

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam persaingan perindustrian yang kompetitif seperti sekarang ini, sebuah perusahaan dituntut untuk meminimalisir segala aspek yang dapat mempengaruhi kemampuan produksinya, di samping itu yang tidak kalah penting adalah keandalan (*reliability*) dan pemeliharaan (*maintenance*) dari mesin-mesin produksi agar produktivitas perusahaan tersebut dapat terjaga. Untuk menjadikan sebuah perusahaan yang dapat bersaing pada era globalisasi sangatlah penting menerapkan manajemen yang baik. Penerapan manajemen ini haruslah merata disegala bidang, baik sumber daya manusia (SDM), mesin, material, hingga masalah keuangan serta pemasarannya.

Pada dasarnya kelancaran proses produksi sebuah perusahaan tidak hanya bergantung pada mesin produksi saja, tetapi juga harus ditunjang oleh metode pemeliharaan dan pengelolaan yang tepat. Pemeliharaan dan pengelolaan mesin yang baik akan menekan tingkat kerusakan dan *downtime* peralatan pabrik, sehingga volume produk yang dihasilkan tidak terganggu.

Salah satu perusahaan di Indonesia yang memulai meningkatkan kinerja maupun produktivitasnya adalah PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. memiliki kebutuhan semen dunia yang mencapai 1,8 miliar ton pertahun, sedangkan produsen semen hanya mencapai 1,5 miliar ton pertahun seperti yang dikemukakan oleh AFCM (*ASEAN Federation of Cement Manufacturers*), PT. Semen Gresik (Persero) Tbk., tergerak untuk mulai memasarkan produknya ke luar negeri, hal ini mengakibatkan meningkatnya standart produktivitas semen itu sendiri. Oleh karena itu semua komponen produksi haruslah bekerja dengan maksimal, salah satu komponen utama tersebut adalah *Rotary Kiln*. *Rotary Kiln* merupakan silinder baja yang dipasang secara horizontal dengan kemiringan empat derajat yang berfungsi sebagai tanur pembakaran guna mencampur semua bahan utama dari pembuatan semen. *Rotary Kiln* ini dapat membakar material sebanyak 7500 MTPH (*Metric Ton Per Hour*) untuk dilebur menjadi terak pada temperatur 900-1450 °C. Kerja mesin selama 24 jam ini sangat memungkinkan akan terjadinya kerusakan dari komponen mesin *Rotary Kiln* yang akan mengganggu produksi semen yang dihasilkan.

Oleh karena itu, diperlukan sistem pemeliharaan yang tepat, dalam hal ini digunakannya metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*. RCM II merupakan

serangkaian proses yang digunakan untuk menentukan apa yang harus dilakukan dalam rangka memastikan bahwa peralatan yang digunakan dapat berjalan dengan baik. Seiring dengan dampak yang ditimbulkan maka pada tahun 1990 mulai diluncurkan RCM II yang merupakan hasil proses pengembangan RCM sebelumnya yakni dengan menambahkan *safety* dan *environment consequence* pada *decision diagramnya* (Moubray, 1997:32). Penerapan metode RCM II ini diharapkan dapat meminimalkan kerugian atas kegagalan mesin karena telah terbentuknya *scheduled maintenance* dan *operating procedures* yang jelas dan tepat sasaran.

Sehingga, dengan adanya penerapan metode RCM II akan mampu membantu pihak PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. khususnya seksi Pemeliharaan Mesin *Kiln* dan *Coal Mill* menampilkan sebuah kerangka kerja berdasarkan informasi keadaan yang terjadi untuk perencanaan yang efisien, aplikatif dan mampu sebagai pilihan terbaik dalam penyesuaian atau pengembangan model pemeliharaan yang baik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu bagaimana pengaruh penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II terhadap produktivitas semen pada mesin *Rotary Kiln*.

1.3 Batasan masalah

Untuk mempermudah dalam menganalisa dan memecahkan permasalahan perlu adanya batasan-batasan masalah agar pembahasannya lebih terfokus. Adapun batasan dari permasalahan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. pabrik Tuban.
2. Kerusakan yang dibahas hanya kerusakan yang terjadi pada mesin *Rotary Kiln* selama Agustus 2010 – Juni 2012 dan bukan terjadi karena kesalahan operator.
3. Penelitian ini dilakukan tanpa membahas masalah biaya secara keseluruhan.
4. Metode yang digunakan adalah *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan dan penelitian dari skripsi ini adalah untuk mengetahui pengaruh penerapan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II terhadap produktivitas semen pada mesin *Rotary Kiln*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian ini, diharapkan memperoleh manfaat, antara lain:

1. Bagi perusahaan

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan kepada perusahaan, dalam hal ini adalah PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. mengenai konsep RCM II, sehingga dapat meningkatkan kinerja perusahaan dan produktivitas semen serta memberikan masukan dengan mempertimbangkan risiko kegagalan dan biaya pemeliharaan yang dikeluarkan oleh perusahaan.

2. Bagi mahasiswa

Memberi pengalaman untuk menerapkan teori-teori yang diperoleh dibangku perkuliahan dan mempraktekannya pada kondisi nyata, khususnya mengenai *Realibility Centered Maintenance* (RCM) II, serta dapat dibuat sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian sebelumnya mengenai *Reliability Centered Maintenance* (RCM) II telah dilakukan oleh Dyah Ika Rinawati (2012). Penelitian yang berjudul *Perencanaan Kegiatan Maintenance Pada Sistem Pipe Making Line dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance II* (Studi Kasus PT Indonesia Steel Tube Works Semarang), menjelaskan bagaimana terjadinya *breakdown* mesin dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan karena adanya kehilangan kapasitas. Oleh karena itu perlu dilakukan maintenance guna menurunkan frekuensi *breakdown* maupun tingkat keparahannya. Data yang dikumpulkan antara lain modus dan efek kegagalan yang diperoleh dari hasil wawancara serta manual *vendor* mesin, *maintenance activity report* dan *machine history record* yang merupakan data sekunder. Hasil dari penelitian ini adalah perencanaan kegiatan maintenance untuk modus-modus kegagalan yang terdiri dari *scheduled discard task*, *on condition task*, *no-scheduled maintenance* dan *usulan redesign*.

Dalam penelitian yang lain oleh Hamid, 2012 yang berjudul *Sistem Perencanaan Perawatan Mesin dan Sistem Persediaan Suku Cadang Dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance II dan Reliability Centered Spares Pada PT. X* menjelaskan bahwa bagaimana melakukan penekanan *downtime* terhadap mesin *Hydraulic Cuting Plane*, *Back Part Moulding*, dan *Zig-Zag* sebagai mesin yang dianggap memiliki nilai kritis yang tinggi yaitu sebesar $\leq 80\%$. Dalam pelaksanaannya diawali dengan pembuatan *Failure Mode and Effect Critically Analysis (FMECA)*, *RCM II Information Worksheet* dan *RCM II Decision Worksheet*. Dari Hasil penelitian ini didapatkan *Proposed task* berupa *Scheduled on-condition task* pada komponen *hydraulic motor*, motor pompa, *footswitch*, *hook/gamma* dan V-Belt pada mesin *Zig-Zag* serta *Scheduled discard task* pada komponen *plat cutting*, *limit switch*, V-Belt, *blower motor*, *gear wheels*, dan motor mesin.

2.2 Pemeliharaan

Salah satu faktor penting dalam suatu industri untuk menjaga mesin-mesin agar dalam keadaan yang optimal sehingga proses produksi dapat berjalan lancar adalah pemeliharaan. Pemeliharaan adalah suatu kegiatan yang dilakukan secara berulang-ulang dengan tujuan agar peralatan selalu memiliki kondisi yang sama dengan keadaan awalnya

(Lindley R. Higgs & R. Keith Mobley, 2002). Pemeliharaan yang baik akan menciptakan suasana kondusif dan memberikan kesadaran bagaimana kegagalan peralatan dapat mempengaruhi keselamatan dalam lingkungan kerja, serta dalam segi kualitas produk juga dapat meningkatkan tekanan untuk mencapai *availability* pabrik yang tinggi dan biaya yang terkendali.

2.2.1 Perkembangan *Maintenance*

Dalam dunia industri *maintenance* (pemeliharaan) telah berevolusi seiring berkembangnya ilmu manajemen serta tuntutan di lapangan. Perubahan ini dapat dilihat secara nyata pada nilai serta variasi dari aset fisik pabrik, seperti peralatan dan bangunannya yang harus dirawat serta perubahan sudut pandang dalam hal tanggung jawab pada organisasi *maintenance*. Perubahan tersebut juga menuntut bagaimana sebuah perusahaan harus meminimalkan permasalahan yang terjadi. Hal ini membuat perusahaan tersebut harus memiliki serta menciptakan strategi pemeliharaan yang baru dan mampu mengevaluasi setiap tindakannya agar tercapai keadaan yang optimal.

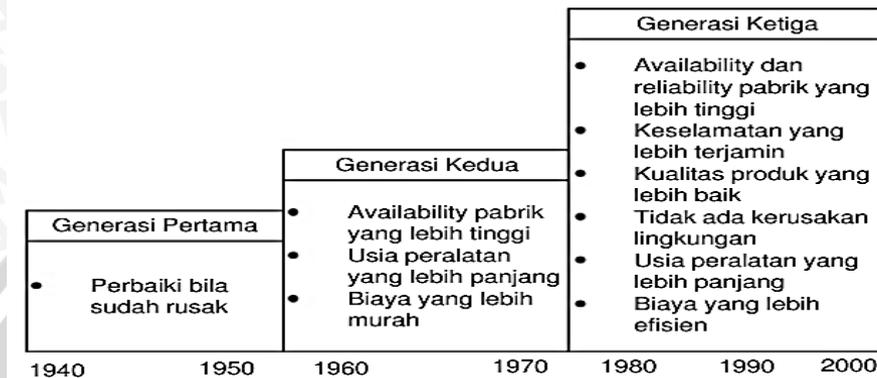
Dalam buku RCM II yang ditulis John Moubray mengklasifikasikan perkembangan pemeliharaan (*maintenance*) ke dalam tiga generasi yaitu Generasi Pertama, Generasi Kedua dan Generasi Ketiga (Moubray, 1997:2). Pada generasi pertama yang terjadi pada kurun waktu 1940an. Pada saat itu hampir seluruh peralatan dirancang secara sederhana sehingga pemeliharaan yang dilakukan cukup mudah, seperti servis, pembersihan dan pelumasan yang dilakukan secara rutin.

Saat generasi kedua ini, mulai terjadi peningkatan terhadap mekanisme dalam perindustrian. Pada tahun 1950, mesin-mesin dirancang dengan lebih kompleks. Hal ini menyebabkan *downtime* dalam industri-industri mulai diperhitungkan oleh para insinyur, sehingga mencetuskan gagasan bahwa kegagalan dari peralatan harus dapat dicegah dan membentuk konsep pemeliharaan yang tepat. Pada tahun 1960 mulai terbentuk sistem pemeliharaan yang tertata dengan ditandai mulainya dilakukan perbaikan peralatan secara menyeluruh serta meningkatnya biaya pemeliharaan industri tersebut. Hal ini memicu timbulnya sistem kontrol *maintenance*.

Generasi ketiga terjadi sejak pertengahan tahun 1970, proses perubahan pada industri mendapat momen yang lebih besar. Perubahan ini dapat dikelompokkan menjadi:

a) Harapan baru

Downtime telah menyebabkan kapabilitas produktif dari aset fisik mengurangi *output*, meningkatkan biaya operasi dan layanan bagi pelanggan. Pada bidang manufaktur, dampak dari *downtime* diperburuk dengan adanya kecenderungan untuk memakai sistem *just-in-time*. Gambar berikut ini menunjukkan bagaimana evolusi dari harapan terhadap *maintenance*.

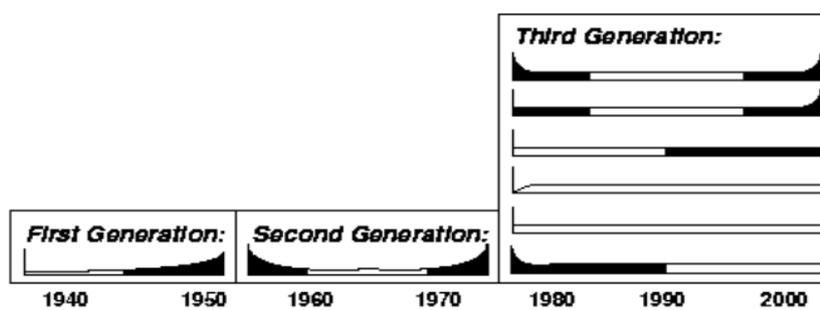


Gambar 2.1 : evolusi maintenance

Sumber : Moubray, 1997:3

b) Riset baru

Dengan adanya riset baru, pandangan mengenai masa pakai dan kegagalan menjadi penting. Hal ini dapat dilihat dari semakin sedikitnya hubungan antara masa operasi dari aset dengan terjadinya kegagalan aset tersebut. Berkembangnya perhatian terhadap kegagalan dari aset dapat dilihat pada kurva “bathtub”. Gambar berikut ini menunjukkan hubungan antara masa pakai peralatan dengan kegagalan yang mungkin terjadi secara sebanding.



Gambar 2.2 : evolusi bathtub curve

Sumber : Moubray, 1997:4

Dari generasi ke generasi perubahan teknik maintenance selalu berkembang dari generasi pertama yang menjalankan perbaikan alat apabila sudah terjadi kerusakan, kemudian meningkat ke generasi kedua yaitu perbaikan alat sudah terjadwal dan pekerjaan sudah terencana dan terkontrol. Pada generasi ketiga semakin meningkat dengan selalu memonitor kondisi aset, kerangka sistem sudah mencakup aspek *reliability* dan *maintainability* serta sudah dilakukannya FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*) dan menekankan kerja secara *teamwork*.

2.2.2 Tujuan Pemeliharaan

Dalam kegiatan pemeliharaan tentunya tidak lepas dari tujuan-tujuan yang ingin dicapai secara optimal. Menurut Lindley R. Higgs & R. Keith Mobley (2002) tujuan dari pemeliharaan adalah

1. Menjamin tersedianya peralatan atau mesin dalam kondisi yang mampu memberikan keuntungan.
2. Menjamin kesiapan peralatan cadangan dalam situasi darurat, misalnya sistem pemadam kebakaran, pembangkit listrik, dan sebagainya.
3. Menjamin keselamatan manusia yang menggunakan peralatan.
4. Memperpanjang masa pakai peralatan atau paling tidak menjaga agar masa pakai peralatan tersebut tidak kurang dari masa pakai yang telah dijamin oleh pembuat peralatan tersebut.

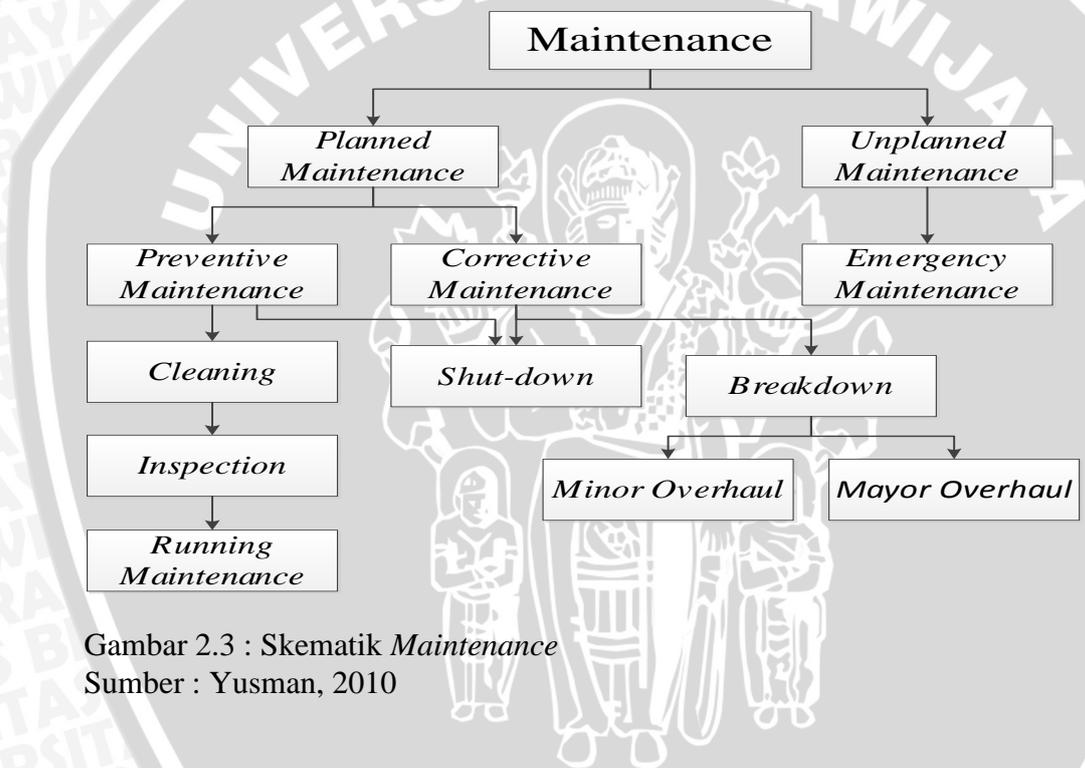
Selain itu dijelaskan pula mengenai organisasi perusahaan yang baik haruslah paham bahwa mereka tidak boleh berpandangan kegiatan perawatan itu hanya sebagai unsur pengeluaran saja. Namun sebaliknya, kegiatan pemeliharaan tersebut justru dapat memberikan dukungan yang sangat penting dalam hal peningkatan produktivitas. Pemeliharaan yang efektif akan mengarah pada hal-hal sebagai berikut:

1. Kapasitas produksi terpenuhi secara maksimal.
2. Kemampuan untuk memproduksi memproduksi produk dengan toleransi khusus atau level kualitas tertentu.
3. Dapat meminimalkan biaya per unit produk.
4. Dapat mengurangi resiko kegagalan dalam memenuhi keinginan pelanggan yang berkaitan dengan kapasitas produksi, *leadtime* serta kualitas produk.
5. Dapat menjaga keselamatan pegawai dan masyarakat sekitar dari bahaya yang mungkin muncul dengan adanya proses produksi.

- 6. Dapat memastikan sekecil mungkin resiko yang dapat membahayakan lingkungan disekitar perusahaan.

2.2.3 Jenis Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan dalam suatu industri tentulah beragam, baik pemeliharaan dalam skala kecil atau ringan, hingga berat sehingga memerlukan penanganan yang khusus. Namun secara garis besar teknik atau kegiatan pemeliharaan itu sendiri dibagi menjadi dua bagian penting, yaitu: Pemeliharaan yang direncanakan (*Planned Maintenance*) dan Pemeliharaan yang tidak direncanakan (*Unplanned Maintenance*). Secara skematik pembagian pemeliharaan bisa dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.3 : Skematik *Maintenance*
 Sumber : Yusman, 2010

Dari skematik pemeliharaan di atas dapat dilihat bahwa dari *planned maintenance* dan *unplanned maintenance* terdapat tiga jenis pemeliharaan yang utama, yaitu:

1. *Preventive Maintenance*

Preventive maintenance adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menentukan kondisi atau keadaan yang menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi (Assauri, 2004:124). Dalam aplikasinya, *preventive maintenance* yang dilakukan oleh suatu industri dapat dibedakan menjadi:



- a. *Continue maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan rutin atau terus menerus. Contohnya membersihkan fasilitas atau peralatan, pengecekan oli, pelumasan dan lain sebagainya.
- b. *Periodic maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan secara berkala atau dalam jangka waktu tertentu. Contoh dari *periodic maintenance* seperti penggantian bearing, penyetelan katub-katub dan lain-lain.

2. *Corrective Maintenance*

Corrective Maintenance yaitu kegiatan pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan, kegagalan, atau kelainan fasilitas produksi sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik. Dalam perbaikan dapat dilakukan peningkatan-peningkatan sedemikian rupa, seperti melakukan perubahan atau modifikasi rancangan agar peralatan menjadi lebih baik.

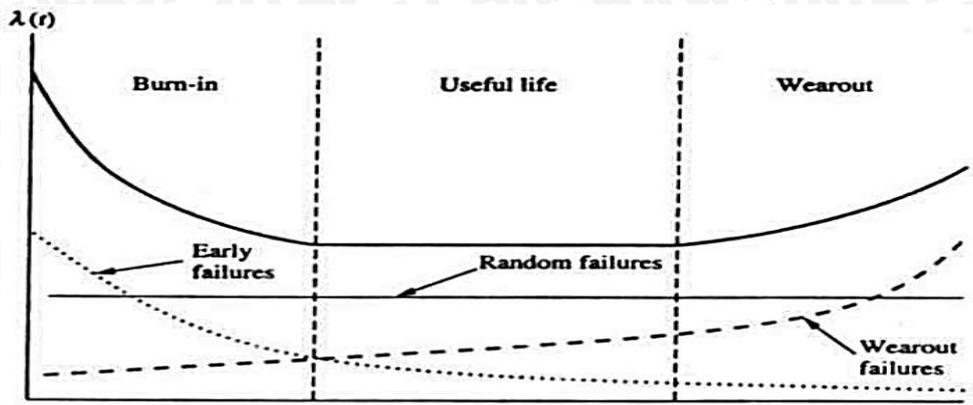
3. *Emergency Maintenance*

Emergency Maintenance dapat didefinisikan sebagai pemeliharaan yang memerlukan tindakan yang cepat untuk mencegah dampak serius yang ditimbulkan, misalnya hilangnya kinerja produksi, kerusakan besar pada peralatan, atau untuk alasan keselamatan kerja.

2.3 Konsep Keandalan (*Reliability*)

Reliability atau dalam bahasa Indonesia diartikan sebagai keandalan, merupakan suatu hal yang berpengaruh dalam kegiatan pemeliharaan. Keandalan suatu mesin akan membuat kinerja sebuah pabrik dapat berjalan sesuai yang diharapkan.

Definisi dari *reliability* itu sendiri adalah suatu keadaan yang melaksanakan fungsi-fungsinya sesuai dengan kondisi operasi yang telah ditentukan dalam jangka waktu tertentu. *Reliability* ini sangat berpengaruh dalam suatu rancangan atau komponen dari sebuah mesin atau sistem. *Reliability* ini pula memiliki tingkat kerusakan yang tidak sama, selalu berubah-ubah seperti yang disajikan dalam kurva bak mandi.



Gambar 2.4 : Kurva Bathtub

Sumber : Ebeling, 1997:31

Keterangan:

1. *Early failure* : terjadinya kegagalan cukup besar / sering karena terjadi penurunan efisiensi produksi. Kerusakan yang terjadi umumnya disebabkan karena proses *manufacturing* atau *fabrikasi* yang kurang sempurna
2. *Random failure* : terjadinya kegagalan relatif kecil, konstan dan acak.
3. *Wearout failure* : tingkat kegagalan mulai meningkat lagi, hal ini disebabkan karena kerusakan yang terjadi sudah sangat parah dan tidak dapat diperbaiki kembali.

2.3.1 Fungsi Keandalan

Dalam mengevaluasi keandalan, variabel random yang dipakai umumnya adalah waktu dalam kondisi operasi yang ditetapkan. Dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$R(t) = P\{T \geq t\} \quad (\text{E. E. Lewis 1987:81}) \quad (2.1)$$

dimana : $R(t) \geq 0, R(0) = 1$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} R(t) = 0$

$R(t)$ = Probabilitas waktu kegagalan dimana nilainya lebih besar atau sama dengan t

Jika didefinisikan menjadi :

$$F(t) = 1 - R(t) = P\{T < t\} \quad (\text{E. E. Lewis 1987:81}) \quad (2.2)$$

dimana : $F(0) = 0$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} F(t) = 1$

$F(t)$ = Probabilitas kegagalan yang terjadi sebelum waktu t .

Pada saat $t = 0$ komponen atau sistem berada dalam kondisi akan beroperasi, sehingga probabilitas komponen atau sistem itu untuk mengalami kegagalan pada saat $t = 0$ adalah 0. Pada saat $t = \infty$, probabilitas untuk mengalami kegagalan dari suatu komponen



atau sistem yang dioperasikan akan cenderung mendekati 1 (E.E Lewis, 1987:81).

Dengan berpedoman bahwa $R(t)$ sebagai fungsi keandalan dan $F(t)$ sebagai fungsi distribusi kumulatif dari distribusi kegagalan, maka :

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.3)$$

Selanjutnya disebut sebagai *probability density function* dimana fungsi ini menggambarkan bentuk dari *failure distribution* yang meliputi $f(t) \geq 0$ dan $\int f(t) dt = 1$ sehingga :

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.4)$$

$$R(t) = \int_t^\infty f(t)dt \quad (\text{E. E. Lewis, 1987:81}) \quad (2.5)$$

2.3.2 Fungsi Laju Kegagalan

Fungsi Laju kegagalan atau *hazard rate function* adalah banyaknya kegagalan per satuan waktu (Ebeling,1997:128). Laju kegagalan merupakan perbandingan antara banyaknya kegagalan yang terjadi selama selang waktu tertentu dengan total waktu operasi dari suatu komponen, subsistem atau sistem.

Probabilitas dari komponen untuk mengalami kegagalan pada interval waktu antara t dan $t + \Delta t$, jika komponen itu diketahui berfungsi pada saat t dapat diekspresikan dalam bentuk fungsi distribusi kumulatif sebagai $F(t + \Delta t) - F(t)$ sehingga menjadi :

$$P(t < T \leq t + \Delta t | T > t) = \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.6)$$

Dengan interval waktu Δt dan membuat $\Delta t \rightarrow 0$, maka akan diperoleh laju kegagalan dari suatu komponen dan diekspresikan dengan notasi $z(t)$

$$z(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \times \frac{1}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.7)$$

$$z(t) = \frac{F(t)}{R(t)} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) disubstitusikan ke persamaan (2.3) menjadi :

$$z(t) = -\frac{1}{R(t)} \times \frac{dR(t)}{dt} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.9)$$

Kedua ruas 0 sampai t diintergralkan dan disubtitusikan dengan $R(0) = 1$ menjadi:

$$\int_0^t z(t)dt = -\ln R(t) \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.10)$$

Atau

$$R(t) = e \int_0^t z(u) du \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.11)$$

Untuk laju kegagalan yang konstan, $z(t) = \lambda$ maka berubah menjadi :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{Ebeling, 1997:29}) \quad (2.12)$$

2.3.3 Mean Time To Failure (MTTF)

Mean Time To Failure (MTTF) adalah waktu rata-rata kegagalan yang terjadi selama beroperasinya suatu system. Waktu rata-rata kegagalan (*Mean Time To Failure = MTTF*) dari suatu komponen memiliki fungsi densitas kegagalan (*failure density function*) $f(t)$. Secara matematis waktu rata-rata kegagalan dapat disajikan sebagai berikut :

$$MTTF = \int_0^{\infty} t f(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis 1987:83}) \quad (2.13)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.3) ke dalam persamaan (2.13), maka diperoleh:

$$MTTF = - \int_0^{\infty} t R'(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis 1987:83}) \quad (2.14)$$

Integral

$$MTTF = -[tR(t)]_0 + \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis 1987:83}) \quad (2.15)$$

Jika $MTTF < \infty$, maka nilai dari $[tR(t)]_0 = 0$, sehingga :

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (\text{E. E. Lewis 1987:83}) \quad (2.16)$$

2.3.4 Distribusi Probabilitas Waktu Kerusakan (*Time To Failure*)

Berikut ini merupakan beberapa distribusi yang umumnya digunakan dalam menghitung tingkat keandalan suatu peralatan:

1. Distribusi Lognormal

Distribusi lognormal digunakan untuk menyatakan distribusi kerusakan untuk waktu yang bervariasi. Jika *time to failure* dari suatu komponen dikatakan memiliki distribusi lognormal $y = \ln T$, mengikuti distribusi normal dengan *probability density function* :

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left\{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^2\right\} \quad (\text{E. E. Lewis 1987:94}) \quad (2.17)$$

MTTF (*Mean Time To Failure*) :

$$MTTF = t_0 \exp\left(\frac{\sigma^2}{2}\right) \quad (\text{E. E. Lewis 1987:94}) \quad (2.18)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \int_t^\infty \frac{1}{(t-t_0)} e^{\left[\frac{(\ln(t-t_0)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \quad (\text{E. E. Lewis 1987:94}) \quad (2.19)$$

Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2}[\ln\left(\frac{t}{t_0}\right)]^2\right]}{\int_1^\infty \left[\frac{1}{t-\theta}\right] \exp\left[-\frac{(\ln(t-\theta)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt} \quad (\text{E. E. Lewis 1987:94}) \quad (2.20)$$

2. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull biasa digunakan untuk menghitung umur atau masa pakai dari peralatan. Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah t mengikuti distribusi Weibull dengan parameter α dan β , maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai :

$$f(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (\text{E. E. Lewis 1987:97}) \quad (2.21)$$

dimana :

α = parameter bentuk

β = parameter skala

MTTF (*Mean Time To Failure*) :

$$MTTF = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) \quad (\text{E. E. Lewis 1987:97}) \quad (2.22)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (\text{E. E. Lewis 1987:97}) \quad (2.23)$$

Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} \quad (\text{E. E. Lewis 1987:97}) \quad (2.24)$$

3. Distribusi Eksponensial

Pada distribusi eksponensial ini laju kerusakan adalah konstan untuk sistem yang bekerja secara kontinyu. Jika *time to failure* dari suatu komponen adalah terdistribusi secara eksponensial dengan parameter λ , maka *probability density function* dapat dirumuskan sebagai:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (\text{E. E. Lewis 1987:87}) \quad (2.25)$$

MTTF (*Mean Time To Failure*) :

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (\text{E. E. Lewis 1987:87}) \quad (2.26)$$

Fungsi Keandalan :

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (\text{E. E. Lewis 1987:87}) \quad (2.27)$$

Laju Kerusakan :

$$\lambda(t) = \lambda \quad (\text{E. E. Lewis 1987:87}) \quad (2.28)$$

2.4 *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*

Reliability centered maintenance II didefinisikan sebagai sebuah proses yang digunakan dalam menentukan tindakan yang tepat diberikan untuk meyakinkan bahwa asset fisik yang dimiliki perusahaan dapat terus menjalankan fungsinya sesuai dengan yang diinginkan (Moubray, 1997:7). Proses yang dijalankan dalam RCM II adalah dengan mengajukan tujuh pertanyaan terhadap tiap aset/ sistem yang dijalankan perusahaan (dalam konteks operasional). Ketujuh pertanyaan tersebut adalah:

1. Apakah fungsi serta standar performansi yang dimiliki oleh aset dalam menjalankan operasinya (*Function*) ?
2. Dalam kondisi seperti apakah asset gagal untuk memenuhi fungsinya (*Functional Failure*)?
3. Apa penyebab dari tiap kegagalan yang terjadi (*Failure Modes*) ?
4. Apa yang akan terjadi pada saat kegagalan tersebut berlangsung (*Failure effect*) ?
5. Bagaimana masalah yang ditimbulkan akibat kegagalan yang terjadi (*Failure Consequence*)?
6. Apa yang dapat dilakukan untuk memprediksi atau mencegah terjadinya kegagalan (*Pro-active task*) ?
7. Apa selanjutnya yang harus dilakukan jika *proactive task* yang sesuai tidak dapat diberikan (*Default action*) ?

Masing-masing dari pertanyaan diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Fungsi dan standar performansi

Sebelum menentukan kegiatan yang sesuai diberikan dalam mempertahankan aset fisik sehingga dapat berjalan seperti yang diinginkan oleh *user* dalam konteks operasionalnya, ada dua hal yang harus kita penuhi yakni :

- a. Tentukan apa yang dikehendaki pemakai terhadap aset tersebut.
- b. Memastikan bahwa aset tersebut mampu menjalankan apa yang dikehendaki oleh pemakai.

Hal ini menjadi alasan mengapa langkah pertama yang diterapkan dalam proses RCM II adalah menentukan apa fungsi dari tiap aset yang dimiliki dalam konteks operasi yang dijalankan, bersamaan dengan standar performansi yang diinginkan.

b. Kegagalan fungsi

Sasaran yang ingin dicapai dalam menjalankan kegiatan perawatan adalah sama seperti apa yang telah didefinisikan dalam fungsi dan standar performansinya. Namun bagaimana mencapai sasaran tersebut itulah yang dipertanyakan. Hal yang dapat menghentikan aset untuk dapat menjalankan apa yang menjadi tugasnya adalah terjadinya *failure*. Untuk itu diperlukan sebuah manajemen untuk memperhatikan bagaimana terjadinya kegagalan tersebut.

Dalam proses RCM II untuk mengetahui kegagalan memiliki dilakukan dengan mengidentifikasi penyebab yang mengarah pada kondisi kegagalan (*failed state*). Selanjutnya, dengan mempertanyakan kejadian yang dapat menyebabkan aset gagal (*failed state*) menjalankan fungsinya. Dalam RCM II, *failed state* dikenal sebagai *functional failure* karena hal tersebut terjadi ketika sebuah aset tidak dapat memenuhi fungsinya sesuai performansi standar yang dapat diterima/ diinginkan oleh user.

c. Bentuk Kegagalan

Setelah mengetahui *functional failure*, selanjutnya yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi semua kejadian yang memungkinkan dapat menjadi penyebab terjadinya kondisi kegagalan (*failed state*). Hal ini dikenal dengan sebutan *failure modes* atau bentuk-bentuk kegagalan. Sering terjadinya kegagalan disebabkan karena penurunan kemampuan akibat pemakaian. Meskipun demikian, setiap daftar kerusakan juga dapat mencantumkan kegagalan yang disebabkan karena *human error* (baik karena operator maupun *mainteners*) maupun karena kesalahan desain.

d. Efek Kegagalan

Pertanyaan selanjutnya dalam proses RCM II adalah membuat daftar efek dari kegagalan, yang menjelaskan apa saja yang terjadi ketika *failure mode* berlangsung. Pendeskripsian tersebut harus mencantumkan semua informasi yang dibutuhkan untuk mendukung evaluasi terhadap konsekuensi yang ditimbulkan oleh *failure*, yang meliputi:

1. Bukti (jika ada) bahwa *failure* telah terjadi ?
2. Dengan cara bagaimana (jika ada) *failure* tersebut mengancam keselamatan dan lingkungan?
3. Dengan cara bagaimana (jika ada) *failure* tersebut berakibat pada produksi dan operasional ?
4. Kerusakan fisik seperti apa (jika ada) yang disebabkan oleh *failure*?
5. Apa yang dapat dilakukan untuk memperbaiki *failure* tersebut?

e. Dampak/ Konsekuensi Kegagalan

RCM mengklasifikasikan konsekuensi kedalam empat bagian yakni :

1. Hidden failure consequence

Adalah kegagalan fungsi yang tidak dapat menjadi bukti bagi operator bahwa telah terjadi kegagalan pada kondisi normal. Biasanya disebabkan oleh peralatan pengaman (*protective devices*) yang gagal bekerja. *Hidden failure* tidak memiliki dampak langsung, namun nantinya dapat mengarah pada *multiple failure* yang lebih serius.

2. Safety and environmental consequence

Kegagalan dapat dikatakan mempunyai konsekuensi terhadap keselamatan jika dapat melukai/mencederai atau bahkan membunuh seseorang dan dikatakan memiliki konsekuensi terhadap lingkungan, jika melanggar standar lingkungan, nasional bahkan internasional.

3. Operational consequence

Kegagalan dikatakan memiliki konsekuensi operasional jika berakibat atau berpengaruh pada kegiatan produksi (hasil keluaran, kualitas produk, pelayanan konsumen atau biaya operasi sebagai tambahan dari biaya langsung yang dikeluarkan untuk perbaikan).

4. Non-operational consequence

Kegagalan tidak mengarah pada konsekuensi *safety* maupun produksi, kegagalan hanya berpengaruh pada biaya langsung yang ditimbulkan karena perbaikan.

f. Proactive Task

Tindakan ini diambil sebelum *failure* terjadi, dengan harapan dapat mencegah aset mengarah pada kondisi gagal (*failed state*). Hal ini dikenal dengan istilah *predictive* dan

preventive perawatan. Sedangkan dalam RCM II sendiri menggunakan tiga pendekatan dalam mencegah terjadinya *failed state*, yaitu:

1. *Scheduled restoration task*

Merupakan tindakan pemulihan kemampuan komponen (*remanufacturing component*) pada saat atau sebelum batas umurnya, tanpa memperhatikan kondisinya pada saat itu. Kegiatan yang dilakukan seperti *overhauls* atau mengubah performansi seperti pada kondisi mesin sebelumnya dengan tujuan untuk mencegah terjadinya *failure mode* yang disebabkan karena umur peralatan.

2. *Scheduled discard task*

Merupakan tindakan mengganti komponen ketika atau sebelum batas umur, tanpa memperhatikan kondisinya pada saat itu.

3. *Scheduled on-condition task*

Merupakan *scheduled task* yang diberikan untuk mendeteksi/memeriksa terjadinya kegagalan potensial (*potential failures*), sehingga dapat ditentukan tindakan untuk mencegah terjadinya *functional failures* atau menghindari konsekuensi dari *functional failures*.

Proactive task akan menjadi sangat bermanfaat apabila dapat mengurangi konsekuensi kegagalan yang ada. Selain itu juga perlu ditambahkan pula bahwa sebelum ditentukan bahwa kinerja tersebut telah sesuai, kita juga harus menentukan bahwa hal tersebut *technically feasible* agar dapat menurunkan konsekuensi dari *failure mode* yang ada dan masih dapat diterima serta dijalankan oleh pemilik atau pengguna dari aset tersebut.

g. Default Action

Tindakan ini diambil setelah *Proactive task* tidak dapat diberikan dalam menghadapi *failure mode* yang terjadi. Tindakan yang diambil ditentukan berdasarkan konsekuensi yang ditimbulkan oleh *failure*, sebagai berikut :

1. Jika *proactive task* tidak dapat diberikan untuk menurunkan resiko terhadap *multiple failure* yang berkaitan dengan *hidden function*, maka kegiatan periodik *failure finding* dapat diberikan.
2. Jika *proactive task* tidak dapat diberikan untuk menurunkan resiko kegagalan yang dapat berpengaruh pada *safety* atau *environment*, maka item tersebut harus dirancang ulang atau proses yang dijalankan harus diubah.

RCM memberikan tiga kategori utama dalam *default action*, yakni :

a. *Failure-finding*

Meliputi tindakan *checking* secara periodik atau dengan interval waktu tertentu terhadap fungsi-fungsi yang tersembunyi (*hidden function*) untuk mengetahui apakah komponen telah mengalami kerusakan.

b. *Redesign*

Yakni melakukan perubahan terhadap kemampuan sebuah sistem. Mencakup modifikasi atau perubahan terhadap spesifikasi komponen, menambah suatu komponen baru, memindahkan mesin satu dengan mesin yang berbeda jenis atau tipe atau relokasi sebuah mesin. Hal ini juga dapat berarti dilakukan perubahan terhadap proses atau prosedur.

c. *No scheduled maintenance*

Merupakan tindakan yang dilakukan untuk mengantisipasi atau mencegah terjadinya *failure mode* sehingga kegagalan dibiarkan saja terjadi dan kemudian diperbaiki. Tindakan ini biasa juga disebut *run-to failure*. *No-scheduled perawatan* ini baru dapat dilakukan jika:

1. *Scheduled task* yang sesuai tidak dapat ditemukan untuk sebuah *hidden function*, dan kegagalan yang ditimbulkan tidak memiliki dampak terhadap *safety* maupun *environment*.
2. Biaya efektif (*cost-effective*) yang dikeluarkan untuk kegiatan *preventive task* tidak dapat ditentukan, baik untuk dampak operasional maupun *non-operasional*.

Dalam prosesnya RCM II berusaha untuk mengidentifikasi kebijakan manajemen kegagalan yang cocok mengatasi setiap model kegagalan dalam konsekuensi dan karakteristik teknis. Pilihan kebijakan manajemen kegagalan meliputi:

1. *Predictive Maintenance*
2. *Preventive Maintenance*
3. *Failure-Finding*
4. *Change the design or configuration of the system*
5. *Change the way the system is operated*
6. *Run-To-Failure*

Disamping itu RCM II juga memberikan pemahaman dalam pencapaian ekspektasi terhadap kegiatan perawatan, yakni (Moubray, 1997:19):

1. Meningkatkan integritas keselamatan dan juga lingkungan.
2. Meningkatkan performansi operasi (output, kualitas produk, serta pelayanan terhadap konsumen).
3. Meningkatkan efektivitas 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 dalam *scheduled on-condition maintenance*.
5. Menyediakan/ sebagai database yang lengkap (*comprehensive*).

2.4.1 *Functional Block Diagram (FBD)*

Untuk mengetahui komponen-komponen dari suatu sistem dan fungsinya telah sesuai dengan semestinya diperlukan sebuah pendeskripsian tertentu. Data fungsi peralatan dan cara beroperasinya, dipakai untuk membuat definisi dan dasar untuk menentukan kegiatan perawatan sebagai upaya pencegahan (Mourbray, 1997:36). Keuntungan dari FBD dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Sebagai dasar informasi dari sistem mengenai desain dan operasi yang dipakai sebagai acuan untuk melakukan tindakan pemeliharaan berikutnya.
2. Mengetahui proses identifikasi parameter-parameter operasi yang menyebabkan kegagalan sistem.

2.4.2 *Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)*

Failure Mode and Effect Analysis merupakan suatu teknik analisa secara kualitatif yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi bagaimana suatu aset atau sistem dapat gagal serta dampak yang dapat ditimbulkannya. Hasil analisa FMEA berupa rekomendasi untuk meningkatkan kehandalan dan tingkat keselamatan aset atau sistem. FMEA memuat bentuk-bentuk kegagalan (*failure mode*), penyebab bagaimana suatu komponen dapat mengalami kegagalan fungsi. Data FMEA diperoleh berdasarkan *machine history record* dan wawancara yang didapat dari *maintener*. Prosedur pelaksanaan FMEA dilaksanakan berdasarkan langkah berikut :

- 1) Penentuan masalah

Penentuan masalah pada suatu aset atau sistem, dilakukan dengan cara memilah-milah bagian-bagian dari peralatan fasilitas atau sistem sehingga pembahasan dapat lebih terfokus.

2) Pelaksaaan *review*

Review dilaksanakan pada lembar kerja FMEA. Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data kerusakan mulai dari spesifikasi komponen, identifikasi kerusakan, penyebab kerusakan, dampak yang ditimbulkan hingga tindakan yang harus dilakukan.

3) Pendokumentasian hasil

Dokumentasi dengan mengisi lembar kerja FMEA secara berkelanjutan memantau implementasi terhadap koreksi yang diusulkan.

Tabel 2.1 Kolom FMEA

RCM II INFORMATION WORKSHEET				System :			Facilitator :		
				Sub System :			Auditor :		
<i>Function</i>		<i>Function Failure (Loss of Function)</i>		<i>Failure Mode (Cause of Failure)</i>			<i>Failure Effect (What Happen When It Failure)</i>		
F		FF		FM					

Sumber : Moubray, 1997:89

2.4.3 RCM II Decision Worksheet

RCM II Decision Worksheet merupakan dokumen lembar kerja kedua dalam pengerjaan RCM. Form tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2.2. RCM II Information Worksheet

RCM II INFORMATION WORKSHEET										Sub System :			Facilitator :	
										System :			Auditor :	
<i>Information Reference</i>		<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>			<i>Propose Task</i>	<i>Initial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
						S1	S2	S3						
						O1	O2	O3						
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4		

Sumber : Moubray, 1997:199

Worksheet ini digunakan untuk merekap dan mencatat jawaban dari pertanyaan yang muncul dari *decision diagram*, sehingga kita dapat mengetahui :

1. Apa saja kegiatan rutin *maintenance* (jika ada) yang harus dilakukan, berapa sering dilakukan dan siapa yang melakukan.
2. Kegagalan mana sajakah yang cukup sering sehingga perlu dilakukan *redesign*.
3. Keadaan/ kondisi dimana keputusan yang sudah diambil diberikan untuk menghadapi kegagalan yang terjadi. Kolom-kolom dalam *RCM II Decision Worksheet* dapat dibagi sebagai berikut :

a) *Information Reference*

Mengacu pada informasi yang diperoleh dari *FMEA/RCM II Decision Worksheet*, yakni dengan memasukkan kode yang dimiliki *Function Failure*, serta *Failure Mode* dari masing-masing *equipment*.

b) *Consequence Evaluation*

Merupakan konsekuensi yang ditimbulkan karena terjadinya kegagalan fungsi. Dalam *RCM II Failure Consequen* dibedakan menjadi atas 4 jenis yakni *Hidden Failure*, *Safety Effect*, *Enviromental Effect* dan *Operational Effect*. Pengisian yang dilakukan dalam *consequense evaluation* adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Penentuan Kriteria Dampak/ Konsekuensi dalam RCM II

<i>Failure Consequence</i>	Memiliki Konsekuensi	Tidak Memiliki Konsekuensi
Kolom H (<i>Hidden Function</i>)	<i>Failure modes</i> tidak dapat diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal	<i>Failure modes</i> dapat diketahui secara langsung oleh operator dalam kondisi normal
Kolom S (<i>Safety</i>)	<i>Failure Mode</i> berdampak pada keselamatan kerja operator	<i>Failure Mode</i> tidak berdampak pada keselamatan kerja operator
Kolom E (<i>Environment</i>)	<i>Failure Mode</i> berdampak pada lingkungan sekitar	<i>Failure Mode</i> tidak berdampak pada lingkungan sekitar
Kolom O (<i>Operational</i>)	<i>Failure Mode</i> berdampak pada <i>output</i> produksi yang dihasilkan	<i>Failure Mode</i> tidak berdampak pada <i>output</i> produksi yang dihasilkan

Sumber : Moubray, 1997:109

c) *Proactive task & Default Action*

Proactive task merupakan tindakan/kondisi yang diambil dalam mencegah terjadinya *failure modes*. Dalam penentuan tindakan tersebut akan dibantu dengan *Decision*

Diagram dengan memenuhi *technically feasible* dan *worth doing* yang telah ditetapkan dalam RCM II, yakni sebagai berikut :

Tabel 2.4 Penentuan Persyaratan Kondisi *Proactive Task* Dalam RCM II

Proactive Task	Persyaratan Kondisi
Kolom H ₁ /S ₁ /O ₁ /N ₁ <i>Scheduled on Condition task</i>	Apakah <i>potensial failure (PF interval)</i> dapat diketahui secara pasti dalam kondisi normal? Apakah dalam interval waktu tersebut cukup untuk melakukan tindakan pencegahan?
Kolom H ₂ /S ₂ /O ₂ /N ₂ <i>Scheduled Restoration task</i>	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. Memperbaiki dengan subsystem yang tahan terhadap kegagalan tersebut.
Kolom H ₃ /S ₃ /O ₃ /N ₃ <i>Scheduled Discard task</i>	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 H ₄ <i>Scheduled Failure Finding task</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah bila <i>failure mode</i> dapat dideteksi secara teknis.
Kolom H ₅ <i>Redesign</i>	<i>Hidden failure</i> dapat dicegah hanya dengan jalan melaksanakan perubahan design pada mesin.
Kolom S ₄ <i>Combination task</i>	<i>Safety effect</i> dapat dicegah apabila kombinasi aktivitas antar <i>proactive task</i> dilakukan.

Sumber : Moubray , 1997:205

Apabila jawaban atas pertanyaan yang diajukan *Decision Diagram RCM II* adalah dengan memenuhi persyaratan atau *Yes*, maka dicatat dengan Y sedangkan apabila tidak memenuhi atau *No* dicatat dengan N pada kolom *Decision Worksheet RCM II*.

d) *Proposed Task*

Dari hasil keputusan yang didapatkan dituangkan kedalam tindakan perawatan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kegagalan fungsi yang mungkin terjadi. Dalam *proposed task* dijelaskan tindakan perencanaan yang digunakan sebagai tindakan nyata untuk menerjemahkan hasil dari *proactive task* maupun *default action* yang diberikan.

e) *Initial Interval*

Dipakai untuk mencatat interval perawatan optimal dari masing-masing task yang diberikan untuk *sheduling restoration/discard task*.

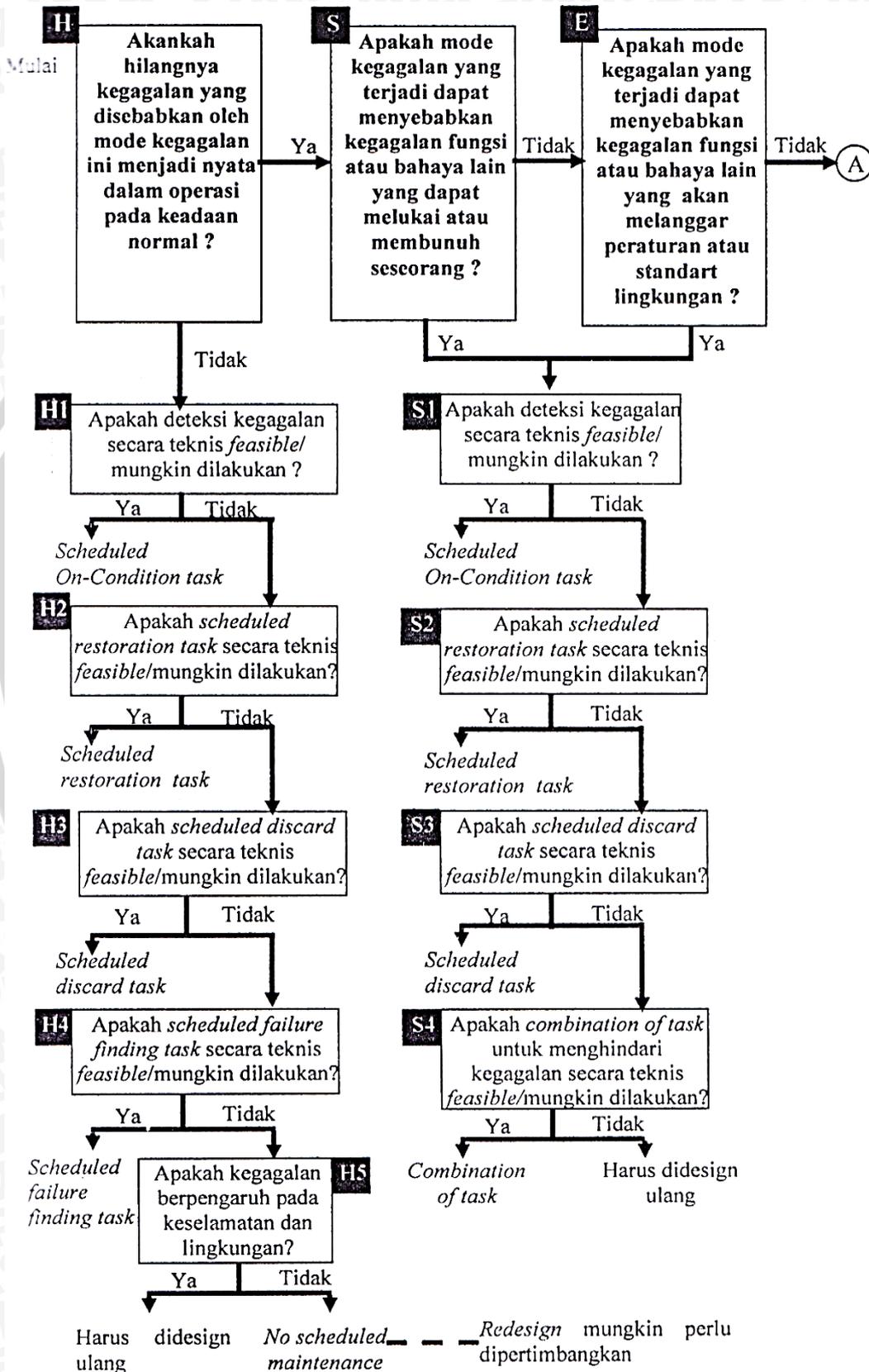
f) *Can be done by*

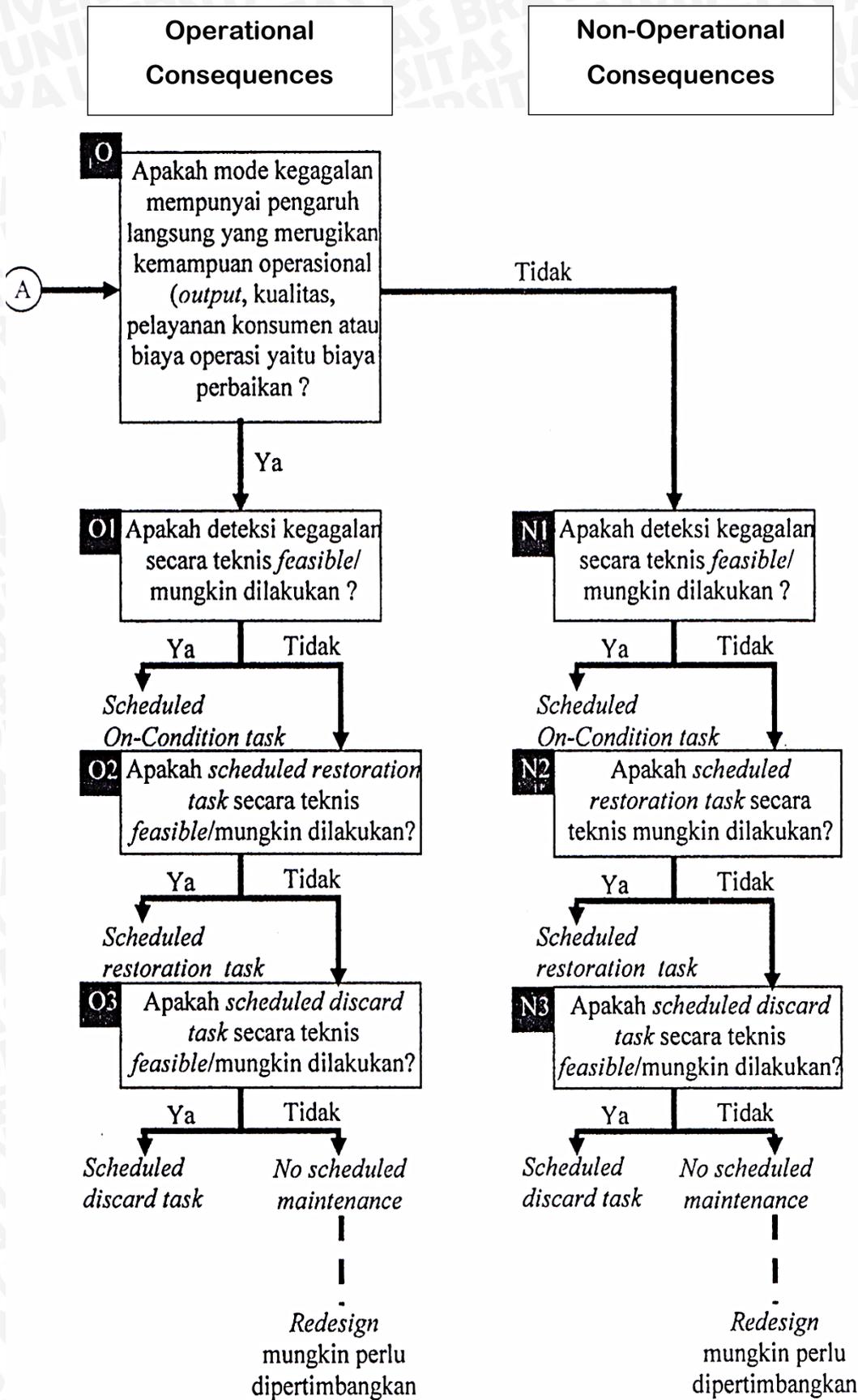
Dipakai untuk mencatat data siapa yang diberikan wewenang dalam melaksanakan aktifitas perawatan tersebut. Meliputi pihak-pihak yang berkaitan langsung dengan proses operasi dari peralatan tersebut.

Selain itu juga, informasi yang tersimpan dalam RCM II *worksheet* dapat membantu *staff/pekerja* baru yang kurang memiliki pengalaman atau kemampuan (keahlian) untuk menjalankan kegiatan *maintenance*. Berikut adalah gambar *Decision Diagram* dari RCM II

**Hidden Failure
Consequences**

**Safety and Environmental
Consequences**





Gambar 2.5 : RCM II Decision Worksheet

Sumber : Moubray, 1997:200-201



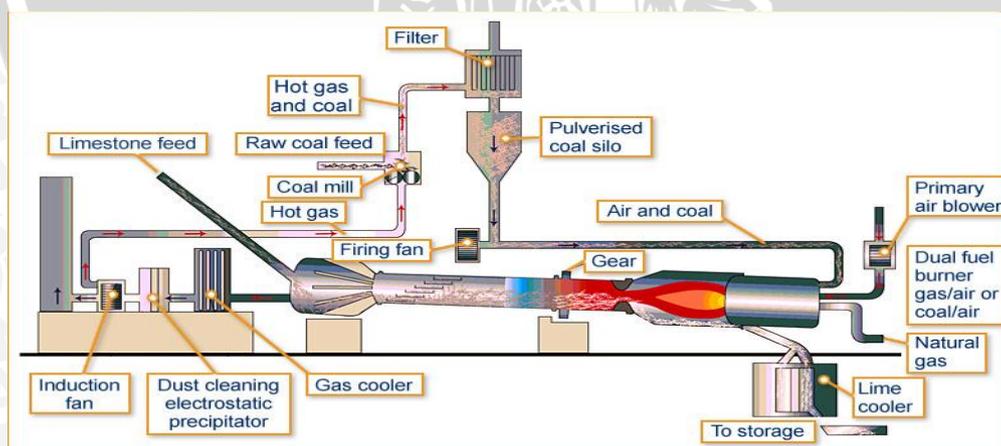
2.5 Rotary Kiln

Rotary Kiln merupakan silinder baja dengan diameter 5,6 m, dengan panjang 84 m dan ditumpu oleh tiga buah *tire*. Setiap *tire* ditumpu oleh sepasang *carryng roller*. Sudut kemiringan *Rotary Kiln* sebesar empat derajat dan bagian dalam *Rotary Kiln* dilapisi oleh batu tahan api. *Rotary Kiln* ini digerakan oleh *main drive motor* dengan daya 600 Watt pada putaran 1150 rpm. *Rotary Kiln* mampu melubur material sebanyak 7800 ton per jamnya.

Pada proses kerjanya umpan kiln dari *cyclone stage* empat *Separated Line Calciner* (SLC) yang telah mengalami *calnasai* dalam *preheater* dimasukan kedalam kiln melalui *inlet kiln*. Material tersebut di dalam kiln akan mengalami empat tahapan proses atau seolah-olah di dalam kiln di bagi dalam empat zona tahapan proses yaitu:

- *Calcina zone* (900-1000 °C), material yang belum tercalcinasi di dalam preheater akan mengalami calcinasi lebih lanjut dalam *calcining zone*.
- *Transition zone* (1000-1200 °C) material mulai berubah fasa dari padat ke cair.
- *Sintering zone* (1200-1350 °C) pada daerah ini material akan meleleh (*sintering*) membentuk material *klinker* sebagai produk kiln. *Sintering zone* sering disebut juga sebagai *burning zone*.
- *Cooling zone*, material akan mengalami pendinginan awal sebelum masuk *cooler*.

Berikut merupakan skema dari *Rotary Kiln*.



Gambar 2.6 : Proses Produksi Semen Melalui *Rotary Kiln*

Sumber : Zikra, 2012

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penyusunan suatu penelitian ilmiah sangatlah dibutuhkan sebuah kerangka atau metode penelitian. Kerangka penelitian ini harus disusun secara sistematis agar mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan rumusan masalah dalam tujuan penelitian. Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2012 sampai dengan data yang diperlukan terpenuhi bertempat di PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. Pabrik Tuban Desa Sumberarum, Kecamatan Kerek, kabupaten Tuban, Jawa Timur.

3.2 Obyek Penelitian

Penelitian skripsi ini dilakukan di Pabrik Semen Tuban, tepatnya di Pemeliharaan Mesin *Kiln and Coal Mill* pada mesin *Rotary Kiln*.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel- variable yang digunakan pada penelitian ini

1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan harganya dapat diubah-ubah untuk mendapatkan nilai variabel terikat dari obyek penelitian, sehingga diperoleh hubungan antara keduanya. Variabel bebas pada penelitian ini adalah kerusakan-kerusakan pada mesin *Rotary Kiln*.

2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah produksi semen.

3. Variable terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan peneliti dan dikondisikan konstan yaitu berupa *Reliability Centered Maintenance (RCM) II*.

3.4 Alur Penelitian

3.4.1 Tahap Identifikasi Dan Perumusan Masalah

Pada langkah ini dilakukan peninjauan awal untuk mengidentifikasi permasalahan yang terjadi, yakni kegagalan pada mesin yang mengganggu jalannya proses produksi serta tingginya potensi bahaya fasilitas yang dimiliki oleh perusahaan. Identifikasi kondisi awal tersebut akan digunakan untuk merumuskan permasalahan dengan jelas dan menetapkan tujuan penelitian, serta penentuan batasan - batasan penelitian.

3.4.2 Studi Literature

Studi literatur digunakan untuk mendapatkan kajian secara teoritis, mengetahui metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini. Selain itu juga dilakukan studi terhadap penelitian-penelitian yang telah ada sebelumnya yang dapat dijadikan sebagai pertimbangan dan acuan bagi penelitian yang akan dilakukan.

3.4.3 Studi Lapangan

Studi lapangan dilaksanakan untuk mengamati objek yang akan diteliti. Dari hasil pengamatan dilapangan akan diketahui aliran proses produksi, serta kondisi sebenarnya dari *Rotary Kiln*.

3.4.4 Pengumpulan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data – data yang dibutuhkan untuk menunjang penelitian ini. Data – data tersebut antara lain :

1. Detail dari komponen, yakni fungsi, keterkaitan dengan komponen lain, kegagalan fungsi yang mungkin terjadi, bentuk kegagalan, efek yang ditimbulkan akibat kegagalan.
2. Data waktu antar kerusakan dan data waktu antar perbaikan.

3.4.5 Pengolahan Data

Semua data yang telah terkumpul kemudian diolah baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Dengan data yang terkumpul dilanjutkan dengan membuat *Functional Block Diagram* (FBD) dari sistem kerja *Rotary Kiln*. Pengolahan data berikutnya yaitu penentuan distribusi waktu antar kerusakan dan distribusi waktu antar perbaikan serta menentukan interval perawatan. Data kerusakan tersebut kemudian dimasukkan ke dalam form FMEA dan untuk selanjutnya diolah pada *RCM II Decision Worksheet*.

3.4.6 Analisa Hasil

Tahap ini bertujuan untuk menganalisa hasil pengolahan data yang telah dilakukan.

3.4.7 Pembahasan

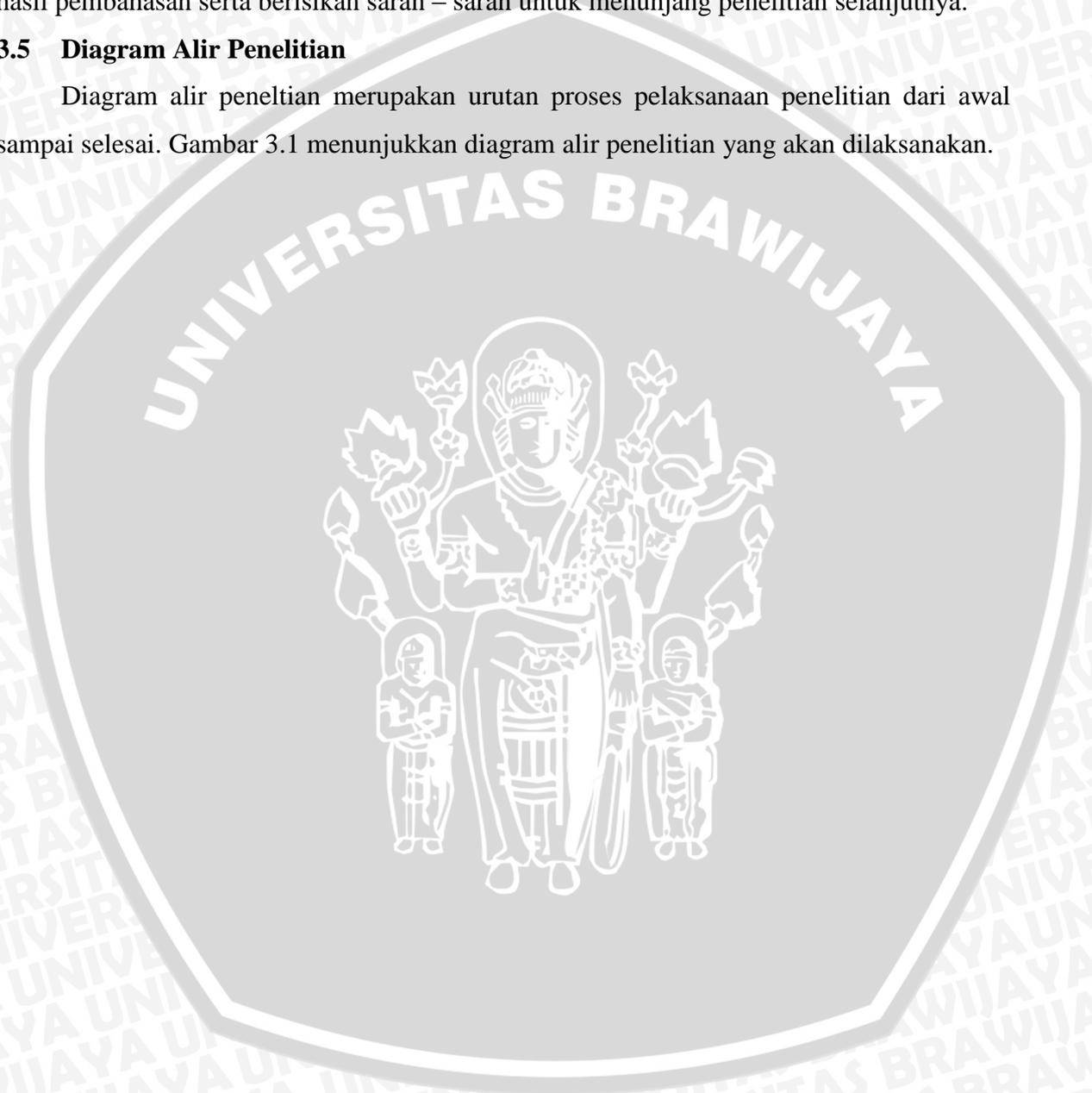
Pada tahap ini dilakukan pembahasan masalah dari hasil analisa yang ada dan selanjutnya akan ditarik kesimpulan serta saran dari penelitian ini.

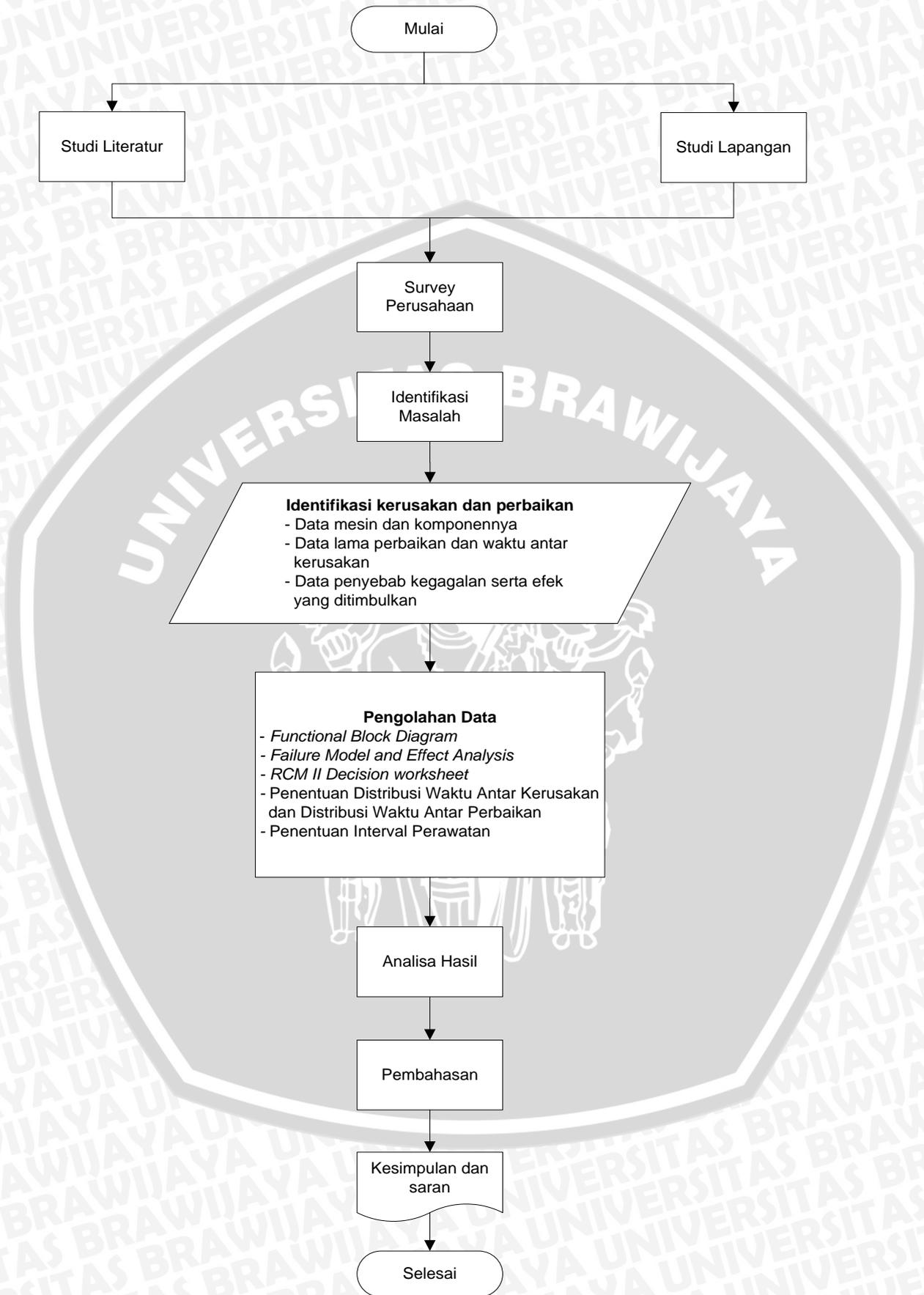
3.4.8 Kesimpulan Dan Saran

Pada tahap ini memberikan gambaran mengenai kesimpulan yang diperoleh dari hasil pembahasan serta berisikan saran – saran untuk menunjang penelitian selanjutnya.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir peneltian merupakan urutan proses pelaksanaan penelitian dari awal sampai selesai. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian yang akan dilaksanakan.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

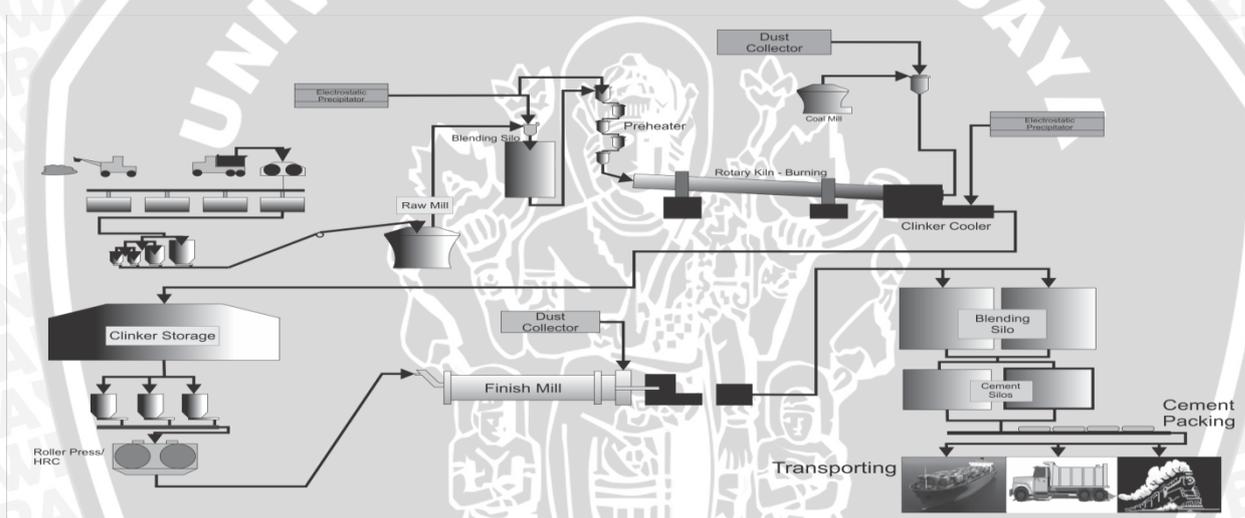
BAB IV Hasil dan Pembahasan

4.1 Studi Pendahuluan

Obyek penelitian yang diamati dalam makalah ini adalah mesin *Rotary Kiln* pabrik semen PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. di Tuban, Jawa Timur.

4.2. Mesin Proses Produksi

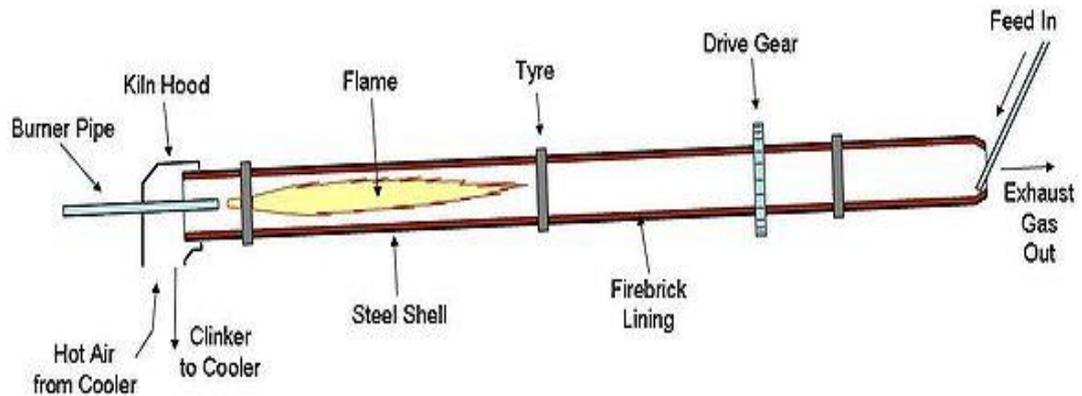
Dalam pembuatan semen dilakukanlah proses yang cukup panjang, mulai pencarian bahan mentah, penambangan, pengolahan hingga terciptalah produk semen yang siap dijual dan digunakan. Secara garis besar proses pengolahan semen tersebut dapat disajikan sebagai berikut:



Gambar 4.1. Alur Produksi Semen

Sumber : Balai DIKLAT PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. Pabrik Tuban

Pada proses produksi semen di atas dapat dikatakan bahwa proses yang cukup penting dalam pembuatan semen terdapat pada tahap peleburan material paduan pembentuk semen. Proses *clinkering* tersebut dilakukan dengan menggunakan alat rotary kiln. Di dalam *rotary kiln* inilah pencampuran material pembentuk semen seperti batu kapur, tanah liat, pasir silica dan pasir besi dilebur dengan suhu bakar 1400-1500 °C dan diputar dengan putaran yang dijaga konstan serta memiliki sudut kemiringan 4°.



Gambar 4.2. Skematik Rotary Kiln

Sumber : Harsono, 1996:15

Spesifikasi mesin rotary kiln:

Nama	: Cement Kiln
Ukuran	: d = 5600 mm x p = 84000
Kapasitas	: 7500 MTPH (Metric Ton Per Hour)
Main Drive Motor	: max 1200 rpm, 600 Kw
Feed Operation	: max 950 rpm
Manufacture	: Fuller Company

Komponen mesin rotary kiln:

- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Steel Shell (Kiln Shell) | 5. Roll Tire |
| 2. Firebrick Lining | 6. Kiln Hood |
| 3. Main Gear | 7. Burner Pipe |
| 4. Drive Gear | 8. Internal Heat Exchanger |

4.3 Identifikasi Kerusakan dan Perbaikan

Pada penelitian yang dilakukan di unit Pemeliharaan *Kiln and Coal Mill* ini khususnya pada mesin *rotary kiln*, data yang diperlukan yaitu sebagai berikut :

- Data mesin dan komponennya
- Data lama perbaikan dan waktu antar kerusakan
- Data penyebab kegagalan serta efek yang ditimbulkan

Data yang diambil berupa data kerusakan pada mesin *rotary kiln* yang terdapat pada unit Pemeliharaan *Kiln and Coal Mill* yang terjadi pada bulan Agustus 2010 sampai Juni 2012. Rekap data kerusakan dan lama perbaikan pada mesin *rotary kiln* ditunjukkan pada tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1. Rekap Jumlah Kerusakan Dan Lama Perbaikan Mesin *Rotary Kiln*

Mesin <i>Rotary Kiln</i>		
Bulan	Jumlah Kerusakan	Lama Perbaikan (jam)
Agustus 2010	4	31.66
September 2010	2	1.8
Oktober 2010	3	27.25
November 2010	3	17.61
Desember 2010	5	89.58
Januari 2011	4	25.61
Februari 2011	2	3.68
Maret 2011	4	12.51
April 2011	3	9.89
Mei 2011	3	25.5
Juni 2011	0	0
Juli 2011	4	30.48
Agustus 2011	0	0
September 2011	0	0
Oktober 2011	6	85.52
November 2011	0	0
Desember 2011	4	49.27
Januari 2012	2	20.45
Februari 2012	4	24.24
Maret 2012	1	9.31
April 2012	2	4.79
Mei 2012	1	5.6
Juni 2012	4	66.43
TOTAL	61	541.18

Sumber : PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. Pabrik Tuban

4.3.1. Penentuan Komponen Kritis Mesin *Rotary Kiln*

Dari data yang telah diperoleh dan dikumpulkan pada unit *kiln and coal mill*, selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk menentukan komponen kritis pada mesin

rotary kiln. Pada mesin *rotary kiln* terdapat beberapa komponen mesin yang mengalami kerusakan yaitu:

1. *Roll Tire*
2. *Firebrick Lining*
3. *Drive Gear*
4. *Main Gear*

Penentuan komponen mesin kritis tersebut berdasarkan pada kriteria berikut :

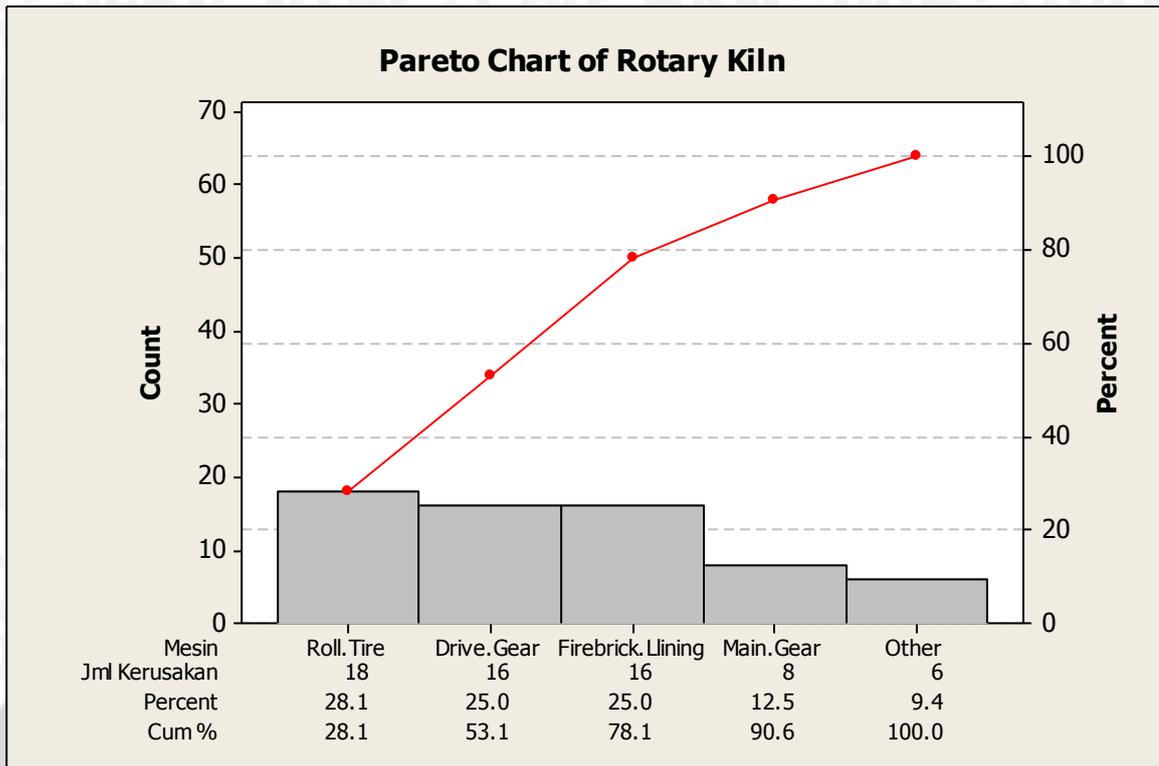
- Sering mengalami kerusakan.
- Bila terjadi kerusakan menyebabkan terhentinya proses produksi akibat perbaikan.

Dari beberapa komponen mesin di atas dibuat tabel berdasarkan jumlah kerusakan dan lama perbaikan untuk menentukan komponen mesin yang paling sering mengalami kerusakan-kerusakan pada setiap proses produksi mesin *rotary kiln*. Rekap data untuk jumlah kerusakan dan lama perbaikan komponen kritis mesin *rotary kiln* yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.2. Jumlah Kerusakan dan Lama Perbaikan Komponen Kritis Pada Mesin *Rotary Kiln*

Komponen Mesin	Jumlah Kerusakan	Lama Perbaikan
<i>Roll Tire</i>	18	195.52
<i>Firebrick Lining</i>	16	122.37
<i>Drive Gear</i>	16	116.61
<i>Main Gear</i>	8	42.24

Dari rekap data mesin kritis dari rotay kiln dapat disajikan dalam diagram pareto kerusakan mesin sebagai berikut:



Gambar 4.3. Diagram Pareto Jumlah Kerusakan Komponen Mesin *Rotary Kiln*

Dari diagram pareto diatas dapat diketahui bahwa komponen mesin *rotary kiln* dengan jumlah kerusakan dan lama perbaikan dengan persentase kumulatif kurang dari sama dengan 90 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa komponen-komponen kritis tersebut sebagai berikut:

Tabel 4.3 Komponen kritis mesin *Rotary Kiln*

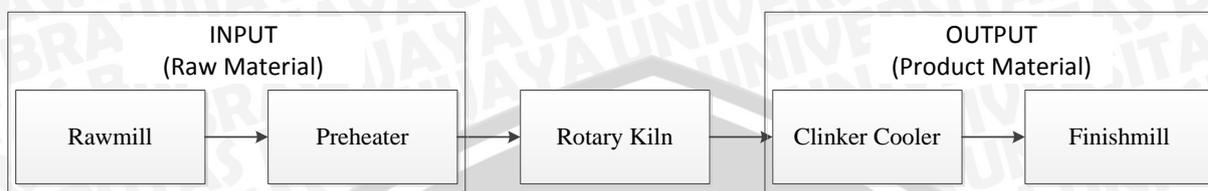
Mesin <i>Rotary Kiln</i>	Komponen
	<i>Roll Tire</i>
	<i>Drive Gear</i>
	<i>Firebrick Lining</i>
	<i>Main Gear</i>

Dari tabel di atas dapat diketahui dimana nantinya bila terjadi kerusakan terus-menerus akan membutuhkan waktu perbaikan yang cukup lama, sehingga kerusakan-kerusakan tersebut menyebabkan proses produksi terganggu bahkan dapat terhenti akibat perbaikan-perbaikan yang dilakukan.

4.4. Pengolahan Data

4.4.1. Functional Block Diagram

Functional block diagram (FBD) merupakan diagram yang mempermudah untuk mengamati alur serta kerusakan dari komponen mesin.



Gambar 4.4. *Functional Block Diagram* Mesin Rotary Kiln

FBD di atas dapat dijelaskan bahwa material mentah diproses pada *raw mill* untuk selanjutnya material tersebut mengalami *homogenizing* terlebih dahulu sebelum masuk ke *preheater*, pada proses *preheater* ini material diperlakukan panas sebanyak empat kali secara bertahap yaitu 385, 479, 573, 667 °C sebelum masuk ke *rotary kiln*. Pada *rotary kiln* ini material dilebur dengan suhu yang dijaga tetap sekitar 1400-1500 °C agar menjadi clinker/terak, kemudian masuk ke unit *cooler* untuk pendinginan sehingga suhu *clinker* menjadi sekitar 100 °C. Setelah *clinker* telah mencapai suhu yang setabil, untuk selanjutnya ditambahkan material tambahan seperti *gypsum* dan *truss*, setelah itu seluruh material di proses pada mesin *finishmill* dan diperoleh prosuk jadi dari semen.

4.4.2. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Langkah selanjutnya yaitu masuk ke dalam tahapan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Dengan menggunakan FMEA ini maka dapat diketahui kegagalan fungsi yang terjadi pada mesin *clinker cooler* yang kemudian nantinya diidentifikasi penyebab terjadinya kegagalan dan selanjutnya dapat diketahui pula efek atau dampak yang ditimbulkan dari kegagalan fungsi tersebut.

Tabel 4.4. *Failure Modes and Effect Analysis (FMEA) Mesin Rotary Kiln*

RCM II INFORMATION WORKSHEET		System : Rotary Kiln		Facilitator :		
		Sub system : PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. Pabrik Tuban		Auditor :		
Function		Function Failure (Loss Of Function)	Failure Modes (Cause Of Function)	Failure Effect (What Happen When It Failure)		
1	Sebagai tempat pembakaran/peleburan material umpan kiln yang hasilnya berupa <i>clinker</i> dengan cara diputar	A	Tidak dapat melebur material utama pembentuk <i>clinker</i>	1	<i>Firebrick lining</i> retak serta terdeteksi <i>redspot</i>	Terjadi penjalaran keretakan dan deformasi pada titik tertentu pada <i>kiln</i>
				2	<i>Main gear</i> rusak	Terganggunya proses pembakaran karena <i>kiln</i> tidak dapat berfungsi
				3	<i>Drive gear</i> rusak	Terjadi penurunan <i>reability</i> dari sistem karena kinerja <i>kiln</i> terhambat
				4	<i>Roll Tire</i> putus	Tidak dapat terbentuk homogenitas / tingkat kesamaan <i>raw mix</i>

4.4.3. RCM Decision Worksheet

Setelah mengetahui macam-macam kegagalan fungsi yang terjadi pada mesin *rotary kiln* melalui tabel *FMEA*, kemudian masuk ke dalam tahapan *RCM II Decision Worksheet*. *RCM II Decision Worksheet* ini digunakan untuk mencari jenis kegiatan perawatan (*maintenance task*) yang tepat dan memiliki kemungkinan untuk dapat mengatasi setiap *failure mode*.



Tabel 4.5. RCM II Decision Worksheet Mesin Rotary Klin

RCM II INFORMATION WORKSHEET										<i>System : Rotary Klin</i>			<i>Facilitator :</i>			
										<i>Sub System : PT. Semen Gresik (Persero) Tbk. Pabrik Tuban</i>			<i>Auditor :</i>			
<i>Information Reference</i>			<i>Consequence Evaluation</i>				H1	H2	H3	<i>Default Action</i>				<i>Propose Task</i>	<i>Initial Interval</i>	<i>Can be done by</i>
							S1	S2	S3							
							O1	O2	O3							
F	FF	FM	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4				
1	A	1	Y	Y	Y	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled Restoration Task</i> , melakukan tindakan pemeriksaan kondisi pada <i>Firebrick lining</i>	122.37	Mekanik	
1	A	2	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled On Condition Task</i> , melakukan tindakan pemeriksaan dan perbaikan kondisi pada <i>Main gear</i>	42.24	Mekanik	
1	A	3	Y	N	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled On Condition Task</i> , melakukan tindakan perbaikan dan pengecekan pada <i>Drive gear</i> sampai kembali ke kondisi normal	116.61	Mekanik	
1	A	4	Y	Y	N	Y	Y	N	N	-	-	-	<i>Scheduled Discard Task</i> , melakukan penggantian dan pemeriksaan pada <i>Roll Tire</i>	195.52	Mekanik	

4.4.4. Penentuan Distribusi Waktu Antar Kerusakan dan Waktu Lama Perbaikan

Menentukan distribusi waktu antar kerusakan dan distribusi waktu antar perbaikan dilakukan dengan pengujian distribusi terhadap data waktu antar kerusakan dan data waktu lama perbaikan. Data waktu antar kerusakan diperoleh berdasarkan pada selisih antara waktu kerusakan pertama dengan waktu kerusakan berikutnya. Sedangkan data waktu lama perbaikan diperoleh berdasarkan lamanya waktu perbaikan saat kerusakan terjadi. Penentuan distribusi tersebut menggunakan *software minitab 16*.

Tabel 4.6. Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan *Roll Tire*

<i>Roll Tire</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
08 Desember 2010	4.56	-
17 Desember 2010	16.43	394.32
22 Desember 2010	8.09	194.16
26 Desember 2010	0.42	10.08
31 Januari 2011	20.41	489.84
05 Februari 2011	22.66	543.84
02 Maret 2011	23.33	559.92
06 April 2011	18.10	434.4
07 April 2011	23.44	7
14 April 2011	20.57	493.68
04 Mei 2011	11.96	287.04
05 Mei 2011	11.43	11
30 Juni 2011	15.23	365.52
03 Oktober 2011	4.64	111.36
07 Februari 2011	2.91	69.84
26 Desember 2011	10.56	253.44
19 Maret 2012	14.69	352.56
15 Juni 2012	7.05	169.2

Tabel 4.7. Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan *Drive Gear*

<i>Drive Gear</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
01 September 2010	22.76	-
18 September 2010	23.44	408
13 Nopember 2010	19.62	1344
07 Januari 2011	15.84	1320
18 Februari 2011	21.66	1008
25 Maret 2011	16.44	840
28 Maret 2011	22.78	72
08 Oktober 2011	22.64	4656
12 Oktober 2011	1.86	96
13 Oktober 2011	5.62	16
17 Desember 2011	10.02	1560
18 Desember 2011	13.43	8
20 Desember 2011	12.72	48
12 Januari 2012	23.35	552
28 Februari 2012	23.15	1128
21 Juni 2012	12.56	2736

Tabel 4.8. Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan *Firebrick Lining*

<i>Firebrick Lining</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
16 Agustus 2010	8.62	-
01 September 2010	22.76	368
18 September 2010	23.44	391
05 Oktober 2010	11.67	391
06 Oktober 2010	13.48	4
21 Agustus 2010	19.60	184
04 Nopember 2010	12.38	483
28 Nopember 2010	22.39	552
05 Desember 2010	0.92	161
17 Januari 2011	11.06	989
31 Januari 2011	23.08	322
16 Februari 2012	19.42	8763
25 Februari 2012	5.60	207
13 April 2012	21.64	1104
17 April 2012	21.57	92
16 Agustus 2012	8.62	368

Tabel 4.9. Waktu Perbaikan dan Waktu Antar Kerusakan *Main Gear*

<i>Main Gear</i>		
Tanggal	Waktu Perbaikan (jam)	Waktu Antar Kerusakan (jam)
24 Agustus 2010	20.25	-
26 Agustus 2010	23.83	43
27 Agustus 2010	11.64	23
21 Mei 2011	23.11	6141
09 Juli 2011	23.51	1127
06 Oktober 2011	20.81	3174
23 Mei 2012	18.40	5290
04 Juni 2012	8.21	276

4.4.5. Penentuan Interval Perawatan

Penentuan interval perawatan yang optimal pada tiap komponen diperlukan parameter distribusi selang waktu kerusakan yang sesuai dan biaya penggantian komponen mesin. Dalam hal ini komponen mesin *rotary kiln* yaitu *Roll Tire*, *firebrick lining*, *drive gear* dan *main gear*. Langkah pertama yaitu melakukan pengujian distribusi mana yang tepat untuk mengolah masing-masing kerusakan yang terjadi dengan menggunakan bantuan *software minitab 16*. Kriteria pemilihan distribusi waktu antar kerusakan dan waktu perbaikan ini adalah memilih nilai statistik yang paling kecil, selanjutnya hasil pengujian distribusi dan parameter data waktu perbaikan (*time to repair/Tr*) dan waktu antar kerusakan (*time to failure/Tf*) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.10. Distribusi dan Parameter Data Waktu Perbaikan (*time to repair/Tr*) dan Waktu Antar Kerusakan (*time to failure/Tf*) mesin Rotary Kiln

Jenis Mesin	Nama Komponen	Ket	Jenis Distribusi	Parameter	
				α	β
Rotary Kiln	Roll Tire	Tr	Weibull	1,70643	14,5273
		Tf	Weibull	0,778373	685,957
	Drive Gear	Tr	Weibull	2,74030	18,6531
		Tf	Weibull	0,712172	868,516
	Firebrick Lining	Tr	Weibull	2,26816	17,6031
		Tf	Weibull	0,661955	681,174
	Main Gear	Tr	Weibull	4,46872	20,6370
		Tf	Weibull	0,592496	1737,95

Setelah memperoleh jenis distribusi dan parameter waktu perbaikan (*time to repair/tr*) dan waktu antar kerusakan (*time to failure/tf*), dilakukan perhitungan dari *Mean Time to Failure (MTTF)* dan *Mean Time to Repair (MTTR)* untuk data yang berdistribusi weibull dan hasil perhitungan sebagai berikut

Contoh perhitungan:

1. Perhitungan *MTTR Roll Tire*

Rumus :

$$MTTR = \beta \Gamma(1 + \frac{1}{\alpha}) \text{ (jam)}$$

Dimana : $\alpha = 1,70643$

$\beta = 14,5273$

$\Gamma = 0,1975$

$$MTTR = 14,5273 \Gamma(1 + \frac{1}{1,706434})$$

$MTTR = 4,5505 \text{ (jam)}$

2. Perhitungan *MTTF Roll Tire*

Rumus :

$$MTTF = \beta \Gamma(1 + \frac{1}{\alpha}) \text{ (jam)}$$

Dimana : $\alpha = 0,778373$

$\beta = 685,957$

$\Gamma = 0,1975$

$$MTTF = 0,778373 \Gamma(1 + \frac{1}{685,957})$$

$MTTF = 309,5274 \text{ (jam)}$

Tabel 4.11. Hasil Perhitungan Nilai *MTTR* dan *MTTF*

Jenis Mesin	Nama Komponen	<i>MTTR</i> (jam)	<i>MTTF</i> (jam)
Rotary Kiln	<i>Roll Tire</i>	4,5505	309,5274
	<i>Drive Gear</i>	5,0284	412,3893
	<i>Firebrick Lining</i>	5,0094	337,7660
	<i>Main Gear</i>	4,9879	922,5657

4.4.6. Penentuan Biaya Perawatan Mesin

Kerusakan dan perbaikan sebuah komponen juga tidak lepas dari biaya perawatan mesin itu sendiri, biaya perawatan tersebut meliputi biaya komponen dan biaya tenaga kerja. Perhitungan biaya tersebut dibagi menjadi:

- Biaya Penggantian Komponen karena Perawatan (CM)

Merupakan biaya yang dikeluarkan untuk memperbaiki komponen yang meliputi biaya tenaga kerja dan harga komponen atau suku cadang. Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya penggantian karena perawatan yaitu sebagai berikut :

$$CM = (\text{Biaya Tenaga Kerja} \times MTTR) + \text{Harga Komponen}$$

Contoh perhitungan biaya penggantian karena perawatan (CM) pada komponen *Roll Tire*:

$$\begin{aligned} CM &= (\text{Biaya Tenaga Kerja}) \times MTTR + \text{Harga Komponen} \\ &= (\text{Rp } 920.000 \times 4,5505) + 22.350.000 \\ &= \text{Rp } 26.536.460 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan biaya penggantian komponen karena perawatan seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.12. Hasil Perhitungan Biaya Penggantian Komponen karena Perawatan (CM)

Nama Komponen	MTTR (jam)	Harga (Rp)	Biaya Tenaga Kerja (Rp/jam/orang)	CM (Rp)
Roll tire	4,5505	22.350.000	230.000	26.536.460
Drive Gear	5,0284	25.680.000	245.000	29.375.874
Firebrick Lining	5,0094	68.445.000	260.000	74.957.220
Main Gear	4,9879	525.00.000	250.000	56.240.925

- Biaya Penggantian Komponen karena Kerusakan (CF)

Merupakan biaya penggantian yang meliputi biaya tenaga kerja, biaya downtime dan harga komponen. Rumus yang digunakan untuk menghitung biaya penggantian karena kerusakan adalah :

$$CF = [(Biaya\ Tenaga\ Kerja + Biaya\ Downtime) \times MTTR] + \text{Harga Komponen}$$

Contoh perhitungan biaya penggantian komponen karena kerusakan (CF) pada komponen *Great Plate* :

$$\begin{aligned} CF &= [(Biaya\ Tenaga\ Kerja + Biaya\ Downtime) \times MTTR] + \text{Harga} \\ &\quad \text{Komponen} \\ &= [(Rp\ 920.000 + Rp\ 8.333.350) \times 4,0809] + Rp\ 20.000.000 \\ &= 56.052.030 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka diperoleh hasil perhitungan biaya penggantian komponen karena kerusakan seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.13. Hasil Perhitungan Biaya Penggantian Komponen karena Kerusakan (CF)

Nama Komponen	MTTR (jam)	Harga (Rp)	Biaya Tenaga Kerja (Rp/jam)	Biaya Downtime (Rp/jam)	CF (Rp)
Roll tire	4,5505	74.500.000	230.000	8.333.350	116.607.369,2
Drive Gear	5,0284	85.600.000	245.000	8.333.350	131.199.291,1
Firebrick Lining	5,0094	228.150.000	260.000	8.333.350	276.407.303,5
Main Gear	4,9879	175.000.000	250.000	8.333.350	220.306.841,5

Setelah diperoleh biaya penggantian komponen karena perawatan (CM) dan biaya penggantian komponen karena kerusakan (CF) serta parameter yang sesuai dengan pengujian distribusi, maka langkah selanjutnya adalah menghitung interval perawatan yang optimal yaitu sebagai berikut :

$$TM = \beta \left[\frac{CM}{CF - CM} \times \frac{1}{\alpha^{-1}} \right]^{1/\alpha}$$

Contoh perhitungan TM Roll Tire:

Dimana: $\alpha = 0,778373$
 $\beta = 685,957$
 $CM = 26.536.460$
 $CF = 116.607.369,2$

$$TM = 685,957 \left[\frac{26.536.460}{116.607.369,2 - 26.536.460} \times \frac{1}{0,778373^{-1}} \right]^{1/0,778373}$$

$$TM = 103,4289795$$

Maka dengan cara seperti diatas diperoleh hasil perhitungan interval perawatan optimal pada masing-masing komponen kritis seperti pada tabel 4.13 berikut ini :

Tabel 4.14. Interval Perawatan Optimal

Nama Komponen	α	β	CM (Rp)	CF (Rp)	TM (jam)
<i>Roll Tire</i>	0,778373	685,957	26.536.460	116.607.369,2	103,4289795
<i>Drive Gear</i>	0,712172	868,516	29.375.874	131.199.291,1	94,13287454
<i>Firebrick Lining</i>	0,661955	681,174	74.957.220	276.407.303,5	82,03000601
<i>Main Gear</i>	0,592496	1737,95	56.240.925	220.306.841,5	117,9297825

4.5 Pembahasan

Metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* merupakan proses yang dilakukan untuk menentukan apa yang harus dilakukan agar dapat mencegah terjadinya kegagalan dan untuk memastikan bahwa alat atau mesin dapat bekerja optimal sesuai fungsinya saat dibutuhkan. Melalui metode ini akan diperoleh informasi yang penting guna mengembangkan sistem *maintenance* sehingga dapat mengurangi kegagalan fungsi komponen mesin secara tiba-tiba dan juga bisa menjadi program pemeliharaan yang paling efisien dibandingkan dengan metode yang lain.

Berdasarkan *RCM II Decision Worksheet* diperoleh bahwa tindakan apa saja yang perlu dilakukan untuk setiap komponen yang sering mengalami kerusakan. Pada *scheduled* ini membutuhkan tindakan perawatan yang dapat mengurangi kemacetan produksi, biaya perbaikan dan membatasi atau mengurangi gangguan-gangguan yang menghambat pelaksanaan produksi sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas untuk meningkatkan hasil produksi semen. Hasil perhitungan di atas dapat diperoleh waktu interval perawatan serta jenis kegiatan perawatan yang tepat, seperti tersaji ditabel berikut:

Tabel 4.15. Kegiatan Perawatan yang Disarankan dan Interval Perawatan Optimal

Mesin	Komponen Kritis	Kegiatan Perawatan	Interval Perawatan (jam)
Rotary Kiln	Roll Tire	Scheduled On-Condition Task	103,4289795
	Drive Gear	Scheduled On-Condition Task	94,13287454
	Firebrick Lining	Scheduled Discard Task	82,03000601
	Main Gear	Scheduled On-Condition Task	117,9297825

Dari interval perawatan terdapat komponen yang memiliki selisih nilai interval perawatan yang paling tinggi yaitu komponen *main gear*. Pada komponen *main gear* memiliki interval perawatan paling lama yaitu 117,929 jam. Pada komponen ini apabila terjadi kerusakan membutuhkan waktu perbaikan yang lama. Kegiatan perawatan yang perlu dilakukan pada komponen ini adalah *scheduled on-condition task*, yaitu tindakan perawatan yang dapat mengurangi kemacetan produksi, biaya perbaikan dan membatasi atau mengurangi gangguan-gangguan yang menghambat pelaksanaan produksi. Kegiatan atau tindakan yang sama dilakukan pada *roll tire* dan *drive gear*, komponen tersebut memiliki waktu interval perawatan masing-masing selama 103,429 jam dan 94,132 jam. Sedangkan komponen yang memiliki waktu interval perawatan yang minim yaitu komponen *firebrick lining* yakni sebesar 82,030 jam. Komponen ini bila terjadi kerusakan membutuhkan waktu perbaikan yang cukup singkat sehingga bila terjadi kerusakan pada komponen ini proses produksi terhenti sebentar karena perawatan maupun perbaikan tersebut. Kegiatan perawatan pada komponen ini yang lebih efektif adalah *scheduled discard task*, tindakan penggantian (*replacement*) terhadap komponen yang mengalami keausan atau kerusakan yang mengakibatkan komponen tersebut tidak dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Waktu interval perawatan yang semakin singkat dapat meningkatkan jumlah kapasitas produksi dari semen tersebut karena *downtime* permesinan dapat ditekan seminimal mungkin sehingga mesin dapat bekerja secara optimal.

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan, maka terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan yaitu :

- Berdasarkan *diagram pareto* pada mesin *rotary kiln* terdapat beberapa komponen kritis yang sering mengalami kerusakan yaitu komponen *roll tire*, *firebrick lining*, *main gear* dan *drive gear*. Komponen-komponen tersebut jika terus-menerus mengalami kerusakan maka akan mengganggu proses produksi yang mengakibatkan menurunnya produksi semen.
- Dari *RCM II Decision Worksheet* dapat diusulkan beberapa tindakan perawatan yang sesuai dengan interval perawatan optimal, seperti diantaranya *scheduled on-condition task* untuk komponen *main gear*, *roll tire* dan *drive gear* yang memiliki nilai interval optimal masing-masing sebesar 103,429 jam, 117,929 jam dan 94,132 jam. Sedangkan untuk komponen *firebrick lining* disarankan untuk melakukan tindakan perawatan *scheduled discard task* dikarenakan memiliki interval perawatan sebesar 82,030 jam. Penentuan tindakan perawatan ini membutuhkan ketelitian yang tinggi agar komponen mesin yang mengalami keausan atau kerusakan sebelum batas umur dari komponen tersebut dapat terdeteksi sedini mungkin sehingga kinerja mesin dan jumlah produksi semen dapat terpenuhi secara maksimal.

5.2. Saran

1. Pihak perusahaan diharap mendata kerusakan pada mesin *rotary kiln* lebih mendetail dan menyeluruh sehingga nantinya dapat dibuat jadwal perawatan atau penggantian komponen secara tepat.
2. Bagi perusahaan sendiri, metode *Reliability Centered Maintenance (RCM) II* ini diharapkan dapat diterapkan untuk meningkatkan proses produksi.
3. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat dilakukan pada mesin-mesin yang sering mengalami kerusakan dengan komponen-komponen yang lebih mendetail.



DAFTAR PUSTAKA

- Ebeling, E, Charles, 1997. **Reliability and Maintainability Engineering**. University of Dayton.
- Dhailon, B.S., 2006. **Maintainability, Maintenance and Reliability For Engineer**. Penerbit Taylor & Francis Grup, LLC, London.
- Hamid, Abdul dan Tri Ramawan, 2012. **Sistem Perencanaan Perawatan Mesin dan Sistem Persediaan Suku Cadang Dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance II dan Reliability Centered Spares Pada PT. X**. Jakarta. Jurnal Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
- Harsono, Djoko Sedyo, 1996. **Penggilingan Semen**. PT. Semen Gresik (persero), Tbk.
- Lewis, E. E. 1987. **Introduction To Reliability Engineering**, Penerbit John Wiley & Sons Inc, New York.
- Lindley R. Higgs & R. Keith Mobley, 2002., **Maintenance Engineering Handbook**, Sixth Edition. Penerbit McGraw-Hill Companies, USA.
- Moubray, John. 1997. **Reliability Centered Maintenance 2nd**, *Second Edition*, Penerbit Industrial Press Inc, Madison Avenue-New York.
- Rinawati, Dyah Ika. 2012. **Kegiatan Maintenance Pada Sistem Pipe Making Line dengan Pendekatan Reliability Centered Maintenance II (Studi Kasus PT Indonesia Steel Tube Works Semarang)**. Semarang. Jurnal Program Studi Teknik Industri, Universitas Diponegoro.
- Zikra, Nadya. 2012. **Proses Pembuatan Semen di PT. Semen Padang**, http://nadyazikra.blogspot.com/2012_06_01_archive.html (Diakses pada tanggal 10 Januari 2013)