

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Crisralizer

Proses cristalizer adalah pengolahan minyak goreng atau biasa disebut kristalisasi. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan kristal antara lain komposisi minyak, polimorphism, dan kondisi cooling (pendinginan). Pada proses ini sangat mempengaruhi hasil minyak yang diproduksi. Jika motor listrik mengalami kerusakan, maka akan mengakibatkan terhentinya proses cristalizer yang membuat deadline perusahaan atau kapasitas yang diperoleh berkurang.

Nukleasi adalah pembentukan fasa kristal dari keadaan cair, laju nukleasi adalah penentu jumlah dan ukuran dari kristal yang terbentuk, bentuk polymorphis, dan distribusi kristal padatnya. Pada proses pengkristalan terdapat salah satu proses yang disebut proses cooling , kondisi ini dapat dikontrol pada saat proses antara lain:

1. *Subcooling/ Crystalization temperatur*

Parameter yang paling penting dalam proses kristalisasi adalah subcooling, atau temperatur dimana minyak didinginkan di bawah titik kesetimbangannya. Pada saat subcooling meningkat, laju nukleasi juga akan meningkat, dan waktu induksi untuk kristalisasi akan menurun.

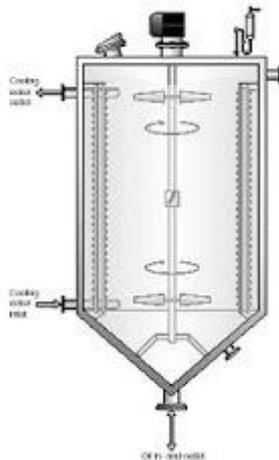
2. *Cooling rate*

Proses kristalisasi juga sangat dipengaruhi oleh laju pendinginan (cooling rate). Pendinginan dengan cepat ke temperatur yang rendah akan meningkatkan laju nukleasi, dimana ini akan membuat terjadinya pembentukan sejumlah kristal kecil. Tetapi, ketika laju pendinginan dibuat dengan lambat, maka akan terbentuk kristal dengan bentuk yang besar

3. Agitation

Kecepatan pada saat pencampuran umumnya dilakukan untuk membantu nukleasi dan pertumbuhan kristal. Pada kondisi cooling rate yang lambat dan agitasi yang lambat, akan meningkatkan jumlah kristal yang terbentuk. laju agitasi yang tinggi akan menyebabkan laju kristalisasi yang tinggi juga, sehingga akan terbentuk kristal-kristal yang kecil.

Quality yang perlu diperhatikan pada tahap ini adalah cloud point (CP). Dimana untuk cloud point dapat dilihat apakah proses pendinginan berlangsung dengan baik.



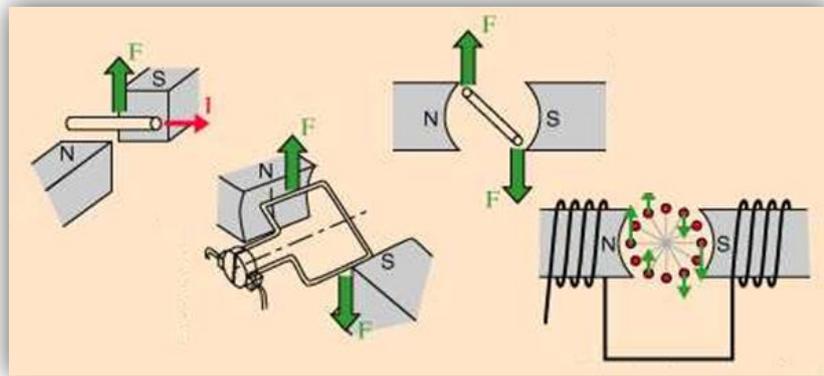
Gambar 2.1 Tank Proses Crisralizer
(Sumber dari PT. Wilmar Nabati Indonesia)

Tahapan proses pada Crisralizer:

1. Filling : Pada ini, RBDPO dari refinery diisikan ke dalam crislalizer pada suhu 50-55°C
2. Cooling : terjadi proses pendinginan dari suhu filling ke suhu 26°C
3. Chilling : setelah tercapai suhu pendinginan, dilakukan holding pada kondisi ini
4. filtrasi : kondisi minyak sedang ditransfer ke filter press

2.2 Sistem Kerja Motor listrik

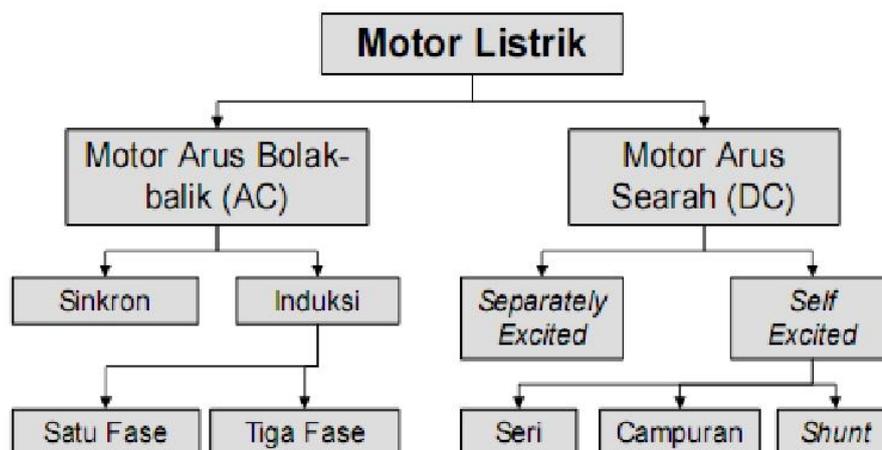
Mekanisme kerja untuk seluruh jenis motor secara umum sama (Gambar 2.2) Arus listrik dalam medan magnet akan memberikan gaya. Jika kawat yang membawa arus dibengkokkan menjadi sebuah lingkaran/loop, maka kedua sisi loop, yaitu pada sudut kanan medan magnet, akan mendapatkan gaya pada arah yang berlawanan. Pasangan gaya menghasilkan tenaga putar/torque untuk memutar kumparan. Motor-motor memiliki beberapa loop pada dinamanya untuk memberikan tenaga putaran yang lebih seragam dan medan magnetnya dihasilkan oleh susunan elektromagnetik yang disebut kumparan medan.



Gambar 2.2. Prinsip Dasar dari Kerja Motor Listrik

(Sumber: Nave, 2005)

A. Jenis Motor Listrik Berikut Jenis-jenis motor listrik :



Gambar 2.3. Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik

(Sumber: Nave, 2005)

1. Motor Arus Bolak Balik (AC)

Motor arus bolak-balik menggunakan arus listrik yang membalikkan arahnya secara teratur pada rentang waktu tertentu. Motor listrik memiliki dua buah bagian dasar listrik: "stator" dan "rotor". Stator merupakan komponen listrik statis dan Rotor merupakan komponen listrik berputar untuk memutar as motor. Keuntungan utama motor DC terhadap motor AC adalah bahwa kecepatan motor AC lebih sulit dikendalikan. Untuk mengatasi kerugian ini, motor AC dapat dilengkapi dengan penggerak frekwensi variabel untuk meningkatkan kendali kecepatan sekaligus menurunkan dayanya. Motor induksi merupakan motor yang paling populer di industri karena kehandalannya dan lebih mudah perawatannya. Motor induksi AC cukup murah (harganya setengah atau kurang dari harga sebuah motor DC) dan juga memberikan rasio daya terhadap berat yang cukup tinggi (sekitar dua kali motor DC).

2. Motor DC (Direct Current)

Motor arus searah, sebagaimana namanya, menggunakan arus langsung yang tidak langsung/*direct-unidirectional*. Motor DC digunakan pada penggunaan khusus dimana diperlukan penyalaan *torque* yang tinggi atau percepatan yang tetap untuk kisaran kecepatan yang luas.



Gambar 2.4 Motor DC

(Sumber: file Direct Industry, 2005)

Motor DC yang memiliki tiga komponen utama:

1 Kutub medan.

Secara sederhana digambarkan bahwa interaksi dua kutub magnet akan menyebabkan perputaran pada motor DC. Motor DC memiliki kutub medan yang stasioner dan dinamo yang menggerakkan *bearing* pada ruang diantara kutub medan. Motor DC sederhana memiliki dua kutub medan: kutub utara dan kutub selatan. Garis magnetik energi membesar melintasi bukaan diantara kutub-kutub dari utara ke selatan. Untuk motor yang lebih besar atau lebih kompleks terdapat satu atau lebih elektromagnet. Elektromagnet menerima listrik dari sumber daya dari luar sebagai penyedia struktur medan.

2. Dinamo.

Bila arus masuk menuju dinamo, maka arus ini akan menjadi elektromagnet. Dinamo yang berbentuk silinder, dihubungkan ke as penggerak untuk menggerakkan beban. Untuk kasus motor DC yang kecil, dinamo berputar dalam medan magnet yang dibentuk oleh kutub-kutub, sampai kutub utara dan selatan magnet berganti lokasi. Jika hal ini terjadi, arusnya berbalik untuk merubah kutub-kutub utara dan selatan dinamo.

3. Commutator.

Komponen ini terutama ditemukan dalam motor DC. Kegunaannya adalah untuk membalikan arah arus listrik dalam dinamo. *Commutator* juga membantu dalam transmisi arus antara dinamo dan sumber daya.

Keuntungan utama motor DC adalah sebagai pengendali kecepatan, yang tidak mempengaruhi kualitas pasokan daya. Motor ini dapat dikendalikan dengan mengatur:

- a) Tegangan dinamo - meningkatkan tegangan dinamo akan meningkatkan kecepatan
- b) Arus medan - menurunkan arus medan akan meningkatkan kecepatan.

Motor DC tersedia dalam banyak ukuran, namun penggunaannya pada umumnya dibatasi untuk beberapa penggunaan berkecepatan rendah, penggunaan daya rendah hingga sedang seperti peralatan mesin dan *rolling mills*, sebab sering

terjadi masalah dengan perubahan arah arus listrik mekanis pada ukuran yang lebih besar. Juga, motor tersebut dibatasi hanya untuk penggunaan di area yang bersih dan tidak berbahaya sebab resiko percikan api pada sikatnya. Motor DC juga relatif mahal dibanding motor AC.

3. Faktor - faktor Kerusakan Mesin Motor Listrik

Kebanyakan kerusakan motor listrik disebabkan oleh beberapa faktor seperti:

- Bearing, setting bearing dan komponen lain harus sesuai dengan standard.
- Panas berlebihan/over-heating misalnya dengan memilih motor terlalu kecil, sehingga motor harus menderita over-current, berarti kondisi operasinya lebih panas, tetapi jika memilih motor terlalu besar berakibat pemakaian listrik tidak efisien berarti pemborosan. Kotor misalnya debu/kotoran yang terakumulasi akan merusak komponen listrik maupun mekanikal. Umumnya terakumulasi pada permukaan badan motor, saluran pendinginan, fin, fan mengakibatkan pendinginan terganggu dan panas motor berlebih
- Lembab misalnya lembab atau embun juga merusak komponen listrik dan mekanikal, yang mengakibatkan pengkaratan pada poros, bearing, rotor, stator, laminasi. Jika penetrasi ke isolasi mengakibatkan degradasi isolasi dan rusak
- Vibrasi merupakan indikasi bahwa kondisi motor sedang mengalami masalah, sumber vibrasi dapat dari motor atau dari mesin yang digerakan (load) bahkan mungkin juga dari kedua-duanya. Penyebabnya adalah misalignment motor terhadap load (mesin yang digerakkan), kendor pada fondasinya motor atau load, kondisi soft-foot pada fondasinya motor atau load, rotor unbalance, bearing aus atau rusak menyebabkan poros berputar tidak sentris, akumulasi karat atau kotoran pada komponen putar (rotor).
- Kualitas supply listrik sangat menentukan umur motor listrik.

Kerusakan komponent pada motor umumnya sebagai berikut:

- Rotor motor induksi jenis squirrel cage tidak mudah rusak karena bentuknya yang kompak, kerusakan mekanis bisa terjadi terutama akibat dari kerusakan bearing yang parah sehingga rotor berputar ber sentuhan dengan stator.
- Shaft/kopling akibat dari misalignment yang sangat excessive, atau terlambat mengganti/menambah grease, atau juga kopling mengalami overload.
- Ekternal, sebab2 kerusakan dari luar cukup banyak antara lain : temperatur ruang terlalu tinggi/lembab, kurang ventilasi ruang, misalignment, menyetel belt terlalu kencang dll.
- Stator winding. Kerusakan normal rotor tentunya karena umur/aging, isolasi akan mengalami deterioration.

2.3. Bearing

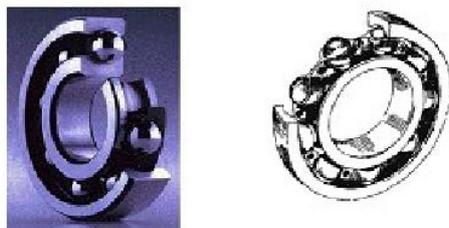
1. Jenis Bearing

Menurut cara kerjanya digolongkan menjadi dua :

A. Rolling bearing

yaitu bearing yang mempunyai bagian / element yang melakukan fungsinya dengan rolling atau berputar diantara shaft/inner race dan outer - race. Juga biasa disebut anti-friction bearing, contoh: ball bearing, roller-bearing, taper-roller bearing, nidle-bearing. Bearing ini banyak dipakai oleh motor listrik dengan kapasitas Hp/Kw medium-kebawah.

- Open Face Bearing

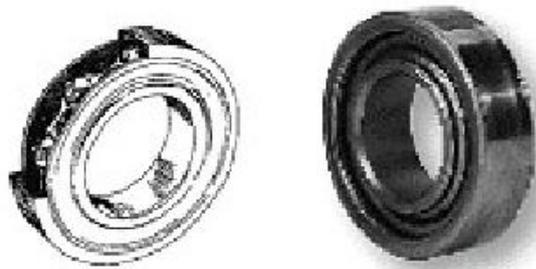


Gambar 2.5 Open Face Bearing

(Sumber: file Direct Industry, 2005)

Bearing ini terdiri dari bagian dengan nama: inner-race, outer race, ball, dan cage. Tidak ada bagian yang dapat menahan/menyimpan grease di antara inner dan outer, sehingga sebelum dipasang harus diisi grease dan harus di jadwal untuk regrease.

- Single Shielded Bearing



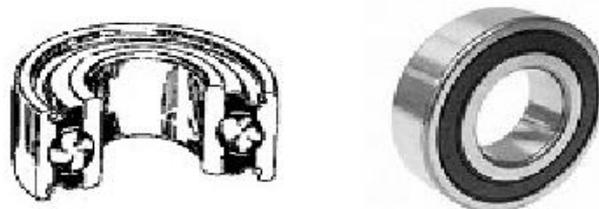
Gambar 2.6 Single Shielded Bearing

(Sumber: file Direct Industry, 2005)

Bearing ini mempunyai satu metallic shielded terdiri dari bagian dengan nama : inner-race, outer race, ball, cage dan satu sisi metallic shield. Shield dibuat dari logam (missal bronze) dan mempunyai clearance terhadap inner .

Biasanya shield dipasang disisi sebelah motor, sehingga sebelum dipasang harus diisi grease dan harus di jadwal untuk regrease seperti open bearing

- Double Shielded Bearing (ada air-gap)



Gambar 2.7 Double Shielded Bearing

(Sumber: file Direct Industry, 2005)

Diisi grease oleh pabrikan sebelum dipasang shield bearing ini mempunyai dua metallic shielded Shield dipasang di kedua sisi dengan tujuan untuk menahan/menyimpan grease di antara inner& outer race.Pabrikan sudah mengisi grease sebelum dijual, grease ini untuk selama umur pakai /life time dan

memang dirancang untuk tidak di regrease. Tetapi masih ada yang berpendapat bahwa jenis ini diregrease. Kontruksi terdiri dari bagian dengan nama: inner-race, ball-cage dan dua metallic shield dengan sedikit air-gap terhadap inner race.

- Double Sealed Bearing (tidak ada air-gap)



Gambar 2.8 Double Sealed Bearing
(Sumber: file Direct Industry, 2005)

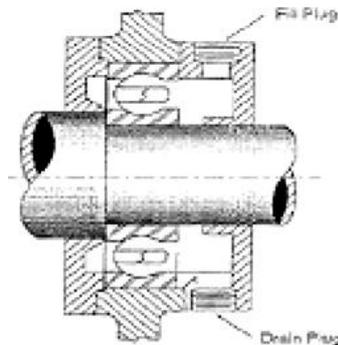
Rancangan bearing ini hampir sama double-shielded bearing, dengan mempunyai dua non-metallic sealed .Shield dipasang di kedua sisi , tidak ada air-gap dengan tujuan untuk menahan/menyimpan grease di antara inner dan outer race. Pabrikan sudah mengisi grease sebelum dijual, grease ini untuk selama umur pakai/life time. Dirancang untuk tidak diregrease. Sehingga umurnya sangat tergantung dari grease yang diisikan sejak semula.

Konstruksi terdiri dari bagian dengan nama: inner- race, outer race, ball, cage dan dua metallic seal menempel terhadap inner race. Jika bearing ini terpasang pada bearing housing yang ada grease-nozle, maka nozle ini harus dilepas dan diganti dengan-plug.

B. Sliding bearing/sleeve bearing

yaitu bearing dimana shaft sliding terhadap permukaan bearing. Bearing mempunyai resistensinya shaft terhadap bearing contoh bearing-bearing yang dilapisi babbit. Motor medium atau motor besar kebanyakan memakai bearing ini

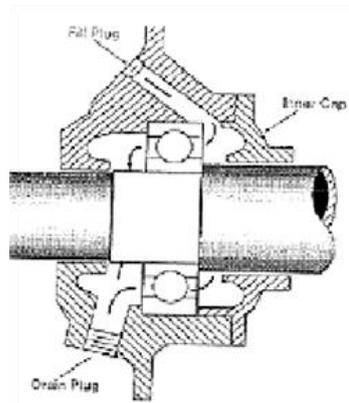
Konstruksi bearing housing pada dasarnya housing dibuat 2 macam yaitu:



Gambar 2.9 Kontruksi Open Bearing

(Sumber: file Direct Industry, 2005)

Gambar diatas hanya diperuntukan bearing yang dua sisinya terbuka (open bearing). Fill plug dapat diganti dengan "grease nozzle" untuk melakukan regreasing dan drain plug untuk membuang grease lama (arah panah) menunjukkan aliran grease dimasukan dan melewati bearing, kemudian grease bekas keluar lewat drain.



Gambar 2.10 Kontruksi double sealed bearing

(Sumber: file Direct Industry, 2005)

Gambar diatas hanya diperuntukan bearing yang satu atau dua sisinya dipasang seal (single atau double sealed bearing). Jika single sealed fill plug dapat diganti dengan "grease nozzle" untuk melakukan regreasing dan drain plug untuk membuang grease lama. Tetapi jika double sealed kedua plug harus dimatikan, karena tidak diperlukan regreasing.

Motor listrik kapasitas medium kebawah umumnya menggunakan bearing jenis rolling element. Dan yang sering terjadi ialah bearing rusak sebelum waktunya atau bahkan sering terjadi rusak fatal bearing failure. Fatalnya lagi, kadang dari kerusakan bearing mengakibatkan kerusakan winding, rotor, dll sehingga harus dibayar mahal.

2. Sebab Sebab Kerusakan Bearing

Banyak faktor penyebab kerusakan bearing, maka untuk keberhasilan suatu pekerjaan sangat diperlukan tenaga skill yang harus memiliki knowledge dan ketrampilan di bidangnya.

Kerusakan komponent pada motor umumnya sebagai berikut:

1. Rotor motor induksi jenis squirrel cage tidak mudah rusak karena bentuknya yang kompak, kerusakan mekanis bisa terjadi terutama akibat dari kerusakan bearing yang parah sehingga rotor berputar ber sentuhan dengan stator.
2. Shaft/kopling akibat dari misalignment yang sangat excessive, atau terlambat mengganti/ menambah grease, atau juga kopling akan mengalami overload.
3. Ekternal, sebab-sebab kerusakan dari luar cukup banyak antara lain : temperatur ruang terlalu tinggi/lembab, kurang ventilasi ruang, misalignment, menyetel belt terlalu kencang dll.
4. Stator winding. Kerusakan normal rotor tentunya karena umur/aging, isolasi akan mengalami deterioration

3. Pencegahan Kerusakan Bearing

Kerusakan bearing merupakan peristiwa yang biasa terjadi dari sejak manusia mengenal mesin sampai saat ini, tetapi kadang kita lupa mencari sebab mengapa kerusakan itu lebih cepat dari yang kita perkirakan. Mencari sebab itu yang seharusnya kita kerjakan, kemudian bagaimana cara mencegahnya.

1. Pelumasan

Kerusakan sangat erat hubungannya dengan pelumasan. Pelumasan saat ini sangat banyak jenis, grade, merk, sintetis, non sintetis. dan cara atau system

pelumasan merupakan pengetahuan tersendiri yang harus di kuasai.

Fungsi pelumas sbb:

- a. Membuat lapisan tipis (oil film) antara permukaan bagian bearing yang sliding dan rolling
- b. Menyebarkan panas dan juga mendinginkan
- c. Mencegah pengkaratan permukaan bearing dan poros
- d. Mencegah masuknya kotoran/benda ke dalam sistem. yang dikenal pelumas oil dan grease (gemok).

Waktu dan cara pengisian grease adalah:

- a. Pelumas harus bertahan diposisinya (tidak berpindah)
 - b. Bila kesempatan untuk relubrikasi terbatas atau terlalu mahal.
 - c. Pelumas tidak perlu berfungsi sebagai pendingin atau untuk membersihkan sistem
 - d. Temperatur tidak lebih dari 200F
 - e. Putaran/speed rendah (dibawah 5000rpm)
 - f. Tidak memerlukan proteksi atau seal .
 - g. Cukup memerlukan bearing tertutup / sealed bearing
2. Mesin / motor yang harus beroperasi dalam waktu yang lama tanpa memerlukan perhatian khusus.

3. Kerusakan karena kendor

Ada dua kasus antara lain :

- a. Inner bearing longgar terhadap poros, inner-race mudah dimasukan keporos (interference fits longgar),
- b. Outer bearing longgar terhadap rumah bearing ,keduanya mengakibatkan hal yang buruk sekali.
 - Akibatnya yang terjadi ialah
- a. Inner bisa berputar relative terhadap shaft,
- b. Timbul karat / fretting di area antara shaft dan inner race.
- c. Fretting bersifat abrasive mengakibatkan memperbesar gap, sehingga memperbesar kelonggaran secara terus-menerus
- d. Jika longgar sudah besar mengakibatkan: inner berputar di shaft, posisi

bearing sudah berubah, timbul aus, panas noise dan vibrasi.

4. Corrosion

Salah satu masalah cukup besar kerusakan bearing ialah masalah karatan atau korosi. Banyak bearing tidak dapat mencapai umur pakai yang seharusnya. Kerugian besar tentu diderita, bahkan kerusakan yang lebih besar bisa terjadi jika kerusakan bearing tidak cepat diketahui .

5. Kerusakan akibat fatigue

Kerusakan akibat kelelahan ini umumnya ditandai dengan terlepasnya sebagian material retak dan terkelupas disepanjang lintasan ball. Retakan & terkelupas ini bisa terjadi pada inner ring, outer ring dan ball. Keretakan sedikit saja mengakibatkan kerusakan permukaan lain lebih cepat. Jika motor mendadak vibrasinya tinggi, ini kemungkinan indikasi dari kasus fatigue.

Perbaikannya, harus segera mengganti bearing baru, mungkin karena umur bearing sudah mencapai batas normal. Tetapi mungkin juga harus mengganti dan memilih bearing dengan bearing yang mempunyai ketahanan fatigue lebih tinggi. Kita perlu tahu memilih bearing yang telah memiliki reputasi tinggi dalam ketahanan.

Setiap kita memperbaiki suatu kerusakan, perlu melihat bagian yang rusak. Dengan melihat kita dapat menganalisis sebab2 kerusakan, kemudian kita harus berusaha agar tidak akan terjadi kerusakan yang sama untuk yang akan datang.

6. Kerusakan karena Misalignment

Tanda2 kerusakan bearing dari misalignment dapat dilihat sbb:

- a. Lintasan ball pada raceway outer-ring terlihat tidak sejajar
- b. Juga lintasan terlalu melebar di inner race

Bila misalignment melebihi 0.001 in/in mengakibatkan temperature di ball/race melebihi normal dan mengakibatkan keausan berlebihan. Tandanya, keausan dan warnanya merah/coklat.

Perbaikan : Mesin harus di stop dan diadakan pemeriksaan dan kemudiandi realignment .

7. Pelumas Rusak

Lubrikan adalah bahan dan bagian paling pokok dari proses kerja bearing, lapisan tipis lubrikan (oil film) harus selalu ada diantara ball , cage, inner race dan outer race, yang berfungsi menghilangkan gesekan dan pendinginan. Kerusakan lubrikan berakibat hilangnya atau rusaknya oil film berakibat kerusakan bearing.

8. Pemasangan Terbalik

Memasang bearing "angular contact" harus lebih berhati-hati, jangan sampai terbalik. Karena jika terbalik kerusakan fatal segra akan terjadi. Bearing jenis ini difungsikan untuk menahan beban kombinasi dari beban axial/thrust dan beban radial dan hanya searah.jika ingin memfungsikan dua arah, maka perlu memasang dua bearing dengan posisi *face to face* atau *back to back*.

9. Kerusakan karena tight fit

Bila bearing bore terlalu sempit terhadap poros / shaft , inner-race sangat sulit dimasukan keporos (interference fits terlalu kecil) mengakibatkan hal yang buruk sekali.

Akibatnya yang terjadi ialah :

- a. Timbul semacam preload, inner race menanggung beban atau tegangan
- b. Inner bisa stres karena harus menahan beban permanen dari besarnya shaft,
- c. Timbul tegangan pada inner dan mungkin terpaksa mengembang keluar.
- d. Akibatnya internal clearance di ball bertambah kecil, maka ball terlalu sempit gerakannya.
- e. Maka ball menanggung beban yang berlebihan, kemudian timbulah panas yang berlebihan
- f. Jika di jalankan terus, bearing mengalami cepat aus dan premature fatigue

Tanda kerusakan :

Lintasan ball di inner dan outer melebar dan berubah warna (biru/ coklat atau merah) seperti overheating.

Perbaikannya :

Shaft harus di ganti atau direkondisi sehingga antara bearing dan shaft slightly-fit. Lihatlah clearance yang tepat pada tabel interference fits / clearance bearing , karena besar bearing menentukan harga tsb.

✓ Misal : bore inner sama dengan diameter shaft, maka cara memasangnya harus memanaskan bearing dengan apa dan berapa maximum temperature yang diperbolehkan, Pemanasan bearing tidak diperbolehkan dengan nyala api. Yang dianjurkan adalah dengan electrical heater atau direbus dengan lub oil panas dengan panas yang dikontrol.

10. Derajat/tingkat proteksi motor listrik

Beberapa faktor yang harus di ketahui jika kita merencanakan akan menggunakan motor listrik harus mempertimbangkan tempat motor, antara lain:

kondisi ruang, bahaya yang dapat terjadi, keselamatan orang/operator, berapa tinggi diatas permukaan laut dll.

Derajat proteksi merupakan standard tingkatan pencegahan motor sesuai dengan peruntukan. seberapa tinggi motor dipilih untuk peruntukan tertentu, yang bertujuan sebagai proteksi motor maupun pemakai. Kita perlu memahami apa yang ditentukan oleh NEMA ataupun IEC, karena kadang kala kita menghadapi kedua standard itu dipakai secara bersama.

Standard yang terbanyak dipakai di dunia industri motor listrik, antara lain :

- a. NEMA : National Electric Manufacturers Association
- b. IEC : International Electrotechnical Commission

2.4 Grease

Grease adalah produk atau dispersi padatan/solid atau semifluida dari thickening agent dalam pelumas cair yang dapat mengubah atau meningkatkan kualitas dan sifat pelumas misalnya aditif.

Jadi Grease adalah campuran/ mix dari :

1. 80 % lubrikan cair, Merupakan virgin oil, atau semi cair atau wax atau bahan sintetis
2. 10 % thickener ,atau disebut "body of grease", terbuat dari mettalic soapantara

lain:

Calcium : bersifat water resistance, low shock.

Sodium : high shock tapi kurang bersifat water resistance

Lithium : multy purpose

3. 10 % additive

Bahan tambahan untuk memperbaiki sifat grease sebagai berikut:

Antioksidasi/oxidation inhibitor

Pencegah karat/ rust inhibitor

Extreme pressure

❖ *Sifat grease yang baik ialah :*

1. Mencegah keausan dan memperkecil gesekan
2. Mencegah pengkaratan
3. Sebagai seal mencegah masuknya kotoran dan air
4. Tidak mengental saat dingin dan tidak bertambah cair saat panas
5. Mudah diaplikasikan
6. Cocok dengan seal terbuat dari elastomer.
7. Toleran terhadap beberapa contaminan misal : moisure atau kelembaban.

❖ *Permasalahan Grease*

Permasalahan grease hubungannya dengan kerusakan bearing adalah:

1. Kekurangan pelumasan, disebabkan:

Jumlah grease dalam rongga bearing tidak mencukupi saat memasang, Sewaktu menambah / regrease tidak cukup jumlahnya. Interval waktu regrease sudah saatnya tetapi tidak dikerjakan. Oil sudah hilang dari base grease, akibat dari overheating.

2. Grease inkompatibility

Grease yang berbeda compound tidak bisa dicampur (incompatible satu dengan grease yang lain). Maka sangat diharuskan bahwa bearing harus memakai grease yang sama atau substitusinya yang compatible untuk selama pemakaiannya. Jika kita memakai bearing duple shielded harus tahu jenis grease yang sudah terisikan kadalam bearing, agar jika diperlukan regrease kita sudah tahu jenis grease.

3. Salah Pemakaian Grease

Sangat penting memakai grease yang benar pada saat pengisian. Memilih untuk aplikasi pertama ataupun regreasing dapat mengakibatkan kerusakan prematur, yaitu kesalahan sebelum waktunya.

Harus diperhatikan sbb :

- bearing yang dirancang untuk pemakaian yang memerlukan grease- purpose (GP) atau,
- Bearing yang dirancang untuk pemakaian yang memerlukan extreme pressure grease- (EP)
- Memilih grade atau angka NLGI harus sesuai dengan aplikasi, misal : 00, 0, 1, 2, 3

4. Tekanan berlebihan pada bearing shields

Ketika kita menambah grease kedalam rongga bearing, maka jumlah grease dan tekanan didalam rongga bearing akan bertambah. Kerusakan bisa terjadi pada shield (single ataupun double shield bearing) ketika regreasing, jika penambahan terlalu cepat, atau jika rongga dalam bearing penuh tanpa ada ruang/jalan keluarnya grease kelebihan tsb. Ketika motor operasi/jalan maka grease memuai karena panas, jika rongga dalam bearing penuh maka pemuaian menimbulkan tekanan ke shield dan merusak. Shield bisa berubah posisi dari cage karena tekanan grease dari luar atau Shield bisa berubah posisi dari cage karena tekanan grease dari dalam.

5. Didalam motor penuh dengan grease

Jika rongga bearing penuh dengan grease dan terus diRegreasing, maka kelebihan grease itu akan mencari jalan melalui shaft dan terus menuju kedalam motor. Ini mengakibatkan grease menutupi ujung2 winding sehingga timbul kerusakan pada :Winding dan Bearing

6. Overheating karena eksese grease.

Ball / bola dari bearing seperti pompa kecil yang berputar di oil film diantara ball dengan inner& outer-race. Kebanyakan grease menyebabkan rolling element mengocok grease, mengakibatkan " parasitic energy losses dan high operating temperatures", yang menyebabkan risiko kerusakan bearing .

7. Kontaminasi.

Grease sama dengan lubrication oil ia mudah kontaminasi, kontaminasi dengan air, kotoran, fiber, gasket sealant dll. Grease yang terkontaminasi mengakibatkan fungsi menurun dan umur pakai lebih pendek

2.5. Regreasing

Pelumasannya mesin-mesin rotary merupakan suatu hal yang amat sangat penting. Kerusakan motor yang memakai rolling element bearing sebesar 51 % disebabkan oleh bearing yang salah pelumasannya/ greasing. Mengontrol jumlah grease sudah lama menjadi masalah kebanyakan industri, karena rekomendasi dari pabrikan motor terlalu sederhana sehingga tidak cukup untuk menjawab masalah.

Problematic over-greasing motor2 listrik dicermati th1988 di sebuah Power Plant Nuclear, diketemukan banyak motor listrik dari Power Plant Nuclear mengalami kerusakan yang disebabkan oleh penambahan grease yang keliatan. Semenjak itu: Preventive & Predictive Maintenance membuat penelitian yang kemudian menghasilkan program yang comprehensive.

Electric Power Research Institute (EPRI). Melakukan survey dan pada th 1922 membuat prosedur kerja sebagai panduan (N-7502). Panduan ini terutama untuk mencegah "over greasing". Karena kebanyakan rusaknya motor lebih banyak disebabkan overgreasing dibanding kurang -greasing.

2.6 Pengertian Perawatan

Perawatan adalah suatu kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian atau penggantian yang diperlukan agar supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan apa yang direncanakan. (*Assauri, 1980*)

Sedangkan menurut (Carder, 1976) perawatan adalah suatu kombinasi dari berbagai tindakan yang dilakukan untuk menjaga suatu barang dalam, atau memperbaikinya sampai, suatu kondisi yang bisa diterima.

Peranan perawatan baru akan sangat terasa apabila sistem mulai mengalami

gangguan atau tidak dapat dioperasikan lagi. Dengan mengacu pada pengertian perawatan tersebut maka semua tugas-tugas atau kegiatan daripada bagian perawatan dapat digolongkan kedalam salah satu dari lima tugas pokok yang berikut: (Assauri, 1980)

1. Inspeksi (*Inspection*)

Kegiatan inspeksi meliputi kegiatan pengecekan atau pemeriksaan secara berkala (*routine schedule check*) bangunan dan peralatan pabrik sesuai dengan rencana serta kegiatan pengecekan atau pemeriksaan terhadap peralatan yang mengalami kerusakan dan membuat laporan-laporan dari hasil pengecekan atau pemeriksaan tersebut.

2. Kegiatan Teknik (*Engineering*)

Kegiatan teknik ini meliputi kegiatan percobaan atas peralatan yang baru dibeli, dan kegiatan-kegiatan pengembangan peralatan atau komponen peralatan yang perlu diganti, serta melakukan penelitian-penelitian terhadap kemungkinan pengembangan tersebut.

3. Kegiatan Produksi (*Production*)

Kegiatan produksi ini merupakan kegiatan perawatan yang sebenarnya, yaitu memperbaiki dan mereparasi mesin-mesin dan peralatan.

4. Pekerjaan Administrasi (*Clerical Work*)

Pekerjaan administrasi ini merupakan kegiatan yang bertvjbungan dengan pencatatan-pencatatan mengenai biaya-biaya yang terjadi dalam melakukan pekerjaan-pekerjaan perawatan dan biaya-biaya yang berhubungan dengan kegiatan perawatan, komponen atau spareparts yang dibutuhkan, *progress report* tentang apa yang telah dikerjakan, waktu dilakukannya inspeksi dan perbaikan, serta lamanya perbaikan tersebut, dan komponen atau spareparts yang tersedia dibagian perawatan.

5. Pemeliharaan Bangunan (*House Keeping*)

Kegiatan pemeliharaan bangunan merupakan kegiatan unluK menjaga agar bangunan atau gedung tetap terpelihara dan terjaga kebersihannya.

Tujuan dilakukannya kegiatan perawatan yang utama dapat didefinisikan dengan jelas sebagai berikut: (Corder, 1976)

1. Untuk memperpanjang usia kegunaan asset (yaitu setiap bagian dari suatu tempat kerja, bangunan dan isinya).
2. Untuk menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi (atau jasa) dan mendapatkan laba investasi (*return of investment*) maksimum yang mungkin.
3. Untuk menjamin kesiapan operasional dari seluruh peralatan yang diperlukan dalam keadaan darurat setiap waktu, misalnya unit cadangan, unit pemadam kebakaran dan penyelamat dan sebagainya.
4. Untuk menjamin keselamatan orang yang menggunakan sarana tersebut.

1. Perawatan Motor yang baik

- a. Pemeriksaan motor secara teratur untuk pemakaian *bearings* dan rumahnya (untuk mengurangi kehilangan karena gesekan) dan untuk kotoran/debu pada saluran ventilasi motor (untuk menjamin pendinginan motor)
- b. Pemeriksaan kondisi beban untuk meyakinkan bahwa motor tidak kelebihan atau kekurangan beban. Perubahan pada beban motor dari pengujian terakhir mengindikasikan suatu perubahan pada beban yang digerakkan, penyebabnya yang harus diketahui.
- c. Pemberian pelumas secara teratur. Pihak pembuat biasanya memberi rekomendasi untuk cara dan waktu pelumasan motor. Pelumasan yang tidak cukup dapat menimbulkan masalah, seperti yang telah diterangkan diatas. Pelumasan yang berlebihan dapat juga menimbulkan masalah, misalnya minyak atau gemuk yang berlebihan dari *bearing* motor dapat masuk ke motor dan menjenuhkan bahan isolasi motor, menyebabkan kegagalan dini atau mengakibatkan resiko kebakaran.
- d. Pemeriksaan secara berkala untuk sambungan motor yang benar dan peralatan yang digerakkan. Sambungan yang tidak benar dapat mengakibatkan sumbu as dan *bearings* lebih cepat aus, mengakibatkan kerusakan terhadap motor dan peralatan yang digerakkan. Dipastikan bahwa kawat pemasok dan ukuran kotak terminal dan pemasangannya benar. Sambungan-sambungan pada

motor dan *starter* harus diperiksa untuk meyakinkan kebersihan dan kekencangannya.

- e. Penyediaan ventilasi yang cukup dan menjaga agar saluran pendingin motor bersih untuk membantu penghilangan panas untuk mengurangi kehilangan yang berlebihan. Umur isolasi pada motor akan lebih lama: untuk setiap kenaikan suhu operasi motor 10°C diatas suhu puncak yang direkomendasikan, waktu pegulungan ulang akan lebih cepat, diperkirakan separuhnya.

Hampir semua inti motor dibuat dari baja silikon atau baja gulung dingin yang dihilangkan karbonnya, sifat-sifat listriknya tidak berubah dengan usia. Walau begitu, perawatan yang buruk dapat memperburuk efisiensi motor karena umur motor dan operasi yang tidak handal. Sebagai contoh, pelumasan yang tidak benar dapat menyebabkan meningkatnya gesekan pada motor dan penggerak transmisi peralatan. Kehilangan resistansi pada motor, yang meningkat dengan kenaikan suhu.

Kondisi ambien dapat juga memiliki pengaruh yang merusak pada kinerja motor. Sebagai contoh, suhu ekstrim, kadar debu yang tinggi, atmosfer yang korosif, dan kelembaban dapat merusak sifat-sifat bahan isolasi; tekanan mekanis karena siklus pembebanan dapat mengakibatkan kesalahan penggabungan.

2. Jenis-jenis Perawatan

Secara umum kegiatan perawatan dapat dibedakan menjadi dua macam kegiatan, yaitu perawatan pencegahan (*Preventive; Maintenance*), dan perawatan perbaikan (*Corrective Maintenance*). (Assauri, 1980)

a. Perawatan Pencegahan (*Preventive Maintenance*)

Perawatan pencegahan (*preventive maintenance*) adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan-kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan yang dapat menyebabkan fasilitas produksi mengalami kerusakan pada waktu digunakan dalam proses produksi. Perawatan pencegahan ini sangat penting karena kegunaannya yang sangat efektif didalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk dalam golongan "*critical unit*". Sebuah fasilitas atau

peralatan produksi akan termasuk dalam golongan "*critical unit*", apabila:

- Kerusakan fasilitas atau peralatan tersebut akan membahayakan kesehatan atau keselamatan para pekerja.
- Kerusakan fasilitas ini akan mempengaruhi kualitas dari produk yang dihasilkan.
- Kerusakan fasilitas tersebut akan menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi.
- Modal yang ditanamkan dalam fasilitas tersebut atau harga dari fasilitas ini adalah cukup besar atau mahal.

Dalam pelaksanaannya, kegiatan perawatan pencegahan dapat dibedakan atas dua macam, yaitu:

- a. Perawatan Rutin (*Routine Maintenance*), yaitu kegiatan perawatan yang dilakukan secara rutin, misalnya setiap hari. Sebagai contoh dari kegiatan yang dilakukan berupa pembersihan fasilitas atau peralatan, pelumasan (*lubrication*) atau pengecekan olienya, serta pengecekan isi bahan bakar dan termasuk pemanasan (*warmingup*) mesin-mesin selama beberapa menit sebelum dipakai berproduksi sepanjang hari.
- b. Perawatan Berkala (*Periodic Maintenance*), yaitu kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan secara periodik atau dalam jangka waktu tertentu, misalnya setiap satu minggu sekali, lalu meningkat setiap satu bulan sekali, dan akhirnya setiap satu tahun sekali. Perawatan periodik ini dapat dilakukan pula dengan memakai lamanya jam kerja mesin atau fasilitas produksi tersebut sebagai jadwal kegiatan. Kegiatan perawatan periodik ini adalah jauh lebih berat daripada kegiatan perawatan rutin.

b. Perawatan Perbaikan (*Corrective Maintenance*)

Perawatan perbaikan (*corrective* atau *breakdown maintenance*) adalah kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadinya suatu kerusakan atau kelainan pada fasilitas atau peralatan sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.

Kegiatan perawatan perbaikan yang dilakukan disebut dengan kegiatan perbaikan atau reparasi, karena adanya kerusakan yang dapat terjadi akibat tidak atau telah dilakukannya perawatan pencegahan tetapi sampai pada suatu waktu tertentu fasilitas atau peralatan tersebut tetap rusak.

Tetapi sekali kerusakan terjadi pada fasilitas atau peralatan selama proses produksi berlangsung, maka akibat dari kebijaksanaan perawatan perbaikan saja akan jauh lebih parah atau hebat daripada perawatan pencegahan. Dalam hal ini kegiatan perawatan perbaikan sifatnya hanya menunggu sampai kerusakan terjadi, dulu, baru kemudian diperbaiki atau dibetulkan, agar fasilitas atau peralatan tersebut dapat dipergunakan kembali dalam proses produksi, sehingga operasi atau proses produksi dapat berjalan lancar kembali.

Kebijaksanaan untuk melakukan perawatan perbaikan saja tanpa perawatan pencegahan, akan menimbulkan akibat yang dapat menghambat kegiatan produksi apabila terjadi suatu kerusakan yang tiba-tiba pada fasilitas produksi yang digunakan.

2.7 Fungsi Distribusi Untuk Menganalisis Kerusakan Suatu Mesin Atau Peralatan

Dalam membahas masalah perawatan, terdapat beberapa fungsi distribusi yang digunakan untuk menganalisis kerusakan suatu mesin atau peralatan. (Jardine, 1973)

1. Distribusi Normal

Distribusi normal adalah distribusi yang memiliki bentuk kurva seperti genta, dengan dua parameter pembentuk yaitu μ dan σ . Kurva distribusi normal berbentuk simetris terhadap nilai rata-rata (*Mean Value*). Fungsi distribusi ini paling banyak digunakan, terutama untuk menggambarkan laju kerusakan alat yang terus menaik.

Distribusi normal cocok untuk digunakan dalam memodelkan fenomena keausan. Parameter yang digunakan dalam distribusi normal ini adalah μ yang menunjukkan nilai tengah dan σ yang menunjukkan standar deviasi dari data yang ada. Karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi ini dapat juga digunakan untuk menganalisis probabilitas lognormal.

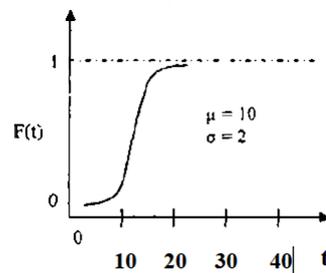
b. Fungsi kepadatan probabilitas: (Jardine, 1973)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$

Dimana : $-\infty \leq t \leq \infty$; $-\infty < \mu < \infty$ dengan μ adalah rata-rata dan σ adalah standart deviasi dari distribusinya

c. Fungsi distribusi kumulatif: (Jardine, 1973)

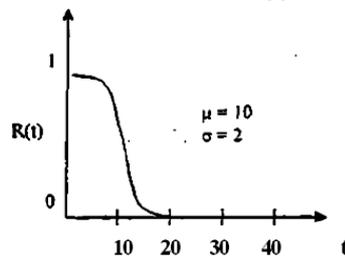
$$F(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$$



Gambar 2.11 kurva fungsi distribusi kumulatif

d. Fungsi keandalan: (Ebeling, 1997)

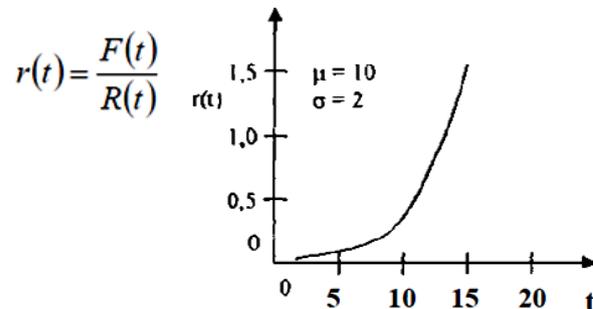
Realibility Function: $R(t) = 1 - \phi\left[\frac{t-\mu}{\sigma}\right]$



Dimana $\mu > 0$, $\sigma > 0$, dan $t > 0$

Gambar 2.12 kurva fungsi keandalan

e. Fungsi laju kerusakan: (Jardine, 1973)



Gambar 2.13 kurva fungsi laju kerusakan

2. Distribusi Weibull

Distribusi Weibull merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan, karena distribusi ini baik digunakan untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun.

Dua parameter yang digunakan dalam distribusi weibull ini yaitu parameter θ yang disebut dengan parameter skala (scale parameter) dan parameter β yang disebut dengan parameter bentuk (shape parameter). Parameter β digunakan untuk menentukan laju kerusakan dari pola data yang terbentuk, sedangkan parameter θ digunakan untuk menentukan nilai tengah dari pola data yang ada. Fungsi reability yang terdapat dalam distribusi Weibull yaitu (Ebeling, 1997).

$$\text{Reability function: } R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^\beta}$$

Dimana $\theta > 0$, $\beta > 0$, dan $t > 0$

Dalam distribusi Weibull yang menentukan tingkat kerusakan dari pola data yang terbentuk adalah parameter β . Nilai-nilai β yang menunjukkan laju kerusakan terdapat dalam table berikut:

Tabel 2.1 Nilai-nilai Parameter β Distribusi Weibull

Nilai	Laju Kerusakan
$0 < \beta < 1$	Laju kerusakan menurun atau <i>decreasing failure rate</i> (DFR)
$\beta = 1$	Laju kerusakan konstan atau <i>constant failure rate</i> (CFR), Distribusi Eksponensial
$1 < \beta < 2$	Laju kerusakan meningkat atau <i>increasing failure rate</i> (IFR), Kurva berbentuk konkaf (<i>concave</i>)
$\beta = 2$	Laju kerusakan linier atau <i>linier failure rate</i> (LFR), Distribusi <i>Rayleigh</i>
$\beta > 2$	Laju kerusakan meningkat atau <i>increasing failure rate</i> (IFR), Kurva berbentuk konveks (<i>convex</i>)
$3 \leq \beta \leq 4$	Laju kerusakan meningkat atau <i>increasing failure rate</i> (IFR), Kurva berbentuk simetris, Distribusi Normal

(Sumber: Ebeling, 1997)

3. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial digunakan untuk menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini mempunyai laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi ini merupakan distribusi yang paling mudah untuk dianalisis, jika terdapat peralatan atau mesin yang laju kerusakannya terjadi secara tetap, maka dapat dipastikan data kerusakan peralatan tersebut termasuk dalam distribusi eksponensial.

Parameter yang digunakan dalam distribusi eksponensial adalah λ , yang menunjukkan rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi. Fungsi reliability yang terdapat dalam distribusi eksponensial yaitu: (Ebeling, 1997)

$$\text{Reability function: } R(t) = e^{-\lambda t}$$

Dimana $\lambda > 0$ dan $t > 0$

4. Distribusi Lognormal

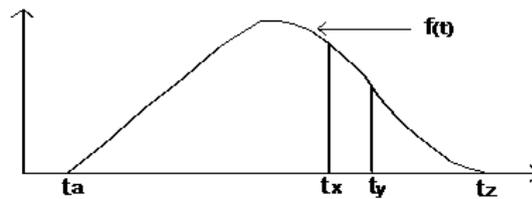
Distribusi lognormal menggunakan dua parameter yaitu s yang menunjukkan parameter bentuk (shape parameter) dan t_{med} sebagai parameter lokasi (location parameter) yang merupakan nilai tengah dari suatu distribusi kerusakan. Distribusi ini dapat memiliki berbagai macam bentuk, sehingga sering dijumpai bahwa data yang sesuai dengan distribusi *Weibull* juga sesuai dengan distribusi lognormal. Fungsi *reability* yang terdapat pada distribusi lognormal yaitu (Ebeling, 1997):

$$\text{Reliability function : } R(t) = 1 - \Phi\left(\frac{1}{s} \ln \frac{t}{t_{med}}\right)$$

Dimana $s > 0$, $t_{med} > 0$, dan $t > 0$

2.8. Fungsi Kepadatan Probabilitas

Fungsi kepadatan probabilitas merupakan suatu kurva kontinyu yang persamaan garis kurvanya dinyatakan sebagai $f(t)$, seperti terlihat pada gambar berikut. (Jardine, 1973)



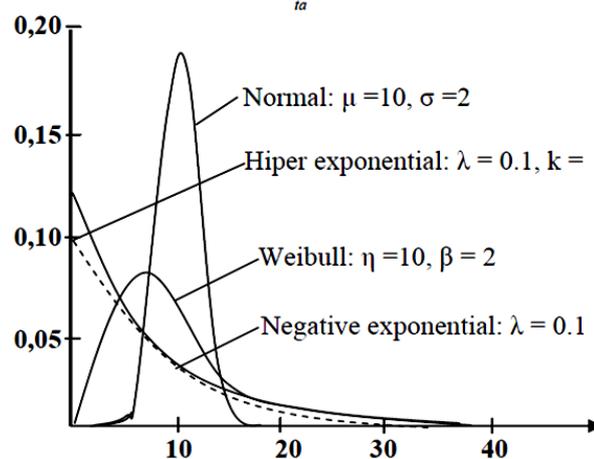
Gambar 2.14 Fungsi Kepadatan Probabilitas

Luas segmen di bawah kurva fungsi kepadatan probabilitas menyatakan probabilitas terjadinya kerusakan dalam suatu interval waktu tertentu. Probabilitas terjadinya kerusakan dalam selang waktu antara t_x dan t_y , yaitu luas area yang diarsir di bawah kurva dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$\int_{t_x}^{t_y} f(t) dt$$

Probabilitas terjadinya kerusakan dalam selang waktu antara t_a dan t_z adalah sama dengan satu, yang dinyatakan sebagai:

$$\int_{t_a}^{t_z} f(t) dt = 1$$



Gambar 2.15 Beberapa Jenis Fungsi Kepadatan Probabililas

(Jardine, 1973)

1.9 Fungsi Distribusi Kumulatif

Seringkali di dalam mempelajari masalah perawatan, dijumpai kerusakan dari suatu peralatan terjadi sebelum suatu waktu tertentu, sebutlah t fungsi yang menggambarkan kemungkinan kejadian tersebut adalah fungsi distribusi kumulatif (*Cumulative Distribution Function*). (Jardine, 1973)

Probabilitas terjadinya kerusakan sebelum waktu t tertentu, dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$t = \int_{-\infty}^t f(t) dt \text{ maka :}$$

$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt$$

dimana $F(t)$ menyatakan fungsi distribusi kumulatif.

2.10 Keandalan

A. Definisi Keandalan

Menurut Kamdi (1992), pengertian keandalan adalah probabilitas suatu peralatan atau sistem peralatan akan beroperasi pada suatu periode waktu tanpa mengalami kerusakan dan kondisi peralatan berada pada standart operasi. Atau dengan kata lain bahwa keandalan dapat diartikan sebagai probabilitas dari suatu peralatan yang dapat berfungsi dengan baik dalam melaksanakan tugasnya.

Sedangkan menurut Dhillon (1987) Keandalan (*Reliability*) adalah probabilitas bahwa suatu unit (System) akan berfungsi secara normal ketika digunakan, dengan mengacu pada suatu kondisi spesifik untuk sedikitnya suatu periode waktu tertentu.

Suatu sistem atau alat mempunyai dua state, yaitu "baik" dan "rusak". Keadaan state dari keandalan merupakan proses probabilistik (stokastik), sehingga jika keandalan berharga 1, maka sistem dapat dipastikan dalam keadaan baik dan jika keandalan berharga 0, maka dipastikan bahwa sistem dalam keadaan rusak. Jika harga keandalan adalah $R(t)$, maka nilai keandalannya berkisar antara $0 \leq R(t) \leq 1$. Jadi dalam selang waktu tersebut suatu peralatan dapat melaksanakan tugasnya dengan baik.

B. Fungsi Keandalan

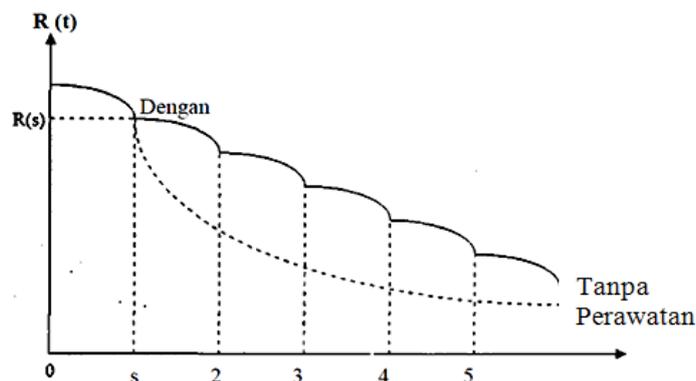
Fungsi keandalan (*Reliability Function*) yang merupakan komplemen daripada fungsi distribusi kumulatif, didefinisikan sebagai probabilitas bahwa suatu peralatan akan beroperasi dengan baik pada kondisi yang telah ditentukan, dalam suatu periode waktu tertentu, sebutlah sebagai t . Fungsi keandalan dinyatakan sebagai $R(t)$ dan didefinisikan secara matematis sebagai berikut: (Jardine, 1973)

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad \text{maka:} \quad R(t) = 1 - F(t)$$

Dan jika $t \rightarrow \infty$, maka $R(t)$ akan mendekati nol, atau dengan kata lain keandalan suatu sistem akan sama dengan nol.

C. Hubungan Keandalan Dengan Perawatan

Suatu alat bila dioperasikan terus menerus akan mengalami penurunan tingkat keandalan sesuai dengan fungsi waktu. Untuk menanggulangi atau menunda terjadinya kerusakan tersebut, perlu dilakukan perawatan secara teratur dan berkala. Perawatan tersebut bertujuan menaikkan keandalan. Biasanya untuk life time komponen yang bukan berdistribusi eksponensial. Komponen dirawat secara periodik dengan periode perawatan = s . (Kamdi, 1992)



Gambar 2.16 Hubungan Keandalan dan Perawatan

Dengan demikian harus dicari titik optimumnya. Untuk tiap berapasan waktu komponen dirawat supaya total biaya minimum. Dengan asumsi bahwa

tiap perawatan, komponen diganti dengan yang baru (replacement/ penggantian), agar memudahkan perhitungan matematisnya.

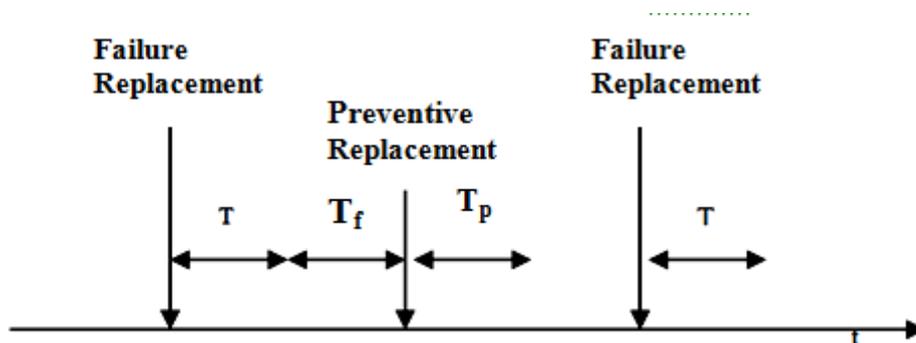
2.11 Model Penentuan Umur Penggantian Pencegahan yang Optimal (*Age Replacement*)

Dalam model ini, saat untuk dilakukan penggantian pencegahan adalah bergantung pada umur pakai dari komponen. Jadi, penggantian pencegahan dilakukan dengan menetapkan kembali Interval waktu penggantian pencegahan berikutnya sesuai dengan interval yang telah ditentukan jika terjadi kerusakan yang menuntut dilakukannya tindakan penggantian.

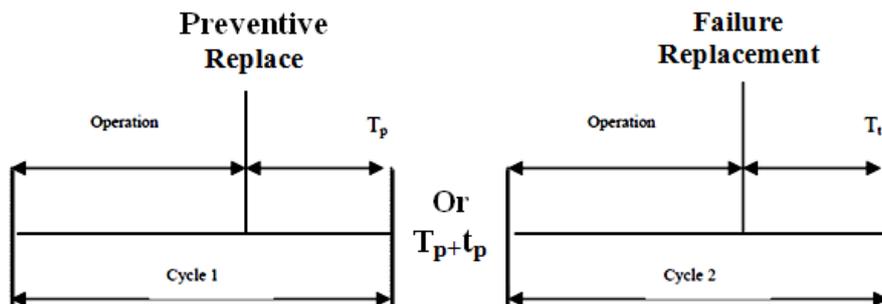
Dalam melakukan penurunan model penggantian ini, terdapat beberapa asumsi yang dikembangkan untuk lebih memfokuskan pada permasalahan, yaitu :

- Laju kerusakan komponen bertambah sesuai dengan peningkatan pemakaian yang terjadi.
- Total downtime penggantian kerusakan komponen adalah lebih besar daripada downtime pada penggantian pencegahan.
- Peralatan yang telah diperbaiki maupun dilakukan penggantian komponen akan kembali pada kondisi baik kembali (kondisi baru).
- Tidak terdapat masalah dalam penyediaan suku cadang.
- Semua komponen yang dipasang dikemudian hari mempunyai sifat yang sama pada saat penelitian dilakukan.
- Pada model *Age Replacement* ini terdapat dua macam siklus penggantian, yaitu :
 - a. Siklus Pertama ditentukan melalui komponen yang telah mencapai umur penggantian (t_p) sesuai dengan yang telah direncanakan.
 - b. Siklus kedua ditentukan melalui komponen yang telah mencapai kerusakan sebelum mencapai waktu penggantian yang telah ditetapkan sebelumnya.

Model ini secara lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2.17 Model penentuan umur penggantian pencegahan yang optimal (*Age Replacement*) (Hadi, 2010).



Gambar 2.17 Siklus dalam Model penentuan umur penggantian pencegahan yang optimal (*Age Replacement*)

(Sumber: Hadi, 2010)

Keterangan gambar :

- t_p : Interval waktu penggantian pencegahan
- T_f : Downtime yang terjadi karena penggantian kerusakan
- T_p : Downtime yang terjadi karena penggantian pencegahan

2.12 Resiko Kerusakan

Resiko berhubungan dengan ketidakpastian, ini terjadi karena kurang atau tidak tersedianya cukup informasi tentang apa yang akan terjadi. Sesuatu yang tidak pasti terjadi (uncertain) dapat berakibat menguntungkan atau merugikan. Menurut Wikipediabahasa Indonesia menyebutkan bahwa manajemen resiko adalah suatu pendekatan terstruktur/metodologi dalam mengelola

ketidakpastian yang berkaitan dengan ancaman, suatu rangkaian aktivitas manusia termasuk penilaian resiko, pengembangan strategi untuk mengelolanya dan mitigasi resiko dengan menggunakan pemberdayaan/pengelolaan sumber daya.

Strategi yang dapat diambil antara lain adalah memindahkan resiko kepada pihak lain, menghindari resiko, mengurangi efek negatif resiko, dan menampung sebagian atau semua konsekuensi resiko tertentu.

Risiko dapat dikategorikan ke dalam dua bentuk :

1. Risiko spekulatif, dan
2. Risiko murni.

1. Risiko spekulatif

Risiko spekulatif adalah suatu keadaan yang dihadapi perusahaan yang dapat memberikan keuntungan dan juga dapat memberikan kerugian. Risiko spekulatif kadang-kadang dikenal pula dengan istilah risiko bisnis (*business risk*). Seseorang yang menginvestasikan dananya disuatu tempat menghadapi dua kemungkinan. Kemungkinan pertama investasinya menguntungkan atau jadi investasinya merugikan. Risiko yang dihadapi seperti ini adalah risiko spekulatif. Risiko spekulatif adalah suatu keadaan yang dihadapi yang dapat memberikan keuntungan dan juga dapat menimbulkan kerugian.

2. Risiko murni

Risiko murni (*pure risk*) adalah sesuatu yang hanya dapat berakibat merugikan atau tidak terjadi apa-apa dan tidak mungkin menguntungkan. Salah satu contoh adalah kebakaran, apabila perusahaan menderita kebakaran, maka perusahaan tersebut akan menderita kerugian. Kemungkinan yang lain adalah tidak terjadi kebakaran. Dengan demikian, kebakaran hanya menimbulkan kerugian, bukan menimbulkan keuntungan, kecuali ada kesengajaan untuk membakar dengan maksud-maksud tertentu. Risiko murni adalah sesuatu yang hanya dapat berakibat merugikan atau tidak terjadi apa-apa dan tidak mungkin menguntungkan. Salah satu cara menghindarkan risiko murni adalah dengan asuransi. Dengan demikian besarnya kerugian dapat diminimalkan. itu sebabnya

risiko murni kadang dikenal dengan istilah risiko yang dapat diasuransikan (insurable risk).

Perbedaan utama antara risiko spekulatif dengan risiko murni adalah kemungkinan untung ada atau tidak, untuk risiko spekulatif masih terdapat kemungkinan untung sedangkan untuk risiko murni tidak dapat kemungkinan untung.

2.13 Biaya-Biaya Dalam Perawatan

Menurut Wikipedia indonesia adalah biaya-biaya yang harus dikeluarkan perusahaan dalam melakukan kegiatan perawatan, antara lain:

- Biaya tenaga kerja
Merupakan biaya tenaga kerja yang dikeluarkan untuk merawat komponen-komponen mesin agar mesin tetap terjaga kondisinya. Perhitungan biaya ini didasarkan pada besarnya gaji tenaga kerja perbulan dibagi dengan jam kerja efektif tenaga kerja tersebut selama bulan yang bersangkutan. Biaya tenaga kerja untuk melakukan perawatan dan perbaikan dianggap sama.
- Biaya suku cadang
Merupakan biaya pergantian kerusakan komponen atau pembelian komponen baru.
- Biaya akibat perawatan
Merupakan pendapatan yang hilang selama mesin atau fasilitas produksi mengalami kegagalan(gabungan dari biaya operational dan laba perusahaan).

Model matematis perawatan sangat penting sekali dalam mendukung perhitungan usia pakai peralatan dan penentuan waktu optimal peralatan. Dirumuskan bahwa total biaya perawatan merupakan penjumlahan komulatif biaya kegagalan dan biaya perawatan, sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
TC &= C_F \cdot f_F + C_M \cdot f_M \\
&= C_F \left[\frac{1}{TM} \int_0^{TM} \lambda(t) dt \right] + C_M \left[\frac{1}{TM} \right] \\
&= \frac{1}{TM} \left[C_F \int_0^{TM} \lambda(t) dt + C_M \right]
\end{aligned}$$

Jika data berdistribusi Weibull, maka biaya total perjamnya adalah:

$$TC = \frac{C_F}{\alpha^\beta} TM^{\beta-1} + \frac{C_M}{TM}$$

Untuk memperoleh TC minimum maka $\frac{dT_c}{dT_M} = 0$ Sehingga diperoleh

$$TM = \alpha \left[\frac{C_M}{C_F (\beta - 1)} \right]^{\frac{1}{\beta}}$$

Dimana:

- Tc : Biaya total perawatan
- Cf : Biaya perbaikan atau pergantian, karena rusaknya komponen untuk setiap siklus
- Ff : Frekuensi kegagalan
- CM : Biaya yang dikeluarkan untuk persiklus
- fM : Frekuensi perawatan
- TM : Interval waktu perawatan optimal (preventive maintenance) dalam satuan jam.

2.14 Penelitian Sebelumnya

A. Sofian Hadi “Penentuan interval waktu penggantian komponen pada mesin motor listrik (Study kasus : PT. Jaya Readymix)

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tersebut adalah:

Komponen mesin motor listrik yang sering mengalami kerusakan adalah komponen bearing. Oleh karena itu komponen tersebut sebagai komponen kritis. Dengan perhitungan model age replacement dengan criteria minimasi

downtime, diperoleh bahwa interval waktu penggantian yang optimal adalah melakukan penggantian 17 hari sekali.

Saran perusahaan harus bisa memperhatikan akibat kerusakan motor listrik, dan perusahaan dari hasil penelitian harus mengganti komponen bearings setelah 17 hari.

Dari analisis data diketahui bahwa data waktu antar kerusakan komponen Bearings berdistribusi normal dengan nilai χ^2 hitung (2,76) $<$ χ^2 tabel (5,99). Dengan demikian kerusakan komponen bearings pada mesin motor listrik, Akan semakin membesar jika tidak dilakukan perawatan pencegahan.

B. Riza Apriawan "Penentuan Jadwal Penggantian Optimal Komponen Scraper Plate Pada Mesin Gilingan" (Studi kasus : PG. Kebon Agung Malang)

Kesimpulan yang diambil adalah:

Solusi optimal dari penjadwalan penggantian komponen scraper Plate diperoleh pada interval penggantian 99 hari. Besarnya biaya total penggantian adalah Rp 493.010.076,00 permusim giling, dengan biaya penggantian sebesar Rp 253.525.885,00 dan biaya operational sebesar Rp 239.484.191,00. Pada musim giling tahun 2007 usulan penjadwalan mesin dibanding corrective maintenance, sebenarnya dapat menghemat biaya total sebesar 148.745.874,00 atau terjadi penghematan sebesar 23%.