

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Audit Energi**

Audit energi merupakan langkah awal dalam melaksanakan pencatatan data-data pemakaian energi, mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan energi dan analisis kemungkinan penghematan energi, serta pembuatan perhitungan atas langkah-langkah yang diperlukan. Audit energi bertujuan mengetahui “Potret Penggunaan Energi” dan mencari upaya peningkatan efisiensi energi.

Audit energi juga diartikan sebagai 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. Tujuan audit energi ini dilakukan untuk memahami masalah penggunaan energi serta intensitas dan kinerja energi, potensi penghematan energi, manfaat dan langkah yang diperlukan (*Parlindungan Marpaung, 2014*).

Berdasarkan pengertian mengenai audit energi tersebut, dapat dilihat bahwa audit energi bertujuan untuk menentukan cara terbaik untuk mengurangi penggunaan energi per satuan *output* (produk) dan mengurangi biaya operasi maupun produksi dari suatu industri (*PT. Energy Management Indonesia, 2011*).

Dikeluarkannya kebijakan pemerintah mengenai penghematan energi dalam Undang – Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi, dan Instruksi 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 tersebut (*output*).

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

- a. Pemanfaatan energi oleh pengguna sumber energi dan pengguna energi wajib dilakukan secara hemat dan efisien.
- b. 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.
- c. Manajemen energi sebagaimana dimaksud dilakukan dengan:
  - menunjuk manajer energi
  - menyusun program konservasi energi
  - melaksanakan audit energi secara berkala
  - melaksanakan rekomendasi hasil audit energi
  - melaporkan pelaksanaan konservasi energi setiap tahun kepada menteri, gubernur, bupati/walikota sesuai dengan kewenangannya masing-masing.

### **2.1.1 Jenis Audit Energi**

Berdasarkan tingkat kedalaman yang dihasilkan, audit energi dibedakan menjadi:

- a. *Walk-Through Audit* (Pengamatan Singkat)

Merupakan audit energi dengan tingkat kegiatan paling rendah, yaitu level 1 (satu). Aktivitasnya adalah:

- Mengumpulkan data (bersifat umum), pengamatan singkat secara virtual dan wawancara.
- Analisis dan evaluasi data (sangat dasar) sistem pemanfaat energi, intensitas pemakaian energi dan kecenderungannya, serta *benchmark* intensitas energi rata-rata terhadap perusahaan sejenis dan menggunakan peralatan atau teknologi serupa.

Audit ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran umum pengelolaan energi.

b. Audit Energi Awal (*Preliminary Audit*)

Audit Energi Awal (AEA) merupakan level kedua dari tingkat kegiatan audit energi. Kegiatan ini dimaksudkan untuk mengetahui besarnya potensi penghematan energi. Kegiatan ini sedikit lebih lengkap dari audit level satu, data dan informasi yang digunakan sudah didasarkan dengan hasil pengukuran/sesaat.

AEA terdiri dari dua bagian, yaitu:

- Survei manajemen energi

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

- 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 terpilih.

c. Audit Energi Terinci

Audit Energi Terinci (AET) merupakan level ke-tiga dan tertinggi dalam kegiatan audit energi. Audit ini lebih mendalam dengan lingkup yang lebih luas, rekomendasi didasarkan atas kajian teknis dengan urutan prioritas yang jelas. Hasil dari 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.

AET biasanya akan membutuhkan beberapa minggu tergantung pada sifat dan kompleksitas pabrik. Selain mengumpulkan data pabrik dari catatan yang ada, instrumentasi *portable* digunakan untuk mengukur parameter operasi yang penting yang dapat membantu tim 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.

Tabel 1. Level Kedalaman Audit Energi

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

1) : mungkin jika meter energi terpasang

x : yang harus dilakukan dalam melaksanakan audit energi sesuai level

Sumber: Ir. Parlindungan Marpaung, 2014

Audit energi ditentukan berdasarkan beberapa faktor, yaitu:

- target penghematan energi,
- lingkup area,
- kedalaman audit (analisis data) yang diperlukan,
- sumber daya yang tersedia.

### 1) Target dan Sasaran Audit Energi

Target dalam hal ini adalah besaran penghematan energi yang ingin dicapai (%). Sedangkan sasaran berarti cakupan area kegiatan audit energi yang dibatasi berdasarkan target penghematan dan kemampuan untuk melakukannya. Untuk itu, target dan sasaran harus ditentukan terlebih dahulu dalam melakukan audit energi.

#### a. Penentuan Target

Hal ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, yaitu:

- Tanpa kriteria

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

- Berdasarkan informasi internal

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

- Berdasarkan informasi eksternal

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.

#### b. 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:

- Harus sesuai dan memenuhi kriteria kebijakan perusahaan
- Besarnya target harus realistis

- Target harus terukur dan bisa dilakukan
- Mendapat dukungan dari seluruh unit kerja terkait.

c. Metoda Penentuan Target dan Sasaran

Sasaran dan target ditetapkan melalui analisis Data. Adapun metoda dalam penentuan target dan sasaran yaitu :

1. 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 (boiler, chiller, compressor, pump, etc.)*. Dengan besaran/nilai IKE tersebut dapat dikembangkan menjadi formulasi dan simulasi analisis peluang penghematan energi.

$$IKE = \frac{\text{Total Energi yang dikonsumsi}}{\text{Total massa bahan yang dihasilkan}} \dots\dots\dots(1)$$

*Sumber: Kementerian Perindustrian, 2011*

2. 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 :

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

### 3. Metode 5W + 1H

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

- a) *Where* : untuk menentukan dimana sumber yang berpotensi terjadinya pemborosan energi.
- b) *What* : untuk mengidentifikasi apa yang menyebabkan hingga terjadinya pemborosan energi.
- c) *Why* : untuk mengidentifikasi penyebab hal itu terjadi.
- d) *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*).
- e) *When* : untuk mengidentifikasi waktu terjadinya masalah, dapat didiskusikan dengan operator apakah kejadiannya bersifat siklus, tidak menentu ataukah ada pengaruh dari proses operasi peralatan lain.
- f) *How* : Bagaimana mengatasi akar masalah (sumber pemborosan yang dapat dikonversi menjadi potensi/peluang hemat energi) tersebut.

### 4. Metode pengamatan, pengukuran dan pemeriksaan

- 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:

- Observasi langsung

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

- Observasi instalasi

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

- 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.*

- Metoda pemeriksaan

Metoda pemeriksaan didasarkan analisis suara dengan menggunakan visual, alat ukur pendengar (*sound device*) dan *infra red (thermography)*. Setelah dilakukan pemeriksaan (*steam trap*), jika *steam trap* 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) 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.

- a. 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.
- b. Data sekunder merupakan data primer yang telah diolah lebih lanjut yang disajikan baik oleh pengumpul data primer atau pihak lain.
- c. Data historis merupakan informasi umum tentang obyek audit konsumsi energi beberapa tahun terakhir.
- d. Data teknis merupakan data tentang peralatan utama pemanfaat energi seperti kapasitas, jumlah unit serta *performance* (aktual dan *design*).
- e. Informasi lain berupa konsumen energi utama, tingkat produksi, beban peralatan, jam kerja, standar (SOP) yang digunakan, petugas energi, kompetensi, sistem manajemen energi, pemeliharaan (jadwal dan pelaksanaan) serta indikator keberhasilan kinerja.

#### **2.1.4 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*.

- a. Matrik manajemen energi

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

- Setiap kolom berkaitan dengan satu dari enam aspek pilar manajemen energi dalam organisasi.
- Baris matrik menggambarkan posisi penerapan manajemen energi organisasi.
- Semakin ke atas baris dalam tiap kolom semakin baik pengendalian aspek manajemen energi di organisasi tersebut.

Analisis profil organisasional akan 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.

Bentuk matrik manajemen energi yang menggambarkan profil organisasional yaitu status implementasi sistem manajemen energi organisasi.

Baris 0 s/d 4 merepresentasikan tingkat perbaikan status masing–masing isu manajemen energi. Salah satu tujuan penerapan matriks adalah untuk memetakan level atau status diri.

- Level 0

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

- 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.

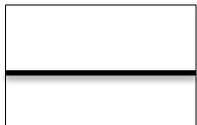
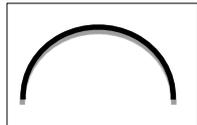
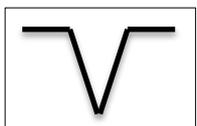
- Level 2  
Pentingnya manajemen energi sudah dipahami oleh pihak manajemen senior di perusahaan. Akan tetapi dalam prakteknya komitmen atau dukungan dalam aktifitas manajemen energi belum ada.
- Level 3  
Manajer senior perusahaan sudah memahami nilai dan manfaat program penghematan energi. Isu konsumsi energi sudah masuk secara terintegrasi dalam struktur organisasi. Sistem informasi dan pelaporan yang lengkap juga sudah diterapkan. Selain itu juga sudah disetujui sistem manajemen energi dan investasi.
- 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.

Tabel 2. Matrik Manajemen Energi

Tingkat	Kebijakan Energi	Tim Energi	Motivasi	Sistem Informasi	Pemasaran	Investasi
4	Kebijakan energi, rencana tindakan dan pratinjau rutin, memperoleh komitmen dari <i>top management</i> sebagai bagian dari strategi lingkungan	Manajemen energi telah sepenuhnya terintegrasi ke dalam struktur manajemen. Delegasi tanggung jawab yang jelas untuk konsumsi energi	Jalur informasi formal dan informal secara rutin dimanfaatkan oleh manajer energi dan staf energi pada semua level	Sistem yang komprehensif menetapkan target, memonitor konsumsi, mengidentifikasi kesalahan, mengkuantifikasi penghematan, dan menyediakan pelacakan anggaran	Memasarkan nilai efisiensi energi dan kinerja manajemen energi baik di dalam maupun di luar organisasi	Diskriminasi positif dalam mendukung skema “hijau” dengan penilaian investasi yang rinci dari semua peluang baru dan peluang yang diperbarui
3	Kebijakan energi formal, tapi bukan komitmen aktif dari <i>top management</i>	Manajer energi bertanggung jawab terhadap komite energi yang mewakili semua <i>user</i> , dipimpin oleh seorang anggota dewan manajer	Komite energi digunakan sebagai jalur utama bersama dengan kontak langsung dengan <i>user</i> utama	Laporan M&T untuk aset pribadi berdasarkan <i>sub-metering</i> , tetapi penghematan tidak dilaporkan secara efektif kepada <i>user</i>	Program kesadaran staf dan kampanye masyarakat secara rutin	Kriteria pengembalian yang digunakan sama seperti untuk semua investasi lain
2	Tidak mengadopsi kebijakan energi yang ditetapkan oleh manajer energi atau manajer departemen senior	Terdapat manajer energi, memberikan laporan kepada komite ad-hoc, tapi manajemen lini dan kewenangan tidak jelas	Kontak dengan <i>user</i> utama melalui komite ad-hoc yang dipimpin oleh manajer departemen senior	<i>Monitoring</i> dan <i>targeting</i> dilaporkan berdasarkan data pasokan <i>meter</i> , unit Energi memiliki keterlibatan ad-hoc dalam pengaturan anggaran	Ada pelatihan kesadaran bagi staf ad-hoc	Hanya investasi menggunakan kriteria pengembalian jangka pendek
1	Kumpulan pedoman tidak tertulis	Manajemen energi merupakan tanggung jawab paruh-waktu dari seseorang dengan otoritas atau pengaruh yang terbatas	Kontak informal antara enjinir dan beberapa <i>user</i>	Biaya dilaporkan berdasarkan data <i>invoice</i> . Enjinir memenuhi laporan untuk penggunaan internal di dalam departemen teknikal	Kontak informal digunakan untuk mempromosikan efisiensi energi	Hanya kebijakan berbiaya rendah yang diambil
0	Tidak ada kebijakan yang eksplisit	Tidak ada manajemen energi atau delegasi formal apapun mengenai tanggung jawab konsumsi energi	Tidak ada kontak dengan <i>user</i>	Tidak ada sistem informasi. Tidak ada perhitungan untuk konsumsi energi	Tidak ada promosi untuk efisiensi energi	Tidak ada investasi dalam peningkatan efisiensi energi

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

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

Sumber: Ir. Parlindungan Marpaung, 2014

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.

- Analisis Data Historis

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

- Analisis Teknis

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

- 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*.

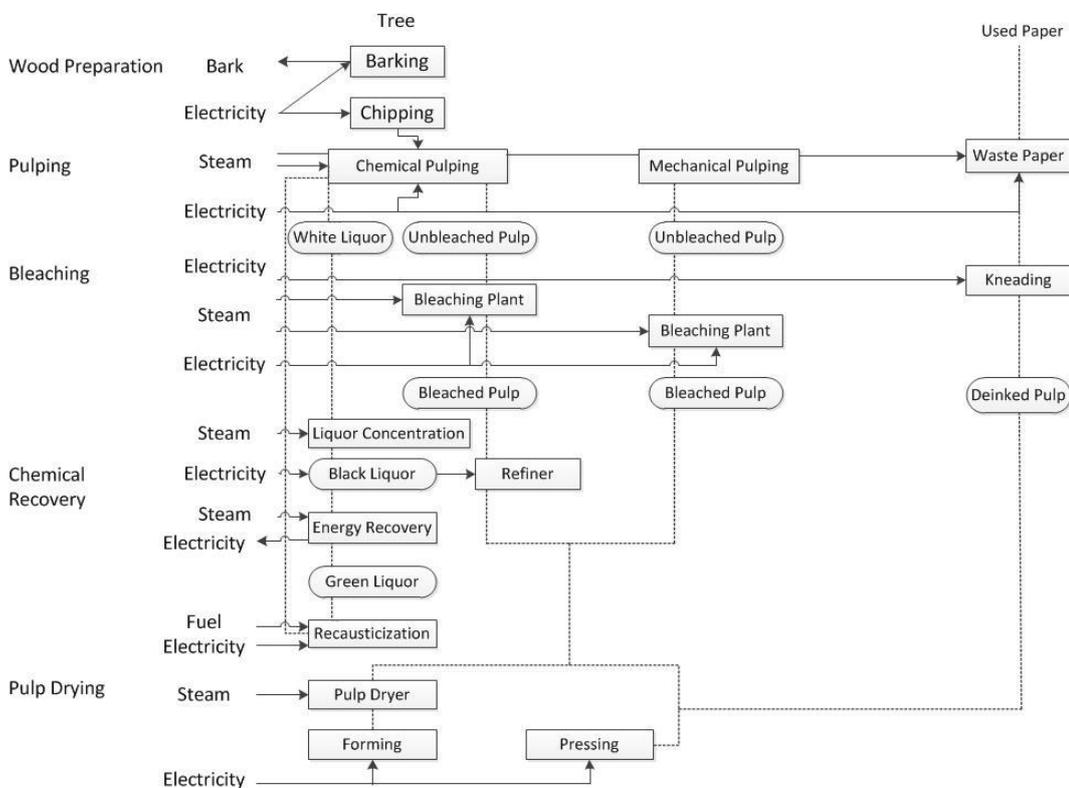
## **2.2 Gambaran Umum Penggunaan Energi di Industri *Pulp***

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. Berikut ini adalah distribusi energi listrik, bahan bakar dan distribusi *steam* yang digunakan pada proses pembuatan *pulp*.

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* (*digester*) dan pengeringan/*drying* (PT. Energy Management Indonesia (Persero), 2011).

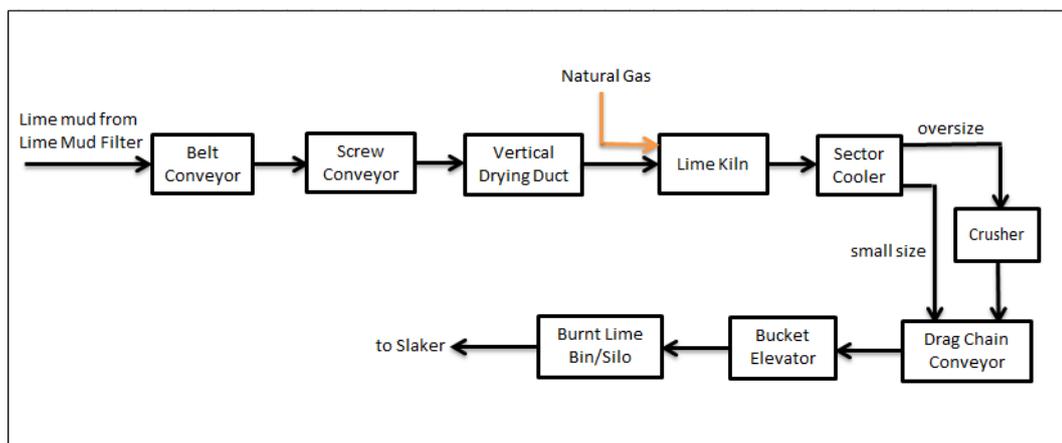


Sumber : PT. Energy Management Indonesia (Persero), 2011

Gambar 1. Distribusi energi pada masing – masing proses industri *pulp*

Pada industri *pulp* area *recausticizing and lime kiln* merupakan proses pendukung dalam pembuatan *pulp* yang mendaur ulang *black liquor* menjadi *white liquor* kembali dan menyediakan CaO untuk proses tersebut, area *lime kiln plant* juga merupakan satu-satunya yang masih menggunakan bahan bakar fosil berupa *natural gas* sebagai bahan bakarnya yang cukup besar penggunaannya sedangkan pada area *recausticizing plant* hanya menggunakan energi listrik sebagai penggerak motor-motornya. Oleh karena itu, fokus AET ini dilakukan pada area *lime kiln plant*.

#### Pemetaan Energi Area *Lime Kiln Plant*



Gambar 2. Pemetaan Energi Area *Lime Kiln Plant*

*Lime mud* yang berasal dari *lime mud filter* dan berwarna hijau diangkat menggunakan *belt conveyor* kemudian dilanjutkan menggunakan *screw conveyor* menuju ke *vertical drying duct*. *Screw conveyor* ini berfungsi sebagai alat pengangkut sekaligus pengatur jumlah *lime mud* yang akan masuk ke *lime kiln*. *Lime mud* ini dibawa menuju ke *vertical drying duct* untuk proses pengeringan awal menggunakan *flue gas* yang berasal dari *lime kiln* dengan cara *lime mud* yang masuk akan terangkat oleh *flue gas* bersama *dust* dari proses pembakaran yang terbawa oleh *flue gas* dan berputar-putar, oleh karena itu *vertical drying duct* juga biasa disebut *cyclone*. Setelah itu, *lime mud* masuk ke *lime kiln* secara *counter current* dengan bahan bakarnya berupa *natural gas* yang digunakan untuk membakar *lime mud* dengan temperatur tinggi (500°C – 1100°C). pembakaran ini juga menggunakan udara yang diambil menggunakan *primary air fan* dengan

temperatur *reference* atau temperatur lingkungan. *Lime mud* akan kontak langsung dengan api pembakaran di dalam *lime kiln* dan menghasilkan *burnt lime* (CaO) yang berwarna putih. Sebelum keluar dari *lime kiln*, *burnt lime* terlebih dahulu didinginkan di *sector cooler* dan selanjutnya diproses berdasarkan ukurannya. Apabila produk berbentuk bongkahan (*oversize*) maka perlu dilakukan pengecilan ukuran di *crusher* yang hasilnya akan bergabung dengan produk yang berukuran lebih kecil (*small size*) dan digeret menggunakan *drag chain conveyor* menuju *bucket elevator* dan selanjutnya dibawa menuju *burnt lime bin/silo*. *Burnt lime* yang disimpan di silo ini kemudian akan digunakan di *slaker* yang ada di *recausticing plant* sebagai bahan campuran *green liquor* agar dapat menjadi cairan pemasak berupa *white liquor* kembali.

### 2.3 Intensitas Penggunaan Energi di Industri *Pulp* dan Kertas

Intensitas penggunaan energi di industri *pulp* dan kertas bergantung pada beberapa faktor antara lain teknologi, bahan bakum *product mix*, dan tingkat kapasitas produksi. Industri *pulp* dapat menggunakan hampir seluruh *byproduct*-nya atau produk samping (*black liquor* dan biomassa) untuk memenuhi kebutuhan energi untuk keseluruhan *mill*, sedangkan pada industri kertas masih sangat bergantung pada energi penunjang lain berupa bahan bakar fosil. Hal ini menyebabkan biaya energi per ton produk industri *pulp* akan lebih rendah dibandingkan industri kertas.

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

Industri	Jenis Produk	IKE <i>Steam</i> (GJ/ton)	IKE Listrik (kWh/ton)
<i>Pulp</i>	<i>Market Pulp</i>	18,5	680
Kertas	<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
<i>Pulp</i> dan Kertas	<i>Pulp</i>	24,5	1036
Terintegrasi	Kertas	6,6	642,6
	<i>Tissue</i>	8,7	1230

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

Perbandingan penggunaan energi (*benchmark energy*) pada pembuatan *pulp* dan kertas di beberapa negara dapat dilihat pada Tabel 5.

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) LPSteam	Jepang MPSteam	Total Steam
<i>Wood Handling</i>	60	24 – 32	-	-	-	-
<i>Fiber Line</i>	275	266 - 302	290	-	-	-
<i>Digester– Bleaching, Chemical Plant</i>	-	-	-	0,55	0,72	1 0,4
<i>Pulp Drying</i>	120	-	-	0,04	0,85	-
<i>Recovery dan Utilitas</i>	-	304	-	2,6	0,48	-

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

## 2.4 Parameter Utama Analisis Audit Energi

### 2.4.1 Konsumsi Energi Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai kecepatan aliran energi listrik pada satu titik jaringan listrik tiap satu satuan waktu. Dengan satuan Watt atau Joule per detik dalam SI, daya listrik menjadi besaran terukur adanya produksi energi listrik oleh pembangkit, maupun adanya penyerapan energi listrik oleh beban listrik.

Daya listrik menjadi pembeda antara beban dengan pembangkit listrik, dimana beban listrik bersifat menyerap daya sedangkan pembangkit listrik bersifat mengeluarkan daya. Berdasarkan kesepakatan universal, daya listrik yang mengalir dari rangkaian masuk ke komponen listrik, maka daya tersebut bernilai negatif. Daya listrik ini sendiri terbagi menjadi tiga atau yang biasa disebut sebagai segitiga daya, yaitu daya nyata, daya semu, dan daya reaktif.

- Daya Nyata

Secara sederhana, daya nyata adalah daya yang digunakan konsumen setelah dikalikan  $\cos \phi$ . Daya nyata merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya.

$$\text{- Fasa ke netral (1 fasa) : } P = V \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{- Fasa ke fasa (3 fasa) : } P = V \times I \times \cos \phi \times \sqrt{3} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

P = daya nyata (Watt atau J/s)

V = tegangan (Volt)

I = arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

$\cos \phi$  = faktor daya

- Daya Reaktif

Secara sederhana, daya reaktif adalah daya yang timbul akibat beban reaktif (induktif/kapasitif). Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada pengantar dengan daya reaktif pada pengantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya dengan satuan Volt Ampere *Reactive* (VAR).

$$\text{- Fasa ke netral (1 fasa) : } Q = V \times I \times \sin \phi \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{- Fasa ke fasa (3 fasa) : } Q = Q = V \times I \times \sin \phi \times \sqrt{3} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

Q = daya reaktif (VAR)

V = tegangan (Volt)

I = arus (Ampere)

$\sin \phi$  = faktor daya

- Daya Semu

Daya semu adalah daya yang dihasilkan dari sumber energi listrik atau pembangkit listrik. Daya semu merupakan daya listrik yang melalui tegangan dan arus yang melalui penghantar dengan satuan Volt Ampere (VA).

$$\text{- Fasa ke netral (1 fasa) : } S = V \times I \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{- Fasa ke fasa (3 fasa) : } S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(7)$$

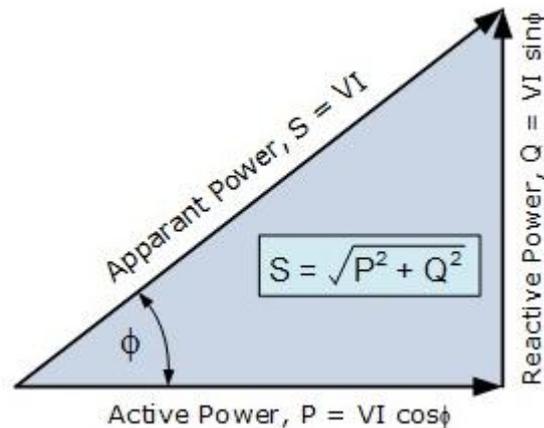
Keterangan:

S = daya semu (VA)

V = tegangan (Volt)

I = arus yang mengalir pada penghantar (Ampere)

Dari penjelasan ketiga macam daya diatas, dikenal juga sebagai segitiga daya. Dimana definisi umum dari segitiga daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat dilihat hubungannya pada Gambar 3.



Sumber: [www.electronics-tutorials.ws/accircuits/reactive-power.html](http://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/reactive-power.html), 2016

Gambar 3. Segitiga Daya (*Power Triangle*)

Sesuai dengan hubungan segitiga daya tersebut maka hubungan antara daya nyata, daya reaktif dan daya semu dapat diekspresikan ke dalam sebuah persamaan pitagoras. Berdasarkan rumus yang dikutip dari [www.electronics-tutorials.ws/accircuits/reactive-power.html](http://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/reactive-power.html).

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(8)$$

- Sistem Instalasi Listrik Satu Fasa

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

- Sistem Instalasi Listrik Tiga Fasa

Sistem tiga fasa adalah sistem instalasi listrik yang menggunakan tiga kawat fasa dan satu kawat 0 (netral) atau kawat *ground*. Menurut istilah 3 fasa berarti kabel bertegangan listrik dan 1 kabel netral umum bertegangan 380 V yang digunakan di industri/pabrik.

### 2.4.2 Rugi Panas pada Dinding *Lime Kiln Shell*

Rugi panas yang terdapat pada area *Lime Kiln* ini ada dua, yaitu akibat radiasi dan konveksi yang digunakan untuk menghitung rugi panas pada *lime kiln shell*. Berdasarkan rumus yang dikutip dari buku Terry N, Adams, Ph. D.

- Rugi Panas Akibat Konveksi

Rugi panas akibat konveksi yang terjadi pada *lime kiln shell* (dinding *lime kiln*) dapat dihitung dengan rumus:

$$q_c = 1,175[22,75 \times V^2 + 1,8 \times (T_{sh} - 25)]^{0,35}(T_{sh} - 25) \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

$q_c$  = rugi panas akibat konveksi ( $W/m^2$ )

$V$  = kecepatan udara (m/s)

$T_{sh}$  = temperatur *shell kiln* ( $^{\circ}C$ )

- Rugi Panas Akibat Radiasi

Rugi panas akibat radiasi yang terjadi pada *lime kiln shell* dapat dihitung dengan rumus:

$$q_r = 5,668 \times 10^{-8} \varepsilon_{sh} \{(T_{sh} + 273)^4 - 298^4\} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan:

$q_r$  = rugi panas akibat radiasi ( $W/m^2$ )

$\varepsilon_{sh}$  = *shell emissivity*

$T_{sh}$  = temperatur *shell kiln* ( $^{\circ}C$ )

- Rugi Panas *Lime Kiln Shell*

Rugi panas pada *lime kiln shell* secara keseluruhan dapat dihitung dengan menggabungkan hasil dari perhitungan sebelumnya dengan rumus:

$$Q_{sh} = \pi D \sum_i \Delta x (q_c + q_r)_i \dots\dots\dots(11)$$

Keterangan:

$Q_{sh}$  = rugi panas pada *lime kiln shell* (W)

$D$  = diameter luar *kiln* (m)

$x$  = panjang *kiln* (m)