang terjadi. Dilanjutkan dengan pemilihan distribusi yang mendasari data ini menggunakan perhitungan statistik secara manual dan software Minitab 14 dengan kriteria pemilihan adalah nilai statistik Anderson-Darling yang paling kecil. Setelah diperoleh distribusi yang sesuai, kemudian dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai MTTF dan MTTR. Selain itu juga dilakukan analisis kehandalan mesin dan komponen serta analisa resiko.

Dalam menentukan interval perawatan yang optimal pada tiap komponen, maka diperlukan parameter distribusi selang waktu kerusakan yang sesuai dari tiap komponen atau *equipment* pada Unit Kompresor serta penentuan penjadwalan jumlah pekerja yang dibutuhkan sesuai dengan beban kerja yang ada sehingga didapat *schedule efficiency* yang terbesar.

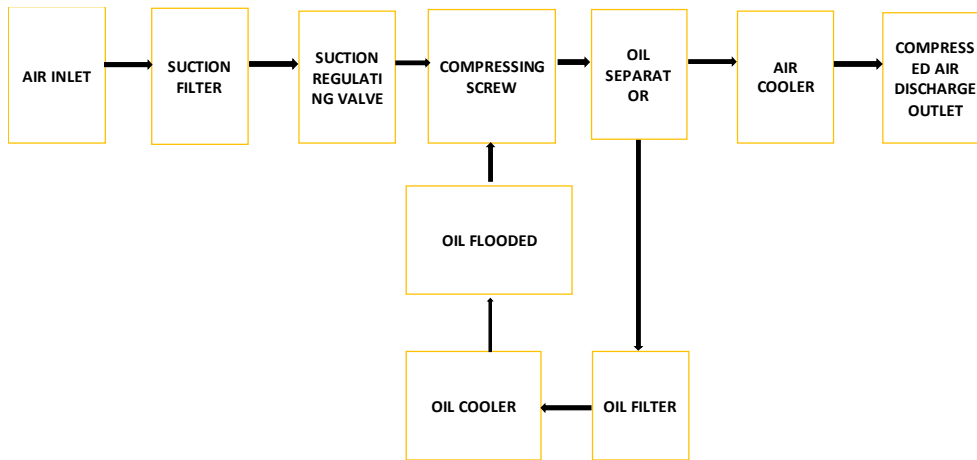
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Functional Block Diagram

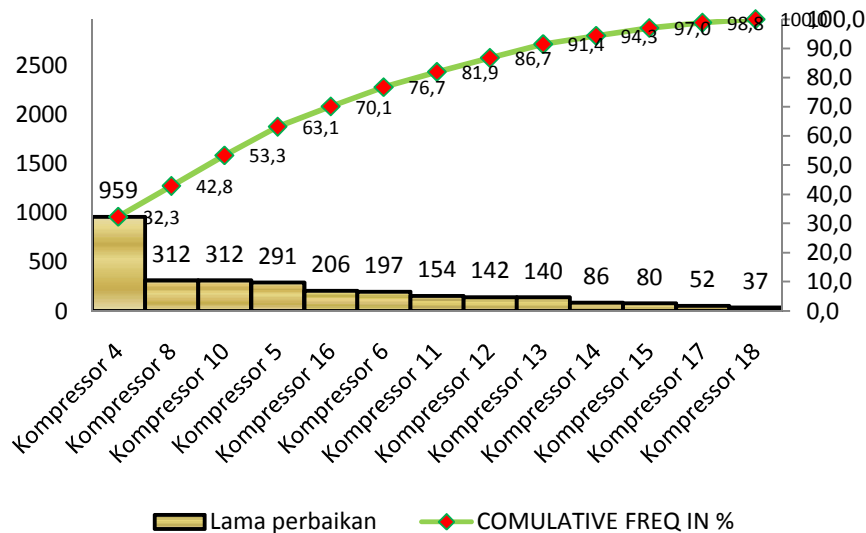
Fungsi dari sistem mesin kompresor adalah menghasilkan udara bertekanan. Di dalam sistem kompresor ini terdapat sejumlah subsistem yang mendukung kerja dari keseluruhan. Subsistem-subsistem ini sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 2.

#### Analisis Penentuan Mesin dan Komponen Kritis Pada Kompresor

Pada Departemen *Maintenance Utility* terdapat tiga belas mesin kompresor. Secara sistem ketiga belas kompresor tersebut tersusun seri yang mana ketika ada salah satu kompresor mengalami *breakdown* maka dapat menyebabkan terganggunya proses produksi. Dari prosedur *maintenance* yang ada sekarang ini masih terjadi beberapa kali *breakdown* yang mengakibatkan kerugian bagi perusahaan. Untuk itu diperlukan



Gambar 2. Diagram blok fungsional kompresor.



Gambar 3. Diagram Pareto lama perbaikan mesin.

analisis yang lebih mendalam bagaimana penanganan masalah tersebut.

Untuk menentukan mesin dan komponen kritis, digunakan analisis pareto 80-20 atau 70-30. Gambar 3 menunjukkan analisis Pareto yang dihasilkan dari data yang terkumpul. Kompresor 4 komponen *motor drive*, kompresor 8 komponen *screw* dan *v-belt*, kompresor 10 komponen motor fan, kompresor 5 komponen *v-belt separator*, kompresor 16 komponen *suction regulating valve*, *piping cooling*, *separator*, dan kompresor 6 komponen *v-belt separator*.

### Analisis Identifikasi Penyebab Kegagalan

Melalui analisis berdasarkan hasil identifikasi penyebab kegagalan menggunakan FMEA pada mesin kompresor kritis didapatkan bahwa komponen-komponen tersebut memiliki tipe kegagalan yang berbeda-beda antara komponen satu dengan yang lainnya. Kegagalan fungsi motor *drive* untuk menggerakkan *screw* kompresor menyebabkan kompresor tidak dapat menghasilkan udara bertekanan ataupun kegagalan *motor drive* karena kekuatan putar yang sudah melemah yang mengakibatkan

performa kompresor menurun. Kegagalan fungsi motor drive ini disebabkan oleh beberapa *part* pada *motor drive*. Didalam metode FMEA kegagalan fungsi *motor drive* direkomendasikan penanganannya berdasarkan *schedule on condition task* yaitu tindakan *preventive* dengan pemeriksaan secara berkala terhadap fungsi *motor drive* item pemeriksaan berupa getaran, temperature, kecepatan putaran (RPM) dan arus pada motor *drive*.

Makin tinggi nilai RPN berarti memiliki potensi kegagalan yang makin tinggi dan akan berpotensi tinggi dalam mempengaruhi kelancaran proses produksi sehingga bagian *maintenance* dapat melakukan pengawasan yang lebih ketat dan usaha perawatan yang lebih intensif sesuai dengan rekomendasi. Nilai RPN tertinggi terdapat pada komponen *sparator* dengan nilai RPN sebesar 192, kemudian *v-belt* dan *suction regulating valve* (144), *motor drive*, *screw compressor*, *motor fan*, dan *piping cooling* (128).

#### Analisis Logic Tree Analysis (LTA)

Dari hasil penyusunan *logic tree Analysis* diketahui konsekuensi dari masing-masing *failure mode* yang terjadi pada masing-masing komponen. Kategori A: komponen *Sparator*; kategori B: komponen *motor drive*, *screw compressor*, *motor fan* dan *suction regulating valve*; kategori C: komponen *V-Belt* dan *piping cooling*. Sebagai contoh, kategori B memiliki

pengertian mode kegagalan mempunyai konsekuensi terhadap operasional plant (mempengaruhi kuantitas ataupun kualitas output) yang dapat menyebabkan kerugian ekonomi secara signifikan.

#### Analisis RCM Decision Worksheet

Hasil dari RCM *Decision Worksheet* adalah dapat diketahui tipe-tipe dari akibat kegagalan yang terjadi pada masing-masing komponen yaitu tipe *hidden failure*, *safety and environment*, *operational* dan *non-operational consequences*. Dengan menggunakan *RCM Decision Worksheet* diperoleh jenis kegiatan yang perlu dilakukan untuk setiap komponen-komponen kritis, *proposed task* yang dikenalkan pada masing-masing komponen berbeda-beda seperti pada motor drive yang memiliki konsekuensi kegagalan yaitu tipe *operational* dan *hidden failure* yang berarti kegagalan dapat berakibat pada berkurangnya output kompresor bahkan mengganggu terhadap proses produksi serta mode kegagalan tidak dapat diketahui secara langsung oleh operator untuk mengatasi hal tersebut dilakukan *schedule on-condition task* dan dilakukan oleh seorang mekanik, tindakan ini untuk melihat kondisi dari motor drive secara berkala dengan menggunakan parameter pemeriksaan yang telah direkomendasikan sehingga dapat dilakukan penggantian sesuai dengan keadaan yang ada saat itu sehingga

**Tabel 1.** Hasil Perhitungan Nilai Index Of Fit.

Kompresor	Komponen	Distribusi TTF	Index of Fit	Distribusi TTR	Index of Fit
4	<i>Motor Drive</i>	Weibull	0.9846	Normal	0.9606
5	<i>V-Belt</i>	Exponential	0.9053	Weibull	0.8410
	<i>Sparator</i>	Exponential	0.9986	Exponential	0.9682
6	<i>V-Belt</i>	Exponential	0.9066	Normal	0.8686
	<i>Sparator</i>	Weibull	0.8757	Exponential	0.8744
8	<i>Screw</i>	Exponential	0.9442	Normal	0.9606
	<i>V-Belt</i>	Weibull	0.8299	Exponential	0.8811
10	<i>Motor Fan</i>	Exponential	0.9937	Normal	0.9482
	<i>Suction Regulating Valve</i>	Weibull	0.8272	Normal	0.9414
16	<i>Sparator</i>	Weibull	0.9495	Weibull	0.9392
	<i>Piping Cooling</i>	Exponential	0.9338	Weibull	0.8595

dapat meminimalisir terjadinya *downtime*.

**Analisis Penentuan Distribusi**

Kerusakan mesin kompresor tentunya tidak dapat dihindarkan, akan tetapi kerusakan itu dapat diminimalisir dengan memrediksi kapan diperkirakan kerusakan itu terjadi. Didalam analisis karakteristik laju kerusakan pada mesin kompresor dapat digambarkan dengan bentuk *bath tube curve*, yang mana laju kerusakan menurun pada saat siklus awal, kemudian diikuti dengan laju kerusakan konstan, selanjutnya adalah laju kerusakan meningkat.

Penentuan distribusi dari data waktu kerusakan dan waktu perbaikan pada mesin kompresor dapat dilakukan dengan tiga tahapan proses, yaitu terdiri dari: identifikasi kandidat distribusi, estimasi parameter, dan uji *Goodness of Fit*. Sebagai contoh pada kompresor 4 yaitu pada komponen motor drive nilai *index of fit* untuk data waktu kerusakan berdistribusi weibull dengan nilai *index of fit* sebesar 0.9846 yang mana dapat diartikan kerusakan masuk dalam daerah *burn in* atau *wear out* akan tetapi untuk melihat lebih jelas maka dilakukan pengujian untuk menguji kesahihan data maka akan dilakukan tahapan uji data selanjutnya. Hasil perhitungan nilai *index of fit* dapat dilihat pada Tabel 1.

**Analisis Kesesuaian Distribusi**

Dari Tabel 1, perhitungan data interval kerusakan (TTF) komponen motor drive kompresor 4 menunjukkan hasil yaitu berdistribusi weibull. Hal ini didukung dengan nilai *index of fit* terbesar yang terdapat pada distribusi weibull dan pada pengujian hipotesa selanjutnya dengan uji *Mann’s test* dimana hasil perhitungan M harus lebih kecil dari  $< F_{crit}$ , agar diterima hipotesanya. Dari perhitungan didapat nilai  $M = 0.8480$  dan  $F_{crit} 0.05,3,2 = 19.16$  maka masuk kedalam daerah penerimaan  $H_0$  yang berarti data mengikuti distribusi Weibull.

Untuk data interval perbaikan (TTR) untuk komponen motor drive kompresor 4 menunjukkan hasil yaitu berdistribusi normal hal ini didasari pada nilai *index of fit* terbesar jatuh pada distribusi normal yaitu sebesar  $= 0.9606$ . Pengujian lebih lanjut itu adalah dengan melakukan perhitungan MLE dan uji *goodness of fit* yang dilakukan sesuai dengan jenis distribusi yang memiliki nilai r terbesar. Pada komponen Motor Drive Kompresor 4, distribusi yang terpilih adalah distribusi Normal. Didalam pengujian *goodness of fit* menggunakan bantuan software Minitab 14 untuk mempercepat perhitungan yang mana sebagai acuan uji kebaikan suaian ini adalah nilai *Anderson darling* terkecil. Adapun hasil yang didapat dari uji *goodness of fit* ini terhadap data waktu kerusakan dan waktu

**Tabel 2.** Hasil Perhitungan Nilai Uji Goodness Of Fit.

Kompresor	Komponen	Distribusi TTF	Anderson Darling	Distribusi TTR	Anderson Darling
4	Motor Drive	Weibul	3.688	Normal	3.040
5	V-Belt	Lognormal	1.317	Weibull	1.574
	Sparator	Lognormal	2.964	Lognormal	2.645
6	V-Belt	Normal	2.271	Weibull	2.472
	Sparator	Weibul	2.862	Weibull	2.844
8	Screw	Weibul	3.807	Normal	3.040
	V-Belt	Weibul	1.885	Weibull	1.935
10	Motor Fan	Weibul	2.539	Weibull	2.295
	Suction Regulating Valve	Normal	2.759	Weibull	2.349
16	Sparator	Normal	3.791	Normal	3.150
	Piping Cooling	Weibul	3.800	Weibul	2.914

Tabel 3. Nilai MTTF dan Nilai Parameter Komponen Kritis.

Kompresor	Komponen	Distribusi	Parameter	MTTF (Jam )
4	<i>Motor Drive</i>	Weibul	$\beta = 3.94$ $= 8266$	7439.4
	<i>V-Belt</i>	Lognormal	$s = 0.44127$ $t \text{ med} = 2418.73$	2674.2
5	<i>Sparator</i>	Lognormal	$s = 0.2881$ $t \text{ med} = 6198.11$	6460.85
	<i>V-Belt</i>	Normal	$\mu = 5584$ $= 2026.48$	5584
6	<i>Sparator</i>	Weibul	$\beta = 2.57$ $= 5581.20$	4954.12
	<i>Screw</i>	Weibul	$\beta = 1.74$ $= 17691.58$	15745
8	<i>V-Belt</i>	Weibul	$\beta = 1.3134$ $= 8302.81$	7638.58
	<i>Motor Fan</i>	Weibul	$\beta = 2.58$ $= 15330.94$	13644.54
10	<i>Suction Regulating Valve</i>	Normal	$\mu = 7728$ $= 2835.78$	7728
	<i>Sparator</i>	Normal	$\mu = 7112$ $= 1482.35$	7112
16	<i>Piping Cooling</i>	Weibul	$\beta = 6.0085$ $= 18290.46$	16936.54

perbaikan ditunjukkan dalam Tabel 2.

### Analisis Perhitungan Parameter dan MTTF Distribusi Terpilih

Setelah ditentukan distribusi yang paling mewakili pada masing-masing data waktu kerusakan (TTF) dan data waktu perbaikan (TTR) komponen kritis kompresor pada perhitungan sebelumnya, selanjutnya adalah dilakukan perhitungan parameter berdasarkan distribusi yang terpilih dengan menggunakan *Maximum Likelihood Estimator* (MLE) dan LSCF. Nilai MTTF yang dihasilkan merupakan waktu dimana komponen tersebut mengalami penurunan kinerja dan memungkinkan terjadinya kerusakan atau tidak dapat beroperasi dengan seharusnya sehingga mengakibatkan kerugian produksi. Pada Tabel 3 diperlihatkan hasil perhitungan nilai MTTF dan parameter yang diperoleh berdasarkan

distribusi yang terpilih pada analisis sebelumnya.

Dari perhitungan tersebut diketahui bahwa pada sistem penyedia udara bertekanan ini terdapat komponen yang memiliki nilai MTTF terkecil yang artinya komponen tersebut harus menjadi prioritas penanganan karena peluang akan terjadi kerusakan akan lebih besar. Dari hasil perhitungan MTTF dan parameter dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok distribusi yaitu Weibull, Lognormal dan Normal. Dari distribusi Weibull dapat diartikan bahwa untuk nilai  $\beta > 1$  maka laju kegagalan (*failure rate*) akan bertambah seiring dengan bertambahnya waktu untuk itu penggantian pencegahan harus dilakukan untuk meminimalisir terjadinya *breakdown*. Untuk distribusi normal parameter yang didapat dapat diartikan mempunyai laju kerusakan yang naik sejak bertambahnya umur alat, yang berarti probabilitas kerusakan alat atau



**Tabel 4.** Nilai MTTR dan Nilai Parameter Komponen Kritis.

Kompresor	Komponen	Distribusi	Parameter	MTTR (Jam )
4	Motor Drive	Normal	$\mu = 170$ $= 7.07$	170
5	V-Belt	Weibul	$\beta = 2.76$ $= 19.50$	17.35
	Sparator	Lognormal	$s = 1.2903$ t med = 3.865	8.88
6	V-Belt	Weibul	$\beta = 2.266$ $= 11.86$	10.496
	Sparator	Weibul	$\beta = 2.265$ $= 10.88$	9.63
8	Screw	Normal	$\mu = 48$ $= 1.41$	48
	V-Belt	Weibul	$\beta = 2.56$ $= 14.20$	12.59
10	Motor Fan	Weibul	$\beta = 4.54$ $= 32.35$	29.43
	Suction Regulating Valve	Weibul	$\beta = 4.49$ $= 32.35$	29.3
16	Sparator	Normal	$\mu = 6$ $= 1.22$	6
	Piping Cooling	Weibul	$\beta = 3.37$ $= 14.58$	13.11

komponen naik sesuai dengan bertambahnya umur komponen tersebut. Sedangkan untuk komponen dengan distribusi Lognormal yang memiliki nilai parameter  $s < 1$ , hal tersebut menunjukkan bahwa laju kerusakan yang dialami komponen tersebut akan semakin meningkat. Karena semakin kecil nilai  $s$  (*shape parameter*), maka semakin besar laju kerusakan yang dihasilkan sehingga kurva laju kerusakan (*hazard rate curve*) memiliki bentuk kurva yang semakin memuncak. Karena seiring dengan bertambahnya umur komponen kerusakan pun semakin meningkat.

**Analisis Perhitungan Parameter dan Nilai MTTR Distribusi Terpilih**

Dalam tahap perhitungan parameter dan nilai MTTR distribusi terpilih ini dilakukan hal yang sama seperti perhitungan pada MTTF. MTTR menunjukkan waktu rata-rata perbaikan, yang ditetapkan berdasarkan parameter-parameter distribusi yang terpilih yang dihasilkan dalam

perhitungan sebelumnya. Tabel 4 menampilkan hasil perhitungannya.

Hasil MTTR yang didapat menunjukkan nilai MTTR terbesar adalah komponen Screw dengan nilai sebesar 48 jam, hal tersebut dapat diartikan bahwa rata-rata waktu untuk melakukan pemeriksaan, perbaikan sampai penggantian komponen memerlukan waktu tersebut. Hal ini dikarenakan besarnya ukuran komponen dan proses pembongkaran yang memerlukan kehati-hatian sehingga membuat proses perbaikan memakan waktu yang lama. Oleh karena itu, perusahaan dapat melakukan sejumlah antisipasi pada saat akan dilakukan *preventive maintenance* untuk komponen ini. Dengan cara mempersiapkan segala sesuatu dari segi sumber daya dan peralatannya agar dipersiapkan dengan baik sebelum melakukan perawatan. Hal ini dimaksudkan agar waktu perbaikan yang dilakukan pada waktu yang akan datang dapat dikurangi sehingga secara otomatis akan mengurangi waktu *downtime* yang terjadi. Dari

perhitungan tersebut diketahui bahwa pada sistem penyedia udara bertekanan ini terdapat komponen yang memiliki nilai MTTR terbesar yang artinya komponen tersebut harus menjadi prioritas penanganan karena peluang *downtime* akan semakin lama. Dari hasil perhitungan MTTR dan parameter dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok distribusi yaitu weibul, lognormal dan normal. Yang mana analisis hasil untuk parameter pada MTTR ini sama seperti pada MTTF.

### **Analisis Penentuan Interval Waktu Penggantian Pencegahan Optimal Berdasarkan Metode Minimasi Downtime**

Analisis model penentuan interval waktu penggantian pencegahan berdasarkan kriteria *minimasi downtime* dilakukan dengan tujuan untuk menentukan waktu terbaik dilakukannya penggantian pencegahan guna meminimalkan total *downtime* per satuan waktu. Model yang digunakan untuk analisis *minimasi downtime* ini adalah model *age replacement* yang mana pada model ini tindakan penggantian pencegahan dilakukan tergantung pada umur pakai komponen dengan menghitung umur optimal komponen dan melakukan penggantian berdasarkan umur dari komponen tersebut. Seperti pada kompresor 4 komponen motor drive dengan *age replacement* 7000 jam, kompresor 5

komponen v belt *age replacement* 1900 jam, sparator 4500 jam. Kompresor 6 komponen v-belt 4300 jam, komponen sparator 4500 jam, kompresor 8 komponen screw 15500 jam komponen v-belt 7000 jam kompresor 10 komponen motor fan 13500 jam kompresor 1 komponen suction regulating valve 5800 jam komponen sparator 5400 jam. Piping cooling 16500 jam

Pada mesin kompresor 4 yaitu pada komponen motor drive penggantian komponen dilakukan setiap interval 7000 jam dengan nilai *minimasi downtime* sebesar 0.0206 yang didapat dari perhitungan. Penggantian pada komponen-komponen tersebut dilakukan sesuai dengan perhitungan yang diperoleh, meskipun tidak terjadi kerusakan pada waktu tersebut. Sehingga dengan didapat nilai *age replacement* yang paling optimal maka akan dapat dilakukan penjadwalan penggantian komponen berdasarkan *minimasi downtime* sehingga secara langsung juga akan meningkatkan *availability* dari komponen. Hal ini dapat terjadi karena penggantian dilakukan sebelum komponen tersebut mengalami kerusakan.

### **Analisis Penentuan Pemeriksaan Mesin Yang Optimal**

Setelah dilakukan penentuan *replacement* komponen yang paling optimal berdasarkan

**Tabel 5.** Hasil Rekapitulasi Perhitungan Interval Waktu Pemeriksaan.

Kompresor	Komponen	Jumlah Pemeriksaan Per Tahun (Kali)	Waktu Antar Pemeriksaan (Jam)
4	Motor Drive	11	791.20
5	V-Belt	6	1500.00
	Sparator	3	3272.72
6	V-Belt	3	2779.93
	Sparator	3	2769.23
8	Screw	4	2130.18
	V-Belt	3	3012.55
10	Motor Fan	3	2618.18
	Suction Regulating Valve	4	1961.85
16	Sparator	2	4186.05
	Piping Cooling	2	4390.24

*minimasi downtime*, tahap berikutnya adalah menentukan frekuensi pemeriksaan yang optimal yang bertujuan untuk mengantisipasi terjadinya kerusakan secara mendadak atau tiba-tiba khususnya pada komponen kritis. Tabel 5 menampilkan hasil rekapitulasi jumlah pemeriksaan dan waktu pemeriksaan.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai jumlah pemeriksaan per tahun dan waktu antar pemeriksaan yang paling optimal, dimana jam kerja sebulan sebesar 720 jam. Seperti pada komponen motor drive kompresor 4 yang mana didapatkan bahwa frekuensi pemeriksaan optimal perlu dilakukan sebanyak 11 kali dalam setahun dengan selang waktu antar pemeriksaan sebesar 791.2 jam, begitu juga dengan komponen-komponen yang lainnya. Tindakan pemeriksaan termasuk dalam tindakan pencegahan terhadap *downtime* sehingga keandalan komponen atau mesin dapat terjaga. Dengan didapatkan nilai waktu pemeriksaan optimal maka akan dapat dilakukan penjadwalan kegiatan *preventive* tepat sesuai dengan kebutuhan.

**Analisis Availability Total**

Analisis *availability* digunakan sebagai basis untuk mengambil keputusan. Tujuan perhitungan ini adalah untuk mengetahui kemampuan komponen dalam bekerja apabila perawatan dan pemeriksaan dilakukan. Perhitungan tingkat ketersediaan total dilakukan dengan mengalikan

nilai ketersediaan pada saat dilakukan penggantian pencegahan dengan nilai ketersediaan pada saat dilakukan pemeriksaan. Hasil perhitungannya ditunjukkan dalam Tabel 6.

Nilai keandalan komponen dari waktu ke waktu akan mengalami penurunan kebijakan dari perusahaan yang akan menentukan berapa minimum presentase keandalan yang diperbolehkan. Nilai keandalan akan kembali tinggi ketika penggantian part dilakukan. Nilai keandalan terkecil yaitu pada mesin kompresor 4 komponen kritis motor *drive*, jika keandalan sistem akan ditingkatkan maka prioritas pertama hendaklah pada motor *drive*. Akan tetapi dari hasil yang didapat nilai keandalan total pada masing-masing komponen mendekati nilai 1 yang artinya menunjukkan tingginya probabilitas dari komponen untuk dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya. Karena nilai keandalan semakin baik jika mendekati 1 diharapkan dengan adanya jadwal penggantian dan pemeriksaan akan meningkatkan nilai keandalan pada masing-masing komponen.

**Analisis Tingkat Ketersediaan Komponen**

Analisis tingkat ketersediaan komponen ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tingkat persediaan minimum, sehingga jumlah persediaan selalu ada tanpa terjadi waktu tunda logistic/ material dan dapat meminimumkan persediaan khususnya dan biaya perawatan pada

**Tabel 6.** Total Availability Kompresor/ bulan.

Kompresor	Komponen	Avaibility Interval Penggantian	Avaibility Pemeriksaan	Total Avaibility
4	Motor Drive	0.979	0.949	0.929
5	V-Belt	0.996	0.973	0.969
	Sparator	0.999	0.988	0.987
6	V-Belt	0.999	0.985	0.984
	Sparator	0.998	0.985	0.983
8	Screw	0.997	0.989	0.986
	V-Belt	0.998	0.987	0.985
10	Motor Fan	0.996	0.985	0.981
16	Suction Valve	0.998	0.979	0.977
	Sparator	0.999	0.99	0.989
	Piping Cooling	0.999	0.991	0.990

**Tabel 7.** Jumlah Ketersediaan Komponen Dalam 1 Tahun.

Kompresor	Komponen	Jam Kerja Per Tahun	Umur Komponen	Ketersediaan Komponen
4	Motor Drive	8640	7000	1
5	V-Belt	8640	1900	5
	Sparator	8640	4500	2
6	V-Belt	8640	4300	2
	Sparator	8640	4500	2
8	Screw	8640	15500	1
	V-Belt	8640	7000	1
10	Motor Fan	8640	13500	1
16	Suction Regulating Valve	8640	5800	1
	Sparator	8640	5400	2
	Piping Cooling	8640	16500	1

**Tabel 8.** Perbandingan Reliability Sebelum dan Sesudah Dilakukan Preventive Maintenance.

Kompresor	Komponen	T (jam)	MTTF	R (t)	Rm (t)
4	Motor Drive	7000.00	7439.40	0.5165	0.5946
5	V-Belt	1900.00	2674.20	0.4100	0.6177
	Sparator	4500.00	6460.85	0.4427	0.7585
6	V-Belt	4300.00	5584.00	0.5000	0.7244
	Sparator	4500.00	4954.12	0.4787	0.5616
8	Screw	15500.00	15745.0	0.4418	0.4513
	V-Belt	7000.00	7638.58	0.4078	0.4339
10	Motor Fan	13500.00	13644.54	0.4767	0.4864
16	Suction Regulating Valve	5800.00	7728.00	0.5000	0.7364
	Sparator	5400.00	7112.00	0.5000	0.8613
	Piping Cooling	16500.00	16936.54	0.5324	0.5834

umumnya. Metode penentuan jumlah ketersediaan komponen kritis dalam jangka satu tahun yaitu dengan cara membagi jumlah jam kerja selama satu tahun dengan umur optimum masing-masing komponen sesuai dengan perhitungan *age replacement* yang sudah ada. Hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 7.

Dari hasil perhitungan seperti terlihat dalam Tabel 7 didapatkan jumlah minimum persediaan komponen dalam setahun. Dalam mesin kompresor 4 komponen motor drive, jumlah komponen yang harus disediakan yaitu satu buah untuk komponen yang lain sesuai dengan tabel rekapitulasi dari hasil perhitungan untuk masing-masing komponen. Jumlah masing-masing komponen tersebut dipengaruhi oleh umur komponen dan jumlah jam kerja. Dengan diketahui jumlah persediaan komponen ini akan

dapat menurunkan waktu *downtime* yang dikarenakan ketidaktersediaan komponen pada waktu diperlukan untuk penggantian, karena waktu *downtime* dihitung sejak mesin tidak dapat bekerja sampai mesin dapat bekerja sesuai fungsinya kembali. Ketika *downtime* terjadi dan harus melakukan penggantian komponen sedangkan komponen belum tersedia maka waktu *downtime* akan bertambah lama karena ditambah waktu *delay* untuk pengadaan komponen.

#### **Analisis Perbandingan Keandalan (*Reliability*) Sebelum dan Setelah**

Setelah dilakukan perhitungan pada analisis sebelumnya, maka tahap ini digunakan untuk menganalisis terjadinya peningkatan atau penurunan terhadap nilai *reliability* pada masing-

masing komponen kritis sebelum dan sesudah dilakukan tindakan *preventive maintenance*. Tabel 8 menampilkan data rekapitulasi reliability hasil perhitungan pada mesin kritis.

Dari Tabel 8 dapat dilihat bahwa nilai *reliability* pada masing-masing komponen kritis mesin kompresor menunjukkan ada peningkatan nilai *reliability* dibandingkan sebelum dilakukan tindakan penggantian. Dari Tabel 8 dapat diperoleh bahwa nilai peningkatan reliability-nya antara 2.1 % sampai 50.65%. Dengan adanya tindakan *preventive maintenance* ini maka dapat meningkatkan reliabilitas komponen dan mengurangi *downtime* yang terjadi, karena diketahuinya waktu penggantian komponen dan frekuensi waktu pemeriksaan yang optimal.

**Analisis Total Downtime Sebelum dan Sesudah Tindakan Preventive Maintenance**

Tindakan *preventive maintenance* dapat menyebabkan kenaikan ataupun penurunan waktu *downtime* tergantung dari ketepatan dalam melakukan tindakan *preventive maintenance*. Tabel 9 adalah rekapitulasi perbandingan sebelum adanya tindakan preventive dan setelah dilakukan tindakan preventive.

Dari Tabel 9, dapat disimpulkan bahwa total *downtime* sesudah dilakukan tindakan *preventive*

*maintenance* mengalami penurunan sebesar 44.59%. Penurunan waktu *downtime* disebabkan oleh penurunan waktu repair yang mana dasar penurunan waktu repair yang disebabkan oleh adanya tindakan *preventive* yang dilakukan terhadap komponen-komponen kritis mesin kompresor, seperti melakukan penggantian pencegahan dan pemeriksaan yang terencana dan rutin berdasarkan umur ekonomis komponen dan frekuensi pemeriksaan yang optimal sehingga meminimalisir terjadinya *breakdown* secara tiba-tiba dan karena adanya ketersediaan komponen.

**Penentuan Interval Perawatan dan Penjadwalan Man Power Utility**

Didalam analisis penentuan interval perawatan dan penjadwalan *manpower utility* didasarkan pada hasil *minimasi downtime* yang telah didapat sebelumnya serta berdasarkan dari hasil perhitungan *age replacement* dan waktu pemeriksaan pada setiap komponen sehingga dari sini akan didapat jumlah *manpower* dan *man hours* yang dibutuhkan paling optimal. Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa dengan adanya metode ini akan meningkatkan seringnya melakukan tindakan *preventivemaintenance* karena untuk menjaga *reliability* dan *availability* mesin kompresor, seperti yang terdapat pada

Tabel 9. Perbandingan Total Downtime Sebelum dan Sesudah Tindakan *Preventive Maintenance*.

Kompresor	Komponen	Sebelum Adanya Preventive Maintenance (Jam)	Setelah Adanya Preventive Maintenance (Jam)
4	Motor Drive	136	24.00
5	V-Belt	9.6	5.00
	Sparator	4	6.00
6	V-Belt	5.6	2.00
	Sparator	4.8	6.00
8	Screw	38.4	24.00
	V-Belt	6.4	1.00
10	Motor Fan	9.6	6.00
	Suction Regulating Valve	9.6	8.00
16	Sparator	4.8	6.00
	Piping Cooling	4.4	16.00
<b>TOTAL</b>		<b>233.2</b>	<b>104.00</b>

komponen motor drive kompresor 4, sebelum adanya usulan menggunakan metode RCM tidak ada tindakan *preventive* yang dilakukan pada komponen ini metode yang digunakan yaitu metode *run to fail* sehingga komponen motor dibiarkan sampai rusak baru dilakukan penggantian. Dengan adanya metode RCM komponen motor dilakukan penggantian setiap 7000 jam yang mampu dikerjakan oleh 2 *man power* selama 24 jam, dan dikerjakan 3 shift kerja secara terus menerus secara bergantian. Dalam setahun tindakan penggantian komponen ini dilakukan sebanyak 1 kali sehingga *manhours* yang diperlukan dalam setahun adalah 48 jam *manhours* Kebijakan untuk menjaga bahwa komponen dapat bekerja sesuai dengan fungsinya dan untuk mendeteksi gejala kerusakan maka dilakukan pemeriksaan, pada komponen motor drive kompresor 4 dilakukan pemeriksaan sebanyak 11 kali dalam waktu setahun dengan interval pemeriksaan setiap 791.2 jam. Pemeriksaan disini membutuhkan waktu sekitar 20 menit dilakukan oleh 1 *man power*, sehingga dalam 1 tahun membutuhkan *manhours* sebanyak 2.2 jam. Untuk item pemeriksaan sesuai dengan usulan pada RCM *Decision Worksheet* dan FMEA sehingga dapat memastikan bahwa komponen masih dapat bekerja sesuai fungsinya dan gejala-gejala kerusakan dapat dideteksi secara dini, hal ini juga dilakukan pada komponen-komponen yang lain

#### Rancangan Kebijakan Perawatan

Dari FMEA, RCM *Decision Worksheet* maka akan timbul suatu perencanaan kegiatan perawatan untuk masing-masing komponen. Adapun kebijakan yang diambil antara lain *Schedule Discard Task*, *On-Conditioning Task*, *Failure Finding*. Semua komponen kritis kompresor mendapat penjadwalan untuk dilakukan tindakan *failure finding* dikarenakan untuk mencegah terjadinya *downtime* secara tiba-tiba karena dengan melakukan kegiatan *preventif maintenance* secara *periodic* dan terjadwal. Dengan adanya kebijakan ini maka akan ditemukan *failure-failure* yang terjadi sehingga dapat mencegah efek yang timbul akibat dari *failure* tersebut. Sedangkan kebijakan

*schedule on-condition task* dilakukan berdasarkan kondisi komponen, penjadwalan ini dirancang dengan melihat kondisi dari komponen yang ada apakah akan dilakukan penggantian atau akan dilakukan perbaikan. Peralatan yang mendapat penjadwalan pemeriksaan berdasarkan *schedule on-condition task* untuk menentukan tindakan penggantian adalah Motor *drive*, Motor *fan*, Screw dan *Suction Regulating Valve*. Untuk kebijakan *Scheduled Discard Task* ini dilakukan untuk kebijakan penggantian part-part dari peralatan yang ada berdasarkan pada minimasi *downtime*, peralatan-peralatan yang mendapatkan penjadwalan penggantian komponen adalah *V-Belt*, *Separator*, dan *Piping cooling*.

#### IV. SIMPULAN

Dengan melakukan tindakan *preventive maintenance* menggunakan Metode *Reliability Centered Maintenance* berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, didapatkan tingkat kehandalan mesin kompresor meningkat yang mana dapat dilihat antara lain sebagai berikut: (1) Komponen kritis adalah: Kompresor 4 komponen motor drive, kompresor 8 komponen screw dan v-belt, kompresor 10 komponen motor fan, kompresor 5 komponen v-belt sparator, kompresor 16 komponen suction regulating valve, piping cooling, sparator, dan kompresor 6 komponen vbelt separator. (2) Menurunnya waktu *downtime* mesin yang dikarenakan adanya tindakan penggantian komponen dan pemeriksaan sebelum terjadi kerusakan sehingga nilai *Availability* dan *Reliability* komponen kritis kompresor mengalami peningkatan. Total *downtime* mengalami penurunan sebesar 44.59% pertahun setelah dilakukan tindakan *preventive maintenance*. (3) Interval perawatan dan kebijakan perawatan mengacu pada bahasan Penentuan Interval Perawatan dan Penjadwalan ManPower Utility dan Rancangan Kebijakan Perawatan di bagian Hasil dan Pembahasan.

Penelitian yang dilakukan Felecia (2014) mengenai fuzzifikasi metode RCM dengan pendekatan Teori Fuzzy Set menarik untuk dikaji

lebih lanjut mengingat RCM konvensional yang diterapkan masih menggunakan Crisp Set.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ebeling, E.C. (1997). *An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Felecia. (2014) "Fuzzy Logic Reliability Centered Maintenance." *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 16 (2), 121-126.
- Hidayah, N.Y.; Ahmadi, N. (2017). "Analisis Pemeliharaan Mesin Blowmould Dengan Metode RCM Di PT. CCAI". *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Vol. 16 (20), 167-176.
- Kurniawati, D.A.; Muzaki, M.L. (2017). "Analisis Perawatan Mesin Dengan Pendekatan RCM Dan MVSM. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, Vol. 16 (2), 89-105.
- Masruroh, N. (2008). Perencanaan Kegiatan Perawatan Pada Unit Produksi Butiran (padat) Dengan Basic: RCM (Reliability Centered Maintenance) Di PT Petrokimia Kayaku Gresik. *Skripsi*, UPN"Veteran", Indonesia.
- Moubray, J. (1991). *Reliability Centered Maintenance (RCM II)*. Great Britain: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Rachman, H.; Garside, A.K.; Kholik, H.M. (2017). "Usulan Perawatan Sistem Boiler Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (RCM)". *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 18 (1), 86-93.
- Sari, D.P.; Ridho, M.F. (2016). "Evaluasi Manajemen Perawatan Dengan Metode Reliability Centered Maintenance (Rcm) II Pada Mesin Blowing I Di Plant I Pt. Pisma Putra Textile". *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 11 (2), 73-80.
- Sudrajat, A. (2011). *Pedoman Praktis Manajemen Perawatan Mesin Industri*. Bandung: Refika Aditama.