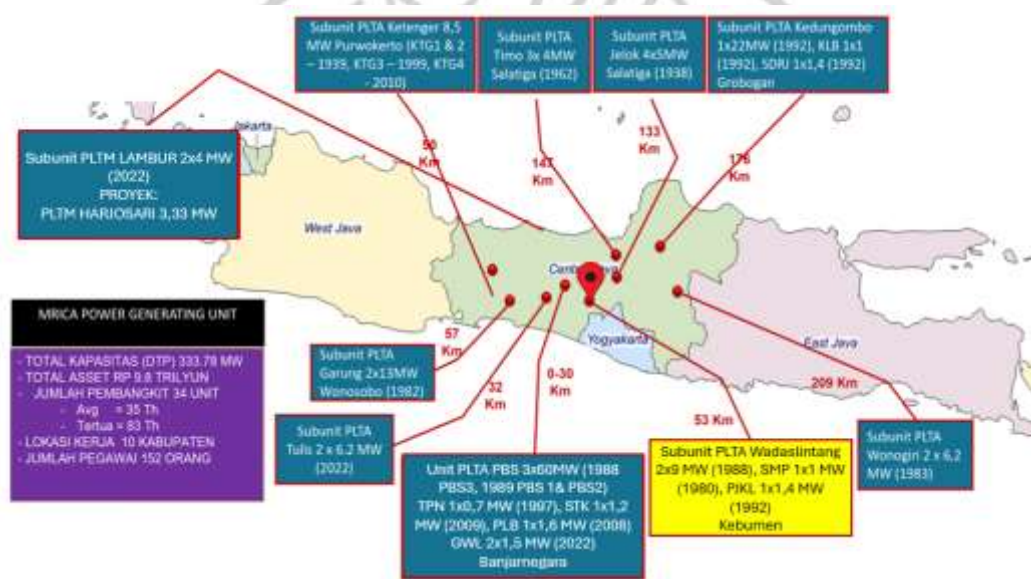


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

1.1. Gambaran Umum Perusahaan



Gambar 2.1 Wilayah kerja PT PLN Indonesia Power UBP Mrica

Sumber: Diadaptasi dari PT PT PLN Indonesia Power, 2024.

PT. PLN Indonesia Power yang sebelumnya bernama PT Indonesia Power, merupakan *sub holding* PT PLN (Persero) yang memegang peranan strategis dalam sektor ketenagalistrikan di Indonesia. Kegiatan utama bisnis perusahaan saat ini yakni sebagai penyedia solusi energi yang meliputi penyediaan tenaga listrik melalui pembangkit tenaga listrik yang tersebar di Indonesia serta pengembangan bisnis *Beyond kWh*. Unit Bisnis Pembangkitan (UBP) Mrica merupakan salah satu unit pembangkit dari PLN Indonesia Power yang bergerak dalam produksi energi listrik, yang mengelola pembangkit listrik tenaga air di Jawa Tengah dengan total kapasitas terpasang 333,78 MW.

Salah satu PLTA yang dikelola adalah PLTA Wadaslintang yang mendapatkan sumber energi primer dari Waduk Wadaslintang. PLTA Wadaslintang adalah pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan Waduk Wadaslintang sebagai sumber energinya. Terletak di perbatasan antara Kecamatan Wadaslintang, Kabupaten Wonosobo, dan Kecamatan Padureso, Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah, Indonesia. Waduk Wadaslintang berfungsi untuk pemenuhan irigasi dan Pembangkit Listrik Tenaga Air. PLTA Wadaslintang mulai beroperasi tahun 1988 memiliki daya kapasitas terpasang sebesar 2 x 9 MW dengan produksi kWh yang dihasilkan kurang lebih 92 juta kWh/Tahun. PLTA Wadaslintang berperan penting dalam kontinuitas penyediaan listrik Jawa-Bali pada umumnya dan Jawa Tengah pada khususnya yang terhubung dengan jaringan 150 kV.

1.2. Energi Hidro

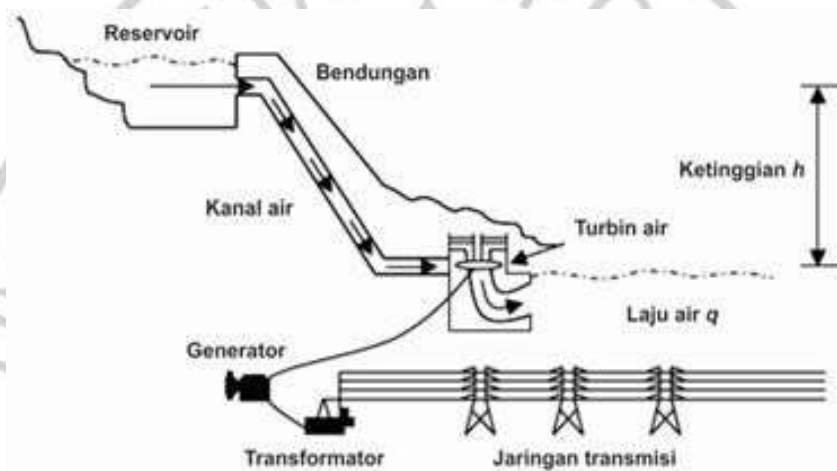
Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan berupa air. Salah satu keunggulan dari pembangkit ini adalah responnya yang cepat sehingga sangat sesuai untuk kondisi beban puncak maupun saat terjadi gangguan di jaringan. Selain kapasitas daya keluarannya yang paling besar diantara energi terbarukan lainnya, pembangkit listrik tenaga air ini juga telah ada sejak dahulu kala.

Sistem tenaga air mengubah energi dari air yang mengalir menjadi energi mekanik dan kemudian biasanya menjadi energi listrik. Air mengalir melalui kanal (*penstock*) melewati kincir air atau turbin dimana air akan menabrak sudu-sudu yang menyebabkan kincir air ataupun turbin berputar. Ketika digunakan untuk membangkitkan energi listrik, perputaran turbin menyebabkan perputaran poros rotor pada generator (Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2015).

Jumlah daya listrik yang dapat dibangkitkan pada suatu pusat pembangkit listrik tenaga air tergantung pada ketinggian (h) dimana air jatuh dan laju aliran airnya. Ketinggian (h) menentukan besarnya energi potensial (EP) pada pusat pembangkit ($EP = m \times g \times h$). Laju aliran air adalah volume dari air (m^3) yang melalui

penampang kanal air per detiknya (m^3/s). Daya teoritis kasar (P kW) yang tersedia dapat ditulis sebagai: $P = Q$ (debit) $\times H$ (*head*) $\times g$ (konstanta gravitasi)

Daya yang tersedia ini kemudian akan diubah menggunakan turbin air menjadi daya mekanik. Karena turbin dan peralatan elektro-mekanis lainnya memiliki efisiensi yang lebih rendah dari 100% (biasanya 90% hingga 95%), daya listrik yang dibangkitkan akan lebih kecil dari energi kasar yang tersedia. Gambar 2.2 menunjukkan pusat pembangkit listrik tenaga air pada umumnya.



Gambar 2.2 Pembangkitan listrik tenaga air umumnya

Sumber: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, 2015.

2.2. Pemakaian Sendiri pada PLTA

Pemakaian sendiri (PS) pembangkit listrik merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk aktivitas operasional pembangkit serta *losses-losses* jaringan dan trafo yang ada sebelum didistribusikan ke pembeli (PT PLN Indonesia Power, 2023). Sistem kelistrikan pemakaian sendiri pada pusat listrik berguna untuk menyuplai tenaga listrik untuk mengoperasikan lampu penerangan *powerhouse*, penyejuk udara (*air conditioner*), pengisian baterai aki yang merupakan sumber arus searah, menjalankan alat-alat bantu unit pembangkit seperti pompa air pendingin, pompa minyak pelumas, kompresor, mesin pengangkat, alat-alat dan mesin perbengkelan yang merupakan unsur pendukung pemeliharaan dan perbaikan pada pembangkit listrik. Sistem pemakaian sendiri juga digunakan untuk

sistem eksitasi pada generator pembangkitan dengan mengambil sisi keluaran generator melalui panel keluaran (output) generator kemudian menggunakan transformator penurun tegangan (*step down transformer*) untuk menjalankan pengoperasian sistem eksitasinya. Peralatan yang ada harus mempunyai kondisi kerja baik sehingga dapat bekerja secara efisien. Pemakaian sendiri merupakan salah satu kinerja yang dipantau dan ditarget. Semakin rendah nilai PS menunjukkan kinerja pembangkit semakin baik. Perhitungan pemakaian sendiri merupakan selisih antara produksi bruto dengan penjualan (kWh) yang disalurkan ke transmisi (PT PLN Indonesia Power, 2023). Adapun rumus pemakaian sendiri ditunjukkan dalam persamaan (2.1):

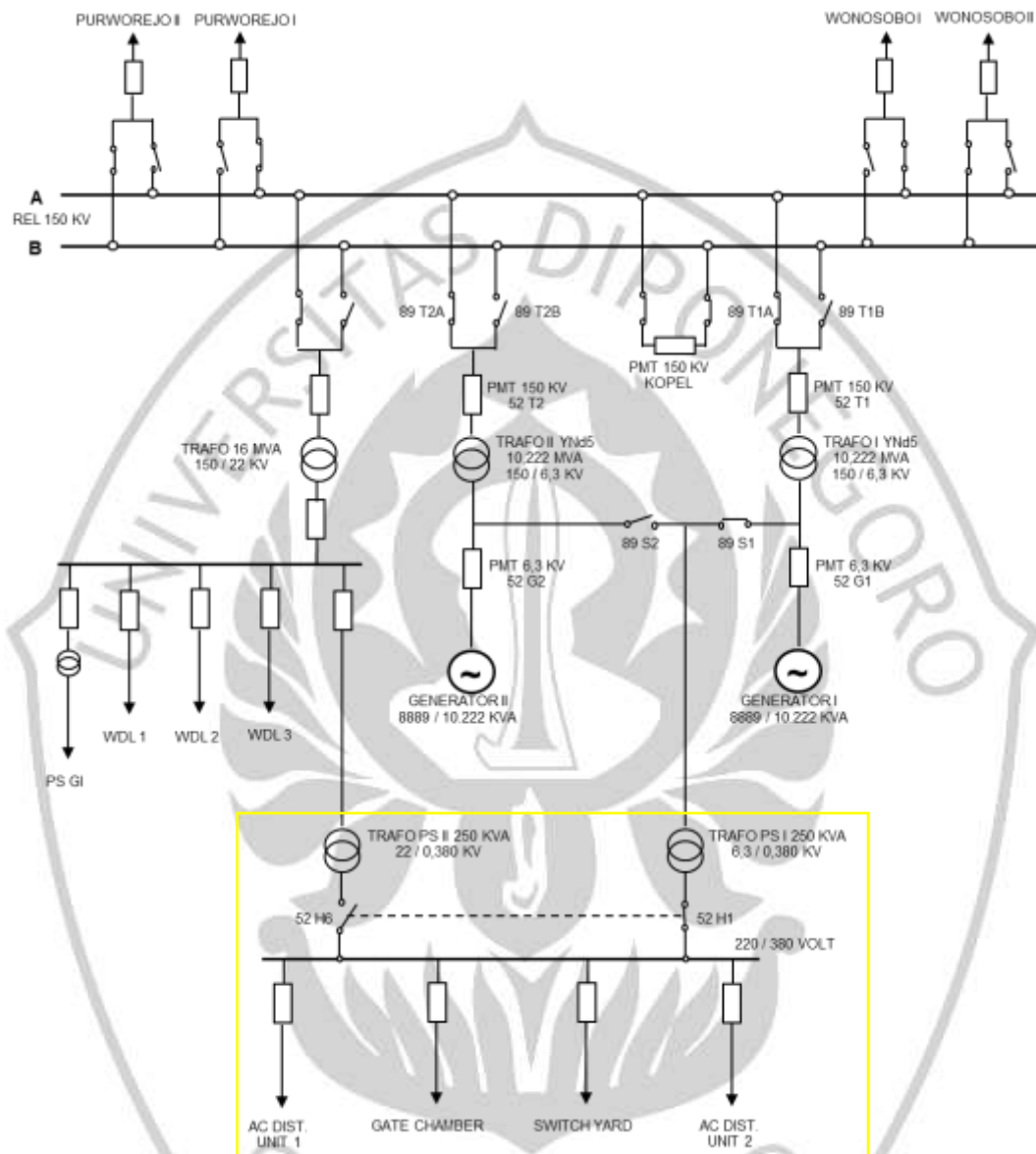
$$PS (\%) = \frac{\text{Jumlah Produksi Bruto (kWh)} - \text{Jumlah Penjualan (kWh)}}{\text{Jumlah Produksi Bruto (kWh)}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana:

- a. kWh Produksi bruto, adalah energi (kWh) yang dibangkitkan oleh generator sebelum dikurangi energi pemakaian sendiri (untuk peralatan bantu, penerangan sentral dan lain-lain), atau produksi energi listrik yang diukur pada terminal generator.
- b. kWh Penjualan, adalah energi listrik yang benar-benar dijual atau disalurkan ke jaringan setelah dikurangi pemakaian sendiri.

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) konsumsi energi terbesar ada pada proses produksi berkaitan dengan konsumsi listrik dari operasional *powerhouse*, turbin, generator, dan transformator. Turbin berfungsi sebagai unit proses yang mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik untuk menghasilkan listrik (melalui generator) melalui sudu-sudu yang ada pada runner turbin. Generator merupakan unit proses yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik (putaran) yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. Transformator adalah unit proses yang berfungsi untuk mengubah tegangan rendah ke tegangan tinggi ataupun sebaliknya, dari tinggi ke rendah. Pada PLTA Wadaslintang terdapat 2 (dua) unit transformator utama yang digunakan untuk mengubah tegangan 6,3 kV dari Generator menjadi 150 kV untuk kemudian disalurkan ke jaringan transmisi. Selain

itu juga terdapat 2 (dua) unit transformator untuk pemakaian sendiri sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Single line diagram PLTA Wadaslintang

Sumber: PT PLN Indonesia Power, 2024.

2.3. Capacity Factor PLTA

Capacity Factor yang selanjutnya disingkat *CF* adalah faktor kapasitas, perbandingan antara kapasitas rata-rata dalam megawatt (MW) produksi selama periode tertentu terhadap kapasitas terpasang (Kementerian Energi dan Sumber

Daya Mineral, 2017). Definisi lain dari *Capacity Factor (CF)* adalah perbandingan antara jumlah produksi listrik selama periode operasi terhadap jumlah produksi terpasang selama satu periode tertentu (1 tahun), yang dinyatakan dalam persen (PT PLN Nusantara Power, 2022). Berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik, terdapat ketentuan dalam Pasal 7 ayat (4) peraturan tersebut mengenai faktor kapasitas (*capacity factor*) minimum untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA) sebagai berikut (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2017):

1. PLTA dengan kapasitas hingga 10 MW: Harus mampu beroperasi dengan faktor kapasitas (*capacity factor*) paling sedikit sebesar 65% (enam puluh lima persen).
2. PLTA dengan kapasitas lebih dari 10 MW: Faktor kapasitas (*capacity factor*) tergantung kebutuhan sistem.

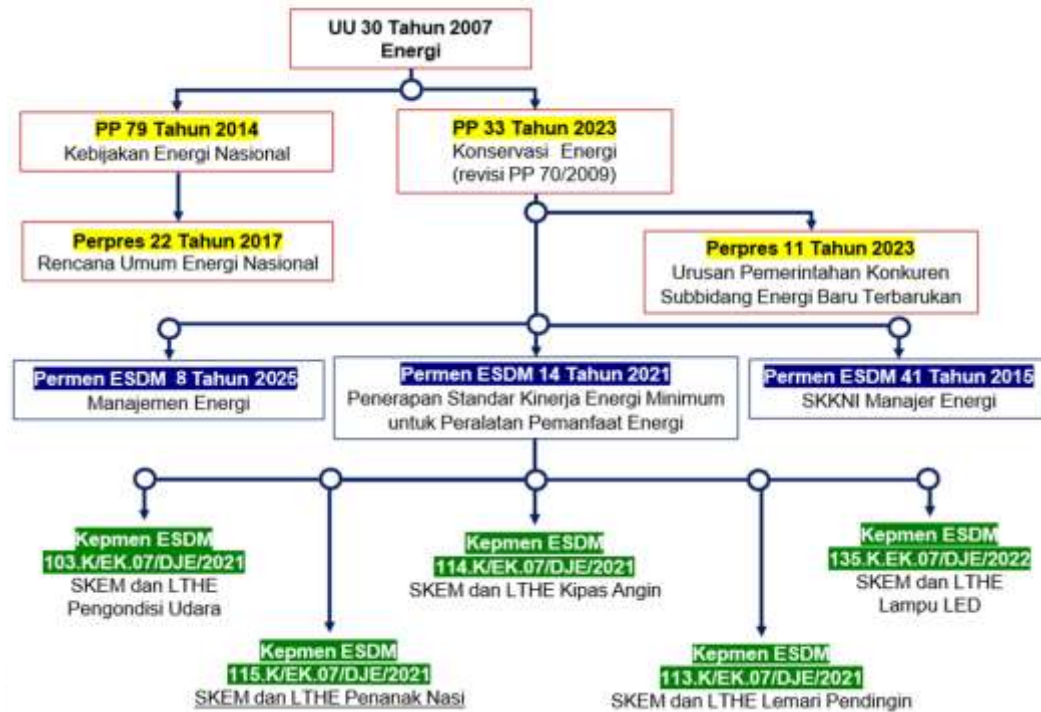
Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik Jawa Bali, terminologi *CF* ini lebih dikhususkan pada *Net Capacity Factor*. *Net Capacity factor (NCF)* adalah rasio antara total produksi netto dengan daya mampu netto unit pembangkit dikali dengan jam periode tertentu (umumnya periode 1 tahun, 8760 atau 8784 jam). Rumus untuk menghitung *CF* ditunjukkan pada persamaan (2.2).

$$\text{Net Capacity factor} = \frac{\text{Produksi Netto}}{\text{Period Hours} \times \text{Daya Mampu Netto}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana :

- a. Produksi netto adalah energi listrik yang benar-benar dijual atau disalurkan ke jaringan setelah dikurangi pemakaian sendiri.
- b. *Period Hours (PH)* adalah interval waktu pengamatan, biasanya dinyatakan dalam satuan jam selama periode tertentu.
- c. Daya Mampu Netto (DMN) adalah besarnya daya output suatu unit pembangkit yang sudah dikurangi dengan pemakaian sendiri unit pembangkit tersebut dan *losses*.

2.4. Konservasi Energi



Gambar 2.4 Instrumen kebijakan konservasi energi di Indonesia

Sumber: Kementerian ESDM, 2023.

Menurut Peraturan Pemerintah (PP) 33 tahun 2023 tentang Konservasi Energi yang dimaksud dengan konservasi energi adalah upaya sistematis, terencana, dan terpadu guna melestarikan sumber daya energi dalam negeri serta meningkatkan efisiensi pemanfaatannya (Pemerintah Indonesia, 2023). Instrumen kebijakan konservasi energi digambarkan dalam gambar 2.4 (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2023).

Adapun standar pendukung konservasi energi:

- SNI ISO 50001:2018 tentang Sistem Manajemen Energi –Persyaratan dengan pedoman Penggunaan
- SNI ISO 50002:2014 tentang Audit Energi - Persyaratan dengan panduan penggunaan
- SNI 6196:2011 tentang Prosedur Audit Energi pada Selubung Bangunan

- d. SNI 6197:2020 tentang Konservasi Energi pada Sistem Pencahayaan
- e. SNI 6389:2020 tentang Konservasi Energi Selubung Bangunan pada Bangunan Gedung
- f. SNI 6390:2020 tentang Konservasi Energi Sistem Tata Udara pada Bangunan Gedung
- g. SNI ISO 817:2018 tentang Refrigeran Penamaan dan Klasifikasi Keamanan Kepmen Ketenagakerjaan No.80 Tahun 2015 tentang Penetapan SKKNI pada Jabatan Kerja Manajer Energi di Industri dan Bangunan Bangunan
- h. Kepmen Ketenagakerjaan No.53 Tahun 2018 tentang Penetapan SKKNI Bidang Audit Energi
- i. Kepmen Ketenagakerjaan No.223 Tahun 2020 tentang Penetapan SKKNI Bidang Pengukuran dan Verifikasi Kinerja Energi

2.5. Manajemen Energi

Menurut PP 33 tahun 2023 tentang Konservasi Energi yang dimaksud dengan manajemen energi adalah kegiatan terpadu untuk mengendalikan konsumsi energi agar tercapai pemanfaatan energi yang efektif dan efisien untuk menghasilkan keluaran yang maksimal melalui tindakan teknis secara terstruktur dan ekonomis untuk meminimalisasi pemanfaatan energi termasuk energi untuk proses produksi, bahan baku, dan bahan pendukung.

Manajemen energi dilaksanakan melalui:

1. Penunjukan manajer energi
2. Penyusunan program efisiensi energi
3. Pelaksanaan audit energi secara berkala
4. Pelaksanaan rekomendasi hasil audit energi.

2.6. Audit Energi

Audit energi menurut SNI 6196:2011 adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan

efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi dalam rangka konservasi energi (Badan Standardisasi Nasional, 2011). Tahapan proses audit energi dimulai dengan tahap persiapan, survey, analisis dan menyusun laporan. Pada tahap persiapan audit energi, langkah pertama mempersiapkan perlengkapan administrasi perijinan, membuat jadwal dan rencana kegiatan. Tahap survey, mengumpulkan beberapa data yang dibutuhkan dalam mengidentifikasi konsumsi energi, data dapat berasal dari melihat langsung pada plant, mencatat data pada instrumen terpasang bisa dalam *control room* atau melakukan pengukuran secara langsung. Tahap analisis menghitung kinerja peralatan dan efisiensi. Selanjutnya dilakukan evaluasi dengan mengetahui besar *losses* energi pada peralatan dan mengidentifikasi potensi penghematan energi. Potensi penghematan energi ada 3 (tiga) macam seperti tanpa investasi, investasi sedang dan investasi besar. Tahap terakhir yaitu menyusun laporan dimana terdapat peluang rekomendasi yang dapat dilakukan dengan prioritas potensi penghematan. Skema prosedur audit energi pada SNI 6196:2011 ditampilkan pada Gambar 2.5. Prosedur audit energi berdasarkan SNI 6196:2011 pada sebuah bangunan gedung dibagi dalam tahapan berikut:

1. Audit Energi Singkat (*walk through audit*)

Audit energi singkat adalah kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi, perhitungan intensitas konsumsi energi (IKE) dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan.

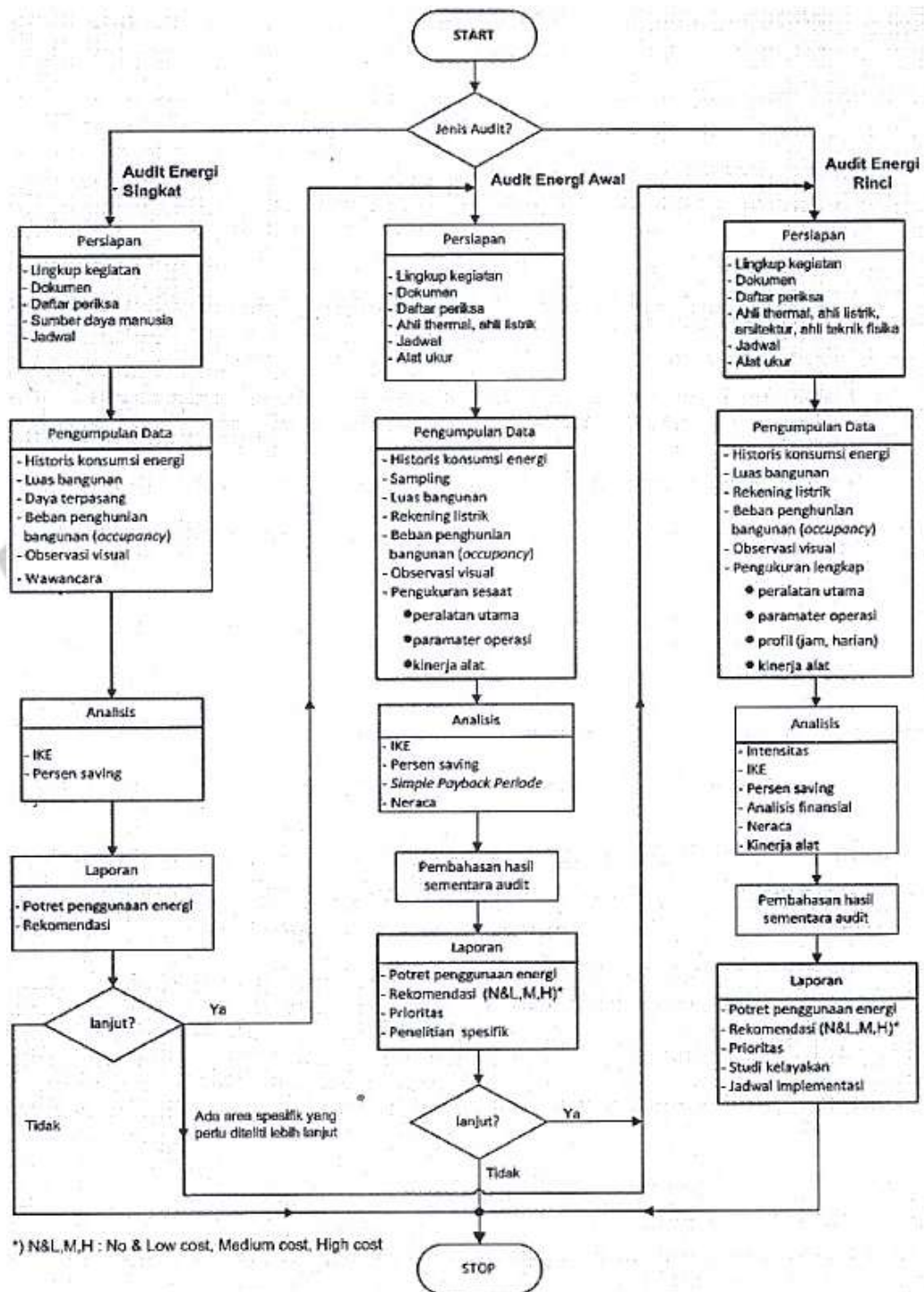
2. Audit Energi Awal (*preliminary audit*)

Audit Energi Awal adalah kegiatan audit energi yang meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung yang tersedia, observasi dan pengukuran sesaat, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi dan penyusunan laporan audit.

3. Audit energi rinci (*detail audit*)

Audit energi rinci adalah kegiatan audit energi yang dilakukan bila nilai IKE lebih besar dari nilai target yang ditentukan, meliputi pengumpulan data historis, data dokumentasi bangunan gedung, observasi dan pengukuran

lengkap, perhitungan IKE dan kecenderungannya, potensi penghematan energi, analisis teknis dan finansial serta penyusunan laporan audit.



Gambar 2.5 Skema prosedur audit energi pada SNI 6196:2011

Sumber: Badan Standardisasi Nasional, 2011.

Untuk mengidentifikasi pemakaian energi listrik pada gedung digunakan IKE (Intensitas Konsumsi Energi). Intensitas konsumsi energi (juga disebut *energy intensity*) adalah rasio antara konsumsi energi terhadap hasil produksi atau aktivitas, misalnya produksi barang, luas bangunan, atau kapasitas daya. Rumus umum intensitas energi adalah total energi yang digunakan dibandingkan dengan output produksi atau aktifitas, ditunjukkan pada persamaan (2.3).

$$IKE = \frac{\text{Total Energi yang Digunakan (kWh/tahun)}}{\text{Output Produksi atau Aktifitas}} \quad (2.3)$$

Contoh satuan yang umum digunakan:

- a. kWh/m² → untuk bangunan (luas lantai)
- b. kWh/ton produk → untuk industri manufaktur
- c. kWh/kW terpasang → untuk pembangkit listrik
- d. kWh/unit barang → untuk proses produksi

Dalam konteks bangunan gedung, IKE adalah pembagian antara konsumsi energi listrik dengan setiap satuan luas bangunan gedung pada kurun waktu tertentu (pertahun atau perbulan). Rumus IKE ditunjukkan pada persamaan (2.4).

$$IKE = \frac{\text{Energi yang digunakan (kWh/tahun)}}{\text{Luas bangunan (m²)}} \quad (2.4)$$

Sebagai target, besarnya IKE listrik untuk Indonesia, menggunakan hasil penelitian yang dilakukan oleh ASEAN USAID pada tahun 1987 yang laporannya baru dikeluarkan pada tahun 1992 dengan rincian sebagai berikut:

- a. IKE untuk perkantoran (komersial): 240 kWh/m² per tahun.
- b. IKE untuk pusat belanja: 330 kWh/m² per tahun.
- c. IKE untuk hotel/apartemen: 300 kWh/m² per tahun.
- d. IKE untuk rumah sakit: 380 kWh/m² per tahun.

Pelaksanaan audit energi pada sektor penyediaan energi diatur oleh pemerintah melalui sebuah kebijakan. Dari Tabel 2.1 terlihat bahwa melalui PP No 33 tahun

2023 tentang Konservasi Energi, pemerintah mewajibkan penyedia energi dan pengguna sumber energi dan/atau pengguna energi untuk melakukan konservasi energi berdasarkan besarnya pemanfaatan atau penggunaan energi per tahun (dalam satuan Ton minyak), dimana sebelumnya dalam PP No 70 tahun 2009 tentang Konservasi Energi untuk penyedia energi tidak diwajibkan.

Tabel 2.1 Kewajiban melaksanakan konservasi energi berdasarkan besarnya pemanfaatan atau pengguna energi per tahun

No	Pihak	Ton Minyak per Tahun		Keterangan
		PP No 33/2023	PP No 70/2009	
1	Penyedia Energi	≥ 6000 (wajib) < 6000 (dapat)	-	Pasal 28
2	Pengguna Sumber Energi dan/atau Pengguna Energi		≥ 6000 (wajib)	Pasal 12
a.	Transportasi	≥ 4000 (wajib) < 4000 (dapat)	-	Pasal 31
b.	Industri	≥ 4000 (wajib) < 4000 (dapat)	-	Pasal 32
c.	Rumah Tangga	Melalui penggunaan peralatan pemanfaat energi yang efisien	-	Pasal 33
d.	Bangunan Gedung	≥ 500 (wajib) < 500 (dapat)	-	Pasal 34

Sumber: Diadaptasi dari PP No. 33/2023 dan PP No. 70/2009.

Audit energi tidak lepas dari standarisasi yang digunakan oleh sebagian negara dalam melakukan audit atau pengukuran. Standar yang harus digunakan dalam audit energi haruslah standar yang berlaku dan banyak dipakai secara Internasional. Indonesia sendiri telah memiliki standar yang telah disesuaikan dengan keadaan iklim atau tekstur wilayah Indonesia, yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI). Fungsi standar sendiri adalah sebagai acuan bagi perancang, pemilik gedung, pengelola, pelaksana, dan pemakai di dalam merancang sistem keenergian pada bangunan gedung, dengan tujuan untuk memperoleh bangunan gedung yang pengoperasian dan pemeliharaannya dapat menghemat energi tanpa harus

mengurangi atau mengubah fungsi bangunan, kenyamanan, produktivitas kerja penghuni atau pemakai gedung, serta mempertimbangkan aspek biaya.

2.7. Konservasi Energi Sistem Kelistrikan

Parameter umum dalam audit energi listrik adalah *Significant Energi Use (SEU)* dan Konsumsi Energi Spesifik (KES). *Significant energy uses* atau Pengguna Energi Signifikan (PES) adalah suatu langkah pemetaan dimana sebagian besar energi pada suatu konsumen digunakan. Untuk mendapatkan PES kita harus mengetahui berapa banyak energi yang digunakan pada setiap proses atau peralatan. Pada penyusunan PES setidaknya harus dapat mengidentifikasi 80% dari total konsumsi energi yang kita gunakan selama 1 (satu) tahun (Windarta, 2024). Tujuan dari penggolongan PES ini adalah agar kita bisa memfokuskan sumber daya yang kita miliki untuk melakukan analisis potensi penghematan energi pada beban-beban yang memiliki potensi paling besar dalam penghematan energi. Contoh perhitungan *SEU* disajikan dalam tabel 2.2.

Tabel 2.2 Contoh perhitungan SEU

No	Equipment type	Total equipment	Operational hour	Operational day	Power (kwh) opr/1day	Power (kwh) opr/1year	Percentage (%)
1	Peripheral	263	8	240	54.06	12974.4	7.9%
2	Ac	111	8	240	223.7	53688	33%
3	Accessed	7	8	240	140	4200	3%
4	Light	905	8	240	234.16	71282.4	43.5%
5	Non-SEU	20	8	240	90.77	21784.8	13.3%
Total		1306	40		683.04	163929.6	100%
		Total SEU				142144.8	87%
		Total Non-SEU				21784.8	13%
		Total Energy Consumption In 1 Year				163929.6	100%

Sumber: Windarta et al. (2021), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.

Konsumsi Energi Spesifik (KES) adalah jumlah energi yang digunakan untuk menghasilkan satu satuan produk atau keluaran. Pada sektor industri indeks energi atau KES merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan besarnya pemakaian energi yang diperlukan untuk memproduksi suatu produk. Rumus KES ditunjukkan pada persamaan (2.5).

$$\text{Konsumsi Energi Spesifik} = \frac{\text{Konsumsi Energi Listrik}}{\text{Jumlah Produksi Listrik}} \quad (2.5)$$

Dimana:

- a. Konsumsi energi listrik, adalah konsumsi energi industri selama proses periode tertentu (kWh/periode, GJ/periode).
- b. Jumlah produksi listrik, adalah jumlah total produksi yang diproses selama periode tertentu (kWh/periode, GJ/periode).

Untuk mengetahui KES pada pembangkit listrik dihitung dengan membandingkan antara konsumsi energi listrik dengan jumlah produksi listrik yang dihasilkan. Adapun untuk parameter khusus dalam audit energi listrik diantaranya:

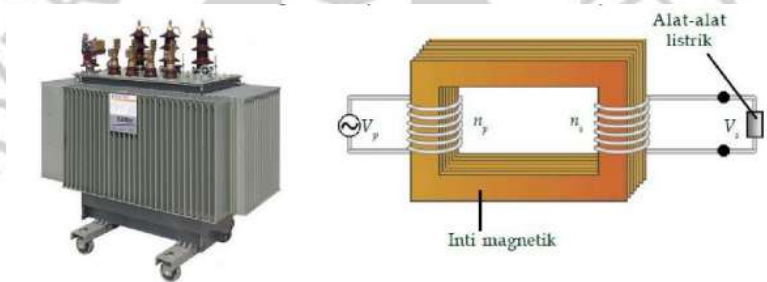
- a. Tegangan dan *unbalance* tegangan
- b. Arus dan *unbalance* arus
- c. Faktor daya atau *power factor* atau $\cos Q$
- d. Harmonisa
- e. Daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya nyata (S)
- f. *Losses-losses*
- g. Lain-lain

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya bahwa pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) konsumsi energi terbesar ada pada proses produksi berkaitan dengan konsumsi listrik dari operasional *powerhouse*, turbin, generator, dan transformator. Untuk itu peralatan yang ada harus mempunyai kondisi kerja baik sehingga dapat bekerja secara efisien. Untuk mengetahui efisiensi peralatan dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

1. Transformator

Transformator daya merupakan salah satu perangkat listrik yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan listrik dari tegangan tinggi menjadi tegangan rendah begitu juga sebaliknya (Tomi, et al., 2023). Transformator adalah komponen yang sangat penting dalam sistem ketenagalistrikan terutama di

dalam dunia industri, transformator sangat besar peranannya. Pada umumnya terdapat dua kriteria transformator yang sering digunakan dalam dunia kelistrikan, yaitu *step-up transformer* yang berfungsi menaikkan tegangan dan *step-down transformer* sebagai penurun tegangan. Kebanyakan dari transformator selalu terhubung dengan beban sehingga proses penyaluran daya listrik tidak bisa seratus persen karena adanya rugi-rugi dilakukan proses penyaluran daya ke beban. Rugi-rugi yang dimaksud antara lain rugi-rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga, rugi-rugi yang disebabkan *fluks* bolak balik pada inti besi sehingga dapat mengakibatkan berkurangnya efisiensi pada transformator.



Gambar 2.6 Transformator

Sumber: Dinas Pendidikan Surabaya & FMIPA UNESA, 2017.

Untuk menghitung efisiensi transformator dapat dihitung dengan membandingkan daya output dan daya input transformator seperti ditunjukkan pada persamaan (2.6).

$$\text{Daya Input} = \text{Daya Output} + \text{Rugi Total}$$

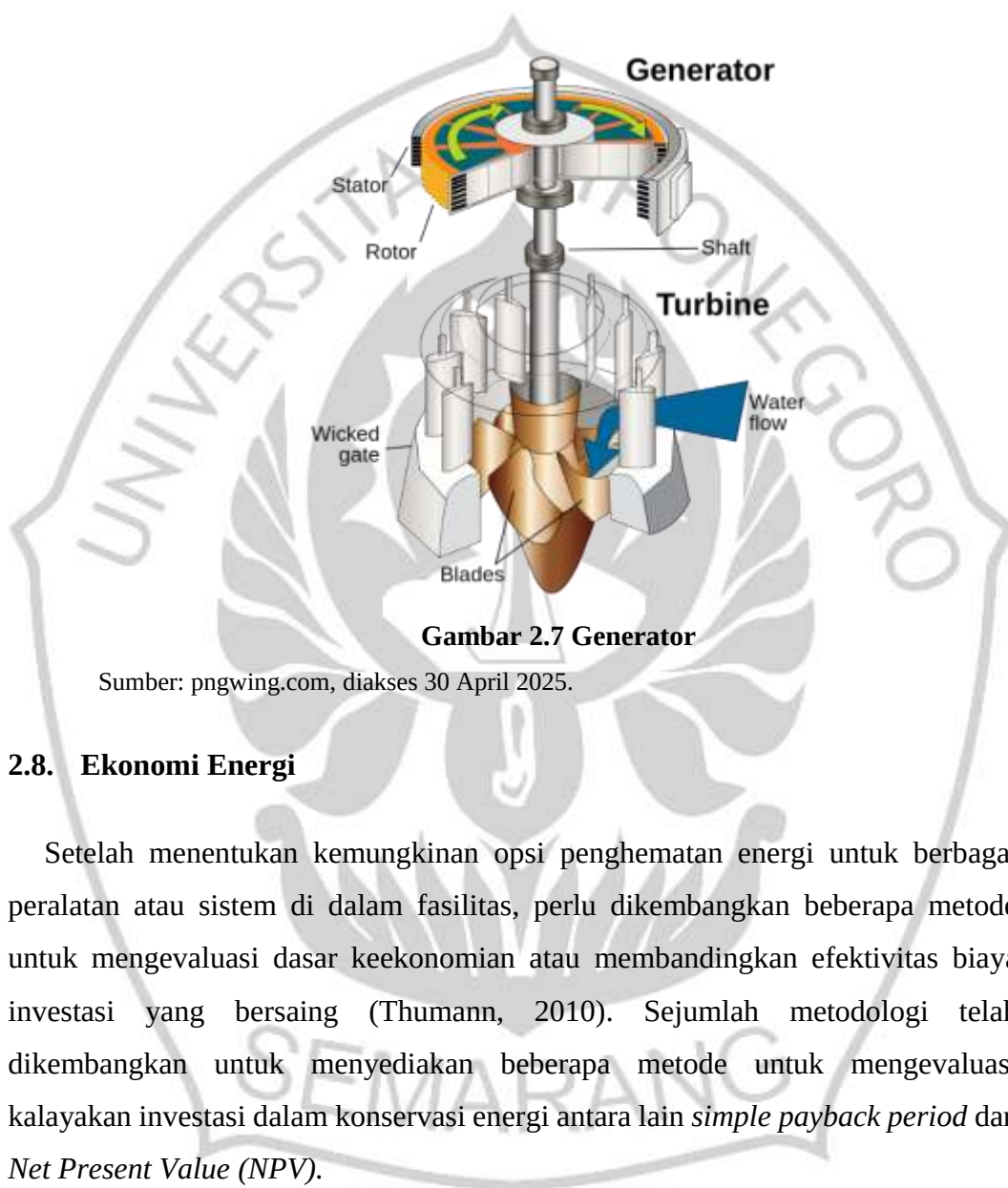
$$\begin{aligned} \text{Persen Efisiensi Transformator} &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya input}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{Daya Output}}{\text{Daya Output} + \text{Rugi Total}} \times 100\% \end{aligned} \quad (2.6)$$

2. Generator

Generator merupakan unit proses yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik (putaran) yang dihasilkan oleh turbin menjadi energi listrik. Untuk menghitung efisiensi generator adalah dengan membandingkan daya

keluaran generator dan daya masukan generator, ditunjukkan pada persamaan (2.7).

$$\text{Persen Efisiensi Generator} = \frac{\text{Daya Output Generator}}{\text{Daya input Generator}} \times 100\% \quad (2.7)$$



Gambar 2.7 Generator

Sumber: pngwing.com, diakses 30 April 2025.

2.8. Ekonomi Energi

Setelah menentukan kemungkinan opsi penghematan energi untuk berbagai peralatan atau sistem di dalam fasilitas, perlu dikembangkan beberapa metode untuk mengevaluasi dasar keekonomian atau membandingkan efektivitas biaya investasi yang bersaing (Thumann, 2010). Sejumlah metodologi telah dikembangkan untuk menyediakan beberapa metode untuk mengevaluasi kelayakan investasi dalam konservasi energi antara lain *simple payback period* dan *Net Present Value (NPV)*.

Analisis *simple payback period* adalah teknik paling umum untuk penilaian proyek secara umum (Lefley, 1996). Pada dasarnya periode pengembalian merupakan jumlah periode yang diperlukan untuk mengembalikan ongkos investasi

awal dengan tingkat pengembalian tertentu. Perhitungan dilakukan berdasarkan aliran kas baik tahunan maupun yang merupakan nilai sisa (Pujawan, 2009). *Simple payback period* secara sederhana dihitung dengan membagi total biaya investasi dengan jumlah penghematan tahunan, ditunjukkan pada persamaan (2.8).

$$\text{Simple Payback} = \frac{\text{Biaya investasi awal}}{\text{Penghematan Energi Tahunan}} \quad (2.8)$$

Net Present Value (NPV) sebagai metode penilaian sudah ada sejak abad ke-19 (Dai, et al., 2022). Kriteria NPV didasarkan atas konsep pendiskontoan seluruh arus kas ke nilai sekarang. Menggunakan pertimbangan bahwa nilai uang sekarang lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai uang pada waktu mendatang, karena adanya faktor bunga. NPV yang juga biasa disebut NPW (*net present worth*) merupakan nilai sekarang dari peramalan penerimaan kas hasil investasi, dikurangi nilai investasi awal, yang diformulasikan dengan persamaan (2.9).

$$NPV = \sum_{t=0}^n At \left(\frac{P}{F}, i\%, t \right) - \text{Investasi} \quad (2.9)$$

Dimana:

- Pi : Nilai sekarang dari seluruh aliran kas pada tingkat bunga i%
- At : Aliran kas pada akhir periode ke t
- i : MARR
- n : periode perencanaan

2.9. Benchmarking Energi

Benchmarking merupakan alat bisnis yang telah digunakan sejak tahun 1970-an (Jonsdottir, et al., 2005). Konsep *benchmarking* dipelopori oleh Xerox Corporation untuk memenuhi tantangan kompetitif Jepang pada tahun 1970an. Definisi *benchmarking* pada tahun 1976 mengatakan bahwa *benchmarking* adalah “studi tentang produk atau praktik bisnis pesaing untuk meningkatkan kinerja perusahaannya sendiri”. Beberapa definisi lain dari *benchmarking* adalah:

1. Proses pembelajaran terstruktur dengan tujuan perbaikan berkelanjutan dan memperoleh keunggulan kompetitif dengan menemukan cara yang lebih baik untuk melayani pelanggan atau dengan mencapai penghematan biaya, dan pada akhirnya meningkatkan profitabilitas dan nilai bagi pemangku kepentingan.
2. Sebuah alat untuk menganalisis dan memahami aktivitas dan praktik perusahaan yang ada, untuk mengidentifikasi praktik terbaik dan membandingkannya dengan bisnisnya sendiri, dan akhirnya menetapkan tujuan perbaikan berdasarkan tolok ukur (McNair & Leibfried, 1992).

Benchmarking dibagi menjadi beberapa jenis sesuai dengan siapa yang menjadi tolok ukurnya. Lebih lanjut McNair dan Leibfried (1992) membahas empat jenis *benchmarking* berikut:

- a. *Internal*: Perbandingan antar departemen atau lokasi dalam perusahaan
- b. *Competitive*: Perbandingan dengan pesaing langsung
- c. *Industry/Functional*: Menganalisis tren dalam industri
- d. *Best-in-Class*: Analisis berbagai industri untuk menemukan praktik terbaik

Internal benchmarking berguna untuk mengidentifikasi masalah-masalah dalam organisasi yang memerlukan evaluasi dan perbaikan dan untuk melacak perubahan dalam waktu singkat. Jenis analisis ini membandingkan fungsi-fungsi dalam suatu perusahaan atau antar departemen atau lokasi. *Competitive benchmarking* adalah tipe dasar perbandingan eksternal yang berkonsentrasi pada pesaing langsung. Mengetahui kekuatan dan kelemahan pesaing sangat penting untuk kesuksesan yang berkelanjutan. *Industry/Functional benchmarking* mengacu pada analisis tren dalam suatu industri. Tujuan dari *benchmarking* jenis ini adalah untuk melihat apa yang dilakukan industri dan menemukan tren. *Best-in-Class/Generic benchmarking* mengacu pada pembelajaran dari praktik terbaik. Dalam *benchmarking* jenis ini, perusahaan mencari solusi inovatif dari mereka yang terbaik dalam aktivitas spesifik tersebut.

Di seluruh dunia, *benchmarking* energi sudah dikenal luas efektif dalam membantu meningkatkan efisiensi energi industri (Ke, 2013). *Benchmarking* energi adalah proses membandingkan kinerja energi suatu bangunan atau fasilitas dengan referensi atau standar, seperti bangunan serupa, rata-rata sektor, atau praktik terbaik. Tujuan dari *benchmarking* energi adalah untuk mengevaluasi efisiensi dan efektivitas energi relatif suatu bangunan atau fasilitas, dan untuk mengidentifikasi bidang-bidang perbaikan dan potensi penghematan. Pembandingan energi dapat dilakukan secara internal, dengan membandingkan berbagai bangunan atau fasilitas dalam organisasi yang sama, atau secara eksternal. *Benchmarking* pada efisiensi energi dilakukan dengan melihat penggunaan energi per-satuan produk yang dihasilkan. *Benchmarking* pada efisiensi energi dapat diketahui dari Konsumsi Energi Spesifik (KES). Satuan KES dalam pembangkit listrik adalah Giga Joule per Giga Joule (GJ/GJ). Untuk mengetahui KES pada pembangkit listrik dihitung dengan membandingkan antara konsumsi energi listrik dengan jumlah produksi listrik yang dihasilkan, sesuai persamaan 2.5.

$$\text{Konsumsi Energi Spesifik} = \frac{\text{Konsumsi Energi Listrik}}{\text{Jumlah Produksi Listrik}} \quad (2.5)$$

Dimana:

- a. Konsumsi energi listrik, dalah konsumsi energi industri selama proses periode tertentu (kWh/periode, GJ/periode).
- b. Jumlah produksi listrik, adalah jumlah total produksi yang diproses selama periode tertentu (kWh/periode, GJ/periode).

BAB III
METODE PENELITIAN

