

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Manajemen Energi

2.1.1. Definisi dan Pengertian Manajemen Energi

Manajemen energi adalah suatu program yang direncanakan dan dilaksanakan secara sistematis untuk memanfaatkan energi secara efektif dan efisien dengan melakukan perencanaan, pencatatan, pengawasan dan evaluasi secara kontinu tanpa mengurangi kualitas produksi dan pelayanan. Manajemen energi mencakup perencanaan dan pengoperasian unit konsumsi dan produksi yang berkaitan dengan energi untuk mengelola secara aktif usaha penghematan penggunaan energi dan penurunan biaya energi. Tujuan manajemen energi yaitu penghematan sumber daya, perlindungan iklim, dan penghematan biaya. Bagi konsumen, manajemen energi mempermudah untuk mendapatkan akses terhadap energi sesuai dengan apa dan kapan yang mereka butuhkan. Manajemen energi berkaitan dengan manajemen lingkungan, manajemen produksi, logistik, dan fungsi yang berhubungan dengan bisnis lainnya (*Wikipedia, 2015*).

Manajemen energi yang merupakan kegiatan di suatu perusahaan yang terorganisir dengan menggunakan prinsip-prinsip manajemen, dengan tujuan agar dapat dilakukan konservasi energi, sehingga biaya energi sebagai salah satu komponen biaya produksi/operasi dapat ditekan serendah- rendahnya.

Konservasi energi sendiri mengandung arti sebagai suatu usaha untuk tetap menggunakan energi secara rasional tapi tetap mempertahankan produktifitas dan terpenuhinya syarat-syarat kelola perusahaan. Penggunaan energi rasional diantaranya dengan penghematan dan efisiensi energi. Jadi harus dibedakan antara penghematan energi dengan konservasi energi. Penghematan energi bisa saja dilakukan dengan hanya mengurangi penggunaannya tapi kenyamanan dan produktitas menjadi turun. Sementara konservasi energi adalah penerapan kaidah-kaidah dalam pengelolaan energi tidak hanya mengurangi pemakaian energinya tapi juga menerapkan pola operasi yang efisien, pemasangan alat tambahan yang meningkatkan performa sistem sehingga pemakaian energinya lebih rendah tapi

tidak mengurangi kenyamanan dan produktifitas. Pada intinya konservasi energi merupakan panduan bagaimana menghemat energi dengan benar dan berisi metode-metode dan alat-alat yang bisa dipakai untuk penghematan energi tanpa mengurangi produktifitas dan kenyamanan. Sementara efisiensi energi artinya perbandingan antara penggunaan energi dengan hasil produksinya bisa kenyamanan, gerak dan lain-lain. Jadi efisiensi energi yang tinggi berarti pemakaian energinya rendah tapi produksi tinggi. Dengan demikian konsep konservasi energi lebih luas dibandingkan dengan efisiensi energi.

Secara internasional standar tentang manajemen energi adalah dengan ISO 50001 *Energy Management System*. ISO (*International Standard Organization*) adalah organisasi internasional untuk standar. System manajemen energi ini juga sesungguhnya tidak berdiri sendiri karena merupakan penggabungan dan harmonisasi dari sistem manajemen energi yang sudah diterapkan beberapa negara serta kawasan seperti Uni Eropa. Saat ini beberapa Negara seperti Denmark, Ireland, Sweden, US, Thailand, Korea telah memiliki national energy management standards sendiri. Sementara Uni Eropa bahkan sudah punya regional energy management standard yang sudah dipergunakan. Konsep manajemen energi dari ISO ini mengadopsi siklus manajemen dari *Deming Cycle* (yang dipromosikan oleh Dr W. Edwards Deming di tahun 50-an).

Standar manajemen energi ISO 50001 dimaksudkan untuk memberikan kerangka kerja bagi perusahaan dalam mengintegrasikan efisiensi energi di perusahaannya ke dalam manajemen praktis dari perusahaan. Jadi ISO berusaha menjadikan standar Manajemen Energi agar dapat:

1. Memandu perusahaan dalam menggunakan energi lebih baik.
2. Sebagai panduan dalam *benchmarking*, pengukuran, dokumentasi, laporan intensitas energi dan manfaat implementasi proyek energi untuk mengurangi dampak emisi rumah kaca (*Green House Gas/GHG emissions*).
3. Membentuk komunikasi yang terbuka antar lintas divisi dalam pengelolaan energi.
4. Mempromosikan kasus-kasus sukses dalam pengelolaan energi dan mendorong perilaku pengelolaan energi yang baik.

5. Memandu perusahaan melakukan evaluasi dan implementasi teknologi baru dalam efisiensi energi.
6. Menyediakan kerangka kerja untuk mempromosikan efisiensi energi pada seluruh jalur pemanfaatan yang ada diperusahaan.
7. Memfasilitasi peningkatan pengelolaan energi kaitannya dengan *GHG emission reduction*.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) memberikan definisi manajemen energi adalah kegiatan yang proaktif, pengadaan barang yang terorganisasi dan sistematis, konversi, distribusi, dan penggunaan energi yang memenuhi kebutuhan, dengan memperhitungkan tujuan lingkungan dan ekonomi. Tujuan manajemen energi di dalam industri adalah sebagai berikut:

1. Optimalisasi pemanfaatan sumber daya energi dan energi.
2. Meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya energi dan energi.
3. Pemanfaatan peluang untuk meningkatkan daya saing perusahaan.

2.1.2. Konsep Sistem Manajemen Energi

Konsep sistem manajemen energi yang membangun sistem dan proses secara manajerial dan teknis untuk mengelola penggunaan energi secara rasional. Konsep sistem manajemen energi baik secara manajerial maupun teknis terdiri dari 4 proses yang dikenal proses PDCA yaitu *plan, do, check, dan act*. Skema konsep sistem manajemen energi dapat dilihat pada gambar 1.



Sumber : United States Agency International Development, 2013
Gambar 1. Skema Konsep Sistem Manajemen Energi

1. *Plan* (Perencanaan)

Proses perencanaan energi mengkaji pemanfaatan energi dan konsumsinya, mengidentifikasi pemanfaat energi yang signifikan dan menentukan peluang untuk perbaikan. Perencanaan membahas berapa dan dimana energi yang digunakan, analisis pengguna energi yang signifikan, faktor yang mempengaruhinya, dan apakah perlu dilakukan audit energi, optimasi sistem, pengembangan *baseline* dan indikator kinerja energi, menentukan tujuan dan target serta rencana aksi.

2. *Do* (Implementasi dan Operasi)

Tindakan dari perencanaan dilakukan dengan cara implementasi dan operasi melalui kompetensi, pelatihan dan kesadaran hemat energi, persyaratan dokumentasi, dokumen kontrol, kontrol operasi, komunikasi, desain, pembelian jasa energi, produk dan peralatan serta pembelian pasokan energi.

3. *Check* (Pengecekan kinerja)

Check berarti proses pengecekan kinerja dari implementasi dan operasi yang dilakukan dengan cara pemantauan, pengukuran dan analisis, evaluasi dasar hukum, audit internal sistem manajemen energi, ketidaksesuaian, koreksi, aksi korektif dan preventif, serta hasil penghematan. *Checking* yang dilakukan terdiri dari pemeriksaan operasi melalui rekaman operator, pemeliharaan dan peralatan, pemeriksaan sistem melalui hasil kinerja obyek energi sesuai standar, pemeriksaan kinerja melalui indikator kinerja energi dan kecenderungan dan biaya konsumsi energi dan pemeriksaan kemajuan yang dicapai terhadap rencana.

4. *Act* (*Review* manajemen)

Act berarti aksi dimana proses ini mereview manajemen dan performa sistem melalui hasil analisis *input* dan *output* kinerja sistem manajemen energi (Titovianto widyantoro,2014)

2.1.3. Implementasi Sistem Manajemen Energi

Manajemen energi sangat penting untuk diintegrasikan ke dalam struktur organisasi sebuah perusahaan yang konsumsi energinya sangat besar agar manajemen energi tersebut dapat diimplementasikan. Peran manajemen energi di

dalam berbagai fungsi operasional adalah manajemen fasilitas, logistik, pembelian energi, produksi, perencanaan dan pengendalian produksi, dan pemeliharaan.

1. Manajemen Fasilitas

Manajemen fasilitas berperan penting di dalam manajemen energi karena memiliki proporsi yang sangat besar (sekitar 25 persen) dari biaya operasi adalah biaya energi. Menurut *International Facility Management Association (IFMA)*, manajemen fasilitas adalah sebuah profesi yang memberikan arah kepada berbagai pihak untuk menjamin berfungsinya keadaan yang dibangun dengan mengintegrasikan manusia, tempat, proses, dan teknologi. Tujuan penting dari manajemen energi untuk mengurangi biaya energi bangunan dan fasilitas tanpa mengganggu proses kerja. *Energy Star* adalah contoh program yang terbesar dalam menentukan rumah yang hemat energi. Rumah yang bersertifikat *Energy Star* menghemat setidaknya 15 % energi dari rumah standar.

2. Manajemen Logistik

Logistik adalah manajemen yang mengatur aliran sumber daya dari titik mula sampai titik tujuan untuk memenuhi sebuah permintaan. Transportasi barang dapat menghemat biaya dan melindungi lingkungan melalui manajemen energi yang efisien. Faktor-faktor yang mempengaruhinya adalah jenis transportasi, durasi dan jarak tempuh transportasi, dan kerja sama dengan penyedia jasa logistik. Logistik telah menyebabkan lebih dari 14 % emisi CO₂ di seluruh dunia. Maka istilah *Green Logistics* menjadi penting. Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk menuju logistik hijau adalah:

- a. Menggunakan transportasi barang yang ramah lingkungan seperti jalur kereta api dan jalur air.
- b. Optimisasi rute dan beban.
- c. Formasi dari jaringan korporasi yang tersambung dengan logistik.
- d. Optimisasi proses fisik logistik dengan menyediakan bantuan teknologi informasi yang canggih.

Selain transportasi barang, transportasi manusia juga bagian penting dari strategi logistik perusahaan. Perlu dipertimbangkan apakah perjalanan bisnis perlu dilakukan apabila telepon atau konferensi video telah cukup berguna.

3. Pembelian Energi

Harga energi selalu naik turun sehingga cukup mempengaruhi biaya energi industri. Keputusan pembelian energi yang buruk dapat membuat biaya tinggi. Organisasi dapat mengatur dan mengurangi harga energi dengan mengambil tahap proaktif dan efisien dalam membeli energi. Mengubah sumber energi yang dipakai juga dapat menjadi solusi yang menguntungkan dan ramah lingkungan.

4. Produksi

Produksi adalah kegiatan untuk memproduksi *output* seperti barang atau jasa yang memiliki nilai untuk dikontribusikan kegunaannya. Proses utama dari produksi bergantung kepada jenis perusahaannya. Industri memiliki lebih banyak fasilitas yang mengkonsumsi energi lebih banyak. Perusahaan jasa tidak membutuhkan bahan baku yang banyak, fokus energi hanya perlu di bagian manajemen fasilitas/*Green IT*. Maka fokus yang berhubungan dengan energi perlu diidentifikasi terlebih dahulu, kemudian dievaluasi dan lakukan optimisasi.

5. Perencanaan dan Pengendalian Produksi

Produksi merupakan sektor konsumsi energi yang tinggi sehingga perencanaan dan pengendalian produksi menjadi sangat penting. Hal ini berkaitan dengan semua manajemen proses operasional, sementara, perencanaan, dan pengendalian yang diperlukan untuk memproduksi barang dan komoditas. Perancang produksi harus dapat merancang proses produksi yang hemat energi. Proses produksi yang menggunakan energi besar dapat dijadwalkan di malam hari untuk menghindari waktu beban puncak yang memiliki harga lebih mahal. Perencanaan dan pengendalian produksi harus mengatasi masalah keterbatasan dalam penyimpanan energi. Ada cara untuk menyimpan energi listrik secara mekanis atau kimia contoh tempat penyimpanan *lithium-based electrochemical* digunakan dalam mobil elektrik/untuk melakukan kontrol jaringan tenaga.

6. Pemeliharaan

Pemeliharaan adalah kombinasi dari semua kegiatan teknis dan administrasi, termasuk kegiatan supervisor, untuk mendapatkan/mengembalikan suatu barang agar dapat melakukan fungsi yang diperlukan. Pemeliharaan dilakukan untuk menunjang manajemen energi sehingga kebocoran dan

peningkatan biaya dapat dihindari. Penghematan energi dan biaya melalui bantuan pemeliharaan:

- a. Melakukan proses *defrost* pada kulkas.
- b. Melakukan pengecekan barometer pada mobil dan truk.
- c. Melakukan isolasi untuk kondisi sistem yang panas.

2.2. Audit Energi

2.2.1. Pengertian Audit Energi

Audit energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna energi dan pengguna sumber energi dalam rangka konservasi energi. Audit energi dilakukan untuk mendapatkan potret penggunaan energi bertujuan untuk memahami masalah penggunaan energi serta intensitas dan kinerja energi, potensi penghematan energi, manfaat dan langkah yang diperlukan (*Parlindungan Marpaung, 2014*). Selain itu, audit energi juga dimaksudkan untuk menentukan cara yang terbaik mengurangi penggunaan energi per satuan produk dan mengurangi biaya produksi (*PT. Energy Management Indonesia, 2011*).

Kebijakan pemerintah mengenai penghematan energi yang dituangkan dalam Undang–Undang No. 30 Tahun 2007 tentang energi, dan Intruksi Presiden No. 2 Tahun 2008 tentang penghematan energi dan air, menginstruksikan Instansi Pemerintah, BUMN, BUMD, Pemerintah Daerah, masyarakat dan perusahaan swasta untuk melaksanakan program dan kegiatan penghematan energi dan air. UU Energi Pasal 1 ayat 23 berbunyi konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya. Efisiensi energi adalah perbandingan antara pasokan energi (*input*) dengan manfaat hasil kerja dari energi (*output*).

Selain itu, audit energi wajib dilakukan berdasarkan tindak lanjut program pemerintah dengan dikeluarkannya Peraturan Pemerintah No. 70 Tahun 2009, Pasal 12 tentang konservasi energi yang berisi :

1. Pemanfaatan energi oleh pengguna sumber energi dan pengguna energi wajib dilakukan secara hemat dan efisien.

2. Pengguna energi/sumber energi yang mengkonsumsi energi lebih besar atau sama dengan 6.000 (enam ribu) setara ton minyak per tahun wajib dilakukan konservasi energi melalui manajemen energi.
3. Manajemen energi sebagaimana dimaksud dilakukan dengan :
 - a. menunjuk manajer energi
 - b. menyusun program konservasi energi
 - c. melaksanakan audit energi secara berkala
 - d. melaksanakan rekomendasi hasil audit energi
 - e. melaporkan pelaksanaan konservasi energi setiap tahun kepada menteri, gubernur, bupati/walikota sesuai dengan kewenangannya masing-masing.

2.2.2. Jenis Audit Energi

Menurut Parlindungan Marpaung (2014), jenis audit energi dibedakan berdasarkan tingkat kedalaman yang dihasilkan terbagi menjadi 3 (tiga) yaitu: *Walk-Through* Audit (Pengamatan Singkat/Audit Energi Singkat), *Preliminary* Audit (Audit Energi Awal), dan *Detailed* Audit (Audit Energi Terinci).

1. Pengamatan singkat atau audit energi singkat (AES)

AES adalah audit energi dengan tingkat kegiatan paling rendah (level 1). Aktifitasnya mengumpulkan data yang bersifat umum, pengamatan singkat secara visual dan wawancara. Analisis dan evaluasi data sistem pemanfaat energi bersifat sangat dasar, intensitas pemakaian energi dan kecenderungannya, serta *benchmark* intensitas energi rata-rata terhadap perusahaan sejenis dan menggunakan peralatan atau teknologi serupa untuk mendapatkan gambaran umum pengelolaan energi.

2. Audit Energi Awal (AEA)

AEA merupakan audit energi level 2 dari tingkat kegiatan audit energi untuk mengetahui besarnya potensi penghematan energi, data dan informasi yang digunakan didasarkan hasil pengukuran/sesaat. AEA terdiri dari dua bagian yaitu

a. Survei manajemen energi

Surveyor atau auditor energi mencoba untuk memahami kegiatan manajemen yang sedang berlangsung dan kriteria putusan investasi yang mempengaruhi proyek konservasi.

b. Survei energi (teknis)

Bagian teknis AEA mengulas kondisi dan operasi peralatan dari pemakai energi yang penting (misalnya sistem uap) serta instrumentasi yang berkaitan dengan efisiensi energi. AEA akan dilakukan dengan menggunakan sesedikit mungkin instrumentasi portable. Auditor energi akan bertumpu pada pengalamannya dalam mengumpulkan data yang relevan dan mengadakan observasi yang tepat, memberikan diagnosa situasi energi pabrik secara cepat. AEA sangat berguna untuk mengenali sumber-sumber pemborosan energi dan tindakan-tindakan sederhana yang dapat diambil untuk meningkatkan efisiensi energi dalam jangka pendek.

Contoh tindakan yang dapat diidentifikasi dengan mudah ialah hilang atau cacatnya insulasi, kebocoran uap dan udara-tekan, peralatan yang tidak dapat digunakan, kurangnya kontrol yang tepat terhadap perbandingan udara dan bahan bakar di dalam peralatan pembakar. AEA seharusnya juga mengungkapkan kurang sempurnanya pengumpulan dan penyimpanan analisa data, dan area dimana pengawasan manajemen perlu diperketat. Hasil yang khas dari AEA ialah seperangkat rekomendasi tentang tindakan berbiaya rendah yang segera dapat dilaksanakan dan rekomendasi audit yang lebih ekstensif untuk menguji dengan lebih teliti area pabrik yang terpilih.

3. Audit Energi Terinci (AET)

Audit Energi Terinci (AET) merupakan audit energi level ketiga dan tertinggi dalam kegiatan audit energi. Audit ini lebih mendalam dengan lingkup yang lebih luas, rekomendasi didasarkan atas kajian engineering dengan urutan prioritas yang jelas. Output audit terinci adalah uraian lengkap tentang jenis dan sumber energi, rugi-rugi energi, faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi energi, karakteristik operasi peralatan/sistem energi, potensi penghematan energi berdasarkan analisis data secara lengkap dan rekomendasi.

Selain mengumpulkan data pabrik dari catatan yang ada, instrumentasi portable digunakan untuk mengukur parameter operasi yang penting yang dapat membantu team mengaudit energi dalam neraca material dan panas pada peralatan proses. Uji sebenarnya yang dijalankan serta instrumen yang diperlukan

bergantung pada jenis fasilitas yang sedang dipelajari, serta tujuan, luas dan tingkat pembiayaan program manajemen energi. Perbandingan level kedalaman kegiatan audit energi dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Level Kedalaman Audit Energi

Aktifitas	Level Audit		
	Level 1	Level 2	Level 3
Mengumpulkan data energi dan wawancara	X ¹⁾	X ¹⁾	X ¹⁾
Dokumen teknis	-	X	X
Interview	-	X	X
Pengukuran peralatan utama	-	X	X
Pengukuran semua level	-	-	X
Evaluasi dasar sistem teknis	X	X	X
Heat balance	-	X ¹⁾	X ¹⁾
Potensi penghematan	X	X	X
Usulan investment : <i>guiding</i>	-	X	-
Usulan investment : <i>well-grounded</i>	-	-	X

1) mungkin jika meter energi terpasang

Sumber : *Persiapan Proses Audit Energi Ir. Parlindungan Marpaung, 2014*

Penentuan jenis audit energi ditentukan berdasarkan beberapa faktor yaitu target penghematan energi, lingkup area, kedalaman audit (analisis data) yang diperlukan, dan sumber daya yang tersedia.

2.2.3. Target dan Sasaran Audit Energi

Target yaitu besaran penghematan energi yang ingin dicapai sedangkan sasaran yaitu cakupan area kegiatan audit energi yang dibatasi berdasarkan target penghematan dan kemampuan melakukannya (*Parlindungan Marpaung, 2014*).

1. Penentuan Target

Penentuan Target dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu :

a. Tanpa Kriteria

Metode ini sulit atau terlalu mudah dicapai karena metode ini menentukan target tanpa pertimbangan internal maupun eksternal.

b. Berdasarkan Informasi Internal

Cara ini adalah cara yang terbaik dalam menentukan target penghematan energi yang digunakan karena target yang didapatkan berdasarkan informasi *baseline* EEI (*Energy Efficiency Index*) atau rekomendasi hasil audit energi.

c. Berdasarkan Informasi External

Penentuan target dengan cara ini berdasarkan *benchmarking* (EEI) dengan perusahaan yang sejenis. Misalnya EEI adalah 425 kWh/kg, sedangkan di perusahaan lain yang sejenis industrinya memiliki EEI rata – rata 400 kWh/kg, EEI tertinggi 450 kWh/kg dan EEI terbaik yaitu 350 kWh/kg. Maka target dapat diset misalnya 400 kWh/kg.

2. Target Penghematan Audit Energi

Target Penghematan Audit Energi harus dinyatakan secara spesifik pada area tertentu dengan besaran yang dapat dijangkau dalam suatu periode yang ditentukan. Target memiliki beberapa persyaratan yang harus dipenuhi yaitu :

- a. Harus sesuai dan memenuhi kriteria kebijakan perusahaan
- b. Besarnya target harus realistis
- c. Target harus terukur dan bisa dilakukan
- d. Mendapat dukungan dari seluruh unit kerja terkait.

3. Metoda Penentuan Target & Sasaran

Berdasarkan Pedoman Teknis Audit Energi (2011), sasaran dan target ditetapkan melalui analisis data. Metoda penentuan target dan sasaran yaitu:

a. Intensitas Konsumsi Energi/*Goal Seek Method*

Intensitas Konsumsi Energi merupakan parameter utama yang harus dicari dan ditentukan, baik pada sistem proses produksi maupun pada peralatan *utility*. Dengan besaran/nilai IKE tersebut dapat dikembangkan menjadi formulasi dan simulasi analisis peluang penghematan energi dirumuskan dengan:

$$IKE = \frac{\text{Total energi steam yang dikonsumsi (Gj)}}{\text{Total massa bahan yang dihasilkan (Adt)}} \dots 1$$

b. Distribusi Pareto/*Pareto Chart*

Merupakan grafik yang dapat dijadikan alat/*tools* untuk menentukan permasalahan utama atau identifikasi masalah inti. Mekanisme pendekatan masalah menggunakan *pareto chart*, sebagai berikut :

- 1) Tentukan karakteristik mutu, misalnya teknologi pengguna energi terbesar sebagai kunci untuk diasumsikan bahwa persentase penghematan yang akan diperoleh memiliki nilai energi yang besar, meskipun untuk sementara belum

diketahui berapa persen potensi hemat energi yang akan didapat. Apabila presentase potensi yang diperoleh kecil, dikalikan dengan kapasitas yang besar, maka nilai yang diperoleh cukup signifikan.

- 2) Untuk memperoleh bobot pengguna energi terbesar, maka dilakukan stratifikasi objek peralatan.
- 3) Dari hasil stratifikasi diperoleh sebaran objek/peralatan pengguna energi mulai pengguna energi terbesar hingga ke objek yang terkecil.

c. Metode 5W + 1H

Digunakan untuk mencari akar masalah, sumber pemborosan dikonversi menjadi potensi hemat energi pada peralatan pengguna energi yang telah ditentukan dari hasil *pareto chart*. Mekanisme metode 5W + 1H, sebagai berikut :

- 1) *Where* ; untuk menentukan dimana sumber yang berpotensi terjadinya pemborosan energi.
- 2) *What* ; untuk mengidentifikasi apa yang menyebabkan hingga terjadinya pemborosan energi.
- 3) *Why* ; untuk mengidentifikasi penyebab hal itu terjadi.
- 4) *Who* ; untuk mengidentifikasi siapa yang menjadi *trigger* (aktor utama) terjadinya potensi pemborosan energi pada peralatan yang sedang diteliti. Analisa berdasarkan 5M (*Man/Manpower, Machine, Material, Metode, Mother Nature/Lingkungan Kerja*).
- 5) *When* ; untuk mengidentifikasi waktu terjadinya masalah, dapat didiskusikan dengan operator apakah kejadiannya bersifat siklus, tidak menentu ataukah ada pengaruh dari proses operasi peralatan lain.
- 6) *How* ; Bagaimana mengatasi akar masalah (sumber pemborosan yang dapat dikonversi menjadi potensi/peleuang hemat energi) tersebut.

d. Metode pengamatan, pengukuran dan pemeriksaan

1) Metode pengamatan (observasi)

Maksud observasi adalah melihat secara langsung fisik dan kelainan yang terjadi pada peralatan energi, jenis teknologi peralatan yang digunakan sudah hemat energi serta mengetahui kondisi operasi, pemeliharaan apakah sudah sesuai dengan prosedur yang berlaku.

Beberapa metode observasi yang dilakukan yaitu:

a) Observasi langsung

Observasi langsung dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi fisik peralatan energi, data operasi (P,T) dan pemeliharaan.

b) Observasi instalasi

Kerugian energi sering terjadi dalam praktek mulai dari yang kecil hingga ukuran yang cukup besar seperti bocoran uap, radiasi panas dll yang dapat terjadi karena masalah instalasi dan pemeliharaan. Jika dihitung dalam satu tahun dapat mencapai nilai ratusan hingga ribuan juta rupiah pertahun.

2) Metoda pengukuran

Untuk melihat efektifitas, dan performansi operasi peralatan yang ada. Data-data primer (pengamatan langsung dan hasil pengukuran) dan data sekunder (*log-sheet* dan hasil wawancara) sangat diperlukan untuk membantu di dalam analisa Neraca Massa dan Energi (*Mass & Heat Balance*). Hasil pengukuran yang diambil berdasarkan pertimbangan peningkatan efektifitas dan efisiensi peralatan (menghindari terjadinya penurunan performa akibat efek kegiatan efisiensi energi). Metoda pengukuran dapat menggunakan instrumen ukur audit energi seperti *thermogun*, *clamp meter*, *water flow meters*, dll.

3) Metoda pemeriksaan

Metoda pemeriksaan didasarkan analisis suara melalui visual, alat ukur pendengar (*sound device*) dan *infra red (thermography)*. Setelah dilakukan pemeriksaan *steam trap*, jika berfungsi dengan baik/normal suara yang dihasilkan adalah siklus, dan dengan menggunakan alat pendengar (*sound device*) seseorang dapat mendengarkannya secara fisik. Alat pendengar suara sangat bervariasi dalam hal kecanggihannya mulai dari yang sederhana seperti *handmade steel welding rod* hingga yang canggih seperti *ultrasonic testing equipment*.

2.2.4. Pengumpulan Data Audit Energi

Pengumpulan data merupakan aktifitas kegiatan audit energi dalam mengumpulkan berbagai kebutuhan data yang dapat mendukung analisis dalam penggunaan energi baik data sistem manajemen energi maupun data di lapangan.

Sistem manajemen energi terdiri dari *senior management*, *manager/engineer (plant engineer)*, dan operator. Pengumpulan data dilakukan dengan mewawancarai pihak terkait baik dari segi pertanyaan penggunaan energi, bahan baku, produk yang dihasilkan, spesifikasi peralatan, serta informasi-informasi pendukung lainnya. Sedangkan pengumpulan data di lapangan dilakukan dengan berbagai aktifitas seperti melihat, mencatat, mengukur, wawancara dan diskusi. Data yang dikumpulkan berupa data primer, data sekunder, data historis, data teknis, serta informasi lainnya.

1. Data primer merupakan data yang didapat dari sumber pertama baik dari individu seperti hasil pengisian kuesioner maupun pengukuran. Data primer dapat berupa data primer sistem kelistrikan, data primer sistem termal serta data primer proses produksi.
2. Data sekunder merupakan data primer yang telah diolah lebih lanjut yang disajikan baik oleh pengumpul data primer atau pihak lain.
3. Data historis merupakan informasi umum tentang obyek audit konsumsi energi beberapa tahun terakhir.
4. Data teknis merupakan data tentang peralatan utama pemanfaat energi seperti kapasitas, jumlah unit serta *performance* (aktual dan *design*).
5. Informasi lain berupa konsumen energi utama, tingkat produksi, beban peralatan, jam kerja, standar (SOP) yang digunakan, petugas energi, kompetensi, sistem manajemen energi, pemeliharaan (jadual dan pelaksanaan) serta indikator keberhasilan kinerja.

2.2.5. Analisis Data Audit Energi

Analisis data audit energi digunakan untuk mengetahui lebih detail tentang penggunaan energi, sistem manajemen energi berdasarkan data audit (historis, spesifikasi teknis, pengukuran, observasi, data operasi, dan acuan lain seperti standar dan *benchmark*). Teknik analisis data dilakukan dengan cara membuat matrik manajemen energi, tabulasi data, penggambaran data, *benchmarking*, analisis statistik, kecenderungan, kinerja sistem energi, faktor yang mempengaruhi kinerja, diagram sebab akibat serta *cost benefit*.

1. Matrik manajemen energi

Matriks manajemen energi terdiri dari 6 kolom dan 5 baris, dimana:

- a. Setiap kolom berkaitan 1 dari 6 aspek manajemen energi dalam organisasi.
- b. Baris matrik menggambarkan posisi penerapan manajemen energi organisasi.
- c. Semakin ke atas baris dalam tiap kolom semakin baik pengendalian aspek manajemen energi di organisasi tersebut.

Matrik manajemen energi yang menggambarkan profil organisasional yaitu status implementasi sistem manajemen energi organisasi dapat dilihat pada tabel 2.

Analisis profil organisasional mengindikasikan kekuatan dan kelemahan dari manajemen energi. Terdapat lima tingkat, "0-4", yang menggambarkan tingkatan terburuk hingga terbaik. Bentuk yang berbeda dari profil organisasional berarti permasalahan yang berbeda untuk pengambilan tindakan. Baris 0 s/d 4 merepresentasikan tingkat perbaikan status masing-masing isu manajemen energi. Tujuan penerapan matriks untuk memetakan level/status diri.

1) Level 0

Pada level ini manajemen energi belum menjadi agenda organisasi. Artinya tidak ada kebijakan manajemen energi, tidak ada struktur manajemen energi formal, tidak ada pelaporan, tidak ada orang yang khusus menangani energi.

2) Level 1

Status pada level ini sudah selangkah lebih maju dalam manajemen energi. Namun perusahaan belum memiliki kebijakan resmi tentang manajemen energi. Penugasan/penunjukan manajer energi sudah dilakukan. Manajer energi mempromosikan kesadaran energi melalui jaringan informal yang longgar dan berhubungan langsung dengan konsumsi energi. Manajer memberikan saran dan rekomendasi perbaikan efisiensi energi.

3) Level 2

Pentingnya manajemen energi sudah dipahami oleh pihak manajemen senior di perusahaan. Akan tetapi dalam prakteknya komitmen atau dukungan dalam aktifitas manajemen energi belum ada.

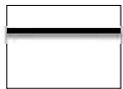
4) Level 3

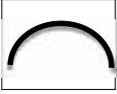
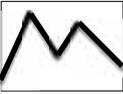
Manajer senior perusahaan sudah memahami nilai dan manfaat program penghematan energi. Isu konsumsi energi sudah masuk secara terintegrasi dalam struktur organisasi. Sistem informasi dan pelaporan yang lengkap juga sudah diterapkan dan sistem manajemen energi dan investasi sudah disetujui.

5) Level 4

Pada level ini konsumsi energi sudah merupakan prioritas utama di seluruh organisasi. Kinerja aktual dipantau secara rutin dan dibandingkan dengan target, keuntungan finansial dari setiap langkah-langkah efisiensi dihitung. Pencapaian dibidang manajemen energi dilaporkan dengan baik dan konsumsi energi dihubungkan dengan isu lingkungan hidup. Manajer senior sangat berkomitmen dengan efisiensi energi. Diagnosa umum dari bentuk matrik manajemen energi menurut Parlindungan Marpaung dapat dilihat pada tabel 3. Setelah status manajemen energi dalam organisasi (profil organisasional) diketahui, maka kelemahan dan kelebihan dari tiap elemen sistem manajemen energi sudah diketahui. Rekomendasi perbaikan dibuat sesuai potret profil organisasional manajemen energi tersebut yaitu: menggeser profil organisasional ke level atas dan menyeimbangkan level masing-masing isu pada kolomnya.

Tabel 3. Diagnosa Umum Bentuk Matrik Manajemen

No	Bentuk	Diskripsi	Diagnosa
1	 Seimbang Tinggi	Nilai 3 atau lebih pada semua kolom	Kinerja sangat bagus, masalahnya adalah dalam mempertahankannya
2	 Seimbang Rendah	Nilai Kurang dari 3 pada semua kolom	Terjadi kemandekan/stagnasi
3	 Bentuk U	Ada 2 kolom di dalam nilai rendah	Ekspektasi menaik

4		Ada 2 kolom diluar nilai rendah	Pencapaian di tengah sia-sia
	Bentuk N		
5		Ada 1 kolom sangat rendah dibanding lain	Pencapaian yang sangat rendah pada kolom ini akan menghambat keberhasilan
	Bentuk V		
6		Ada 1 kolom sangat tinggi dibanding lain	Usaha pada area ini akan sia-sia karena kekurangan pada area-area yang lain
	Bentuk Puncak		
7		Ada 2 atau 3 kolom mempunyai nilai kurang dari 2	Semakin besar ketidakseimbangan akan semakin sulit mengatasinya
	Tidak Seimbang		

Sumber : HAKE Ir. Parlindungan Marpaung (Melakukan Audit Energi di Industri),2014

2. Analisis Data Historis

Analisis data historis dilakukan dengan membuat tabulasi data, pengelompokkan data serta penggambaran data (bentuk gambar/grafik), baik data sistem kelistrikan maupun data sistem termal.

3. Analisis Teknis

Analisis teknis dilakukan dengan menganalisa kondisi operasi produksi, neraca energi, serta potensi penghematan energi.

4. Analisa Biaya/Cost

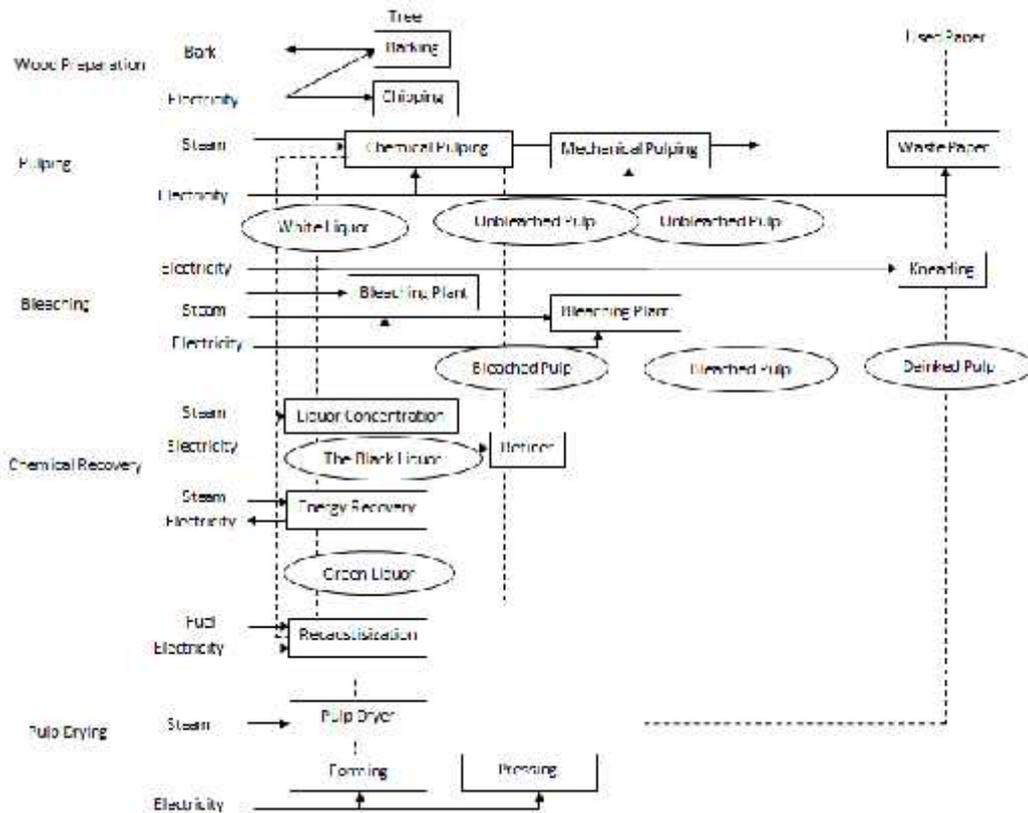
Dalam langkah-langkah perbaikan manajerial sebagai rekomendasi audit energi seperti perbaikan operasi, pemeliharaan, pemasangan alat ukur, pelatihan, penggantian atau modifikasi alat harus mempertimbangkan analisa ini, terutama jika implementasi tersebut dimaksudkan dalam kategori *Bussines*. Analisa biaya mempertimbangkan besaran dari potensi penghematan energi terhadap investasi yang harus dikeluarkan untuk menjalankan proyek tersebut. Terutama jika proyek tersebut hanya melihat dari segi potensi penghematan energi, kemungkinan untuk menjalankan proyek tersebut sangatlah kecil jika investasi yang harus dikeluarkan tinggi. Namun jika proyek tersebut dimaksudkan untuk memenuhi kewajiban ke

Lingkungan Hidup sesuai peraturan pemerintah dapat menambah peluang untuk pelaksanaan proyek tersebut dengan mempertimbangkan *cost–benefit ratio*.

2.3. Gambaran Umum Penggunaan Energi di Industri *Pulp*

Industri *pulp* merupakan salah satu sektor industri dengan intensitas energi yang tinggi. Karakteristik teknologi yang digunakan untuk industri *pulp* bergantung dari jenis bahan baku, proses pembuatan *pulp* dan kualitas produk yang dihasilkan. Setiap proses pada pembuatan *pulp* memerlukan energi yang berasal dari bahan bakar seperti minyak, LNG, listrik, *black liquor*, dan biomassa. Energi input tersebut digunakan untuk membangkitkan *steam* atau listrik yang sebagian besar digunakan di proses pembuatan *pulp*. Listrik digunakan untuk menggerakkan mesin–mesin produksi dan *steam* sebagai energi utama dalam proses pengeringan dan sebagai pendukung pada proses kimia. Dari alur distribusi energi tersebut, energi listrik dan *steam* merupakan jenis energi yang paling signifikan penggunaannya. Dalam hal ini, distribusi kuantitas konsumsi tiap jenis energi akan sangat dipengaruhi oleh jenis proses dan peralatan yang digunakan.

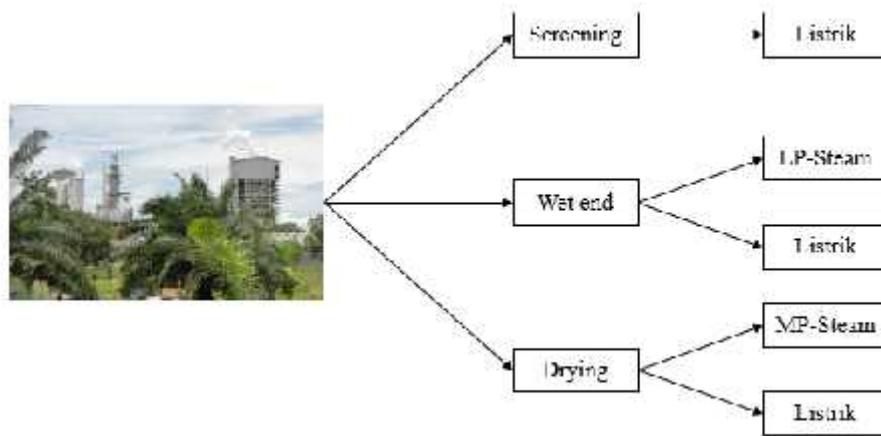
Penggunaan energi di proses utama dalam pembuatan *pulp* meliputi energi panas dalam bentuk *steam* dan energi mekanik yang berasal dari listrik. Dari keseluruhan proses, penggunaan energi panas mencapai 70–80% dari total energi yang dikonsumsi, dimana sebagian besar energi digunakan di proses *pulping* dan pengeringan/*drying* (PT. *Energy Management Indonesia (Persero)*, 2011). Pada industri *pulp* area *cooking bleaching* merupakan proses utama dalam pembuatan *pulp* dan area ini juga paling banyak mengkonsumsi energi terutama energi *steam*. Skema distribusi energi pada masing–masing proses industri *pulp* dapat dilihat pada gambar 2.



Sumber : PT. Energy Management Indonesia (Persero)

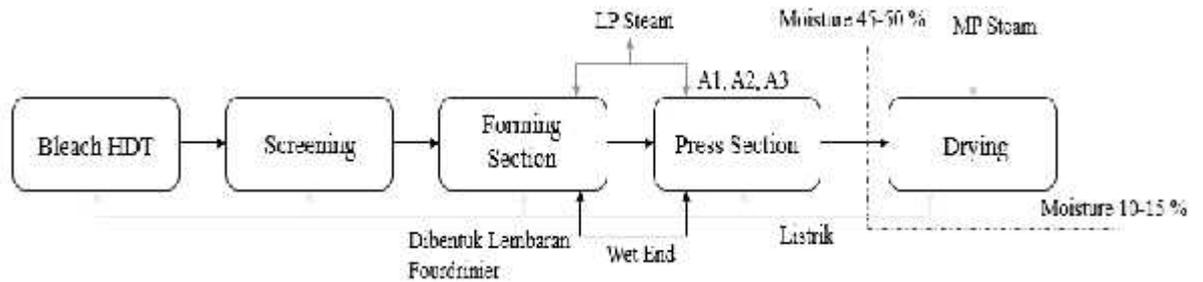
Gambar 2. Distribusi Energi Pada Masing – masing Proses Industri Pulp

Pemetaan energi area *pulp machine* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pemetaan Energi Area *Pulp Machine*

Pemetaan energi area *pulp machine* dengan sumber energi yang digunakan berasal dari energi LP-steam dan MP-steam serta energi listrik yang digunakan sebagai penggerak mesin-mesin produksi dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pemetaan Energi *Steam* dan Listrik Pada Area *Pulp Machine*

Pulp yang sudah di *bleaching* (*bleach stock*) pada *high density tower* (HDT), diencerkan hingga konsistensi $\pm 4\%$. Kemudian dipompakan menuju proses *screening* untuk dilakukan penyaringan *pulp* yang bertujuan untuk memisahkan kotoran-kotoran dari serat kayu, kotoran yang akan dipisahkan dari *pulp* seperti pasir, logam, plastik dan karet. *Pulp* yang telah melewati proses penyaringan kemudian disimpan dalam *machine chest* sebelum masuk proses *forming section*. Pada proses *forming section*, *pulp* dibentuk menjadi lembaran *pulp* pada *forming table*. Air yang terkandung dalam buburan *pulp* tersebut akan jatuh sendirinya karena adanya gaya gravitasi bumi sehingga konsistensi menjadi 9-12% sebelum masuk ke proses *vacuum foil box*.

Setelah itu buburan akan melewati daerah *foil box* yang dihubungkan dengan pipa *vacuum* untuk mengeluarkan air dari lembaran *pulp* dimulai dari *vacuum* yang rendah sampai ke daerah *vacuum* yang kuat. Lembaran *pulp* kemudian dipanasi dengan uap panas dari *steam box* untuk menaikkan temperatur sebelum masuk ke dalam *press section*. *Pulp press* merupakan proses untuk menaikkan kekeringannya antara 30-35% dalam proses pengepressan awal, *pick up roll* sudah dilengkapi zona *vacuum* sebanyak 2 bagian sehingga lembaran *pulp* yang melewati pres awal dengan sendirinya akan terbawa oleh hisapan *vacuum* dari *pick up roll* ke pres yang kedua. Pada proses pres yang kedua *pick up roll* dan *roll press* yang kedua dilengkapi dengan *felt* (selendang), sebagai penghisap/penangkap air, pada pres kedua kekeringan *pulp* sekitar 42% kemudian *pulp* masuk ke bagian pres yang terakhir yang juga dilengkapi dengan *felt* (selendang) dengan kekeringan *pulp* akhir pada proses *wet end* sesudah dilakukan

pengepressan terakhir dapat dicapai sekitar 50-55% moisture dengan temperatur 55-75 °C.

Pulp yang telah melewati proses *wet end* selanjutnya akan dilakukan proses *dryer* dengan menggunakan udara panas untuk mengeringkan dan menyokong lembaran *pulp* basah/lembab. *Pulp* yang masih lembab dimasukan ke dalam *dryer* melalui *deck* paling atas dan diteruskan dengan bantalan udara secara horizontal/mendatar sepanjang *dryer* sampai keluar dari *dryer* bagian paling bawah. Pada proses *dryer* udara panas yang digunakan terlebih dahulu dipanaskan menggunakan MP Steam yang masuk ke dalam *heating coil* kemudian udara dihembuskan dengan *fan-fan* dari sisi dinding *dryer* untuk dilakukan pemanasan melewati *heating coil* kemudian udara panas dihembuskan ke dalam *blow box* yang akan mendistribusikan udara panas kepermukaan lembaran *pulp* dan juga untuk mengapungkan lembaran *pulp* tersebut pada jarak yang tetap/seimbang. Dari proses *dryer* ini, lembaran *pulp* terakhir sebelum masuk ke bagian pengemasan memiliki kandungan air sekitar 10%.

2.4. Intensitas Penggunaan Energi di Industri *Pulp* dan Kertas

Intensitas energi di industri *pulp* dan kertas dapat dilihat pada tabel 4 yang ditentukan oleh beberapa faktor antara lain teknologi, bahan baku, *product mix*, dan tingkat kapasitas produksi. Dibandingkan industri kertas, industri *pulp* dapat menggunakan hampir seluruh *byproduct*-nya (*black liquor* dan biomassa) untuk memenuhi kebutuhan energi bagi seluruh *mill*. Hal ini menyebabkan biaya energi per ton produk akan lebih rendah dibandingkan dengan industri kertas yang masih memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil.

Tabel 4. Intensitas Konsumsi Energi di Industri *Pulp* dan Kertas (2010)

Industri	Jenis Produk	IKE <i>Steam</i> (GJ/ton)	IKE Listrik (kWh/ton)
Kertas	<i>Market Pulp</i>	18,5	680
	<i>Corrugated</i>	21,9	731
	<i>Cigarette</i>	8,9	1569
	<i>Container Board</i>	7,1	531,7
	Kertas Berharga	9,9	897
	<i>Liner</i>	5,4	557
	<i>Newsprint</i>	5,8	1140
Pulp dan Kertas	<i>Pulp</i>	24,5	1036
Terintegrasi	Kertas	6,6	642,6
	<i>Tissue</i>	8,7	1230

Sumber : Hasil Audit Energi (2010) PT. Energy Management Indonesia (Persero) 2011.

Perbandingan penggunaan energi (*benchmark*) pada pembuatan *pulp* dan kertas di beberapa negara dapat terlihat pada tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Konsumsi Energi Industri *Pulp* dan Kertas di beberapa Negara

Unit Proses	Konsumsi Listrik (kWh/Ton)			Konsumsi <i>Steam</i> (ton <i>steam</i> / ton produk)		
	Scandinavia	Brazil	Jepang	Brazil (Mill A)		Jepang
				LPSteam	MPSteam	Total Steam
<i>Wood Handling</i>	60	24 – 32	-	-	-	-
<i>Fiber Line</i>	275	266 - 302	290	-	-	-
<i>Digester–</i>	-	-	-	0,55	0,72	1
<i>Bleaching, Chemical Plant</i>	-	-	-	0,04	0,85	0,4
<i>Pulp Drying</i>	120	-	-	2,6	0,48	-
<i>Recovery dan Utilitas</i>	-	304	-	-	-	-

Sumber : Laporan Audit Energi PT. TeL PP (2014)

2.5. Parameter Utama Analisis Audit Energi

2.5.1. Konsumsi Energi Listrik

Energi didefinisikan sebagai kemampuan suatu benda/alat untuk melakukan kerja atau usaha. Sedangkan energi listrik adalah energi yang ditimbulkan oleh muatan listrik (*statis*) sehingga mengakibatkan gerakan muatan listrik (*dinamis*). Dalam teorinya dicontohkan yaitu beda potensial (*tegangan*) menimbulkan (membutuhkan) energi untuk menggerakkan muatan elektron dari titik potensial rendah menuju titik potensial tinggi. Apabila dalam sebuah

rangkaian diberi potensial V sehingga menyebabkan aliran muatan listrik Q dan arus sebesar I , maka energi listrik yang diperlukan menurut Eugene C. Lister yaitu:

$$W = Q \times V \quad \dots 2$$

$$Q = I \times t \quad \dots 3$$

$$W = V \times I \times t \quad \dots 4$$

Dimana:

- W = Energi listrik dengan satuan Joule (J)
- Q = Muatan listrik dengan satuan Coulomb (C)
- V = Beda potensial dengan satuan volt (V)
- I = Kuat arus dengan satuan Ampere (A)
- t = waktu dengan satuan Second (s)

W merupakan energi listrik dalam satuan Joule. Dimana diketahui bahwa 1 Joule adalah energi yang diperlukan untuk memindahkan muatan sebesar 1 Coulomb ($6,24 \times 10^{18}$ muatan), dengan beda potensial sebesar 1 volt. Daya listrik didefinisikan sebagai energi listrik yang digunakan dalam satu satuan waktu. Daya listrik (P) dapat dirumuskan dengan:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V \times I \times t}{t} \quad \dots 5$$

maka rumus daya listrik dapat pula dituliskan:

$$P = V \times I \quad \dots 6$$

Daya listrik (P) merupakan bagian yang menggambarkan besarnya arus, hambatan, dan tegangan listrik dalam satu satuan waktu dengan satuan Joule/secon atau Watt. Dalam dunia kelistrikan, terdapat 3 jenis daya listrik yaitu: Daya Aktif (P), Daya Reaktif (Q) dan Daya Semu (S).

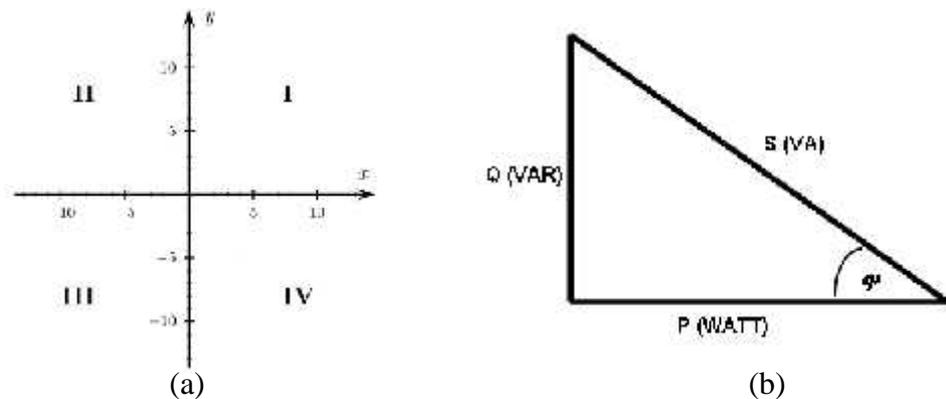
Ketiganya saling berkaitan dan berhubungan dalam Segitiga Daya.

Segitiga Daya atau *Power Triangle* adalah sebuah istilah yang menggambarkan hubungan antara 3 jenis daya listrik. Dalam hal ini yang memiliki hubungan adalah vektor dari daya–daya tersebut yang pada umumnya digambarkan dalam sebuah diagram kartesius (lihat Gambar 7a).

Pada dasarnya segitiga daya adalah hubungan antara dua vektor dari dua jenis daya yaitu daya aktif dan daya reaktif yang digambarkan ke dalam diagram kartesius. Daya aktif adalah daya nyata (*real*), vektor untuk daya aktif selalu

bernilai positif. Pada diagram kartesius vektor daya aktif berada pada sumbu horizontal (x-axis). Sementara daya reaktif adalah daya imajiner, vektor untuk daya reaktif bisa bernilai positif atau negatif bergantung dari reaktansi X (induktor atau kapasitor). Pada diagram kartesius vektor daya reaktif berada pada sumbu vertikal (y-axis). Sedangkan daya semu merupakan resultan dari vektor daya aktif dan daya reaktif. Pada diagram kartesius digambarkan menyesuaikan dari vektor daya aktif dan daya reaktif yang hanya berada pada kuadran 1 dan 4 dikarenakan nilai daya aktif yang selalu bernilai positif.

Diagram kartesius hubungan vektor dari segitiga daya dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Diagram Kartesius (a) dan Segitiga Daya (b)

Maka dari itu rumus daya listrik menurut Eugene C. Lister adalah:

$$P = V \times I \times \cos \quad \dots\dots 7$$

$$Q = V \times I \times \sin \quad \dots\dots 8$$

$$S = V \times I \quad \dots\dots 9$$

dimana:

- P = daya aktif (Watt)
- Q = daya reaktif (VAR)
- S = daya daya semu (VA)
- Cos = faktor daya

Sistem instalasi listrik berdasarkan kawat fasa yang digunakan dibedakan menjadi dua yaitu sistem instalasi listrik 1 fasa dan sistem instalasi listrik 3 fasa. Kawat fasa merupakan kawat penghantar listrik pada sistem listrik arus bolak balik (AC)

yang dialiri arus listrik dimana fasanya selalu berubah, sehingga arus yang mengalir pada kawat penghantar tersebut selalu berubah dari 0 ke (+) ke 0 ke (-).

1. Sistem Instalasi Listrik 1 Fasa

Sistem 1 fasa adalah sistem instalasi listrik yang menggunakan dua kawat penghantar yaitu 1 kawat fasa dan 1 kawat 0 (netral). Maksudnya 1 *phase* berarti 1 kabel bertegangan dan 1 kabel netral, umum 220 V digunakan banyak orang.

2. Sistem Instalasi Listrik 3 Fasa

Sistem 3 fasa adalah sistem instalasi listrik yang menggunakan tiga kawat fasa dan satu kawat 0 (netral) atau kawat *ground*. Menurut istilah 3 *phase* yaitu 3 kabel bertegangan listrik dan 1 kabel netral umum bertegangan 380 V yang digunakan di industri/pabrik. Berikut ini persamaan daya listrik dengan instalasi listrik 3 *phase* menurut Eugene C.Lister sebagai berikut:

$$P = V \times I \times 3 \times \cos \quad \dots 10$$

$$Q = V \times I \times 3 \times \sin \quad \dots 11$$

$$S = V \times I \times 3 \quad \dots 12$$

Catatan: Persamaan (10,11,12) inilah yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan konsumsi energi listrik aktual yang dibutuhkan motor listrik maupun pompa di industri.

2.5.2. Rugi Panas Akibat Konduksi dan Konveksi

1. Rugi panas Akibat Konduksi

Heat loss akibat konduksi yang terjadi pada dinding dapat dihitung dengan menggunakan persamaan J.P. Holman berikut ini:

$$Q_{\text{konduksi}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{th}}} = \frac{2 \pi k L \Delta T}{\ln(r_o - r_i)} \quad \dots 13$$

2. Rugi panas Akibat Konveksi

Heat loss akibat perpindahan panas secara konveksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan J.P. Holman berikut ini:

$$Q = h A (T - T_{\text{referens}}) \quad \dots 14$$

2.5.3. Kebocoran/Pemborosan Energi *Steam* pada Instalasi Pemipaan

Uap bocor sering terjadi dalam praktek mulai dari yang kecil ditandai dengan suara desis/pelan hingga yang cukup besar dengan semburan (*steam jet*) yang jelas terlihat. Jika dihitung dalam satu tahun ekuivalen kerugian bahan bakar akibat uap bocor dapat mencapai hingga ratusan atau ribuan liter bbm per tahun.

Pada instalasi pemipaan, variabel–variabel pemborosan energi *steam* yang dapat terjadi diantaranya:

1. Isolasi Pemipaan (rugi panas dari pipa tanpa isolasi, tebal isolasi optimal)

Isolasi menghasilkan penghematan biaya dan energi, namun dengan meningkatnya ketebalan isolasi tambahan jumlah energi dan biaya yang dapat dihemat menjadi menurun. Pada tingkatan tertentu, penambahan isolasi tidak lagi secara ekonomis dapat diterima. Menurut Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri, titik dimana jumlah isolasi memberikan pengembalian investasi terbesar dinamakan “ketebalan ekonomis isolasi” KEI yang dihitung berdasarkan:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| a. Biaya bahan bakar | e. Suhu operasi permukaan |
| b. Jam operasi setiap tahunnya | f. Diameter/tebal permukaan pipa |
| c. Kandungan panas bahan bakar | g. Perkiraan biaya isolasi |
| d. Efisiensi boiler | h. Suhu udara rata-rata di lingkungan |

Rugi panas dari pipa tanpa isolasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kehilangan panas konduksi. Biaya energi tambahan akibat kehilangan panas dapat dihitung dengan:

$$(H_f) = \frac{H_s \times \text{jam operasi setiap tahun}}{GCV \times \% \text{ boiler}} \quad \dots 15$$

$$\text{Biaya tahunan} = H_f \times \text{harga bahan bakar} \quad \dots 16$$

dimana:

H_f = kehilangan bahan bakar ekuivalen (kg/tahun)

GCV = nilai kalor kotor bahan bakar (kkal/kg)

2. Katup dan *Flange* (rugi panas dari katup/*flange* tanpa isolasi, bocor)

Rugi–rugi panas pada katup/*flange* tanpa isolasi dihitung dengan cara rugi panas akibat katup/*flange* tanpa isolasi *equivalent* dengan pipa telanjang. Misalnya pipa uap diameter 25 mm terdapat 4 katup tanpa isolasi. Suhu

permukaan 175°C . Kerugian panas dari katup tanpa isolasi pada pipa uap tersebut dihitung dengan mengukur panjang katup tanpa isolasi equivalent dengan panjang pipa tanpa isolasi. Jika panjang katup 1 m berarti rugi panas pipa tanpa katup sama dengan jumlah rugi panas pipa tanpa isolasi dengan panjang 1 m. Gunakan persamaan (13,15, dan 16) rugi panas pemipaan tanpa isolasi.

3. *Steam trap*

Sistem *steam* tidak dapat dikatakan lengkap tanpa adanya komponen penting '*steam trap*' yang secara harfiah berarti membersihkan kondensat (termasuk udara dan *non-condensable gas*) keluar sistem agar *steam* dalam kondisi kering untuk meningkatkan efisiensi termal dan ekonomis. Terdapat 3 tipe dasar *steam trap* yang diklasifikasikan oleh Standar Internasional ISO 6704:1982:

a. Termostatik (dioperasikan oleh perubahan suhu fluida)

Dalam ruang *steam*, *steam* menyerahkan entalpi penguapannya (panas) menghasilkan kondensat pada suhu *steam* akibat kehilangan panas, suhu kondensat akan turun. *Trap* termostatik akan dilewati kondensat bila suhu lebih rendah, begitu *steam* mencapai *trap* suhu meningkat dan *trap* tertutup.

b. Mekanis (dioperasikan oleh perubahan masa tipe fluida)

Kisaran *steam traps* beroperasi dengan perbedaan densitas *steam* dan kondensat. *Traps* tersebut terdiri dari '*trap* bola apung' dan '*trap* keranjang terbalik', bola naik dengan adanya kondensat, kran terbuka, yang dilewati kondensat yang lebih padat. Keranjang terbalik akan mengapung ketika *steam* mencapai *trap* dan naik menutup kran dengan metode operasi 'mekanik'.

c. Termodinamik (dioperasikan oleh perubahan dalam dinamika fluida)

Steam traps termodinamik mengandalkan pada pembentukan *flash steam* dari sebagian kondensat. Yang termasuk dalam kelompok ini adalah *steam traps* termodinamik, cakram, impuls dan labirin. *Steam traps* tidak menggunakan banyak energi, akan tetapi tidak berfungsinya *steam traps* dapat mengakibatkan kehilangan energi yang besar dalam sistem *steam*. Uji kinerja *steam traps* dilakukan dengan uji secara **visual**, **suara** (alat pendeteksi kebocoran ultrasonik, stetoskop mekanik, obeng atau batang pendengar dari logam), **suhu** (pistol inframerah, *pyrometer* permukaan, pita suhu, dan *crayon* suhu) dan **terintegrasi**

(alat sensor pengindra dipasang dalam *steam trap*, mendeteksi keadaan fisik media menggunakan konduktivitas).

4. *Flash steam*

Flash steam dilepaskan dari kondensat panas ketika tekanannya berkurang. Sebagai contoh, jika *steam* diambil dari sebuah boiler dan tekanan boilernya turun, maka kandungan air dalam boiler akan *flash off* untuk menambah 'kelangsungan hidup' *steam* yang dihasilkan oleh panas dari bahan bakar boiler. Jika *flash steam* akan digunakan, perlu diketahui berapa banyak *steam* ini akan tersedia. Jumlahnya ditentukan berdasarkan persamaan pada Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri, 2006 dengan rumusan berikut ini:

$$\% \text{ flash steam} = \frac{h_c - h_{fc}}{h_{fg}} \times 100\% \quad \dots\dots 17$$

$$m_{fs} = \frac{m_c (h_c - h_{fc})}{h_{fg}} \quad \dots\dots 18$$

dimana: h_c = panas sensibel kondensat pada tekanan yang lebih tinggi (kJ/kg)

h_{fc} = panas sensibel *steam* pada tekanan lebih rendah (kJ/kg)

h_{fg} = panas laten *flash steam* pada tekanan yang lebih rendah (kJ/kg)

m_{fs} = jumlah *flash steam* (kg/h)

m_c = jumlah kondensat (kg/h)

Contoh:

Kondensat masuk menuju *steam trap* sebagai air jenuh, pada tekanan 7 bar gauge dan suhu 170 °C. Jumlah panas spesifik dalam kondensat pada tekanan ini adalah 721 kJ/kg. Setelah melewati *steam trap*, tekanan dalam jalur kembali kondensat adalah 0 bar gauge. Pada tekanan ini, jumlah maksimum panas setiap kilogram kondensat yang dapat ditangkap adalah 419 kJ dan suhu maksimumnya 100 °C. Terdapat kelebihan panas sebesar 302 kJ yang menguapkan beberapa kondensat ke *steam*. Panas yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kg *steam* jenuh dari air untuk suhu yang sama pada tekanan 0 bar gauge adalah 2257 kJ. Persentase *flash steam* per kg kondensat dihitung sebagai berikut:

$$\% \text{ flash steam} = \frac{S1 - S2}{L2} \times 100\% = \frac{(721 - 419) \text{ kJ/kg}}{2257 \text{ kJ}} \times 100\% = 13,4\%$$