

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Energi atau yang lebih kita kenal dengan sebutan sumber daya energi adalah sumber daya alam yang dapat diolah oleh manusia sehingga dapat digunakan bagi pemenuhan kebutuhan energi. Tujuan utama dari konservasi energi adalah untuk menghemat energi. Penghematan energi juga berarti menghemat uang serta mengurangi ketergantungan kita pada bahan bakar fosil karena mereka masih merupakan bahan bakar yang dominan.

Penelitian mengenai peramalan kebutuhan energi listrik dimasa depan dengan pengoptimalan konservasi energi sudah pernah dibuat dengan studi kasus beberapa kota di Indonesia. Berikut akan dipaparkan beberapa penelitian yang berkaitan dan dijadikan sebagai sumber referensi dalam tugas akhir ini:

Rahmat Adiprasetya Al Hasibi (2010) dengan judul penelitian Peran Sumber Energi Terbarukan dalam Penyediaan Energi Listrik dan Penurunan Emisi CO<sub>2</sub> di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Dalam penelitian ini beberapa potensi energi terbarukan yang dioptimalkan adalah radiasi matahari, energi angin, dan Micro Hydro Power Plant (MHPP). Model skenario pengembangan energi terbarukan sebagai penyediaan energi listrik dikembangkan dalam penelitian ini dengan menggunakan perangkat lunak *Long-range Energy Alternative Planning (LEAP)*.

Rahmat Adiprasetya Al Hasibi (2012) dengan judul penelitian Analisis Skenario dan Permintaan Energi Listrik Sistem Inter Koneksi Jawa-Madura-Bali. Dalam penelitian ini, analisis terhadap skenario permintaan energi listrik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak LEAP. Di dalam model LEAP yang dikembangkan, skenario disusun baik dari sisi permintaan maupun penyediaan energi listrik. Skenario referensi disusun sebagai gambaran permintaan dan penyediaan energi listrik tanpa intervensi kebijakan yang berbeda dengan tahun dasar. Dari sisi permintaan energi listrik, skenario terdiri dari skenario referensi dan

konservasi. Di dalam skenario konservasi, strategi dan kebijakan tentang konservasi energi disimulasikan untuk memperoleh dampak dari kegiatan konservasi energi terhadap permintaan energi listrik.

Hadi Prasetyo (2008) dengan judul penelitian Konservasi Energi Listrik Pada Industri Otomotif. Dalam penelitian tersebut konservasi energi dalam dunia industri otomotif belumlah menjadi aktivitas yang dikerjakan dengan konsisten sebagai tindakan praktis dalam usaha menekan rugi-rugi dan mengurangi biaya produksi serta penghematan energi listrik. Dalam proses produksinya, sektor industri kebanyakan masih menggunakan energi listrik tanpa terlalu memperhatikan potensi penghematannya. Penelitian ini juga membahas aktivitas-aktivitas pelaksanaan konservasi energi listrik di industri otomotif yang memuat audit energi dan peluang penghematan energi dengan menerapkan teknologi yang lebih efisien baik secara ekonomis maupun teknis. Konservasi energi listrik adalah penggunaan energi listrik secara efisiensi tinggi melalui langkah-langkah penurunan berbagai *loss* energi listrik pada semua aspek pengelolaan, mulai dari pengiriman (transmisi), pembangkitan, sampai dengan pemanfaatan. Fase-fase yang lengkap untuk melakukan pengelolaan energi ada tiga tahapan, yaitu: fase pendahuluan, fase audit dan analisis, serta fase pelaksanaan.

Agus Sofyan F. Rajagukguk (2015) dengan judul penelitian Kajian Perencanaan Kebutuhan dan Pemenuhan Energi Listrik di Kota Manado. Dalam penelitian ini dilakukan proyeksi konsumsi energi listrik, jumlah pelanggan listrik, produksi energi listrik dan beban puncak di Kota Manado tahun 2014 sampai 2023 menggunakan perangkat lunak LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System). Selain itu, dilakukan juga perencanaan pengembangan pembangkit yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan energi listrik Kota Manado.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)**

Dalam PLTA, potensi air dikonversikan menjadi tenaga listrik. Mula mula potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin air. Kemudian turbin air memutar generato ryang membangkitkan tenaga listrik.

Gambar 2.1 memperlihatkan secara skematis bagaimana potensi tenaga air, yaitu sejumlah air yang terletak pada ketinggian tertentu diubah menjadi tenaga mekanik dalam turbin air. Daya yang akan dibangkitkan generator yang diputar oleh turbin ialah

$$P = k \cdot H \cdot q \text{ [KW]} \quad (2.1)$$

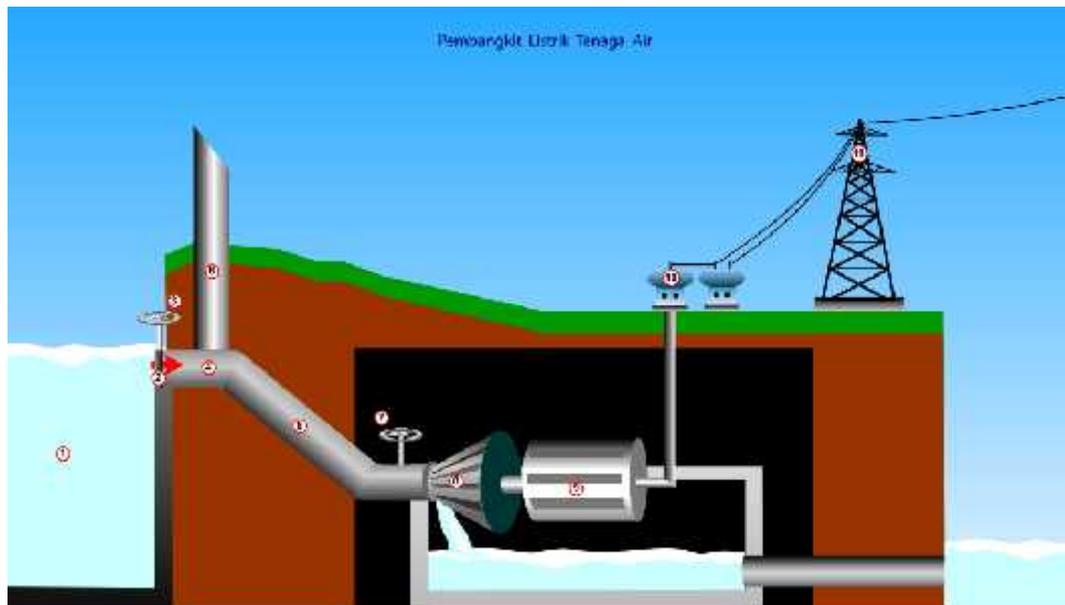
Dimana:

P : daya

H : tinggi jatuhnya air [meter]

Q : debit air [ $\text{m}^3/\text{detik}$ ]

k : Konstanta [9,8]



Gambar 2.1 Proses Konversi energi pada PLTA

Sumber: <http://hermaliasari.blogspot.co.id/2015/03/prinsip-kerja-dan-komponen-pembangkit.html> (diakses pada hari rabu, 13 November 2016, 08.15 WIB)

#### a) Komponen-Komponen Utama

Dilihat dari besarnya tinggi terjun H, dapat dikelompokkan tiga jenis PLTA. Pada harga H yang tinggi, yaitu sekitar 300 meter atau lebih, pada umumnya dipergunakan turbin air kecepatan tinggi jenis Pelton. Jenis PLTA demikian terdapat di gunung-gunung yang tinggi. Jumlah debit air Q biasanya

agak kecil. Untuk besaran  $H$  yang sedang, yaitu antara sekitar 50-300 meter, dipergunakan turbin air kecepatan menengah tipe Francis. PLTA demikian biasanya dilengkapi dengan suatu waduk besar, yang berbentuk bendungan yang melintasi sungai. Debit air  $Q$  biasanya cukup besar. Mulai pada nilai  $H$  dibawah 40 - 50 meter, pada umumnya dipergunakan turbin air kecepatan rendah jenis kaplan atau Francis. PLTA demikian pada umumnya memperoleh dayanya dari arus air sungai besar yang mengalir. Debit air  $Q$  biasanya besarsekal. Biasanya tidak terdapat suatu waduk.

Sebuah pusat listrik tenaga air terdiri atas bendungan, waduk, saluran saluran air, dan sentral daya beserta semua perlengkapan. Bendungan dibuat dari tanah, batu, atau beton yang dibangun melintasi sungai. Tersedianya suatu waduk besar banyak membantu agar beban menjadi agak merata bertalian dengan adanya musim hujan dan musim kering. Dengan demikian PLTA dapat dioperasikan secara optimal.

Saluran tekanan dan pipa pesat berfungsi untuk membawa air bertekanan ke sentral daya, guna memutar turbin air, yang pada alirannya menggerakkan sebuah generator listrik. Saluran tekanan sering dilengkapi dengan pipa redam, yang mengamankan sistem pipa terhadap pukulan - pukulan air yang dapat terjadi bilamana beban secara mendadak hilang. Setelah melewati turbin, air diteruskan oleh saluran bawah untuk mengalir seterusnya.

Sentral daya berisi turbin air dan generator, serta instalasi listriknya. Sebuah PLTA yang agak besar biasanya dilengkapi dengan Gardu Induk (GI), yang tersambung pada saluran transmisi. Sebuah GI pada umumnya terdiri atas transformator dan saklar daya.

#### b) Operasidan Pemeliharaan

Ada kalanya PLTA yang mempunyai kolam penampungan besar mempunyai multifungsi dimana artinya selain berfungsi sebagai pembangkit tenaga listrik juga bisa dimanfaatkan sebagai yang lainnya, PLTA juga berfungsi untuk menyediakan air irigasi, perikanan, pariwisata, dan penyedia air bersih dan pengendalian banjir. Pada PLTA multifungsi, pembangkitan tenaga

listriknnya perlu di seimbangkan dengan keperluan irigasi pada musim tanam padi yang membutuhkan banyak air.

Dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya dengan daya yang sama, biaya operasional PLTA paling rendah. Namun biaya pembangunannya merupakan yang paling mahal. faktor yang menyebabkan biaya pembangunan PLTA menjadi sangat mahal, yaitu dikarenakan pada umumnya PLTA terletak didaerah pegunungan yang jauh dari pusat konsumsi tenaga listrik (pusat beban) sehingga memerlukan saluran transmisi yang sangat panjang dan daerah tampungan air yang luas dimana kedua hal tersebut memerlukan biaya pembangunan yang tidak sedikit.

Dalam sistem interkoneksi terdapat PLTA yang interkoneksi dengan pusat - pusat listrik lainnya yang menggunakan bahan bakar, tetapi ada PLTA yang menggunakan pompa yang dapat memompa air ke atas. Hal ini baru efisien apabila biaya pembangkitan dalam sistem interkoneksi bersangkutan mempunyai perbedaan yang besar. Pemompaan air dilakukan padawaktu biaya pembangkitan yang rendah, kemudian air dari hasil pemompaan ini dapat digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik sewaktu biaya pembangkitan sistem interkoneksi mahal sehingga pembangkitan tenaga listrik dengan biaya yang mahal dapat ditekan jumlahnya.

Keuntungan teknik operasional PLTA antara lain:

- a) mudah dan cepat distart dandistop.
- b) bebannya mudah diubah -ubah.
- c) rendah angka gangguannya.
- d) mudah dalam pengoprasian pemeliharaannya.
- e) pada umumnya dapat distart tanpa daya dari luar (black start).

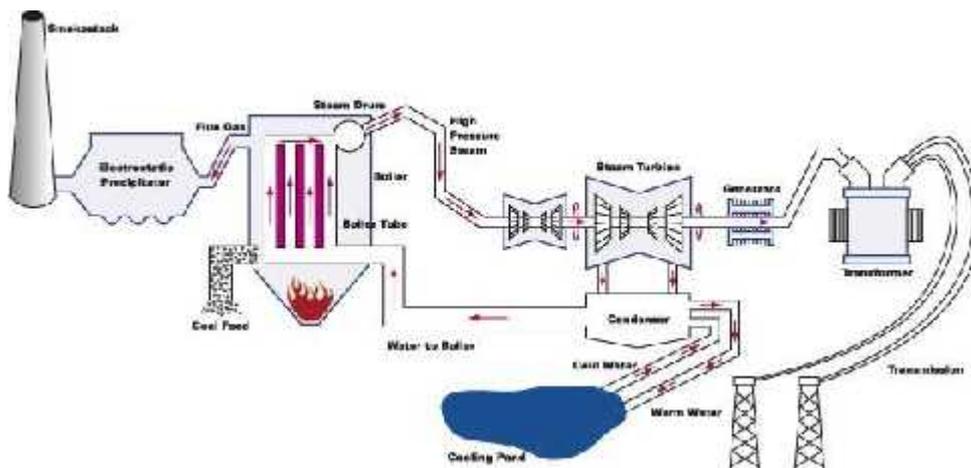
Masalah yang timbul pada operasi PLTA adalah timbul kavitasi pada turbin air. Kavitasi ini adalah peristiwa terjadinya letusan kecil dari gelembung uap air yang sebelumnya terbentuk di daerah aliran yang tekanannya lebih rendah daripada tekanan uap air ditempat semula, kemudian gelembung uap air ini akan mengecil dengan cepat atau meletus ketika uap air ini melewati daerah aliran yang tekanannya lebih besar daripada tekanan uap

air tersebut, dikarenakan jumlahnya sangat banyak atau dalam ribuan per detik dan satu letusan itu sangat cepat maka permukaan turbin yang dikenai oleh letusan gelembung tersebut lama kelamaan akan terangkat sehingga menyebabkan terjadi korosi yang menyebabkan bagian - bagian turbin air dalam kurun waktu tertentu, kira - kira 40.000 jam menjadi keropos dan perlu diperbaiki ataupun diganti. Perubahan fase uap dari zat cair yang sedang mengalir, karena tekanannya berkurang hingga di bawah tekanan uap jenuhnya atau kavitasi, terjadi pada bagian-bagian turbin yang mengalami perubahan tekanan air secara tiba-tiba, contohnya pada pipa pembuangan air turbin. Kavitasi berubah menjadi lebih besar apabila beban turbin berubah semakin kecil. Maka dari itu diterapkan adanya pembatasan beban minimum turbin air kira-kira 25%. Bagian terbesar dari pemeliharaan PLTA adalah pada bagian biaya perbaikan atau penggantian bagian - bagian turbin air yang menjadi keropos akibat kavitasi. Karena jika tidak diperbaiki ataupun diganti akan mengganggu proses pembangkitan.

PLTA yang ukurannya lebih kecil dengan daya terpasang dibawah 100 kw, biasanya disebut sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro atau (PLTM). PLTM ini sekarang banyak dibangun di daerah pedesaan. PLTM ini dilihat dari segi ekonomis bisa menguntungkan apabila terletak di tempat (site) yang mempunyai air terjun dengan ketinggian yang baik, dalam arti bangunan *power house* bisa sederhana dan murah, kemudian bagian elektro dan mekaniknya dibuat otomatis sehingga biaya pekerjanya menjadi lebih murah. pada daerah yang memiliki jaringan listrik, PLTM ini bisa diparalel dengan jaringan listrik yang sudah ada. Pada pembangunan dengan tinggi air terjun yang rendah, untuk PLTM dapat digunakan generator yang direndam dalam aliran air untuk menyederhanakan bangunan *power house* yang disebut *bulb type* unit atau dengan turbin kaplan . Karena PLTM biasanya tidak dijaga, maka dari itu digunakan generator asinkron untuk mempermudah proses sinkronisasi pada operasi paralel dengan sistem interkoneksi.

## 2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Dalam PLTU, energi primer yang dikonversikan menjadi energi listrik adalah bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa batubara (padat), minyak (cair) atau gas. Ada kalanya PLTU menggunakan kombinasi beberapa macambahanbakar. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap PLTU. Energi panas ini kemudian dipindahkan ke dalam air yang ada dalam pipa ketel. Uap dari drum ketel dialirkan keturbinuap. Daidalam proses turbin uap, energi *enthalpy* dari uap akan dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin uap tersebut akan dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator. Secara skematis proses-proses diatas diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Prinsip Kerja PLTU

Sumber: <http://akbarbowo.blogspot.co.id/2015/10/soal-1.html>

(diakses pada hari rabu,23 November 2016,09.00WIB)

### a) Prinsip Kerja

PLTU pada dasarnya memiliki pemanas ulang dan pemanas awal serta mempunyai tiga turbin yaitu turbin tekanan tinggi, turbin tekanan menengah, dan turbin tekanan rendah. Siklus yang diperlihatkan pada gambar 2.2 telah disederhanakan, yaitu bagian yang memperlihatkan sirkuit pengolahan air untuk suplesi dihilangkan untuk penyederhanaan. Suplesi air ini diperlukan karena adanya kebocoran uap yang terdapat pada sambungan pipa uap dan air

dari drum ketel mengalami *blow down*. Air tersebut akan dimasukkan dengan dipompakan kedalam drum yang selanjutnya air tersebut akan mengalir ke dalam pipa - pipa air yang merupakan dinding yang mengelilingi ruang bakar ketel, bahan bakar disemprotkan di dalam ruang bakar ketel dan udara pembakaran. Bahan bakar yang dicampur dengan udara ini selanjutnya akan dinyalakan dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran dalam ruang bakar. Pembakaran bahan bakar mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas (kalor) terjadi didalam ruang bakar. Energi panas hasil pembakaran tersebut akan dipindahkan ke air yang ada dalam pipa air ketel melalui proses konveksi radiasi, dan konduksi.

Komposisi perpindahan panas berbeda untuk setiap macam bahan baka, misalnya bahan bakar minyak bahan bakar ini melalui radiasi paling banyak memindahkan kalor hasil pembakarannya dibandingkan bahan bakar lainnya. Untuk terjadinya proses pembakaran ini diperlukan adanya oksigen yang diambil dari udara. Oleh sebab itu, sangat diperlukan pasokan oksigen yang cukup kedalam ruang bakar. Untuk keperluan memasok udara ke ruang bakar, digunakan kipas penghisap dan kipas (ventilator) penekan dipasang pada masing - masing ujung masuk udara keruang bakar (lihat gambar2.2).

Gas hasil pembakaran dalam ruang bakar setelah diberi “kesempatan” memindahkan energi panasnya ke air yang ada di dalam pipa air ketel, dialirkan melalui saluran pembuangan untuk selanjutnya dibuang ke udara melalui cerobong. Gas buang sisa pembakaran ini masih mengandung banyak energi panas karena tidak semua energi panasnya dapat dipindahkan ke air yang ada dalam pipa air ketel. Gas buang yang masih mempunyai suhu diatas 400oC ini dimanfaatkan untuk memanaskan (lihat gambar2.2):

#### 1. Pemanas Lanjut(Superheater)

Didalam pemanas lanjut, mengalir uap dari drum ketel yang menuju ke turbin uap tekanan tinggi. Uap yang mengalir dalam pemanas lanjut ini mengalami kenaikan suhu sehingga uap air ini semakin kering, oleh karena adanya gas buang disekeliling pemanas lanjut.

#### 2. Pemanas Ulang(Reheater)

Uap yang telah digunakan untuk turbin tekanan tinggi, sebelum menuju turbin tekanan menengah, dialirkan kembali melalui pipa yang dikelilingi oleh gas buang. Di sini uap akan mengalami kenaikan suhu yang serupa dengan pemanas lanjut.

### 3. Economizer

Air yang dipompakan ke dalam ketel, terlebih dahulu dialirkan melalui economizer agar mendapat pemanasan oleh gas buang. Dengan demikian suhu air akan lebih tinggi ketika masuk ke pipa air dalam ruang bakar yang selanjutnya akan mengurangi jumlah kalor yang diperlukan untuk penguapan (lebihekonomis).

### 4. Pemanas Udara

Udara yang dialirkan ke ruang pembakaran yang digunakan untuk membakar bahan bakar terlebih dahulu dialirkan melalui pemanas udara agar mendapat pemanasan oleh gas buang sehingga suhu udara naik yang selanjutnya akan mempertinggi suhu nyala pembakaran.

### 5. Pemeliharaan

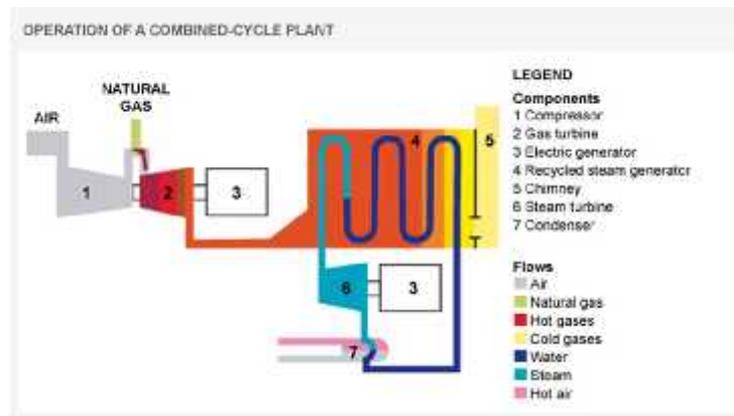
Bagian-bagian PLTU yang memerlukan pemeliharaan secara periodik adalah bagian-bagian yang berhubungan dengan gas buang dan air pendingin, yaitu pipa-pipa kondensor. Pipa-pipa ini semua memerlukan pembersihan secara periodik.

## 2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

### a) Prinsip Kerja

Sebuah pusat pembangkit listrik tenaga gas terdiri atas sebuah kompresor, turbin gas dan ruang pembakaran, dengan generator listrik. Udara dinaikkan tekanannya menjadi kira-kira  $13 \text{ kg/cm}^2$  ini dicampur dengan bahan bakar dengan alat dikompresi dalam kompresor. Apabila menggunakan bahan bakar gas (BBG), dengan udara maka gas dapat langsung dicampur untuk dibakar, tetapi kalau menggunakan bahan bakar minyak (BBM) harus mengalami proses pengkabutan terlebih dahulu kemudian proses selanjutnya baru kabut minyak dicampur dengan udara untuk dibakar. Pembakaran bahan

bakar yang terjadi pada ruang bakar akan menghasilkan gas yang tekanannya  $13 \text{ kg/cm}^2$  dan bersuhu tinggi mencapai kira-kira  $1.300^{\circ}\text{C}$ . Gas hasil proses pembakaran tersebut kemudian dialirkan ke turbin selanjutnya disemprotkan sehingga energi (*enthalpy*) gas tersebut akan dikonversikan menjadi energi mekanik dalam kompresor udara dan turbin penggerak generator yang pada akhirnya generator akan menghasilkan listrik.



Gambar 2.3 Prinsip kerja PLTG

Sumber: <http://nur-rosyidin.blogspot.co.id/2010/03/prinsip-kerja-pltgu.html>  
(diakses pada hari rabu, 23 November 2016, 09.30 WIB)

#### b) Operasi Pemeliharaan

Dari segi operasi, PLTG tergolong pembangkit yang masa startnya memerlukan waktu pendek, yaitu antara 15-30 menit, dan dengan *black start* kebanyakan dapat distart tanpa pasokan daya dari luar yaitu menggunakan mesin disel sebagai motor start. Dari segi perawatan, PLTG mempunyai *time between overhaul* atau selang waktu pemeliharaan yang pendek, yaitu sekitar 4.000-5.000 jam operasi. Makin sering unit mengalami stop-start, makin pendek selang waktu pemeliharaannya. Meskipun jam operasi unit pembangkit belum mencapai 4.000 jam, unit PLTG tersebut harus mengalami pemeriksaan dan pemeliharaan jika jumlah startnya telah mencapai 300 kali. Saat dilakukan pemeriksaan dan perawatan, hal-hal yang perlu mendapat perhatian khusus adalah pada bagian-bagian yang terkena aliran gas terutama gas hasil pembakaran yang suhunya mencapai  $1.300^{\circ}\text{C}$ , seperti pada dan sudu-

sudu turbin, ruang bakar dan saluran gas panas. Bagian-bagian inilah yang umumnya sering mengalami kerusakan sehingga perlu diperbaiki atau diganti.

Proses stop-start akan mempercepat proses kerusakan, karena proses stop-start menyebabkan proses pengerutan dan pemuaian. Hal ini dikarenakan oleh saat unit beroperasi dan terkena gas hasil pembakaran suhunya mencapai  $1.300^{\circ}\text{C}$  sedangkan pada waktu waktu unit dingin, suhunya sama dengan suhu ruangan.

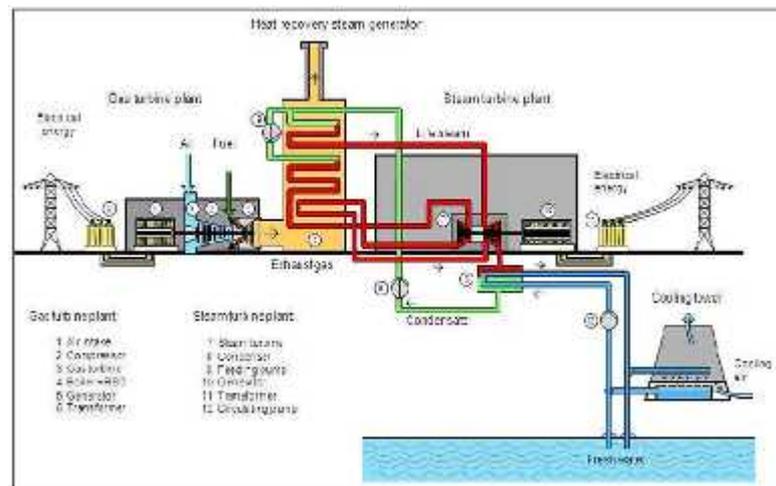
#### **2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU)**

PLTGU merupakan gabungan dari PLTG dan PLTU yang siklus gasnya menjadi satu. Gas buang dari turbin gas dengan suhu yang tinggi dialirkan ke HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) untuk memaksimalkan air dan menghasilkan uap dari HRSG digunakan untuk menggerak turbin uap (*Steam Turbin*).

##### **a) Prinsip kerja PLTGU**

Di dalam sistem turbin gas gas panas hasil pembakaran bahan bakar dialirkan untuk memutar turbin gas sehingga menghasilkan energi mekanik yang digunakan untuk memutar generator. Gas buang dari turbin gas yang masih mengandung energi panas tinggi dialirkan ke HRSG untuk memanaskan air sehingga dihasilkan uap. Setelah menyerahkan panasnya gas buang di buang ke atmosfer dengan temperatur yang jauh lebih rendah.

Uap dari HRSG dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin uap yang dikopel dengan generator sehingga dihasilkan energi listrik. Uap bekas keluar turbin uap didinginkan didalam kondensor sehingga menjadi air kembali. Air kondensat ini dipompakan sebagai air pengisi HRSG untuk dipanaskan lagi agar berubah menjadi uap dan demikian seterusnya.



Gambar 2.4 Prinsip kerja PLTGU

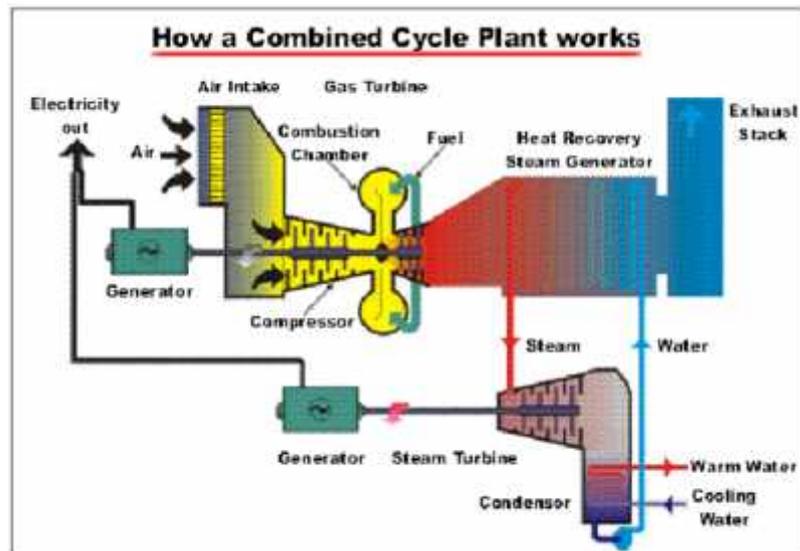
Sumber: <http://dsatriaz.blogspot.co.id/2013/05/teknologi-operasi-pltgu.html>  
(diakses pada hari rabu,23 November 2016,09.30WIB)

b) Komponen-komponen peralatan PLTGU

1. Turbin gas plant terdiri dari Compressor, combustor chamber, turbin gas dan generator
2. Heat recovery steam generator (HRSG)
3. Steam turbin plant terdiri dari HP dan LP turbin, condensator dan generator

c) Siklus PLTGU

Siklus PLTG digabung dengan siklus PLTU sehingga terbentuk siklus gabungan yang disebut *Combined Cycle* atau Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU). Siklus PLTG menerapkan siklus Brayton, sedangkan siklus PLTU menerapkan siklus ideal Rankine seperti gambar di bawah :



Gambar 2.5 Siklus kombinasi PLTGU

Sumber: <http://dsatriaz.blogspot.co.id/2013/05/teknologi-operasi-pltgu.html>  
(diakses pada hari rabu,23 November 2016,09.30WIB)

Penggabungan siklus turbin gas dengan siklus turbin uap dilakukan melalui peralatan pemindah panas berupa boiler atau umum disebut *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG). Siklus kombinasi ini selain meningkatkan efisiensi termal juga akan mengurangi pencemaran udara.

Dengan menggabungkan siklus tunggal PLTG menjadi unit pembangkit siklus kombinasi (PLTGU) maka dapat diperoleh beberapa keuntungan, diantaranya adalah :

1. Efisiensi termalnya tinggi, sehingga biaya operasi (Rp/kWh) lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit thermal lainnya.
2. Biaya pemakaian bahan bakar (konsumsi energi) lebih rendah
3. Pembangunannya relatif cepat
4. Kapasitas dayanya bervariasi dari kecil hingga besar
5. Menggunakan bahan bakar gas yang bersih dan ramah lingkungan
6. Fleksibilitasnya tinggi
7. Tempat yang diperlukan tidak terlalu luas, sehingga biaya investasi lahan lebih sedikit.
8. Pengoperasian PLTGU yang menggunakan komputersasi memudahkan pengoperasian.

9. Waktu yang dibutuhkan: untuk membangkitkan beban maksimum 1 blok PLTGU relatif singkat yaitu 150 menit.
10. Prosedur pemeliharaan lebih mudah dilaksanakan dengan adanya fasilitas sistem diagnosa.

## **2.3 Konservasi Energi**

### **2.3.1 Pengertian**

Saat ini banyak upaya yang dapat dilakukan dalam konservasi energi listrik, upaya tersebut dapat dilakukan di sisi konsumsi listrik (demand) maupun divisi penyedia listrik (supply). Demand Side Management (DSM) merupakan metode untuk mencapai efisiensi konsumsi energi listrik pada sisi pemakai energi listrik di mana salah satu jenisnya adalah konservasi energi listrik. Konservasi energi didefinisikan sebagai sumber energi, penggunaan energi, dan sumber daya energi secara rasional dan efisien tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar diperlukan dan tidak menurunkan fungsi energi itu sendiri secara teknis namun memiliki tingkat ekonomi yang serendahrendahnya, tidak pula mengganggu lingkungan dan dapat diterima oleh masyarakat. Jadi konservasi energi listrik adalah penggunaan energi listrik secara efisiensi tinggi melalui langkah-langkah penurunan berbagai kehilangan (loss) energi listrik pada semua taraf pengelolaan, mulai dari pemanfaatan, pengiriman atau transmisi dan sampai pada pembangkitan. mudahnya dengan kata lain yang lebih sederhana, konservasi energi listrik merupakan penghematan energi listrik.

### **2.3.2 Audit Energi Listrik**

Audit Energi Listrik merupakan suatu metode untuk mengevaluasi efektivitas, efisiensi dan mengetahui pemakaian energi listrik di suatu tempat. Audit energi listrik didefinisikan sebagai perbandingan dan perbandingan antara keluaran dan pemasukan per satuan output dalam suatu sistem pemanfaatan energi listrik. Hasil dari audit energi listrik diinginkan mampu mempersiapkan langkah-langkah apa yang harus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan menentukan efisiensi penggunaan energi listrik per konsumen. Manfaat konservasi energi ini

antara lain melalui audit energi listrik akan mendorong efisiensi penggunaan energi listrik, sehingga dimasa depan penambahan pembangkitan energi listrik tidak menjadi sesuatu yang mubazir. Audit energi biasanya dikerjakan dalam dua tingkat, yaitu audit pendahuluan (*preliminary*) dan audit rinci (*detailed*).

a. Audit energi pendahuluan

Audit energi pendahuluan merupakan pengumpulan data awal, tidak menggunakan instrumentasi yang canggih dan hanya menggunakan data yang tersedia. Dengan kata lain audit energi awal merupakan pengumpulan data di mana, bagaimana, berapa, dan jenis energi apa yang dipergunakan oleh suatu fasilitas. Daya ini diperoleh dari catatan penggunaan energi pada tahun-tahun/ bulan-bulan sebelumnya pada bangunan dan keseluruhan sistem kelengkapannya. Audit energi awal mempunyai tiga tahap pelaksanaan yaitu :

1. Melakukan identifikasi berupa biaya dan jumlah energi menurut jenis energi yang dipergunakan oleh bangunan dan kelengkapannya.
2. Melakukan identifikasi berupa konsumsi energi per bagian sistem dari bangunan dan kelengkapannya.
3. Mengoreksi masukan energi dan keluaran produksi atau biasa disebut dengan intensitas energi.

Hasil dari audit energi awal berupa langkah-langkah pembenahan yang dengan biaya rendah atau tanpa biaya, dan daftar sumber-sumber pemborosan energi yang dilakukan. Audit energi memberikan identifikasi tentang perlunya dilakukan audit energi rinci serta ruang lingkupnya.

b. Audit energi rinci

Audit energi rinci (*Detailed Energy Audit*) merupakan pendataan dengan memakai cara menyelidiki peralatan-peralatan yang mengonsumsi energi, yang selanjutnya diteruskan dengan analisa secara rinci terhadap grup-grup komponen, masing-masing komponen, dan peralatan yang melengkapi bangunan guna mengidentifikasi jumlah energi yang

dikonsumsi oleh peralatan, bagian-bagian tertentu dari bangunan, dan komponen, sehingga pada akhirnya dapat disusun diagram alir energi keseluruhan bangunan tersebut secara lengkap. Prosedur audit energi rinci dapat dibagi ke dalam delapan langkah utama yaitu sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi bagianbagian dan merencanakan audit secara teliti atau peralatan-peralatan utama pengguna energi dan merencanakan pemakaian waktu yang tersedia secara efisien bagi tim audit.
2. Pengumpulan data dasar mengumpulkan data dasar yang tersedia, meliputi jadwal penggunaan gedung ,penggunaan energi, dan kegiatan produksi.
3. Data pengujian peralatan melakukan pengujian operasi dan mendapatkan data baru pada saat kondisi operasi yang sebenarnya di lapangan.
4. Analisa data, menganalisa data yang telah dikumpulkan, menghitung efisiensi peralatan termasuk menggambarkan grafik energi spesifik, dan membuat system balance serta electricity balance.
5. Rekomendasi tanpa biaya dengan biaya rendah ,mengidentifikasi cara-cara operasi, pembenahan dan pemeliharaan yang akan memperbaiki efisiensi dan menghilangkan pemborosan energi.
6. Investasi modal, mengidentifikasi peluang penghematan energi yang memerlukan investasi.
7. Rencana pelaksanaan, menggambarkan dengan jelas rencana pelaksanaan yang memuat semua langkah-langkah yang diperlukan oleh perusahaan untuk menerapkan rprakiraan.
8. Laporan, menyusun laporan untuk manajemen, rekomendasi yang dibuat serta rencana pelaksanaan dan implementasi menyimpulkan temuan hasil audit.

## 2.4 Prinsip Kerja LEAP dalam Pemodelan Sistem Energi (Heaps,2012)

### 2.4.1 Struktur LEAP

Pendekatan yang digunakan oleh LEAP adalah struktur pemodelan dengan pendekatan *accounting framework*. Struktur ini dapat digunakan untuk membuat model sistem energi dengan variabel-variabel tentang diskripsi fisik sistem energi, biaya, dan dampak lingkungan. Lebih dari sekedar mensimulasikan kebijakan di sisi permintaan dan penyediaan energi, LEAP dapat digunakan untuk menganalisis dampak implementasi kebijakan-kebijakan tentang energi. Dengan demikian, *accounting framework* digunakan sebagai alat untuk menganalisis implikasi dari penerapan beberapa skenario permintaan atau penyediaan energi untuk mencapai target-target yang telah ditentukan. Selain itu, LEAP dengan pendekatan *accounting framework* juga dapat digunakan untuk melakukan eksplorasi sumber energi primer, dampak lingkungan, dan biaya sosial yang ditumbulkandari beberapa skenario alternatif.

*Accounting framework* memiliki beberapa kelebihan sebagai berikut:

1. Sederhana, transparan dan fleksibel, dan memerlukan data dasar yang sangat sederhana.
2. Simulasi tidak dilakukan dengan asumsi kompetisi yang ideal.
3. Dapat digunakan untuk menganalisis pemilihan teknologi atau biaya dalam pengembangan sistem energi.
4. Sangat berguna dalam aplikasi *capacity building*.

Di lain pihak, *accounting framework* memiliki beberapa kekurangan, antara lain:

1. Tidak secara otomatis dapat mengidentifikasi sistem *least-cost*, yaitu tidak sesuai untuk sistem yang sangat kompleks dimana perhitungan *least-cost* dibutuhkan
2. Tidak dapat menghasilkan perhitungan biaya yang konsisten, yaitu proyeksi permintaan energi dapat tidak konsisten dengan proyeksi konfigurasi penyediaan energi.

Dalam perkembangannya, LEAP sudah dapat dianggap sebagai model hybrid yang menggabungkan antara optimasi, simulasi, dan *accounting*. Untuk dapat berfungsi sebagai model hybrid, LEAP beroperasi pada dua tahapan, yaitu

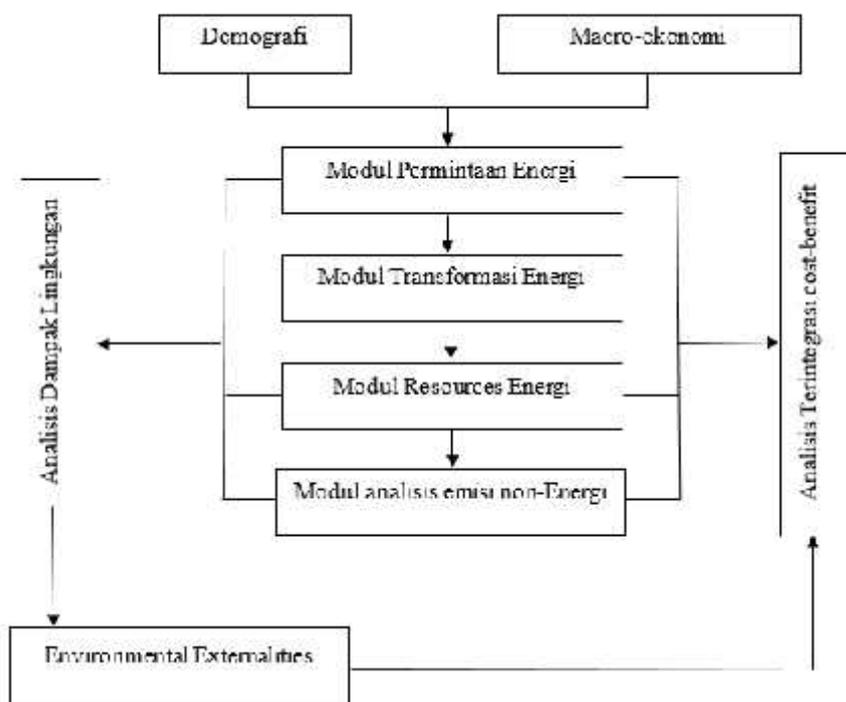
relasi dasar accounting sebagai fasilitas *built-in* dan pengguna LEAP dapat menambahkan model simulasi dari hasil yang diperoleh LEAP. Fasilitas perhitungan optimasi saat ini masih dikembangkan di dalam LEAP. Perhitungan optimasi sudah dapat dilakukan untuk menentukan sistem *least-cost*. LEAP tidak secara langsung digunakan untuk menentukan sistem *least-cost*, tetapi keluaran dari LEAP yang berupa teks digunakan sebagai masukan modul optimasi dari *Open Source energy Modeling System* (OSeMOSYS). Hasil perhitungan optimasi OSeMOSYS dimasukkan kembali ke LEAP untuk ditampilkan sebagai hasil dari sistem *least-cost*.

#### **2.4.2 Kapabilitas Pemodelan dengan LEAP**

LEAP terdiri dari 5 buah modul utama, yaitu modul variabel penggerak, modul analisis permintaan energi, modul transformasi energi, modul analisis sumber daya, dan modul teknologi dan dampak lingkungan. Diagram alir perhitungan yang dilakukan oleh LEAP ditunjukkan dalam gambar 2.6. Modul variabel penggerak terdiri dari variabel demografi dan makro-ekonomi. Variabel penggerak ini yang akan menentukan permintaan energi di dalam sistem energi yang dimodelkan dengan LEAP. Di dalam modul analisis permintaan energi, besar permintaan energi ditentukan oleh aktivitas penggunaan energi. Aktivitas ini direpresentasikan oleh variabel yang didefinisikan di dalam variabel penggerak. Modul transformasi energi digunakan untuk mensimulasikan proses penyediaan energi. Modul transformasi energi ini dapat terdiri dari proses yang mengubungkan antara sumber energi dengan pengguna energi dan proses konversi energi primer menjadi energi sekunder atau final. Modul analisis sumber daya digunakan untuk mensimulasikan ketersediaan atau cadangan energi primer. Modul ini juga dapat digunakan untuk mensimulasikan aktivitas ekspor dan impor dari suatu wilayah ke wilayah lainnya. Analisis ekspor dan impor sumber daya energi primer dapat dilakukan dengan menggunakan fasilitas *region* yang ada didalam LEAP.

Modul analisis dampak lingkungan terdiri dari modul teknologi di dalam modul permintaan energi dan modul transformasi energi serta modul analisis dampak lingkungan dari sektor non-energi. Dari sisi permintaan energi, setiap jenis

teknologi pengguna energi dapat disimulasikan setiap jenis emisi yang dihasilkan. Demikian juga di sisi penyediaan energi, emisi yang dihasilkan dapat disimulasikan melalui proses-proses penyediaan energi. Setiap proses penyediaan energi yang berbeda akan menghasilkan emisi-emisi yang berbeda pula. Dengan demikian, analisis dampak lingkungan dapat dilakukan secara terintegrasi baik dari sisi permintaan energi maupun dari sisi penyediaan energi.



Gambar 2.6 Diagram alir perhitungan di dalam LEAP

Sumber: Heaps, 2012

Analisis *cost-benefit* dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas modul cost di dalam LEAP. Analisis ini dapat dilakukan baik dari sisi permintaan energi maupun sisi penyediaan energi. Dari sisi permintaan energi, analisis ini dapat dilakukan untuk setiap jenis teknologi pengguna energi untuk jenis-jenis biaya kapital, operasi dan pemeliharaan, dan biaya *replacement*. Di sisi penyediaan energi, analisis yang dapat dilakukan adalah analisis biaya yang terdiri dari biaya kapital, biaya operasi dan pemeliharaan, biaya bahan bakar, dan biaya modul penyediaan energi yang tidak dipengaruhi oleh yang bersifat variabel. Dari sisi penyediaan energi, LEAP menyediakan fasilitas perhitungan biaya yang disebabkan oleh emisi-emisi yang dihasilkan. Analisis ini dilakukan melalui modul

*environment externality*. Melalui modul ini, setiap biaya yang dikeluarkan untuk setiap jenis emisi yang dihasilkan dapat disimulasikan sebagai bagian dari analisis *cost-benefit* yang terintegrasi.

Secara ringkas, kapabilitas pemodelan sistem energi dengan menggunakan LEAP adalah:

1. Permintaan energi:
  - a. Pemodelan permintaan energi secara terstruktur.
  - b. Pemodelan permintaan energi berdasarkan perubahan penggunaan jenis energi.
2. Konversi energi :
  - a. Simulasi jenis-jenis konversi energi (pembangkit listrik, transmisi dan distribusi energi listrik, kilang minyak, proses pembuatan arang kayu, penambangan batubara, ekstraksi minyak bumi, produksi ethanol, dan lain sebagainya).
  - b. Sistem dispatch pembangkit listrik berdasarkan LDC.
  - c. Pemodelan ekspansi kapasitas dengan metode *exogenous* dan *endogenous*.
3. Sumber daya energi:
  - a. Kebutuhan, produksi, dan ekspor dan impor energi primer.
  - b. Perhitungan berdasarkan luar-wilayah untuk sumber energi biomasa dan energi terbarukan.
4. Biaya :
  - a. semua biaya yang diperlukan di dalam sistem energi yang terdiri dari biaya kapital, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, efisiensi energi, dan dampak lingkungan.
5. Dampak lingkungan:
  - a. Semua emisi dan dampak langsung dari sistem energi.
  - b. Sumber-sumber sektor non-energi.

### 2.4.3 Metode-Metode dalam LEAP

LEAP merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mensimulasikan sistem energi berdasarkan skenario-skenario yang didefinisikan oleh pengguna LEAP. Skenario ini merupakan alur yang konsisten dengan tujuan untuk menggambarkan bagaimana suatu sistem energi berkembang dalam kurun waktu tertentu. LEAP dirancang untuk dapat mensimulasikan beberapa skenario baik secara terpisah maupun terintegrasi. Suatu skenario yang disusun dapat mengacu pada skenario lainnya. Dan setiap skenario akan mengacu pada kondisi yang didiskripsikan pada tahun dasar sebagai *current account*. Dengan demikian, perhitungan yang dilakukan di dalam LEAP tidak bersifat prediktif atau proyektif.

Analisis permintaan energi di dalam LEAP bertujuan untuk menentukan permintaan energi dan biaya-biaya yang berhubungan langsung dengan konsumsi energi di dalam suatu model sistem energi. Permintaan energi dimodelkan dengan struktur hirarki yang fleksibel. Permintaan energi dapat dikategorikan berdasarkan sektor pengguna energi, sub-sektor pengguna energi, maupun jenis teknologi pengguna energi. Analisis permintaan energi dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu analisis *end-use* energi, *econometric forecast*, dan model *stock-turnover*.

Metode perhitungan permintaan energi dilakukan menggunakan dua pendekatan, yaitu analisis energi final dan analisis *useful energy*. Di dalam analisis energi final LEAP menghitung permintaan energi berdasarkan persamaan 2.2. Di dalam persamaan 2.2 jumlah energi yang di butuhkan ( $e$ ) berbanding lurus dengan aktivitas di sektor energi ( $u$ ) dan intensitas energi finalnya ( $i$ ). Aktivitas energi direpresentasikan oleh variabel penggerak yang dapat berupa data demografi atau data makro-ekonomi. Sedangkan intensitas energi merupakan energi yang dikonsumsi per satuan aktivitasnya. Sebagai contoh, permintaan energi untuk suatu industri semen dapat ditentukan berdasarkan jumlah semen yang dihasilkan (dalam kg atau ton) dan energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan semen per satuan berat (jumlah energi per kg semen atau per ton semen).

$$e = (u \cdot i) \quad (2.2)$$

Metode perhitungan permintaan energi dengan pendekatan *analisis useful energy* dilakukan dengan persamaan 2.3 Energi yang dibutuhkan ( $e$ ) dalam persamaan 2.3 berbanding lurus dengan intensitas *useful energy* ( $u$ ) dan aktivitas di sektor energi ( $a$ ) serta berbanding terbalik dengan efisiensi penggunaan energi ( $n$ ). Sebagai contoh, permintaan energi di sektor komersial akan berubah bergantung pada bertambahnya jumlah bangunan ( $+u$ ), peningkatan pendapatan yang menyebabkan lebih banyak dibutuhkan pemanasan dan pendinginan ( $+u$ ), atau teknologi isolasi bangunan yang semakin baik ( $-u$ ), atau bangunan menggunakan teknologi boiler listrik atau gas alam untuk menggantikan boiler BBM( $+n$ ).

$$e = a \cdot \left(\frac{u}{n}\right) \quad (2.3)$$

Di sisi penyediaan energi listrik, simulasi yang dilakukan oleh LEAP didasarkan pada 2 hal, yaitu ekspansi kapasitas pembangkit listrik dan dispatch rule pembangkit listrik. Ekspansi kapasitas pembangkit listrik bertujuan untuk menentukan tambahan kapasitas pembangkit dan jenisnya serta waktu penambahan tersebut untuk memenuhi permintaan energi listrik. Sedangkan dispatch bertujuan untuk menentukan bagaimana pembangkit listrik beroperasi setelah dibangun. Penentuan ekspansi kapasitas pembangkit listrik di dalam LEAP dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu secara *exogenous* dan secara *endogenous*. Ekspansi kapasitas pembangkit listrik secara *exogenous* dilakukan secara manual dengan memasukkan nilai kapasitas dan waktu penambahan kapasitas maupun jadwal retirement pembangkit listrik. Sedangkan ekspansi kapasitas pembangkit listrik secara *endogenous* dilakukan secara otomatis oleh LEAP. LEAP akan menentukan besar kapasitas dan waktu penambahan kapasitas tersebut sesuai dengan jenis pembangkit listrik yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam menentukan kapasitas secara *endogenous*, kapasitas yang dihasilkan oleh LEAP bertujuan untuk mempertahankan *reserve margin* yang telah ditentukan.

Terdapat dua metode dispatch sistem pembangkit listrik di dalam LEAP, yaitu berdasarkan pembangkitan energi listrik secara historis dan berdasarkan dispatch rule sistem pembangkit listrik. Metode dispatch rule yang ada di dalam LEAP mulai dari yang paling sederhana dengan menggunakan persentase dari pembangkitan energi listrik sampai metode merit order dan running cost. LEAP juga

dapat mensimulasikan berbagai jenis sistem pembangkit dengan metode dispatch yang berbeda-beda. Sebagai contoh, jenis pembangkit listrik dengan energi primer dari energi terbarukan menggunakan dispatch berdasarkan presentase pembangkitan energi listrik sedangkan jenis pembangkit listrik lainnya menggunakan metode dispatch berdasarkan meritorder.

Untuk perhitungan biaya sistem pembangkit listrik, LEAP melakukan perhitungan cost-benefit dari sudut pandang social-cost dengan metode menghitung semua biaya yang berhubungan dengan sistem energi yang dimodelkan dan kemudian membandingkan hasil perhitungan biaya dari beberapa skenario yang dirancang. LEAP melakukan perhitungan elemen-elemen biaya yang terdiri dari:

1. biaya dari sisi permintaan energi yang dapat dinyatakan dalam biaya total, biaya per aktivitas, atau biaya efisiensi energi relatif terhadap suatu skenario.
2. biaya kapital transformasi energi.
3. biaya tetap dan variabel operasi dan pemeliharaan.
4. biaya sumberdaya energi primer (biaya bahanbakar).
5. biaya sumberdaya energi primer yang diimpor.
6. keuntungan biaya dari aktivitas ekspor sumberdaya energi primer.
7. biaya *externality* polusi dari sektor transformasi energi.
8. biaya-biaya lainnya yang dapat didefinisikan seperti biaya program efisiensi energi.

Perhitungan biaya kapital di dalam LEAP merupakan biaya kapital selama periode *lifetime* dari suatu sistem pembangkit listrik (*annualized cost*). Metode yang digunakan dalam perhitungan biaya ini menggunakan *standard mortgage* seperti pada persamaan 2.4, 2.5 dan 2.6. Dalam persamaan 2.5 dan 2.6,  $i$  merupakan interest rate,  $n$  lifetime sistem pembangkit listrik, dan CRF adalah *capital recovery factor*.

$$A \quad C = T \quad C \quad X C \quad (2.4)$$

$$C = \frac{i \cdot K}{k - 1} \quad (2.5)$$

$$k = (1 + i)^n \quad (2.6)$$

#### 2.4.4 Perhitungan Permintaan Energi

Di dalam LEAP, perhitungan permintaan energi dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode energi final dan energi useful. Di dalam analisis permintaan energi final, permintaan energi dihitung sebagai perkalian antara level aktivitas dan intensitas energi. Level aktivitas merupakan ukuran aktivitas sosial dan ekonomi yang mempengaruhi permintaan energi. Sedangkan intensitas energi adalah rata-rata konsumsi energi per teknologi pengguna energi atau per satuan level aktivitas. Selanjutnya, permintaan energi dihitung untuk tahun dasar dan periode simulasi LEAP dengan menggunakan persamaan 2.7:

$$D_{b,s,t} = T_{b,s,t} \times E_{b,s,t} \quad (2.7)$$

Dimana:

TA : Level aktivitas.

EL : Intensitas energi.

b : Cabang yang didefinisikan di dalam LEAP.

s : Skenario.

t : Tahun (dari 0 tahundasar) sampai dengan akhrtahun simulasi.

Untuk setiap cabang yang didefinisikan, LEAP menghitung permintaan energi untuk setiap jenis bahan bakar. Dengan demikian, LEAP dapat menghitung total permintaan energi untuk setiap jenis bahan bakar tertentu.

#### 2.4.5 Perhitungan Kapasitas Pembangkit Listrik

Kapasitas pembangkit listrik dapat dihitung secara *endogenous* untuk mempertahankan nilai *planning reserve* margin (PRM) yang telah ditentukan. Perhitungan kapasitas pembangkit diawali dengan menghitung nilai kapasitas yang ada dengan persamaan 2.8.

$$C_B = (C_E + C_{E'}) \times C_V \quad (2.8)$$

Dimana :

$C_B$  : kapasitas awal (MW),

$C_E$  : kapasitas *exogenous* (MW),

$C_E$  :kapasitas *endogenous* yang telah ditambahkan (MW),

$C_p$  :persentase nilai kapasitas aktual (MW).

Sedangkan kapasitas yang dibutuhkan untuk memenuhi beban puncak dihitung dengan menggunakan persamaan 2.9.

$$C_p = \frac{D}{L \times 8760} \quad (2.9)$$

Dimana :

$C_p$  :kapasitas untuk memenuhi beban puncak(MW)

$D$  : permintaan energi listrik (MWh),

$L$  :faktor beban sistem.

PRM sebelum ada penambahan kapasitas secara *endogenous* dihitung berdasarkan persamaan 2.10.

$$PRM = (C_E - C_p) / C_p \quad (2.10)$$

Dimana  $PRM$  adalah PRM sebelum ada penambahan kapasitas. Selanjutnya, kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan secara *endogenous* ditentukan dengan persamaan 2.11.

$$C_E = (PRM - C_p) \times C_p \quad (2.11)$$

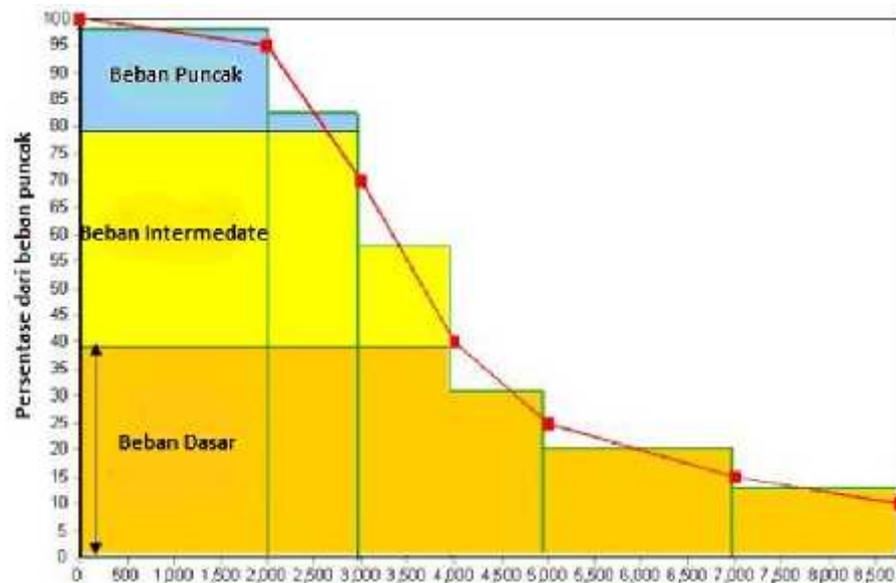
Dimana  $C_E$  adalah kapasitas pembangkit listrik yang harus ditambahkan untuk mempertahankan PRM pada nilai yang sudah ditentukan. Pada akhirnya, LEAP menghitung kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan untuk setiap proses pembangkit listrik.

#### 2.4.6 Proses Dispatch Pembangkit Listrik

Dalam perhitungan optimasi, pembangkit listrik di dispatch berdasarkan *runningcost*. Dengan metode *dispatch* ini, modul pembangkit listrik harus mengikutsertakan *load duration curve* (LDC). Selanjutnya, LEAP akan mensimulasikan *dispatch* setiap jenis proses pembangkit listrik baik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang ditentukan oleh LDC maupun kebutuhan energi listrik secara keseluruhan. Running cost ditentukan dengan persamaan 2.12.

$$R \quad C \quad i = V \quad i + \frac{F}{E} \frac{i}{i} \quad (2.12)$$

Untuk mensimulasikan proses *dispatch* pembangkit listrik, LEAP pertama-tama mengurutkan proses pembangkit listrik berdasarkan merit order yang telah ditentukan. Informasi dari proses pengurutan ini digunakan untuk menentukan kapasitas yang tersedia untuk setiap kelompok *merit order*. Dengan demikian setiap kelompok dengan merit order yang sama akan di *dispatch* secara bersamaan. Selanjutnya, LEAP akan melakukan pendekatan diskrit terhadap LDC yang telah ditentukan dan dibagi kedalam interval time slice seperti pada gambar 2.7.



Gambar2.7 Komulatif LDC

Sumber: Heaps, 2012

Di dalam gambar 2.7, tinggi setiap interval beban puncak sistem yang diperlukan dikalikan dengan rata-rata persentase beban puncak dari dua titik yang berdekatan pada kurva LDC yang telah ditentukan. Sedangkan lebar setiap interval adalah perbedaan jumlah jam untuk dua buah titik yang berdekatan. Kapasitas untuk memenuhi kebutuhan beban puncak sistem secara keseluruhan ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.8.

Selanjutnya, setiap proses pembangkit listrik *dispatch* berdasarkan interval vertikal untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di bawah kurva LDC. Pembangkit listrik untuk memenuhi beban dasar di *dispatch* pertama kali, diikuti

dengan pembangkit berikutnya yang digunakan untuk memenuhi beban intermediate dan beban puncak. Untuk merepresentasikan ketersediaan teknis rata-rata setiap pembangkit listrik, ketinggian maksimum setiap interval adalah kapasitas yang tersedia (yaitu penjumlahan kapasitas dikalikan dengan ketersediaan maksimum) untuk setiap kelompok proses pembangkit listrik. Setiap kelompok pembangkit di *dispatch* sampai daerah di bawah kurva LDC tersisipenuh. Pada saat kapasitas yang tersedia melampaui jumlah yang diperlukan, kapasitas aktual untuk setiap proses yang di *dispatch* dikurangi sedemikian hingga setiap proses di *dispatch* secara proporsional terhadap kapasitas yang tersedia.