

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Siklus Utama PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah suatu sistem pembangkit termal dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros sudu-sudu turbin. Untuk memproduksi listrik dengan tenaga uap adalah dengan mengambil energi panas yang terkandung dalam bahan bakar, untuk memproduksi uap kemudian di pindahkan kedalam turbin dan turbin tersebut merubah energi panas menjadi energi mekanis dalam bentuk gerak putar. Kemudian karena poros Turbin dan poros generator dikopel maka generator akan ikut berputar sehingga bisa menghasilkan listrik. Dalam Pembangkit Listrik Tenaga Uap ada 4 komponen utama yaitu *Boiler*, Turbin, *Condensor*, dan Pompa. (Kurniawan 2012).

Pada instalasi pembangkit daya yang memanfaatkan uap bertekanan tinggi untuk menggerakkan Turbin uap, digunakan suatu acuan siklus kerja yang mejadi dasar dari pengoperasian instalsi pembangkit tersebut. Siklus kerja yang digunakan pada instalasi pembangkit pada PLTU adalah siklus Rankin (*Rankine cycle*), dimana air sebagi fluida kerja dalam siklus akan digunakan sebagai mediator pembangkitan tenaga dengan memanfaatkan perubahan fasa antara cairan dan uap melalui suatu proses perpindahan panas. (Kurniawan 2012).

2.1.1. Alat-alat Bantu PLTU

Menurut Hananto (2011) Dalam menunjang proses operasi dari masing-masing alat bantu utama terdapat beberapa alat bantu khusus dan dalam menunjang proses operasinya dari semua alat bantu utama dan alat bantu khusus tersebut terdapat pula alatbantu umum dari PLTU. Secara keseluruhan alat-alat bantu pada PLTU dapat didefinisikan sebagai berikut :

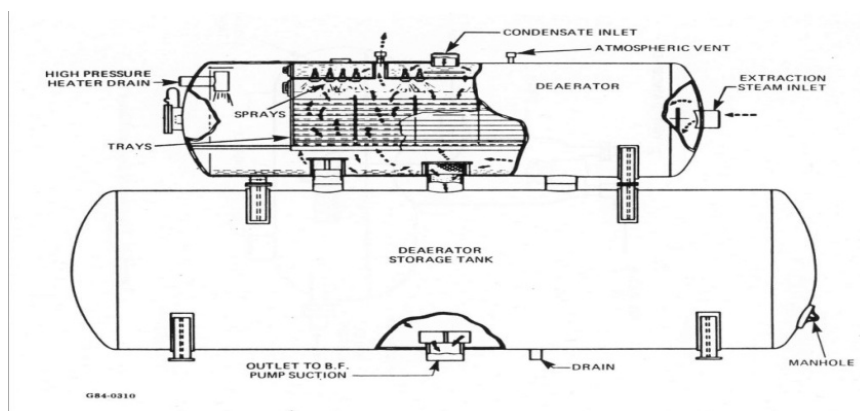
A. Alat Bantu Utama PLTU

- a) *Boiler, boiler* merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran digunakan untuk mengubah air sampai terbentuk *steam* berupa energi kerja.

- b) *Steam Turbin*, adalah suatu pembangkit energi mekanik dari suatu proses konversi energi dari energi panas menjadi energi kinetik selanjutnya menjadi energi mekanik yang mampu menggerakkan poros turbin dengan massa uap.
- c) *Condenser*, adalah suatu pembangkit yang merubah massa uap bekas ekspansi turbin menjadi massa air.
- d) *Generator*, adalah suatu alat yang dari suatu proses energi mekanik pada poros turbin dikonversikan menjadi energi listrik

2.2. DEAERATOR

Meurut artiker Rakhman(2011)*Deaerator* merupakan komponen paling utama dari sistem air kondensat. Merupakan pemanas tipe kontak langsung (*direct contact heater*).Memiliki 2 fungsi utama yaitu untuk memanaskan air kondensat dan sekaligus menghilangkan gas-gas (*non condensable gas*) dari air kondensat.Media pemanas yang digunakan adalah juga uap ekstraksi. Didalam *deaerator* terjadi kontak langsung antara air kondensat dengan uap pemanas. Akibat percampuran ini, maka temperatur air kondensat akan naik hingga hampir mencapai titik didihnya. Semakin dekat temperatur air kondensat dengan titik didihnya, semakin mudah pula proses pemisahan air dengan oksigen dan gas-gas lainnya yang terlarut dalam air kondensat. Ada beberapa tipe *deaerator*, tetapi yang banyak dipakai adalah tipe “*Spray & Tray*”, seperti pada gambar 2.3.



Sumber: Artikel Alief Rakhman

Gambar 2.3 Deaerator

- **Injeksi hydrazine dalam deaerator**

Menurut Kurniawan (2012) Pada *deaerator* seperti gambar 2.3, air kondensat yang masuk dikabutkan melalui jajaran pengabut (*spray*) untuk memperluas bidang kontak antara air dengan pemanas serta menjamin pemerataan distribusi air kondensat didalam pemanas. Air kondensat yang mengabut ini kemudian turun ke jajaran kisi-kisi (*Tray*). Dari bagian bawah *tray*, uap pemanas dari saluran ekstraksi dihembuskan mengarah keatas dan bercampur dengan kabut air kondensat yang menetes pada kisi-kisi.

Akibatnya terjadi pertukaran panas antara uap dengan air sekaligus terjadi pula proses deaerasi. Oksigen dan gas-gas lain akan mengalir keatas dan keluar dari *deaerator* menuju atmosfer melalui saluran *venting*. Proses deaerasi secara mekanis seperti ini ternyata tidak menjamin bahwa air kondensat akan bebas 100% dari Oksigen.

Guna membantu tugas deaerator untuk menghilangkan oksigen, maka cara kimia pun dilaksanakan juga yaitu dengan menginjeksikan *Hydrazine* kedalam air kondensat pada suatu titik sebelum air kondensat masuk *deaerator*. Penginjeksian ini dilakukan oleh pompa khusus injeksi bahan kimia. Air kondensat yang sudah bebas oksigen dan gas-gas lain ini kemudian turun dan ditampung pada tangki penampung (*storagetank*) yang berada dibagian bawah *deaerator* dan siap untuk dialirkan ke pompa air pengisi ketel.

Beberapa peralatan proteksi juga dipasang pada *deaerator*. Salah satunya adalah katup pengaman tekanan lebih (*Relief Valve*). Bila tekanan didalam deaerator terlalu tinggi hingga mencapai nilai tertentu, maka katup pengaman akan terbuka sehingga *deaerator* akan terhubung ke atmosfer. Dalam keadaan ini uap akan mengalir ke atmosfer dan *deaerator* akan aman.

Pada beberapa deaerator bahkan juga dilengkapi dengan *vacum breaker* untuk melindungi dari kemungkinan terjadinya *vacum*. Perangkatnya berupa saluran yang ditutup dengan diafragma. Bila tekanan turun hingga lebih rendah dari tekanan atmosfer, maka diafragma akan pecah sehingga udara atmosfer akan masuk guna mencegah *vacum* yang lebih tinggi didalam deaerator. (Kurniawan 2012)

2.3. Pompa

Pompa adalah suatu mesin yang digunakan untuk memindahkan atau mentransfer cairan atau fluida dari permukaan yang rendah ke permukaan yang lebih tinggi dan juga sebaliknya, serta memindahkan cairan atau fluida dari tempat bertekanan rendah ke tempat bertekanan tinggi dan juga sebaliknya. Pompa didalam kerjanya akan mentransfer energi mekanis dari suatu sumber energi luar ke cairan yang mengalir melaluinya.

Dengan demikian, pompa akan menaikkan energi fluida yang mengalir dari permukaan rendah ke permukaan yang lebih tinggi, maupun dari tempat yang bertekanan rendah ke tempat bertekanan tinggi.

Energi fluida yang dinaikkan oleh pompa yang ditentukan oleh sifat-sifat fluida tersebut. Sehingga untuk kerja setiap pompa akan berbeda untuk pemompaan fluida yang berbeda pula. Hal ini yang akan berpengaruh terhadap proses pemompaan sesuai dengan kondisi perencanaan. (Kurniawan 2012)

2.3.1. Pompa Torak

Sistem kerja pompa ini adalah dengan bekerja secara bergantian mengisap cairan kerongga kosong kemudian memindahkannya dengan jumlah tertentu, pompa ini digunakan secara luas untuk pemompaan fluida selain air, biasanya fluida kental seperti zat kimia (Kurniawan 2012). Berikut ini adalah komponen dan fungsi dalam pompa torak:

1. Piston/*plunger* berfungsi untuk mengisap fluida ke dalam dan menekannya kembali keluar selinder.
2. Batang Piston berfungsi sebagai penerus tenaga gerak dari mesin ke piston.
3. Mur Piston berfungsi untuk mengikat piston pada batang piston.
4. Ring/*seal* berfungsi untuk mencegah kebocoran fluida dari dalam selinder
5. Selinder berfungsi sebagai tempat pergerakan piston dan penampungan sementara fluida.
6. Selinder liner berfungsi sebagai pelapis selinder yang bagian dalamnya harus mempunyai permukaan yang halus guna memperlancar gerak piston.

7. Packing berfungsi sebagai pencegah kebocoran fluida dari dalam selinder.
8. Perapat packing berfungsi sebagai penekan supaya packing tetap pada posisinya sewaktu batang piston bergerak.
9. Katup Isap berfungsi untuk mengatur pemasukan dan penutupan fluida pada saat piston langkah isap.
10. Katup buang berfungsi untuk mencegah kembalinya fluida dari ruang outlet ke dalam ruang selinder pada saat piston langkah tekan. (Kurniawan 2012)

2.3.2. Prinsip Kerja Pompa Torak

Prinsip kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Piston bergerak mundur / kekiri,- Katup tekan kanan tertutup rapat, katup tekan kiri terbuka sehingga fluida bagian kiri piston masuk ke ruang outlet dan keluar melalui pipa penyalur.
 - Katup isap kiri tertutup rapat, tekanan ruang selinder kanan menurun sehingga terjadi isapan membuat katup isap terbuka dan fluida masuk ke-ruang selinder bagian kanan piston.
2. Piston bergerak maju/ kekanan,
 - Katup tekan kiri tertutup rapat, tekanan ruang kanan meningkat membuat katup tekan kanan terbuka sehingga fluida mengalir ke ruang *outlet* dan keluar pompa melalui pipa penyalur.
 - Katup isap kanan tertutup rapat, tekanan ruang selinder kiri menurun sehingga terjadi isapan membuat katup isap kiri terbuka dan fluida masuk ke-ruang selinder bagian kiri piston, dan selanjutnya kembali piston bergerak mundur – maju secara berkelanjutan. (Kurniawan 2012)

2.3.3. Pompa Hydrazine

Pompa *hydrazine* adalah salah satu pompa torak yang di butuhkan suatu pembangkit berfungsi untuk memompa cairan zat kimia *hydrazine* ke

deaerator untuk mengikat gas-gas yang terkandung di dalamnya, dengan cara memompakan cairan *hydrazine* ke *outlet condensat pump* lalu masuk ke *deaerator* dan bersamaan dengan disemprotkannya uap *steam turbin* dari bawah *deaerator* ke atas lalu bertabrakan dengan cairan *hydrazine* kemudian cairan *hydrazine* tersebut mengikat gas yang berada di dalam *deaerator* dan dikeluarkan ke atmosfer. (Kurniawan 2012)

2.3.4. Komponen Pompa Hydrazine

1. *plunger* : yaitu berfungsi untuk memberi tekanan dengan cara maju dan mundurkan *plunger* agar bisa menghisap dan menekan cairan *hydrazine*.
2. *perapat/seal* : yaitu berfungsi untuk perapat shaft agar tidak bocor saat dioperasikan yang terdiri dari V-seal teflon dan gland packing asbes.
3. *control valve* : yaitu berfungsi untuk mengontrol fluida *hydrazin* yang akan masuk dan keluar kerumah *plunger*.
4. *pressure indicator* : yaitu berfungsi untuk mengetahui berapa tekanan yang digunakan pompa *hydrazine*.



Sumber: PT.PJB UP Gresik

Gambar 2.8 *pressure indicator*

2.4. Jenis-jenis perapat poros yang dipakai pada pembangkit

1. V-seal

V-seal merupakan salah satu perapat poros berbentuk V yang terbuat dari Teflon dan digunakan untuk bahan kimia karna lebih efisien dan tahan terhadap korosi, jika pemasangan V-seal keadaan seimbang umur pemakaian bisa mencapai 3 sampai 4 bulan. Namun bila saat penekanan V-

seal tidak seimbang (*unbalance*) maka umur V-seal hanya mampu bertahan sampai 2 minggu.



Sumber: PT.PJB UP Gresik

Gambar 2.9 V-seal

2. Gland packing

Glandpacking termasuk perapat poros yang sama seperti V-seal tapi digunakan untuk fluida cair dan steam.



Sumber: PT.PJB UP Gresik

Gambar 2.10 macam-macam *glandpacking*

3. Mechanical seal

Menurut Kurniawan (2012) *Mechanical Seal* adalah Sebuah alat pengeblok cairan/gas pada suatu *rotating equipment*, yang terdiri atas:

1. Dua buah *sealface* yang bisa aus, dimana salah satu diam dan satunya lagi berputar, membentuk titik pengeblokan *primer*.
2. Satu atau sekelompok o-ring/bellows/PTFE wedge yang merupakan titik pengeblokan sekunder (*secondarysealing*).

3. Alat pembeban mekanis untuk membuat *sealface* salingmenekan. Asesoris metal yang diperlukan untuk melengkapi rangkaian *MechanicalSeal*.



Sumber: PT.PJB UP Gresik

Gambar 2.11*mechanicalseal*

- *Trackerseal* : yaitu berfungsi untuk mencabut *glandpacking* pada rumahnya.



Sumber: PT.PJB UP Gresik

Gambar 2.12*trackerseal*

2.5. Pemeliharaan

Menurut penelitian Ginting (2012), Pemeliharaan merupakan suatu fungsi dalam suatu perusahaan yang sama pentingnya dengan fungsi – fungsi lain seperti produksi. Pemeliharaan (*maintenance*) dapat diartikan sebagai kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas atau peralatan pabrik dan mengadakan perbaikan atau penyesuaian yang diperlukan supaya terdapat suatu keadaan operasi produksi yang memuaskan sesuai dengan yang direncanakan. Dengan adanya kegiatan *maintenance* ini, fasilitas atau peralatan pabrik dapat

dipergunakan untuk produksi sesuai rencana dan tidak mengalami kerusakan selama fasilitas atau peralatan tersebut dipergunakan untuk proses produksi maupun sebelum jangka waktu tertentu yang direncanakan tercapai (Anderson dan Neri, 1990 dalam Erdianto, 2008).

Tujuan utama fungsi pemeliharaan adalah :

- Kemampuan produksi dapat memenuhi kebutuhan sesuai dengan rencana produksi.
- Untuk menjaga kualitas pada tingkat yang tepat untuk memenuhi apa yang dibutuhkan oleh produk itu sendiri dan kegiatan produksi yang tidak terganggu.
- Untuk membantu mengurangi pemakaian dan penyimpangan yang di luar batas dan menjaga modal yang diinvestasikan dalam perusahaan selama waktu yang ditentukan sesuai dengan kebijaksanaan perusahaan mengenai investasi tersebut.
- Untuk mencapai tingkat biaya pemeliharaan serendah mungkin, dengan melaksanakan kegiatan maintenance secara efektif dan efisien secara keseluruhan.
- Menghindari kegiatan maintenance yang dapat membahayakan keselamatan para pekerja.
- Mengadakan suatu kerja sama yang erat dengan fungsi – fungsi utama lainnya dari suatu perusahaan dalam rangka untuk mencapai tujuan utama perusahaan, yaitu tingkat keuntungan atau *return of investment* yang sebaik mungkin dan total biaya yang terendah.

2.5.1. Jenis – Jenis Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan yang dilakukan oleh suatu perusahaan dapat dibedakan atas dua macam, yaitu: *Preventive Maintenance* dan *Corrective Maintenance*. (Anderson dan Neri, 1990 dalam Erdianto, 2008).

A. *Preventive Maintenance*

Preventive Maintenance disebut juga tindakan pencegahan atau overhaul, yaitu kegiatan pemeliharaan dan perawatan untuk mencegah kerusakan yang tak terduga dan menemukan kondisi atau keadaan

yang menyebabkan fasilitas operasi lebih tepat. Pemeliharaan preventif apabila direncanakan dengan baik dapat mencegah terjadinya kegagalan atau kerusakan, sebab apabila terjadi kerusakan peralatan operasi dapat berakibat kemacetan produksi secara total.

Alternatif dalam preventif maintenance adalah :

1. Berdasarkan waktu, yaitu melakukan pemeliharaan pada periode secara teratur, misalnya penggantian oli mesin pada tiap 3 bulan.
2. Berdasarkan pekerjaan, yaitu pemeliharaan setelah sejumlah jam operasi atau volume produksi tertentu, misalnya setelah mobil berjalan 2.000 km, atau mesin bekerja selama 500 jam.
3. Berdasarkan kesempatan, yaitu pemeliharaan yang dilakukan apabila ada kesempatan untuk itu, misalnya pada jam kerja istirahat, atau libur.
4. Berdasarkan kondisi terencana, yaitu tergantung pada hasil pemantauan kondisi fasilitas produksi, misalnya penggantian kampas rem mobil apabila telah mencapai ketebalan tertentu.

Preventive maintenance sangat tepat dilakukan, karena kegunaannya sangat efektif dalam menghadapi fasilitas-fasilitas produksi yang termasuk dalam critical unit, yaitu peralatan atau fasilitas yang membahayakan kesehatan dan keselamatan kerja, mempengaruhi produk yang dihasilkan, dapat menyebabkan kemacetan seluruh proses produksi, dan apabila modal yang ditanam untuk fasilitas ini relative lebih mahal.

B. Corrective Maintenance

Disebut juga break down maintenance, yaitu kegiatan pemeliharaan dan perawatan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan, kegagalan, atau kelainan fasilitas produksi sehingga tidak dapat berfungsi dengan baik.

2.6. OEE

Menurut buku Ansori Sistem Perawatan Terpadu, 2013 *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) adalah suatu perhitungan yang dilakukan untuk mengetahui sejauh mana tingkat keefektifan suatu mesin atau peralatan yang ada. OEE merupakan salah satu metode yang terdapat dalam *Total Productive Maintenance* (TPM). Pada umumnya OEE digunakan sebagai indikator performansi dari suatu mesin atau peralatan. Pengukuran OEE sendiri dapat digunakan untuk mengetahui efektivitas area atau bagian dari proses produksi yang perlu ditingkatkan serta untuk mengetahui area bottleneck yang terdapat pada lintasan produksi.

2.6.1 Manfaat yang dapat diambil dari OEE antara lain :

1. Dapat digunakan untuk menentukan *strating point* dari perusahaan ataupun peralatan/mesin.
2. Dapat digunakan untuk mengidentifikasi kejadian *bottleneck* didalam peralatan/mesin.
3. Dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerugian produktivitas (*true productivity losses*).
4. Dapat digunakan untuk menentukan prioritas dalam usaha untuk meningkatkan OEE dan peningkatan produktivitas.

Terdapat tiga jenis kerugian terkait dengan proses produksi yang harus diantisipasi, yaitu:

1. Downtime loss yang mempengaruhi Availability Rate,
2. Speed loss yang mempengaruhi Performance Rate, dan
3. Quality loss yang mempengaruhi Quality Rate atau disebut juga FTT (first time through).

Menurut Pomorski (1997), *availability rate* mengukur efektivitas maintenance peralatan produksi dalam kondisi produksi sedang berlangsung, *performance rate* mengukur seberapa efektif peralatan produksi yang digunakan, dan *quality rate* mengukur efektivitas proses manufaktur untuk mengeliminasi scrap, rework, dan yield loss (Tangen, 2004, p. 63). Ketiga unsur tersebut

merupakan rasio OEE yang didefinisikan sebagaimana terlihat dalam Tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Perhitungan OEE

Peralatan Produksi		Six Big Loss	Perhitungan OEE
Loading Time			
Operating Time	Downtime Losses	1 Breakdown Losses	$Avaibility = \frac{Loading\ Time - Downtime}{Loading\ Time} \times 100\%$
		2 Setup & Adjustment Losses	
Net Operating Time	Speed Losses	3 Chokotei Losses	$Performance = \frac{Process\ Theoretical\ Amount \times Cycle\ time}{Operation\ Time} \times 100\%$
		4 Cycle time Losses	
Valuable Operating Time	Quality losses	5 Defect Losses	$Quality = \frac{Process\ Amount \times Defect\ Amount}{Processed\ Amount} \times 100\%$
		6 Startup Losses	
OEE = Availability x Performance x Quality			

Pemahaman terhadap jenis kerugian peralatan diperlukan agar hasil yang diperoleh akurat dan menggambarkan situasi yang sesungguhnya, serta tidak terdapat hal penting yang terlewatkan. Setelah kerugian peralatan diidentifikasi dan diklasifikasikan menurut rasionya, maka langkah selanjutnya ialah melakukan pengumpulan data yang diperlukan untuk pengukuran nilai OEE.

Data yang diperlukan pada penelitian ini berkaitan dengan kerugian peralatan dan lainnya adalah sebagai berikut :

- Jumlah hari dan jam kerja (*Avaibility time*)
- Lama waktu berhenti produksi yang ditetapkan oleh perusahaan meliputi meeting, istirahat dan sholat (*planned downtime*)
- Lama waktu *downtime* mesin
- Lama waktu peralatan mengganggu dan gangguan kecil (*Idle and minor stoppages*) meliputi *scrab handling*, dan waktu menunggu lainnya.

- Waktu siklus per periode
- Jumlah produksi per periode
- Jumlah cacat produksi per periode dan
- Historis perawatan mesin

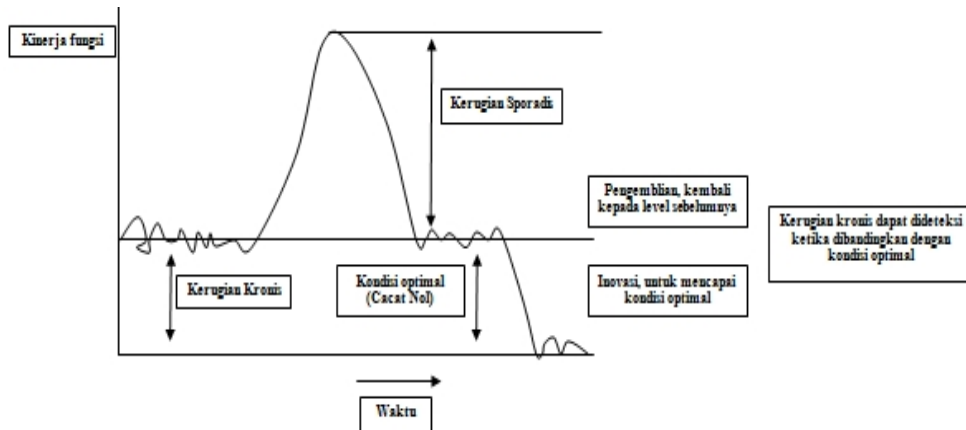
Tabel 2.2 Tujuan atau target pencapaian peningkatan kerugian (losses) menurut Nakajima, 1982 dalam buku Sistem Perawatan Terpadu Ansori, 2013.

No	Tipe Kerugian	Target	Penjelasan
1	Breakdown Losses	0	Mengurangi sampai target nol (0) untuk semua peralatan.
2	Setup and adjustment losses	Min	Mengurangi setup sampai target kurang dari 10 menit.
3	Speed losses	0	Menjaga kecepatan actual operasi sebagaimana kecepatan pada mesin.
4	Idling and minor stoppage losses	0	Mengurangi sampai target nol (0) untuk semua peralatan.
5	Quality defect and rework losses	0	Secara mutlak target pada zero defect.
6	Start up (yield) losses	Min	-

2.7. Kerugian Kronis (Chronis Losses) dan Cacat Tersembunyi (Hidden Defect)

Kerugian kronis disebabkan oleh cacat tersembunyi pada permesinan, peralatan, dan metode. Jika hal ini terjadi maka harus dilakukan penghilangan penyebab kronis secara menyeluruh. Pada kenyataannya kerugian kronis sangat sulit untuk dideteksi.

Kondisi kronis biasanya mempresentasikan fenomena yang berulang dalam suatu tentang distribusi tertentu, hal ini disebut juga sebagai kondisi sporadic (*sporadic*). Periode sporadic akan muncul ketika berada pada fenomena menaiknya rate cacat, hal ini terjadi oleh karena adanya perubahan kondisi fasilitas misalnya dari sisih peralatan, peralatan pendukung (*jigs dan tools*), metode kerja dan kondisi operasi yang tidak stabil sebagaimana pada gambar.



Gambar 2.14 Kerugian sporadic dan kronis

Sumber: Nakajima, 1988 dalam Ansori dan Mustajib, 2013.

Pada gambar 2.3 dijelaskan bahwa salah satu alternative penyelesaian kerugian kronis adalah adanya inovasi fasilitas maupun proses oleh karena karakteristiknya yang tersembunyi dan merupakan akar penyebab dari kerugian yang muncul.

Sering kali kerugian kronis ditunjukkan dengan melakukan perbandingan antara kondisi actual dengan kondisi teoritis ataupun kondisi optimalnya. Misalnya sebuah peralatan didesain dengan kemampuan 250 spm (*strokes per minute*), jika kemampuannya saat ini adalah 200 spm, berarti telah terjadi kerugian sebesar 50 spm. Kerugian tersebut akan tidak mampu terdeteksi bila kapasitas standarnya tidak dispesifikasikan dengan jelas.

Tabel 2.3. Karakteristik kerugian kronis

No	Kerugian	Terdeteksi	Tersembunyi
1	Sporadic breakdown Chronic breakdown	X	X
2	Setup and adjustment	X	
3	Idling and minor stoppage		X
4	Speed		X
5	Sporadic quality defect Chronic quality defect	X	X

Sumber : Ansori dan Mustajib (2013)

2.8. Availability

Availability merupakan suatu rasio yang menggambarkan pemanfaatan waktu yang tersedia untuk kegiatan operasi mesin atau peralatan. *Availability* dipengaruhi 2 komponen, yaitu *equipment failure* dan *setup and adjustment losses*. Nakajima, 1988 dalam buku Sistem Perawatan Terpadu Nachnul Ansori, 2013 menyatakan bahwa *availability* merupakan rasio dari *operation time*, dengan mengeliminasi *downtime* peralatan, terhadap *loading time*.

Dengan demikian formula yang digunakan untuk mengukur *availability ratio* adalah:

$$Availability = \frac{Loading\ Time - Downtime}{Loading\ Time} \times 100\%$$

Alur pengukuran *availability ratio* ini adalah mengurangi *availability time* dengan *planned downtime*, sehingga diperoleh *loading time*. Selanjutnya *loading time* dikurangkan dengan *availability losses (downtime)* sehingga diperoleh *operating time*. Terakhir dengan membandingkan *operating time* terhadap *loading time* dan memprosentasekannya, maka nilai *availability Ratio* diperoleh.

2.9. Performance

Performance merupakan suatu ratio yang menggambarkan kemampuan dari peralatan dalam menghasilkan barang. *Performance* memiliki 2 komponen, yaitu *idling and minor stoppage losses* dan *reduce speed*. Rasio ini merupakan hasil dari *operating operatingspeed rate* dan *net operating rate*. *Operating speed rate* peralatan mengacu kepada perbedaan antara kecepatan ideal dan kecepatan operasi aktual. *Net operating rate* mengukur pemeliharaan dari suatu kecepatan dalam selama periode tertentu. Dengan kata lain, ia mengukur apakah suatu operasi tetap stabil dalam periode selama peralatan beroperasi pada kecepatan rendah. Berikut formula pengukuran rasio:

$$Performance = \frac{Process\ Amount \times Theoretical\ Cycle\ time}{Operation\ Time} \times 100\%$$

Alur pada pengukuran rasio ini adalah dengan mengurangi *operating time* dari *availability* terhadap *performance losses* sehingga didapat *operating time*

untuk *Performance*. Selanjutnya mengkalikan *ideal cycle time* dengan jumlah produk yang diproduksi. Terakhir membandingkan hasil tersebut dengan *operating time*, maka nilai *performance* diperoleh.

2.10. Quality

Quality merupakan suatu rasio yang menggambarkan kemampuan peralatan dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan standar. *Quality* didukung 2 komponen, yaitu *defect and process* dan *reduced yield*. Formula yang digunakan untuk pengukuran rasio ini adalah :

$$Quality = \frac{Processed Amount \times Defect Amount}{Processed Amount} \times 100\%$$

Menurut Seichi Nakajima, 1989 dalam buku Sistem Perawatan Terpadu Ansori, 2013, kondisi yang ideal untuk OEE setelah dilaksanakannya TPM pada suatu perusahaan adalah :

- *Avaibility* > 90%
- *Performance* > 95%
- *Quality* > 99%

Sehingga kondisi ideal pencapaian nilai OEE adalah > 85%.

2.11. Diagram Pareto

Diagram pareto dikembangkan oleh Vilfredo Frederigo Samaso pada akhir abad ke-19 merupakan pendekatan logic dari tahap awal pada proses perbaikan suatu situasi yang digambarkan dalam bentuk histogram yang dikenal sebagai konsep *vital few and the trival many* untuk mendapatkan penyebab utamanya. Diagram pareto telah digunakan secara luas dalam kegiatan kendali mutu untuk menangani kerangka proyek, proses program, kombinasi pelatihan, proyek dan proses, sehingga sangat membantu dan memberikan kemudahan bagi para pekerja dalam meningkatkan mutu pekerjaan. Pareto chart sangat tepat digunakan jika menginginkan hal-hal seperti menentukan prioritas karena keterbatasan sumberdaya, menggunakan kearifan tim secara kolektif, menghasilkan consensus atau keputusan akhir, dan menempatkan keputusan pada data kuantitatif (<http://sites.google.com/site/kelolakualitas/Diagram-Pareto>).

1. Manfaat Diagram Pareto

Diagram Pareto merupakan metode standar dalam pengendalian mutu untuk mendapatkan hasil maksimal atau memilih masalah-masalah utama dan lagi pula dianggap sebagai suatu pendekatan sederhana yang dapat dipahami oleh pekerja tidak terlalu terdidik, serta sebagai perangkat pemecahan dalam bidang yang cukup kompleks. Diagram Pareto merupakan suatu gambar yang mengurutkan klasifikasi data dari kiri kekanan menurut urutan ranking tertinggi hingga terendah. Hal ini dapat membantu menemukan permasalahan yang terpenting untuk segera diselesaikan (ranking tertinggi) sampai dengan yang tidak harus segera diselesaikan (ranking terendah). Selain itu, Diagram Pareto juga dapat digunakan untuk membandingkan kondisi proses, misalnya ketidaksesuaian proses, sebelum dan setelah diambil tindakan perbaikan terhadap proses.

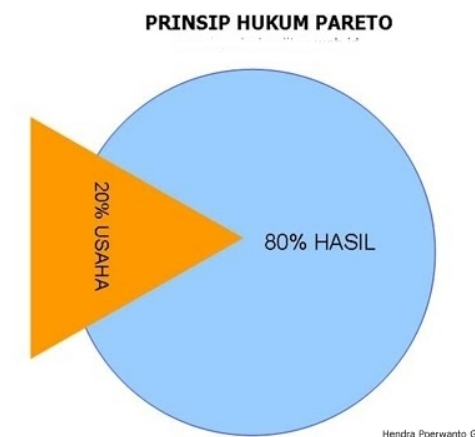
Diagram Pareto dibuat berdasarkan data statistik dan prinsip bahwa 20% penyebab bertanggung jawab terhadap 80% masalah yang muncul atau sebaliknya. Kedua aksioma tersebut menegaskan bahwa lebih mudah mengurangi bagian lajur yang terletak dibagian kiri diagram Pareto daripada mencoba untuk menghilangkan secara sistematis lajur yang terletak disebelah kanan diagram. Hal ini dapat diartikan bahwa diagram Pareto dapat menghasilkan sedikit sebab penting untuk meningkatkan mutu produk atau jasa. Keberhasilan penggunaan diagram Pareto sangat ditentukan oleh partisipasi personel terhadap situasi yang diamati, dampak keuangan yang terlihat pada proses perbaikan situasi dan penetapan tujuan secara tepat. Faktor lain yang perlu dihindari adalah jangan membuat persoalan terlalu kompleks dan juga jangan terlalu mencari penyederhanaan pemecahan.

Tahapan penggunaan dari Diagram Pareto adalah mencari fakta dari data ciri gugus kendali mutu yang diukur, menentukan penyebab masalah dari tahapan sebelumnya dan mengelompokkan sesuai dengan periodenya, membentuk histogram evaluasi dari kondisi awal permasalahan yang ditemui, melakukan standarisasi dari hasil perbaikan yang telah ditetapkan dan menentukan tema selanjutnya.

2. Prinsip Diagram Pareto

Prinsip Pareto juga dikenal sebagai aturan 80/20 dengan melakukan 20% dari pekerjaan bisa menghasilkan 80% manfaat dari pekerjaan itu. Aturan 80/20 dapat diterapkan pada hampir semua hal, seperti : 80% dari keluhan pelanggan timbul 20% dari produk atau jasa, 80% dari keterlambatan jadwal timbul 20% dari kemungkinan penyebab penundaan, 20% dari produk atau account untuk layanan, 80% dari keuntungan anda, 20% dari tenaga penjual menghasilkan 80% dari pendapatan perusahaan anda, atau 20% dari cacat sistem penyebab 80% masalahnya.

Prinsip Pareto untuk seorang menejer proyek adalah mengingatkan untuk fokus pada 20% hal-hal yang materi, tetapi tidak mengabaikan 80% masalah. Berikut Hukum Pareto dalam bentuk visual :



Sumber: <http://sites.google.com/site/kelolakualitas/Diagram-Pareto>

Gambar 2.15 Prinsip Hukum Pareto

Umumnya Diagram Pareto merupakan diagram batang tempat batang tersebut diurutkan mulai dari terbanyak sampai terkecil. Diagram Pareto memiliki banyak aplikasi dalam bisnis dan pekerjaan. Demikian halnya Diagram Pareto dapat diaplikasikan dalam control kualitas. Ini adalah dasar bagi diagram Pareto, dan salah satu alamat utama yang digunakan dalam pengendalian kualitas total dan Six Sigma. Satu persatu masalah di breakdown berdasarkan kategori masing-masing:

- Apa(*what*), Apa saja yang menjadi penyebab masalah tersebut.
- Kapan (*when*), Kapan masalah tersebut paling sering muncul.

- Dimana (*where*), Dimana masalah tersebut paling sering muncul.
- Siapa (*who*), Siapa orang atau yang mengalami paling banyak masalah.
- Mengapa (*why*), Mengapa masalah tersebut banyak terjadi.
- Bagaimana (*how*), Bagaimana masalah tersebut bisa terjadi.
- Berapa biayanya (*how much*).
- Apabila dampak pareto jelas, ambil tindakan pada item/faktor yang paling umum.

Namun demikian, penyusunan Diagram Pareto dapat juga menggunakan langkah berikut ini:

1. Menentukan metode atau arti dari pengklasifikasian data, misalnya berdasarkan masalah, penyebab jenis ketidaksesuaian, dan sebagainya.
2. Menentukan satuan yang digunakan untuk membuat urutan karakteristik-karakteristik tersebut, misalnya rupiah, frekuensi, unit dan sebagainya.
3. Menentukan data sesuai dengan interval waktu yang telah ditentukan.
4. Merangkum data dan membuat ranking kategori data tersebut dari yang terbesar hingga yang terkecil.
5. Menghitung frekuensi kumulatif atau presentase kumulatif yang digunakan.
6. Menggambar diagram batang, menunjukkan tingkat kepentingan relatif masing-masing masalah.
7. Mengidentifikasi beberapa hal yang penting untuk mendapat perhatian (<http://sites.google.com/site/kelolakualitas/Diagram-Pareto>).

2.12. Fishbone Diagram

Dalam Blog Kusnadi, 2011 *Fishbone diagram* adalah (diagram tulang ikankarena bentuknya seperti tulang ikan) sering juga disebut *Cause-and-Effect Diagram* atau *Ishikawa Diagram* diperkenalkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa, seorang

ahli pengendalian kualitas dari Jepang, sebagai satu dari tujuh alat kualitas dasar (*7 basic quality tools*). *Fishbone diagram* digunakan ketika kita ingin mengidentifikasi kemungkinan penyebab masalah dan terutama ketika sebuah *team* cenderung jatuh berpikir pada rutinitas.

Suatu tindakan dan langkah *improvement* akan lebih mudah dilakukan jika masalah dan akar penyebab masalah sudah ditemukan. Manfaat *fishbone diagram* ini dapat menolong kita untuk menemukan akar penyebab masalah secara *user friendly*, *tools* yang *user friendly* disukai orang-orang di industri manufaktur di mana proses di sana terkenal memiliki banyak ragam variabel yang berpotensi menyebabkan munculnya permasalahan (Purba 2008 dalam Blog Kusnadi, 2011).

Fishbone diagram akan mengidentifikasi berbagai sebab potensial dari satu efek atau masalah, dan menganalisis masalah tersebut melalui sesi *brainstorming*. Masalah akan dipecah menjadi sejumlah kategori yang berkaitan, mencakup manusia, material, mesin, prosedur, kebijakan, dan sebagainya. Setiap kategori mempunyai sebab-sebab yang perlu diuraikan melalui sesi *brainstorming*.

Untuk lebih jelasnya, saya akan menguraikan prosedur atau langkah-langkah pembuatan *fishbone diagram* di bawah ini :

1. Menyepakati pernyataan masalah

- Sepakati sebuah pernyataan masalah (*problem statement*). Pernyataan masalah ini diinterpretasikan sebagai “effect”, atau secara visual dalam *fishbone* seperti “kepala ikan”.
- Tuliskan masalah tersebut di tengah *whiteboard* di sebelah paling kanan.
- Gambarkan sebuah kotak mengelilingi tulisan pernyataan masalah tersebut dan buat panah horizontal panjang menuju ke arah kotak.

2. Mengidentifikasi kategori-kategori

- Dari garis horisontal utama, buat garis diagonal yang menjadi “cabang”. Setiap cabang mewakili “sebab utama” dari masalah yang ditulis. Sebab ini diinterpretasikan sebagai “cause”, atau secara visual dalam *fishbone* seperti “tulang ikan”.

- Kategori sebab utama mengorganisasikan sebab sedemikian rupa sehingga masuk akal dengan situasi. Kategori-kategori ini antara lain:
 - **Kategori 6M** yang biasa digunakan dalam industri manufaktur:
 - a) *Machine* (mesin atau teknologi).
 - b) *Method* (metode atau proses).
 - c) *Material* (termasuk *raw material*, *consumption*, dan informasi).
 - d) *Man Power* (tenaga kerja atau pekerjaan fisik) / *Mind Power* (pekerjaan pikiran: *kaizen*, saran).
 - e) *Measurement* (pengukuran atau inspeksi), dan
 - f) *Milieu / Mother Nature* (lingkungan).
 - **Kategori 8P** yang biasa digunakan dalam industri jasa:
 - a) *Product* (produk/jasa).
 - b) *Price* (harga).
 - a) *Place* (tempat).
 - b) *Promotion* (promosi atau hiburan).
 - c) *People* (orang).
 - d) *Process* (proses).
 - e) *Physical Evidence* (bukti fisik), dan
 - f) *Productivity & Quality* (produktivitas dan kualitas).
 - **Kategori 5S** yang biasa digunakan dalam industri jasa:
 - a) *Surroundings* (lingkungan).
 - b) *Suppliers* (pemasok).
 - c) *Sistems* (sistem).
 - d) *Skills* (keterampilan), dan
 - e) *Safety* (keselamatan).
- Kategori di atas hanya sebagai saran, kita bisa menggunakan kategori lain yang dapat membantu mengatur gagasan-gagasan. Jumlah kategori biasanya sekitar 4 sampai dengan 6 kategori.

3. Menemukan sebab-sebab potensial dengan cara brainstorming

- Setiap kategori mempunyai sebab-sebab yang perlu diuraikan melalui sesi *brainstorming*.
- Saat sebab-sebab dikemukakan, tentukan bersama-sama di mana sebab tersebut harus ditempatkan dalam *fishbone diagram*, yaitu tentukan di bawah kategori yang mana gagasan tersebut harus ditempatkan, misal: “Mengapa bahaya potensial? Penyebab: Karyawan tidak mengikuti prosedur!” Karena penyebabnya karyawan (manusia), maka diletakkan di bawah “Man”.
- Sebab-sebab ditulis dengan garis horisontal sehingga banyak “tulang” kecil keluar dari garis diagonal.
- Pertanyakan kembali “Mengapa sebab itu muncul?” sehingga “tulang” lebih kecil (sub-sebab) keluar dari garis horisontal tadi.
- Satu sebab bisa ditulis di beberapa tempat jika sebab tersebut berhubungan dengan beberapa kategori.

4. Menguji dan menyepakati sebab-sebab yang paling mungkin

- Setelah setiap kategori diisi carilah sebab yang paling mungkin di antara semua sebab-sebab dan sub-subnya.
- Jika ada sebab-sebab yang muncul pada lebih dari satu kategori, kemungkinan merupakan petunjuk sebab yang paling mungkin.
- Kaji kembali sebab-sebab yang telah didaftarkan (sebab yang tampaknya paling memungkinkan) dan tanyakan, “Mengapa ini sebabnya?”.
- Pertanyaan “Mengapa?” akan membantu kita sampai pada sebab pokok dari permasalahan teridentifikasi.
- Tanyakan “Mengapa ?” sampai saat pertanyaan itu tidak bisa dijawab lagi. Kalau sudah sampai ke situ sebab pokok telah teridentifikasi.
- Lingkarilah sebab yang tampaknya paling mungkin pada *fishbone diagram*.

Diskusi selama sesi *brainstorming* hendaknya dirangkum, Jika masalah rumit dan waktunya memungkinkan, kita bisa meninggalkan *fishbone diagram* di dinding selama beberapa hari untuk membiarkan ide menetas dan membiarkan orang yang lalu lalang turut berkontribusi. Jika *fishbone diagram* terlihat timpang atau sempit, kita bisa mengatur ulang *fishbone diagram* dengan kategori sebab utama yang berbeda. Kunci sukses *fishbone diagram* adalah terus bertanya “Mengapa?”, lihatlah diagram dan carilah pola tanpa banyak bicara, dan libatkan orang-orang di “grass root” yang terkait dengan masalah karena biasanya mereka lebih mengerti permasalahan di lapangan.

2.13. Penelitian terdahulu

1. Nia Budi Puspitasari dalam penelitiannya yang berjudul: Perhitungan Nilai Overall Equipment Effectiveness Mesin Mixer Banbury 270 L dan Mesin Bias Cutting Line 2 (Studi Kasus PT. Suryaraya Rubberindo Industries) (2012)

Tingkat efektivitas mesin sudah sewajarnya menjadi suatu faktor penting pada suatu perusahaan. PT. Suryaraya Rubberindo Industries merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pembuatan ban luardan dalam untuk kendaraan roda dua. Mesin yang terus beroperasi secara kontinyu dituntut dapat memenuhi target yang telah di tetapkan dengan tingkat efektivitas yang tinggi. Namun hingga kini belumpernah dilakukan penelitian untuk mengetahui besarnya nilai efektivitas pada mesin-mesin yang digunakan oleh PT. Suryaraya Rubberindo Industries. OEE adalah metode sistematis untuk melakukan pengukuran tingkat efektivitas proses suatu mesin atau peralatan. Secara umum, besar kecilnya nilai OEE dipengaruhi oleh enam faktor yang biasa disebut dengan Six Big Losses. Penggunaan perhitungan nilai OEE dan Six Big Losses mampu mengetahui besarnya nilai OEE dan faktor dominan yang menyebabkan rendahnya performansi suatu mesin atau peralatan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya nilai OEE untuk mesin Mixer Banbury 270 L dan mesin Bias Cutting Line 2, mengetahui faktor-faktor penyebab rendahnya performansi mesin dan

memberikan usulan perbaikan agar dapat meningkatkan performansi mesin di PT. Suryaraya Rubberindo Industries. Berdasarkan pengolahan dengan metode OEE dan Six Big Losses dapat mengetahui besarnya nilai OEE dan mengidentifikasi faktor penyebab rendahnya performansi mesin. Nilai OEE pada mesin Mixer Banbury 270 L sebesar 71,07% yang dipengaruhi oleh faktor Six Big Losses Reduce Speed Loss.

2. Bapkihyu Adam Asri Ayumi dalam penelitiannya yang berjudul: Usulan Perbaikan Sistem Manufaktur Pada Lini Produksi Shearing Berdasarkan Perhitungan Nilai Overall Equipment Effectiveness (Studi Kasus Di PT. Mega Multi Pegas – Gresik) (2014)

Di era kompetisi global seperti sekarang ini, perkembangan teknologi semakin pesat dan kompetitif menyebabkan banyak perusahaan mulai memikirkan bagaimana cara agar dapat meningkatkan produktivitasnya. Salah satu cara yang dilakukan perusahaan adalah perbaikan secara terus menerus dalam setiap proses produksi didalamnya, hal ini bertujuan untuk dapat meningkatkan kapasitas produksi perusahaan, meningkatkan kualitas produk yang diproduksi dan lain sebagainya. Untuk mengetahui produktivitas dari aktivitas produksi yang telah dilakukan, perlu dilakukan pengukuran berdasarkan faktor penunjang produktivitas dan kondisi riil di rantai produksi. PT. Mega Multi Pegas merupakan perusahaan bidang otomotif, bergerak dalam manufaktur produk Leaf spring, PT. Mega Multi Pegas ingin terus berkembang dengan mampu mendapatkan customer dari dalam negeri dan luar negeri. Sebagai langkah awal untuk mengetahui posisi atau kondisi produktivitas sehingga dapat menentukan arah perbaikan sistem perusahaan yaitu dengan melakukan pengukuran produktivitas untuk pertama kalinya.

Tingkat produktivitas di Lini produksi Shearing dapat dilihat berdasarkan pencapaian Nilai kinerja OEE di setiap proses pembuatan produk tipe MB 0007 – 01 di Lini produksi Shearing. Nilai OEE pada proses Eye forming tidak sesuai standar OEE kelas dunia, hal ini menunjukkan bahwa produktivitas di Lini produksi Shearing masih kurang

optimal oleh karena itu saran untuk kedepanya, penelitian diharapkan dilakukan di lini produksi lainnya. Hal ini akan membantu peningkatan produktivitas secara menyeluruh di perusahaan.