

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kecap

Kecap kedelai merupakan salah satu produk fermentasi yang digunakan sebagai produk pencita rasa khususnya negara di Asia yang merupakan produk bumbu (*condiment*) yang tertua di Cina selama lebih dari 3000 tahun. Kecap kedelai dibuat menggunakan kacang kedelai yang dicampurkan dengan terigu, garam, air, dan mikroba seperti *Aspergillus oryzae* atau *Aspergillus zozae* (Muangthai dkk, 2009). Berdasarkan SNI 3543:1999, kecap yang biasanya dibuat dari kedelai diklasifikasikan menjadi dua, yaitu kecap kedelai manis dan kecap kedelai asin. Perbedaan pembuatan kecap manis dan asin yaitu pada kecap manis terdapat penambahan gula dan bumbu rempah lain, sedangkan untuk kecap asin tidak ada penambahan gula.

Proses pembuatan kecap secara umum yaitu kedelai bersih direndam semalam, kemudian direbus selama 1-5 jam. Biji kedelai masak ditebarkan dan diinokulasikan dengan kapang atau tanpa inokulasi karena wadahnya sudah menjadi sumber inokulan dan diinkubasi pada ruang khusus selama 3-20 hari (umumnya 1 minggu). Tahap ini disebut tahap fermentasi koji. Koji yang diperoleh kemudian dicampur dengan air garam dengan konsentrasi 20-23% selama 4-8 bulan sambil dilakukan pengadukan berkala (proses moromi). Filtrat moromi dimasak dengan air, lalu ditambah gula palma dan bumbu lainnya. Campuran ini disaring dan dimasak kembali sehingga kecap yang dihasilkan kemudian dapat dikemas dalam kemasan (Maryani, 2007).

2.2 Mesin dan Peralatan Produksi

Mesin dan peralatan produksi merupakan proses mencakup semua perangkat dan peralatan manufaktur lainnya yang secara langsung terkait dalam pekerjaan, pengolahan, pemeriksaan, pengepakan dari benda-benda kerja atau produk. Mesin dan peralatan produksi dibedakan menjadi tiga yaitu manual, otomatis dan semi otomatis (Pardede, 2005). Perkembangan teknologi mesin industri yang semakin

meningkat akan mendorong semua perusahaan industri agar dapat mengadopsi teknologi tersebut untuk menghasilkan produk yang berkualitas terlepas dari biaya investasi yang harus dikeluarkan. Hal ini adalah dampak dari persaingan dalam hal menjaring konsumen, karena konsumen pada akhirnya akan mencari produk yang berkualitas. Faktor mesin merupakan salah satu tolok ukur keberhasilan produksi karena jika dikelola dengan baik akan menghasilkan barang berkualitas yang baik. Oleh sebab itu perusahaan harus selalu memiliki mesin prima dan terjamin dan hal tersebut membutuhkan kegiatan pemeliharaan mesin (Komarasakti, 2008).

Salah satu mesin yang digunakan pada industri kecap adalah mesin *hot filling*. Fungsi dari mesin *hot filling* adalah untuk mengisi kemasan dengan produk berupa cairan (*liquid*). *Hot filling* adalah teknik proses termal yang banyak diterapkan untuk produk pangan berbentuk cair seperti saus, selai kecap dll. Dari segi tujuan, proses *hot filling* banyak dilakukan untuk produk pangan yang memiliki pH rendah untuk tujuan pasteurisasi. Pengertian *hot filling* adalah melakukan pengisian produk dalam keadaan panas setelah proses pasteurisasi ke dalam kemasan steril lalu ditutup rapat dan didinginkan. Biasanya proses *hot filling* dikombinasikan dengan proses pengawetan seperti penambahan gula dan garam (Brandau, 2017).

2.3 Perawatan (*Maintenance*)

Menurut Sudrajat (2011), Perawatan atau *Maintenance* merupakan suatu rangkaian tindakan atau kegiatan yang dilakukan untuk menjaga dan memperbaiki suatu mesin atau fasilitas yang ada pada suatu sistem produksi hingga mencapai kondisi yang dapat diterima. Djunaidi dan Bakdiyono (2012) menambahkan bahwa tindakan pemeliharaan berupa perawatan fasilitas dan mesin produksi, dapat mempertahankan kualitas dan meningkatkan produktivitas suatu industri atau perusahaan. Oleh karena itu, pihak yang melaksanakan tugas tindakan perawatan perlu menerapkan kebijakan sistem perawatan yang baik bagi perusahaan. Tujuan dari perawatan yang dilakukan menurut Corder (1996) adalah sebagai berikut:

1. Untuk memperpanjang usia kegunaan aset.
2. Menjamin ketersediaan peralatan dan kesiapan operasional perlengkapan serta peralatan yang dipasang untuk kegiatan produksi.
3. Membantu mengurangi pemakaian atau penyimpangan diluar batas serta menjaga modal yang ditanamkan selama waktu yang ditentukan.
4. Menekan tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin dengan melaksanakan kegiatan pemeliharaan secara efektif dan efisien.
5. Memenuhi kebutuhan produk dan rencana produksi tepat waktu.
6. Meningkatkan keterampilan para supervisor dan operator melalui kegiatan pelatihan yang diadakan.
7. Meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja karyawan.

2.4 Jenis-jenis *Maintenance*

Menurut Sudrajat (2011), Jenis perawatan atau *maintenance* dibagi menjadi dua bagian yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance*. *Planned maintenance* merupakan perawatan yang dilakukan secara terencana yaitu meliputi *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. Sedangkan untuk *unplanned maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan secara tidak terencana, yaitu meliputi *corrective maintenance* dan *breakdown maintenance*. Berikut adalah penjelasan dari masing-masing jenis perawatan:

1. *Preventive Maintenance*

Menurut Ebeling (1997), *preventive maintenance* merupakan pemeliharaan yang dilakukan secara terjadwal, umumnya secara periodik, dimana seperangkat tugas pemeliharaan seperti inspeksi dan perbaikan, penggantian, pembersihan, pelumasan, penyesuaian, dan penyamaan dilakukan. Tindakan preventif yang dilakukan juga akan menghasilkan penurunan tingkat *downtime*, penurunan biaya *maintenance*, peningkatan tingkat *availability*, dan peningkatan *reliability* mesin kritis.

2. *Predictive Maintenance*

Predictive Maintenance merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan berdasarkan sinyal atau teknik diagnostik yang mengindikasikan kemunduran atau penurunan kinerja peralatan yang digunakan. Untuk menentukan kondisi mesin dilakukan tindakan pemeriksaan atau monitoring secara rutin, jika terdapat tanda atau gejala kerusakan segera diambil tindakan perbaikan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut (Gaspersz, 2007).

3. *Corrective Maintenance*

Perawatan korektif merupakan kegiatan perawatan yang dilakukan setelah mesin atau fasilitas produksi mengalami gangguan atau kerusakan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. *Corrective maintenance* bersifat menunggu dan tidak terjadwal karena kegiatan perawatan baru dilakukan sampai terjadi kerusakan pada mesin (Fachruddin, 2016).

4. *Breakdown Maintenance*

Breakdown Maintenance merupakan teknik pemeliharaan mesin yang dilakukan untuk memperbaiki suatu bagian yang telah terhenti untuk memenuhi suatu kondisi mesin agar dapat beroperasi dengan optimal. Seringkali akibat dari penerapan sistem perawatan *breakdown* terjadi kerusakan komponen lain ketika terjadi penggantian sebuah komponen. Hal ini dikarenakan kerusakan yang tidak terdeteksi selama berlangsungnya proses produksi mempengaruhi kinerja dari komponen lainnya yang berhubungan dengan komponen yang bersangkutan dan bahkan memungkinkan untuk merusak komponen tersebut (Tarigan dkk, 2013).

2.5 Reliability Centered Maintenance (RCM) II

Reliability Centered Maintenance (RCM) awalnya dirancang untuk industri pesawat terbang. Kemudian, dilakukan pengembangan hingga terbentuk *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II yang dapat diterapkan atau digunakan dalam industri umum. Metode ini merupakan penggabungan dua konsep metode yaitu *preventive* dan *predictive*

maintenance yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk memastikan aset-aset fisik berjalan sesuai yang dijalankan. (Yan, 2015). Menurut Moubray (1997) metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II memiliki beberapa keunggulan yaitu:

1. Teknik manajemen perawatan yang mengkombinasikan dua jenis tindakan yaitu *preventive maintenance* dan *predictive maintenance*. *Preventive maintenance* merupakan tindakan pemeriksaan secara periodik terhadap aset dan peralatan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi yang menyebabkan kerusakan serta menjaga aset atau peralatan yang telah mengalami kerusakan dengan cara memperbaiki sebelum terjadi kerusakan. Sedangkan *predictive maintenance* merupakan pemeliharaan yang berdasar pada pengukuran kondisi suatu peralatan agar apabila peralatan tersebut gagal dimasa yang akan datang telah diambil suatu tindakan untuk menghindari kegagalan tersebut. Pengertian tersebut juga diartikan berdasarkan penilaian atau analisis kondisi dari komponen-komponen mesin secara keseluruhan.
2. Menggabungkan analisis kualitatif dan kuantitatif dalam merencanakan aktivitas pemeliharaan.
3. RCM II merupakan hasil pengembangan metode RCM sebelumnya. Modifikasi dilakukan pada bagian *decision diagram* RCM yang mempertimbangkan *safety* dan *environment consequences*.

Dalam prosesnya, RCM II memerlukan konsep tujuh pertanyaan yang nantinya akan dituangkan untuk diproses dalam bentuk Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan RCM *decision diagram* yang tergabung dalam RCM *decision worksheet*. Tujuh pertanyaan tersebut yaitu sebagai berikut (Moubray, 1997):

1. Apakah fungsi dan hubungan performansi standar dari aset dalam konteks operasionalnya saat ini?
2. Bagaimana aset tersebut rusak atau gagal dalam menjalankan fungsinya?
3. Apakah penyebab masing-masing kegagalan fungsi tersebut?

4. Apakah yang terjadi pada saat terjadinya kerusakan?
5. Bagaimana masing-masing kerusakan tersebut terjadi?
6. Apakah yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah masing-masing kerusakan tersebut?
7. Apakah yang harus dilakukan apabila kegiatan proaktif yang sesuai tidak berhasil ditemukan?

2.5.1 RCM II *Decision Worksheet*

Melalui konsep tujuh pertanyaan yang telah dijelaskan, nantinya akan dimasukkan kedalam RCM II *decision worksheet*. Menurut Sari dan Ridho (2016) RCM II *decision worksheet* untuk menggabungkan kualitatif dan kuantitatif yang digunakan sebagai sumber informasi tindakan perawatan yang akan dilakukan dengan mengacu pada *proposed task*. Lembar RCM II *decision worksheet* dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 RCM II *Decision Worksheet*

RCM II DECISION WORKSHEET				SYSTEM				System:			Facilitator:	Date:	Sheet:			
				SUB-SYSTEM				Sub-system:			Auditor:	Date:	of			
Information reference				Consequence evaluation				H1	H2	H3	Default action			Proposed task	Initial interval	Can be done by
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
						O1	O2	O3								
						N1	N2	N3								

Sumber: Sari dan Ridho, 2016

Menurut Suryana (2015) pada dasarnya RCM II *decision worksheet* ini digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode*. RCM II *Decision Worksheet* terdiri dari 6 bagian utama, yaitu:

1. *Information Reference*

Dapat dilihat pada tabel 2.1 salah satu bagian utama pada RCM II *decision worksheet* terdapat *Information reference* merupakan informasi yang diperoleh dari FMEA/ RCM II *decision worksheet*, yaitu dengan memasukan informasi

mengenai *function* (F), *failure function* (FF), *failure mode* (FM) dari peralatan/ komponen. Penjelasan mengenai masing-masing kolom tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.2**

Tabel 2.2 *Information Reference*

Failure Consequences	Keterangan
Kolom F (<i>Fuction</i>)	Fungsi dari komponen atau item yang diharapkan oleh user tetap berada dalam level kemampuan dari item tersebut sejak awal dibuat
Kolom FF (<i>Function Failure</i>)	Didefinisikan sebagai kegagalan dari suatu item untuk melaksanakan <i>system function</i> yang diharapkan
Kolom FM (<i>Function Mode</i>)	Jenis kerusakan yang terjadi pada komponen atau item sehingga menyebabkan komponen gagal beroperasi atau mengalami gangguan saat beroperasi

Sumber: Moubray, 1997 dalam Suryana, 2015

2. *Consequence Evaluation*

Consequence evaluation merupakan suatu konsekuensi yang ditimbulkan karena kegagalan fungsi yang terjadi pada suatu sistem sehingga nantinya dapat diketahui apa tindakan yang harus dilakukan. **Tabel 2.3** menjelaskan setiap komponen yang ada pada *consequence evaluation*. Menurut Moubray (1997) konsekuensi kegagalan diklasifikasikan dalam 4 bagian, yaitu :

- a. *Hidden Failure Consequences*, dimana kegagalan tersebut tidak dapat dibuktikan secara langsung sesaat setelah kegagalan berlangsung. Diperlukan suatu teknik khusus untuk mengatasi dampak kegagalan jenis ini.
- b. *Safety and Environment Consequences*. *Safety consequences* terjadi apabila suatu kegagalan fungsi suatu *item* mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan pekerja atau manusia lainnya. *Environment consequences* terjadi apabila kegagalan

suatu fungsi *item* berdampak pada kelestarian lingkungan.

- c. *Operational Consequences*. Suatu kegagalan dikatakan memiliki konsekuensi operasional ketika berakibat pada produksi atau operasional (kualitas produk, pelayanan terhadap konsumen, atau biaya operasional untuk perbaikan komponen).
- d. *Non-Operational Consequences*. Bukti kegagalan pada kategori ini adalah yang bukan tergolong dalam konsekuensi keselamatan ataupun produksi, jadi kegagalan ini hanya melibatkan biaya perbaikan komponen.

Tabel 2.3 *Consequence Reference*

Failure Consequences	Keterangan			
	Yes		No	
Kolom H (<i>Hidden Failure</i>)	<i>Failure mode</i> secara langsung oleh operator dalam kondisi normal	diketahui	<i>Failure mode</i> secara langsung oleh operator dalam kondisi normal	tidak diketahui
Kolom S (<i>Safety</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak keselamatan operator	pada kerja	<i>Failure mode</i> berdampak keselamatan operator	tidak pada kerja
Kolom E (<i>Environment</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak keselamatan/kelestarian lingkungan	pada	<i>Failure mode</i> berdampak keselamatan/kelestarian lingkungan	tidak pada
Kolom O (<i>Operational</i>)	<i>Failure mode</i> berdampak pada produksi	<i>output</i>	<i>Failure mode</i> berdampak pada produksi	tidak <i>output</i>

Sumber: Moubray, 1997 dalam Suryana, 2015

3. *Proactive Task and Default Action*

Menurut Mobley dkk (2008) *Proactive task* merupakan suatu tindakan perawatan yang dilakukan dengan *predictive* dan *preventive maintenance*. Hal ini dilakukan guna mencegah terjadinya suatu kegagalan. *Proactive task* dibagi menjadi 3 kategori umum yaitu aktivitas *Scheduled*

On Condition Task, *Scheduled Discard Task* dan *Scheduled Restoration Task*.

- a. *Scheduled on condition task* adalah kegiatan perawatan yang dijadwalkan untuk mendeteksi potensi kegagalan. Tindakan ini terdiri dari:
 - 1) *Conditioning monitoring techniques*, yang melibatkan penggunaan peralatan khusus untuk melakukan *monitoring* terhadap kondisi peralatan.
 - 2) *Statistical process control*, yaitu teknik pencegahan yang didasarkan atas variasi kualitas produk yang dihasilkan.
 - 3) *Primary effect monitoring techniques*, yang melibatkan peralatan seperti *gauge* yang ada dan peralatan untuk inspeksi *monitoring*.
 - 4) Teknik inspeksi berdasarkan *human sense* dan *predictive*.
- b. *Scheduled discard task*, didefinisikan sebagai tindakan yang dijadwalkan dengan membuang item pada atau sebelum batas usia tertentu terlepas dari kondisi pada saat itu. *Scheduled discard task* harus mengikuti kriteria berikut sebelum menerima tugas, kriteria tersebut yaitu:
 - 1) Harus dapat didefinisikan secara jelas usia di mana terdapat peningkatan probabilitas terjadinya suatu kegagalan.
 - 2) Sebagian besar dari kejadian kegagalan akan terjadi setelah usia tersebut untuk mengurangi kemungkinan kegagalan prematur ke tingkat yang ditoleransi untuk pemilik atau pengguna aset.
- c. *Scheduled restoration task*, didefinisikan sebagai tindakan yang dijadwalkan untuk mengembalikan kemampuan item pada saat atau sebelum interval tertentu (batas usia), terlepas dari kondisi pada saat itu. Kriteria yang harus diterapkan untuk *scheduled restoration task* yaitu:
 - 1) Harus dapat didefinisikan secara jelas usia di mana terdapat peningkatan probabilitas terjadinya suatu kegagalan.

- 2) Harus dapat mengembalikan resistensi terhadap kegagalan komponen ke tingkat yang dapat diterima oleh pemilik atau pengguna aset.
- 3) Sebagian besar dari kejadian kegagalan akan terjadi setelah usia tersebut untuk mengurangi kemungkinan kegagalan prematur ke tingkat yang ditoleransi untuk pemilik atau pengguna aset.

Default action merupakan tindakan yang dilakukan ketika sudah berada dalam *failed state*, dan dipilih ketika tindakan *proactive task* yang efektif tidak mungkin dilakukan. *Default action* sendiri meliputi (Mobley dkk, 2008):

- a. *Scheduled failure finding*, meliputi tindakan pemeriksaan secara periodik terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi untuk mengetahui apakah *item* tersebut telah rusak.
- b. *Re-design*, membuat suatu perubahan untuk membangun kembali kemampuan suatu *item*. Hal ini mencakup modifikasi terhadap perangkat keras dan juga perubahan prosedur.
- c. *Run to failure*, membiarkan *item* beroperasi sampai terjadi *failure* karena secara finansial tindakan pencegahan yang dilakukan tidak menguntungkan.

Jika tindakan *proactive task and default action* tidak dapat mengatasi kegagalan yang terjadi, maka tindakan perawatan dikategorikan ke dalam *noscheduled maintenance* dimana tindakan *redesign* terhadap peralatan perlu dipertimbangkan untuk mencegah terjadinya kegagalan. Penjelasan tentang komponen-komponen *proactive task and default action* dapat dilihat pada **Tabel 2.4**

4. *Proposed Task*

Apabila *proactive task* telah dipilih, maka diskripsi dari tindakan pencegahan yang akan diambil dimasukkan dalam kolom *proposed task*.

Tabel 2.4 Proactive Task and Default Action

Proactive Task	Persyaratan Kondisi
Kolom H1/S1/O1/N1	<ul style="list-style-type: none">• Apakah <i>potential failure</i> (PF <i>interval</i>) dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal?• Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan
Kolom H2/S2/O2/N2	<ul style="list-style-type: none">• Dapat diidentifikasi umur dimana item tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan• Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan• Memperbaiki dengan subsistem yang tahan terhadap kegagalan tersebut
Kolom H3/S3/O3/N3	<ul style="list-style-type: none">• Dapat diidentifikasi umur dimana <i>item</i> tersebut menunjukkan kemungkinan penambahan kecepatan terjadinya kondisi kegagalan• Mayoritas dari <i>item</i> dapat bertahan pada umur tersebut (untuk semua <i>item</i>) jika kegagalan memiliki konsekuensi terhadap keselamatan lingkungan
Kolom H4 <i>scheduled failure finding task</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Hidden Failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis
Kolom H5 <i>Redesign</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Hidden Failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan <i>design</i> pada mesin
Kolom S4 <i>Combination Task</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>prioactive task</i> dilakukan

Sumber: Moubray, 1997 dalam Suryana, 2015

5. *Initial Interval*

Interval perawatan yang dipilih merupakan interval optimum. Apakah interval perawatan tersebut harian, mingguan, atau bulanan.

6. *Can Be Done*

Kolom terakhir dalam RCM *worksheet* ini digunakan untuk mencatat siapa yang bisa melakukan tindakan perawatan tersebut.

2.5.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) merupakan teknik analisis yang mengombinasikan teknologi dan pengalaman dalam mengidentifikasi kegagalan proses produksi dan merencanakan untuk mencegahnya terulang (Santoso, 2007). Setiawan (2014) menambahkan bahwa FMEA dapat menganalisis kerusakan dan dampaknya serta untuk menentukan komponen kritis, menyelesaikan masalah yang muncul pada malfungsi sistem peralatan. Secara formal RCM dapat didefinisikan sebagai sebuah proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan untuk menjamin bahwa beberapa asset fisik dapat berjalan secara kontinyu melakukan fungsi yang diinginkan penggunaannya dalam konteks operasi sekarang. FMEA adalah suatu metode sistematis untuk mengidentifikasi kegagalan komponen, produk, proses atau sistem dan dampaknya dalam memenuhi keinginan dan spesifikasi konsumen. Aplikasi FMEA terutama dimaksudkan untuk mencegah cacat, meningkatkan keselamatan. Implementasi FMEA dilaksanakan pada tahap desain produk atau pada tahap pengembangan proses. Contoh lembar FMEA dapat dilihat pada **Tabel 2.5**

Tabel 2.5 Functional Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA WORKSHEET			SYSTEM:	Facilitator:		
			SUB-SYSTEM:	Auditor:		
No.	Komponen	Function	Functional Failure (loss of function)	Failure Mode (cause of failure)	Failure Effect (what happen when it failure)	

Sumber: Moubray, 1997 dalam Suryana, 2015

2.6 Functional Block Diagram (FBD)

Functional Block Diagram (FBD) merupakan deskripsi beberapa komponen dan fungsinya dalam kesatuan blok yang saling berhubungan antara komponen satu dengan yang lain sehingga membentuk satu kesatuan fungsi dalam sistem kerja. Tujuan pembuatan FBD yaitu mendeskripsikan hubungan dari masing-masing sub sistem. Pembuatan FBD dilakukan dengan cara mengamati proses pada mesin dan komponen yang dijadikan fokus penelitian. Diagram yang berisi pengelompokan komponen dari masing-masing blok yang telah ditetapkan (Asisco dkk, 2012).

2.7 Konsep Keandalan

Adanya konsep tentang keandalan dapat membantu dalam hal pemecahan masalah-masalah yang berkaitan dengan manajemen pemeliharaan. Sebagai contoh dalam sebuah industri bila pihak manajemen pemeliharaan dapat memperkirakan tingkat keandalan dari peralatan, maka akan diketahui kapan sebaiknya dilakukan pengantian komponen sehingga proses produksi dapat berjalan dengan lancar. Sehingga dapat mengurangi biaya kerugian akibat *loss production* yang disebabkan oleh terhentinya kegiatan produksi karena mesin yang berhenti (*line stop*) diakibatkan adanya kerusakan komponen.

Keandalan suatu peralatan atau sistem secara umum dapat didefinisikan sebagai probabilitas suatu alat atau sistem untuk menyelenggarakan tujuannya secara cukup untuk periode waktu tertentu dan kondisi operasi tertentu. Keandalan suatu komponen perlu dilihat apakah suatu komponen dapat melakukan fungsinya secara baik pada jangka waktu tertentu. Terdapat empat faktor yang memegang peranan terhadap keandalan suatu sistem menurut Arifani dan Winarno (2013) yaitu:

1. Probabilitas, angka yang menyatakan berapa kali gangguan terjadi dalam waktu tertentu pada suatu system.
2. Kecukupan *performance*, menunjukkan kriteria kontinuitas suatu sistem tanpa mengalami gangguan

3. Waktu, lama suatu sistem bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya. Semakin lama sistem digunakan, maka akan semakin banyak kemungkinan terjadinya kegagalan.
4. Kondisi operasi, adalah keadaan lingkungan kerja dari suatu jaringan seperti pengaruh suhu, kelembaban udara dan getaran yang mempengaruhi kondisi operasi.

Beberapa komponen yang diukur dalam konsep keandalan adalah sebagai berikut:

1. *Mean Time to Failure* (MTTF)

Mean Time to Failure (MTTF) adalah waktu rata-rata terjadinya suatu kerusakan atau kegagalan dari komponen ataupun sistem yang beroperasi pada kondisi normal. Rata-rata waktu kegagalan atau *Mean Time to Failure* (MTTF) menggambarkan variabel acak waktu kegagalan yang dimiliki suatu alat (Anugraheni dkk, 2013). Rumus secara matematis dari MTTF adalah sebagai berikut (Ebeling, 1997):

$$\begin{aligned}
 MTTF &= \int_0^{\infty} tf(t)dt \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} R(t)dt \\
 &= - \int_0^{\infty} t \frac{dR}{dt} dt = -tR(t) \\
 &= \int_0^{\infty} R(t)dt \tag{1}
 \end{aligned}$$

t = interval waktu (hari)

$R(t)$ = *reliability function*

$f(t)$ = *probability density function*

2. *Mean Time to Repair* (MTTR)

Menurut Anugraheni dkk. (2013) *Mean Time to Repair* (MTTR) adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan suatu alat atau sistem untuk dilakukan perbaikan. Untuk dapat menentukan nilai dari MTTR maka syaratnya harus mengetahui jenis distribusi dari data yang digunakan. Rumus secara matematis dari MTTR adalah sebagai berikut (Lewis, 1996):

$$MTTR = \int_0^{\infty} th(t)dt = \int_0^{\infty} (1 - H(t))dt \tag{2}$$

$h(t)$ = fungsi kepadatan peluang untuk data waktu perbaikan (TTR)

$H(t)$ = fungsi distribusi kumulatif untuk data waktu perbaikan (TTR)

Berikut merupakan perhitungan nilai MTTR untuk masing-masing distribusi:

- a. Distribusi Normal

$$MTTR = \mu \quad (3)$$

- b. Distribusi Lognormal

$$MTTR = tmed e^{\frac{s^2}{2}} \quad (4)$$

- c. Distribusi Eksponensial

$$MTTR = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

- d. Distribusi Weibull

$$MTTR = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (6)$$

Keterangan:

μ = rata-rata (*mean*)

λ = laju kerusakan

$tmed$ = *median*

θ = parameter *scale*

s = parameter *scale* (lognormal)

β = parameter *shape*

2.8 Model Distribusi Probabilitas untuk Keandalan

Untuk mengetahui probabilitas keandalan suatu peralatan atau komponen, maka yang perlu diketahui adalah model distribusi probabilitas peralatan atau komponen tersebut. Model-model distribusi probabilitas untuk keandalan bersifat kontinyu yang umum digunakan dalam menganalisa kerusakan suatu komponen, antara lain:

1. Distribusi Normal

Distribusi normal digunakan untuk menggambarkan pengaruh pertambahan waktu ketika kita dapat menspesifikasikan waktu antar kerusakan berhubungan dengan ketidakpastian untuk menggambarkan ketergantungan keandalan terhadap waktu. Dalam distribusi normal persamaan yang digunakan antara lain (Ebeling, 1997):

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2} \frac{(t'-\mu)^2}{\sigma^2}\right] dt' \quad (7)$$

$$MTTF = \mu \quad (8)$$

Keterangan:

σ = rata-rata (*mean*)

t = interval waktu

μ = standar deviasi

2. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal cocok digunakan untuk mekanisme kegagalan. Distribusi ini yang untuk menggambarkan kerusakan untuk situasi yang bervariasi dan merepresentasikan distribusi lama waktu perbaikan (*repair time*) dari item yang mengalami suatu kerusakan atau kegagalan. Persamaan yang digunakan dalam distribusi lognormal antara lain (Ebeling, 1997):

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2s^2}} \exp \left[-\frac{1}{2s^2} \left(\ln \frac{t}{t_{med}} \right)^2 \right]^2 \quad t \geq 0 \quad (9)$$

$$MTTF = t_{med} \exp \left(\frac{s^2}{2} \right) \quad (10)$$

Keterangan:

t_{med} = median

s = parameter scale (lognormal)

t = interval waktu

3. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk memodelkan umur komponen yang beroperasi secara kontinyu. Biasanya distribusi eksponensial juga digunakan dalam pekerjaan keandalan dan perawatan karena dapat menangani analisis *failure rate* yang konstan dari suatu komponen. Dalam distribusi eksponensial beberapa persamaan yang digunakan adalah (Lewis, 1996):

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (11)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (12)$$

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (13)$$

Keterangan:

t = interval waktu

$R(t)$ = *reliability function*

$F(t)$ = cumulative distribution function

λ = laju kerusakan

4. Distribusi *Weibull*

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini memiliki kemampuan untuk mendekati berbagai jenis sebaran data. Parameter yang ada dalam distribusi *Weibull* yaitu β (beta) atau parameter bentuk (*shape parameter*) dan θ (theta) atau parameter skala (*scale*). Berikut merupakan beberapa persamaan yang digunakan (Ebeling, 1997):

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (14)$$

$$f(t) = -\frac{dR(t)}{dt} = \frac{\beta}{\theta} \left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta} \quad (15)$$

$$MTTF = \theta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \quad (16)$$

Keterangan:

t = interval waktu

$R(t)$ = *reliability function*

$f(t)$ = *probability density function*

β = parameter *shape*

θ = parameter *scale*

2.9 Model Matematis Perawatan

Biaya perawatan merupakan hasil perhitungan kumulatif antara biaya akibat kerusakan dan biaya perbaikan. Formulasi dari biaya perawatan adalah sebagai berikut (Zahirah, 2015):

$$TC = C_f F_f + C_p F_p \quad (17)$$

$$= C_f \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right] + C_p \left[\frac{1}{TM} \right] \quad (18)$$

$$= \frac{1}{TM} \left[C_f \int_0^{TM} \lambda(t) dt + C_p \right] \quad (19)$$

Jika data TTF dan TTR berdistribusi *Weibull*, maka:

$$TC = \frac{C_f}{\theta^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_p}{TM} \quad (20)$$

Untuk mendapatkan TC dengan nilai paling minimum maka

$\frac{dT_c}{dT_m} = 0$, sehingga diperoleh interval waktu sebagai berikut:

$$TM = \theta \left[\frac{C_p}{C_F - C_p} x \frac{1}{\beta^{-1}} \right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (21)$$

$$C_f = C_r + MTTR(C_o + C_w) \quad (22)$$

$$C_p = C_r + T_p(C_o + C_w) \quad (23)$$

Keterangan:

C_f = biaya perbaikan / penggantian rusaknya komponen untuk setiap siklus

C_p = biaya yang dikeluarkan untuk perawatan persiklus

TM = interval waktu perawatan optimal (*preventive maintenance*) dalam jam.

F_f = frekuensi kegagalan

F_p = frekuensi perawatan

TC = total biaya perawatan

T_p = waktu perawatan preventif

C_r = biaya penggantian kerusakan komponen

C_o = biaya kerugian /jam

C_w = biaya tenaga kerja *corrective maintenance*/ jam

2.10 Availability Rate

Availability rate merupakan perbandingan antara *operation time* dengan *loading time*. *Loading Time* merupakan waktu mesin tersebut bekerja selama satu hari, *downtime* merupakan waktu mesin tersebut tidak bekerja dalam satu hari dan *Operation time* adalah *loading time* dikurangi dengan *downtime* dalam satu hari. Nilai *availability* 100% berarti proses berlangsung terus menerus tanpa adanya catatan penghentian. *Availability rate* menggambarkan kesediaan mesin beroperasi atau pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin yang digunakan dalam proses produksi. Rumus perhitungan dari *availability rate* adalah sebagai berikut (Susetyo, 2009):

$$Operation\ time = Loading\ time - downtime \quad (24)$$

$$Availability\ rate = \frac{Operation\ time}{Loading\ time} \times 100\% \quad (25)$$

2.11 *Opportunity Cost*

Biaya peluang merupakan penghasilan atau penghematan biaya yang dikorbankan karena dipilihnya satu alternatif tertentu, sehingga penghasilan atau penghematan biaya tersebut perlu diperhitungkan sebagai biaya pada alternatif tertentu. Ketika seseorang dihadapkan pada beberapa alternatif pilihan dan harus memilih salah satu di antaranya maka alternatif yang tidak dipilihnya itulah yang menjadi biaya peluang (Hariawan, 2014).

2.12 Penelitian Terdahulu

Penelitian berjudul *Reliability Centered Maintenance Methodology and application: A Case Study* telah diteliti oleh Afefy (2010). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efektivitas biaya perawatan mesin dan komponennya. Metode pemeliharaan dan perawatan yang diterapkan pada penelitian yaitu berdasarkan pada konsep *Reliability Centered Maintenance* dengan menggunakan *Logic Tree Analysis* (LTA) dan FMEA. Hasil dari penelitian yang dilakukan adalah hasil biaya tenaga kerja yang menurun sebesar 25,8% Biaya penghematan untuk downtime sebesar 80%. Dari penerapan *preventive maintenance* diperoleh penghematan biaya suku cadang sebesar 22,17%. Hasil tersebut dijadikan acuan mengenai perbaikan sistem perawatan yang dilakukan.

Asisco dkk (2012) melakukan penelitian berjudul Usulan Perencanaan Perawatan Mesin dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) di PT. Perkebunan Nusantara VII (PERSERO) Unit Usaha Sungai Niru Kabupaten Muara Enim. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan interval waktu perawatan mesin sebagai rekomendasi tindakan perawatan. Metode yang digunakan yaitu *Logic Tree Analysis* (LTA) untuk mengetahui konsekuensi yang disebabkan dari masing-masing *failure mode* dan mengklarifikasikan *failure mode* menjadi beberapa kategori untuk menentukan tingkat prioritas. Metode kedua yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) digunakan untuk analisis data kualitatif yaitu fungsi, dampak dan penyebab masalah yang dialami komponen kritis.

Metode yang ketiga *Reliability Centered Maintenance* (RCM) digunakan untuk analisis data kuantitatif yaitu perhitungan *Mean Time to Failure* (MTTF), *Mean Time to Reoair* MTTR dan *availability rate*. Penelitian ini difokuskan pada penetapan tindakan perawatan yang harus dilakukan pada setiap komponen. Hasil dari penelitian ini yaitu interval optimum penggantian komponen kritis *Cake Breaker Conveyor* (CBC) adalah 122 jam, *universal joint* 1067 jam dan batang kopling 642 jam. Tindakan perawatan rekomendasi juga telah didapat berdasarkan *Reliability Centered Maintenance* (RCM).

Penelitian berjudul Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Menggunakan *Metode Reliability Centered Maintenance* (RCM) II pada Mesin Blowing OM dilakukan oleh Bangun (2014). Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk merencanakan kebijakan perawatan yang optimal untuk mempertahankan proses produksi pada kondisi yang optimal dengan menentukan interval pemeliharaan yang tepat. Penelitian bertempat di PT Industri Sandang Nusantara Unit Patal Lawang dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa komponen kritis pada mesin *Blowing OM* berdasarkan frekuensi kerusakan mesin dan total downtime adalah komponen *flat belt* dan *spike lattice*. Hasil analisis interval perawatan adalah permukaan karet *flat belt* tidak rata sebesar 510 jam, karet *flat belt* longgar 260 jam, *flat belt* putus 580 jam, kayu *spike lattice* patah 620 jam, dan paku *spike lattice* patah 500 jam. Dari total biaya perawatan optimal diperoleh hasil permukaan karet *flat belt* tidak rata sebesar Rp 7.973.519,82, karet *flat belt* longgar Rp 11.000.673,81, *flat belt* putus sebesar Rp 14.061.553,06, kayu *spike lattice* patah sebesar Rp 19.170.330,63, dan paku *spike lattice* patah sebesar Rp 30.880.512,66. Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II dibandingkan dengan total biaya perawatan sebelumnya terjadi penurunan biaya perawatan dalam mesin *Blowing OM* sebesar 10,27%.

Penelitian berjudul Evaluasi Manajemen Perawatan Dengan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II pada Mesin *Blowing I* di Plant I PT. Pisma Putra Textile

dilakukan oleh Sari dan Ridho (2016). Tujuan penelitian yaitu mencari kebijakan perawatan optimal yang dapat mengurangi frekuensi kerusakan dan menurunkan biaya perawatan mesin Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*. Penelitian difokuskan pada mesin *Blowing I*, karena memiliki downtime tertinggi. Berdasarkan frekuensi kerusakan mesin komponen yang paling sering rusak yaitu *flat belt* dan *apron berpaku*. Perawatan yang diperlukan dilakukan pada permukaan *belt* bergelombang, *belt* putus, kayu *apron* patah, dan paku-paku *apron* patah dengan *scheduled discard task* dengan interval perawatan dan *Total Cost (TC)* optimal berurutan yaitu 580 jam dengan TC Rp. 14661546,36, 465 jam dengan TC Rp 18350303,77, 490 jam dengan TC Rp 18966057,60, dan 450 jam dengan TC Rp 13419317,27. Perawatan untuk kerusakan karet kendur adalah *scheduled restoration task* dengan interval perawatan 340 jam dan TC Rp 16338431,41. Total penurunan biaya keseluruhan sebesar Rp 21.587.975,45 atau 20,89% dari biaya perawatan perusahaan.

