

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kebutuhan dan penyediaan energi listrik dengan mengimplementasikan sumber energi terbarukan sangat perlu dikembangkan. Salah satu faktor yang melatarbelakangi pengembangan energi terbarukan adalah faktor lingkungan. Sehingga penggunaan energi fosil untuk energi listrik bisa dikurangi dengan mengarahkan pada pembangkitan energi listrik dengan *green technology*.

Penelitian mengenai perencanaan pemenuhan kebutuhan energi listrik dimasa depan dengan pengoptimalan sumber energi terbarukan 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 CO₂ 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).

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.

Syamsuddin Rumatumia (2015) dengan judul penelitian Analisis Tentang Peran Sumber Energi Terbarukan dalam Penyediaan Energi Listrik dan Penurunan Emisi CO₂ di Provinsi Maluku. Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan kelistrikan di wilayah Maluku dengan berdasarkan oleh beberapa kebijakan yakni, mengurangi konsumsi BBM dalam rangka menekan pertumbuhan CO₂ dan juga mengoptimalkan pemanfaatan potensi sumber energi primer setempat seperti (Panas bumi dan Air).

E.H Tampubolon , H. Tumaliang, M. S Rumbayan (2014) dengan judul penelitian Kajian Perencanaan Energi Listrik di Wilayah Kabupaten Sorong Menggunakan Perangkat Lunak LEAP. Dalam penelitian ini perencanaan ketenagalistrikan berpedoman pada asas biaya terendah (*least cost*), perencanaan ketenagalistrikan konvensional hanya mencakup perencanaan sisi penyediaan energi listrik (*supply side*), namun dalam perencanaan yang lebih maju, juga mencakup sisi pemakaian energi listrik dan berlangsung secara terintegrasi. Pemanfaatan sumber energi setempat dan prioritas pemilihan aneka ragam energi yang tersedia dengan urutan prioritas sebagai berikut: energi terbarukan, bahan

bakar gas, batubara, dan bahan bakar minyak. Sehingga penggunaan pembangkit dengan sumber energi terbarukan dapat ditingkatkan dan diharapkan Tercapainya bauran bahan bakar yang lebih baik, dicerminkan oleh pengurangan penggunaan bahan bakar minyak hingga kontribusi produksi pembangkit berbahan bakar minyak menjadi lebih kecil.

Setelah mempelajari kajian pustaka dari beberapa penelitian maka dilakukan penelitian terhadap kebutuhan dan penyediaan energi listrik di Provinsi Lampung dari tahun 2015 sampai dengan tahun 2024 dengan mengoptimalkan sumber energi terbarukan. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa proyeksi antara lain adalah permintaan energi listrik, pengembangan energi terbarukan, pertumbuhan emisi gas rumah kaca dan perhitungan sosial cost pembangkit dengan menggunakan perangkat lunak *Longe-range Energy Alternative Planning* (LEAP).

2.1 Jenis - Jenis Pembangkit Listrik Konvensional

2.1.1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG)

A. Prinsip Kerja

Sebuah pusat pembangkit listrik tenaga gas terdiri atas sebuah kompresor, ruang pembakaran, dan turbin gas dengan generator listrik. Udara dikompresi dalam kompresor untuk dinaikkan tekanannya menjadi kira-kira 13 kg/cm^2 kemudian udara tersebut dialirkan ke ruang bakar. Dalam ruang bakar, udara bertekanan 13 kg/cm^2 ini dicampur dengan bahan bakar dan dibakar. Apabila digunakan bahan bakar gas (BBG), maka gas dapat langsung dicampur dengan udara untuk dibakar, tetapi apabila digunakan bahan bakar minyak

(BBM), maka BBM ini harus dijadikan kabut terlebih dahulu kemudian baru dicampur dengan udara untuk dibakar. Pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar menghasilkan gas bersuhu tinggi sampai kira-kira 1.300°C dengan tekanan 13 kg/cm^2 . Gas hasil pembakaran ini kemudian dialirkan menuju turbin untuk disemprotkan ke turbin sehingga energi (*enthalpy*) gas ini dikonversikan menjadi energi mekanik dalam turbin penggerak generator (dan kompresor udara) dan akhirnya generator menghasilkan tenaga listrik.

B. Operasi dan Pemeliharaan

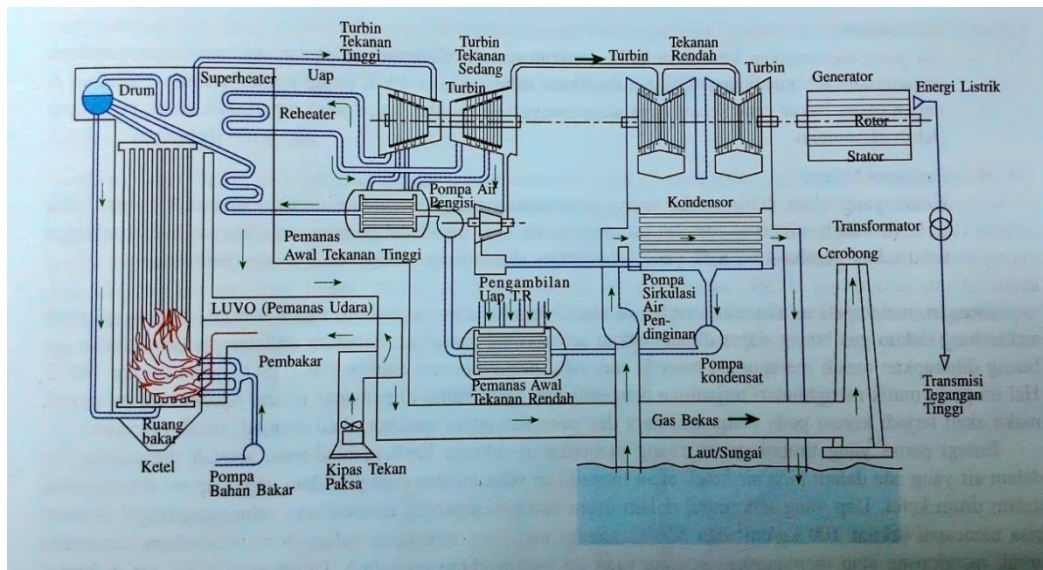
Dari segi operasi, PLTG tergolong unit yang masa startnya pendek, yaitu antara 15-30 menit, dan kebanyakan dapat distart tanpa pasokan daya dari luar (*black start*), yaitu menggunakan mesin diesel sebagai motor start. Dari segi pemeliharaan, PLTG mempunyai selang waktu pemeliharaan (*time between overhaul*) yang pendek, yaitu sekitar 4.000-5.000 jam operasi. Makin sering unit mengalami start-stop, makin pendek selang waktu pemeliharaannya. Walaupun jam operasi unit belum mencapai 4.000 jam, tetapi jika jumlah startnya telah mencapai 300 kali, maka unit PLTG tersebut harus mengalami pemeriksaan dan pemeliharaan. Saat dilakukan pemeriksaan, hal-hal yang perlu mendapat perhatian khusus adalah bagian-bagian yang terkena aliran gas hasil pembakaran yang suhunya mencapai 1.300°C , seperti: ruang bakar, saluran gas panas (*hot gas path*), dan sudu-sudu turbin. Bagian-bagian ini umumnya mengalami kerusakan (retak) sehingga perlu diperbaiki atau diganti.

Proses start-stop akan mempercepat proses kerusakan (keretakan), karena proses start-stop menyebabkan proses pemuaiian dan pengerutan yang tidak kecil yang tidak kecil. Hal ini disebabkan sewaktu unit dingin, suhunya sama dengan suhu ruangan (sekitar 30°C) sedangkan sewaktu operasi, akibat terkena gas hasil pembakaran, suhunya mencapai sekitar 1.300°C .

2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

A. Proses Konversi Energi

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 macam bahan bakar. 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 untuk menghasilkan uap yang dikumpulkan dalam drum dari ketel. Uap dari drum ketel dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi (*enthalpy*) uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, dan akhirnya energi mekanik dari turbin uap ini dikonversikan menjadi energi listrik oleh generator. Secara skematis, proses tersebut di atas diperlihatkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Prinsip Kerja PLTU

Sumber : Pembangkitan Energi Listrik (Djiteng Marsudi, 2005)

B. Prinsip Kerja

PLTU umumnya 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 2.1 telah disederhanakan, yaitu bagian yang memperlihatkan sirkuit pengolahan air untuk suplesi dihilangkan untuk penyederhanaan. Suplesi air ini diperlukan karena adanya kebocoran uap pada sambungan-sambungan pipa dan adanya *blow down* air dari drum ketel. Air dipompakan ke dalam drum dan selanjutnya mengalir ke pipa-pipa air yang merupakan dinding yang mengelilingi ruang bakar ketel. Ke dalam ruang bakar ketel disemprotkan bahan bakar dan udara pembakaran. Bahan bakar yang dicampur udara ini dinyalakan dalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran dalam ruang bakar. Pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar mengubah energi kimia

yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas (kalor). Energi panas hasil pembakaran ini dipindahkan ke air yang ada dalam pipa air ketel melalui proses radiasi, konduksi, dan konveksi.

Untuk setiap macam bahan bakar, komposisi perpindahan panas berbeda, misalnya bahan bakar minyak paling banyak memindahkan kalor hasil pembakarannya melalui radiasi dibandingkan bahan bakar lainnya. Untuk melaksanakan pembakaran diperlukan oksigen yang diambil dari udara. Oleh karena itu, diperlukan pasokan udara yang cukup ke dalam ruang bakar. Untuk keperluan memasok udara ke dalam ruang bakar, ada kipas (ventilator) penekan dan kipas penghisap dipasang masing-masing pada ujung masuk udara ke ruang bakar dan pada ujung keluar udara dari ruang bakar (lihat Gambar 2.1).

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 di atas 400°C ini dimanfaatkan untuk memanaskan (lihat Gambar 2.1).

a. Pemanasan Lanjut (*Superheater*)

Di dalam pemanas lanjut, mengalir uap dari drum ketel yang menuju ke turbin uap tekanan tinggi. Uap yang mengalir dalam pemanas lanjut ini

mengalamikenaikan suhu sehingga uap air ini semakin kering, oleh karena itu adanya gas buang disekeliling pemanas lanjut.

b. Pemanas Ulang (*Reheater*)

Uap yang telah digunakan untuk menggerakkan turbin tekanan tinggi, sebelumnya 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.

c. *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 di dalam ruang bakar yang selanjutnya akan mengurangi jumlah kalor yang diperlukan untuk penguapan (lebih ekonomis).

d. Pemanas Udara

Udara yang akan 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 pembakaran naik yang selanjutnya akan mempertinggi suhu nyala pembakaran.

e. Pemeliharaan

Bagian-bagian PLTU yang memerlukan pemeliharaan secara periodik adalah bagian-bagian yang berhubungan dengan gas buang dan air

pendingin, yaitu pipa-pipa air ketel uap dan pipa-pipa air pendingin termasuk pipa-pipa kondensor. Pipa-pipa ini semua memerlukan pembersihan secara periodik.

Pada pipa air ketel umumnya banyak abu yang menempel dan perlu dibersihkan agar proses perpindahan panas dari ruang bakar ke air melalui dinding pipa tidak terhambat. Walaupun telah ada *soot blower* yang dapat digunakan untuk menyemprotkan aip pembersih pada pipa air ketel, tetapi tidak semua bagian pipa air ketel uap dapat dijangkau oleh air pembersih *soot blower* ini sehingga diperlukan kesempatan untuk pembersihan bagian yang tidak terjangkau oleh *soot blower* tersebut.

Saluran air pendingin, terutama jika menggunakan air laut, umumnya ditemplei binatang laut yang berkembang biak dan juga ditemplei kotoran air laut sehingga luas penampang efektif dari saluran tersebut menurun. Untuk mengurangi binatang laut ini ada *chlorination plant* yang menyuntikan gas klorin ke dalam air pendingin (air laut) ini. Oleh karena itu, secara periodik saluran air pendingin (baik yang berupa saluran terbuka maupun pipa) perlu secara periodik dibersihkan. Pipa kondensor yang juga dilalui air pendingin, dan karena penampangnya kecil, pipa ini juga memerlukan pembersihan yang lebih sering dari pada bagian saluran air pendingin yang lain. Namun pembersihan pipa air kondensor tidak memerlukan penghentian operasi dari unit pembangkit yang bersangkutan hanya saja memerlukan penurunan beban karena pipa kondensor dapat dibersihkan secara bertahap.

Bagian-bagian PLTU yang rawan mengalami kerukan dan perlu perhatian/pengecekan secara periodik adalah:

- a) Bagian-bagian yang bergesek satu sama lain, seperti bantalan dan roda gigi.
- b) Bagian yang mempertemukan dua zat yang suhunya berbeda, misalnya kondensor dan penukar panas (*heat exchanger*).
- c) Kotak-kotak saluran listrik dan sakelar-sakelar.

2.2 Jenis - Jenis Pembangkit Listrik Terbarukan

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pengertian pembangkit listrik tenaga air (PLTA) mengubah energi dari air yang bergerak menjadi energi listrik dengan mempergunakan sebuah turbin air yang terpasang pada generator listrik. Sebagaimana diketahui dari ilmu fisika, setiap benda dan juga air, yang berada di atas permukaan bumi, memiliki energi potensial yang berbentuk rumus berikut:

$$E = m \cdot g \cdot H$$

Di mana:

E = energi potensial,

m = massa,

g = percepatan gravitasi,

H = tinggi relatif terhadap permukaan bumi.

Dari rumus di atas dapat dijabarkan:

$$dE = dm \cdot g \cdot H$$

Bilamana dE merupakan elemen energi yang dibangkitkan oleh elemen massa dan melalui jarak tinggi H . Bilamana Q didefinisikan debit air, dapat ditulis:

$$Q = dm/dt$$

Di mana:

$$Q = \text{debit air,}$$

$$dm = \text{elemen massa air, dan}$$

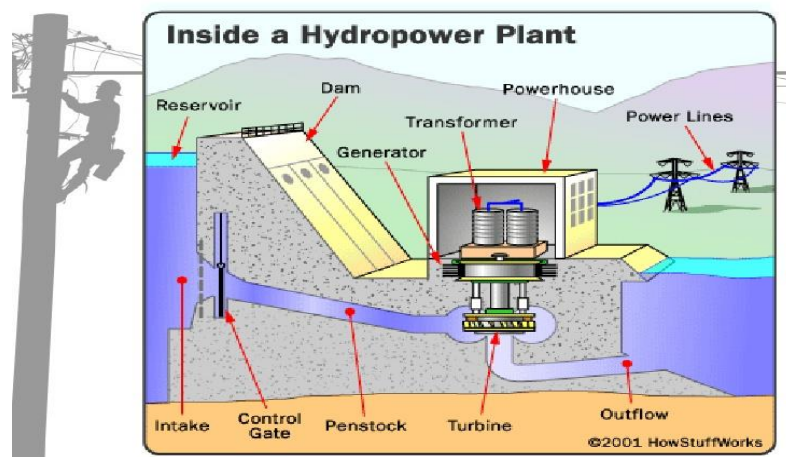
$$dt = \text{elemen waktu.}$$

Maka dapat dirumuskan:

$$P = dE/dt = (dm/dt).H = Q.g.H$$

Atau:

$$P = Q.g.H$$



Gambar 2.2. Proses Konversi Energi Pada PLTA

Sumber : <http://jonny-havianto.blogspot.co.id/2012/11/proses-produksi-energi-listrik-pada-plta.html>

(diakses pada hari selasa, 22 Maret 2016, 02.55)

A. Komponen PLTA dan Cara Kerjanya

a. Dam / Bendungan

Dam/bendungan berfungsi untuk menampung air dalam jumlah besar karena turbin memerlukan pasokan air yang cukup dan stabil. Selain itu, dam juga berfungsi untuk pengendalian banjir. Kebanyakan dam ini juga memiliki bagian yang disebut pintu air untuk membuang air yang tidak diinginkan secara bertahap atau berkelanjutan.

b. Pipa Pesat (Penstock)

Pipa pesat berfungsi untuk menyalurkan dan mengarahkan air ke cerobong turbin. Salah satu ujung pipa pesat dipasang pada bak penenang minimal 10 cm di atas lantai dasar bak penenang. Sedangkan ujung yang lain diarahkan pada cerobong turbin. Pada bagian pipa pesat yang keluar dari bak penenang, dipasang pipa udara (Air Vent) setinggi 1 meter di atas permukaan air bak penenang. Pemasangan pipa udara ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya tekanan rendah (Low Pressure) apabila bagian ujung pipa pesat tersumbat. Tekanan rendah ini akan berakibat pecahnya pipa pesat. Fungsi lain pipa udara ini untuk membantu mengeluarkan udara dari dalam pipa pesat pada saat start ½ inch.

c. Turbin

Gaya jatuh air yang mendorong baling-baling menyebabkan turbin berputar. Turbin air kebanyakan seperti kincir angin. Dengan menggantikan fungsi dorong angin untuk memutar baling-baling

digantikan air untuk memutar turbin. Selanjutnya turbin akan mengkonversi energi potensial yang disebabkan gaya jatuh air menjadi energi kinetik.

d. Generator

Generator dihubungkan dengan turbin melalui gigi-gigi putar sehingga ketika baling-baling turbin berputar, generator pun akan ikut berputar. Generator memanfaatkan perputaran turbin untuk memutar kumparan magnet didalam generator sehingga terjadi pergerakan elektron yang membangkitkan timbulnya arus listrik AC. Generator disambungkan dengan transformator Step Up untuk menaikkan tegangan listrik sebelum listrik ditransmisikan.

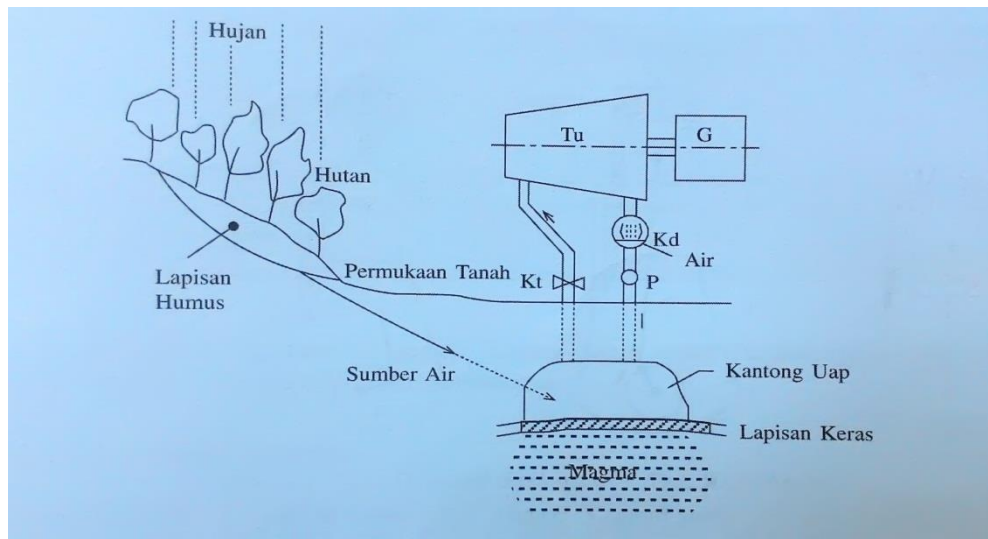
e. Jalur Transmisi

Jalur transmisi berfungsi untuk mengalirkan listrik dari PLTA ke rumah – rumah atau industri. Sebelum listrik dikonsumsi terlebih dahulu tegangannya di turunkan dengan transformator Step Down.

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)

PLTP sesungguhnya adalah sebuah PLTU, hanya saja uapnya didapat dari perut bumi. Karenanya hingga kini bumi masih memiliki suatu inti yang panas sekali dan meleleh. Oleh karena itu, PLTP umumnya terletak di pegunungan dan di dekat gunung berapi. Uap didapat dari suatu kantong uap dalam perut bumi. Kantong uap ini terbentuk dalam tanah di atas suatu lapisan batuan yang keras dan ada di atas magma. Di atas lapisan batuan

keras ini, terdapat rongga yang mendapat air dari lapisan humus di bawah hutan yang menahan air hujan. Dalam rongga ini air menjadi uap sehingga rongga ini menjadi rongga uap (menyerupai ketel uap). Dari atas tanah dilakukan pengeboran ke arah rongga yang berisi uap ini sehingga uap menyembur ke atas permukaan bumi. Semburan uap ini kemudian di arahkan (dialirkan) ke turbin uap penggerak generator. Setelah menggerakkan turbin, uap diembunkan dalam kondensor, dan setelah mengembun menjadi air, disuntikan kembali ke perut bumi menuju rongga uap tersebut di atas sehingga didapat siklus uap dan air tertutup. Secara skematis, proses tersebut di atas diperlihatkan pada Gambar 2.3. Tekanan uap yang didapat dari perut bumi umumnya hanya berkisar pada 20 kg/cm², sedangkan uap pada PLTU konvensional dapat mencapai 100 kg/cm². Hal ini menyebabkan turbin uap PLTP mempunyai dimensi yang relatif besar dibandingkan turbin uap PLTU konvensional. Selain itu, uap dari perut bumi kebanyakan mempunyai kandungan belerang yang relatif tinggi sehingga hal ini perlu diperhitungkan pada material turbin.



Gambar 2.3 Skema sirkuit uap dan air pada PLTP

Sumber : Pembangkitan Energi Listrik (Djiteng Marsudi, 2005)

2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB)

Angin adalah udara yang bergerak dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah. Perbedaan tekanan udara disebabkan oleh perbedaan suhu udara akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari. Karena bergerak angin memiliki energi kinetik. Energi angin dapat dikonversikan atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Oleh karena itu, kincir atau turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

Daya adalah energi per satuan waktu, dan untuk mengetahui suatu energi yang dibangkitkan oleh angin selama perjam dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$W = Pxt \text{ [Watt]} \quad (1)$$

Untuk mengetahui daya atau energi yang dikeluarkan oleh alternator berdasarkan kecepatan angin dan diameter baling-baling dapat dinyatakan dengan rumus:

$$P = 1/12 V^3 D^2 \text{ [Watt]} \quad (2)$$

Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin. Dapat dinyatakan dengan rumus:

$$P = 1/2 \rho V^3 \text{ [Watt/m}^2\text{]} \quad (3)$$

Energi yang dimiliki oleh angin dapat dinyatakan dengan rumus:

$$P = 1/2 \rho A V^3 \text{ [Watt/m}^2\text{]} \quad (4)$$

Di mana:

P = Daya output (Watt),

ρ = Kerapatan udara 1.1726 kg/m^3 ,

V = Kecepatan angin (m/s),

t = Satuan waktu (s),

A = Luas penampang (m^2).

Energi angin diubah oleh baling-baling (turbin angin) menjadi energi pemutar generator arus searah. Apabila tegangan generator cukup tinggi, relai tegangan akan menutup sakelar pengisi baterai aki sehingga baterai aki diisi oleh generator. Apabila angin kurang dan agar tidak terjadi aliran daya balik dari baterai aki ke generator, maka relai daya balik akan membuka sakelar tadi. Pasokan daya untuk pemakai diambil dari baterai aki.

2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS yaitu pembangkit yang memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber penghasil listrik. Alat utamanya yaitu penangkap, pengubah dan penghasil listrik energi surya atau sering disebut modul (panel surya). Dengan alat tersebut, sinar matahari diubah menjadi listrik melalui proses aliran-aliran elektron negatif, lalu menjadi aliran listrik DC yang akan langsung mengisi Battery/Accumulator sesuai tegangan dan arus yang diperlukan. Peralatan lainnya yaitu regulator digunakan untuk pengaturan pengisian battery. Inverter digunakan untuk mengubah listrik DC ke AC.

A. Komponen PLTS

a. Panel Surya (*Fotovoltaik*)

Berfungsi merubah cahaya matahari menjadi listrik. Bentuk moduler dari panel surya memberikan kemudahan pemenuhan kebutuhan pemenuhan listrik untuk berbagai skala kebutuhan.komponen utama panel surya adalah modul yang merupakan unit rakitan beberapa sel surya fotovoltaik.

b. *Controller Regulator*

Controller regulator adalah alat elektronik pada system Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Berfungsi mengatur lalu lintas listrik dari modul surya ke battery/accu (apabila battery/accu sudah penuh maka listrik dari modul surya tidak akan dimasukkan kebattery/accu dan sebaliknya), dan dari battery/accu ke beban (apabila listrik dalam battery/accu tinggal 20-30%, maka listrik ke beban otomatis dimatikan.

c. *Battery*

Berfungsi menyimpan arus listrik yang dihasilkan oleh Panel Surya (Solar Panel) sebelum dimanfaatkan untuk menggerakkan beban. Beban dapat berupa lampu penerangan atau peralatan elektronik dan peralatan lainnya yang membutuhkan listrik.

d. *Inverter AC*

Berfungsi merubah arus DC dari *battery* menjadi arus AC, arus yang di hasilkan oleh inverter sangatlah setabil, sehingga sudah tidak memerlukan alat setabilizer lagi, serta aman dan berprotexion tinggi.

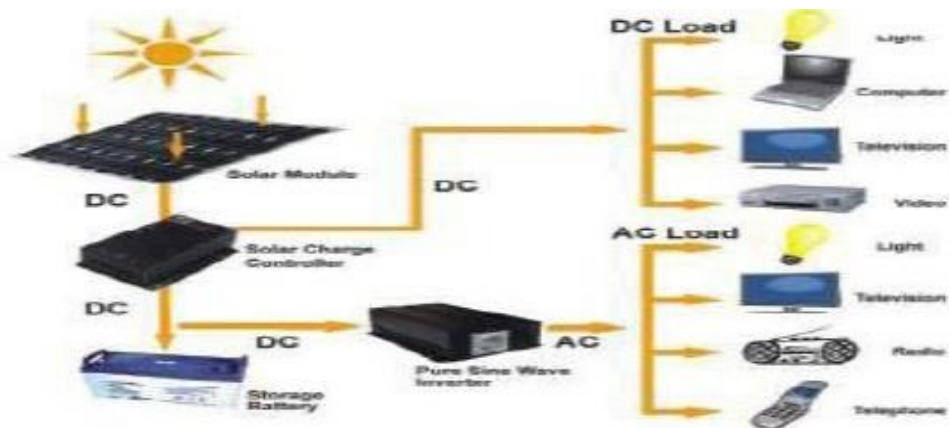
B. Prinsip Kerja

Dalam cahaya matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Ketika foton ini mengenai permukaan sel surya, elektron-elektronnya akan tereksitasi dan menimbulkan aliran listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip *photoelectric*. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif : lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p). Sel surya ini mudah pecah dan berkarat jika terkena air. Karena itu sel ini dibuat dalam bentuk panel-panel ukuran tertentu yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air. Panel ini dikenal sebagai panel surya. Ada beberapa jenis panel surya yang dijual di pasaran. Jenis pertama, yang terbaik saat ini, adalah jenis monokristalin. Panel ini memiliki efisiensi 12-14%. Jenis kedua adalah jenis polikristalin atau multikristalin, yang terbuat dari kristal silikon dengan efisiensi 10-12%. Jenis ketiga adalah silikon jenis amorphous, yang berbentuk

film tipis. Efisiensinya sekitar 4-6%. Panel surya jenis ini banyak dipakai di mainan anak-anak, jam dan kalkulator. Yang terakhir adalah panel surya yang terbuat dari GaAs (*Gallium Arsenide*) yang lebih efisien pada temperatur tinggi.

C. Sistem Instalasi Mandiri (Stand Alone)

Sistem instalasi mandiri adalah instalasi PV di mana tidak dihubungkan dengan sumber listrik dari jaringan umum. Oleh karena itu, pada sistem ini pemenuhan kebutuhan beban sangat tergantung pada PV. Padahal, intensitas cahaya matahari tidak selalu sama dan fluktuatif. Baterai digunakan untuk menyimpan daya yang dikonversi oleh PV yang kemudian dihubungkan dengan beban, terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Sistem instalasi mandiri dengan beban AC dan DC

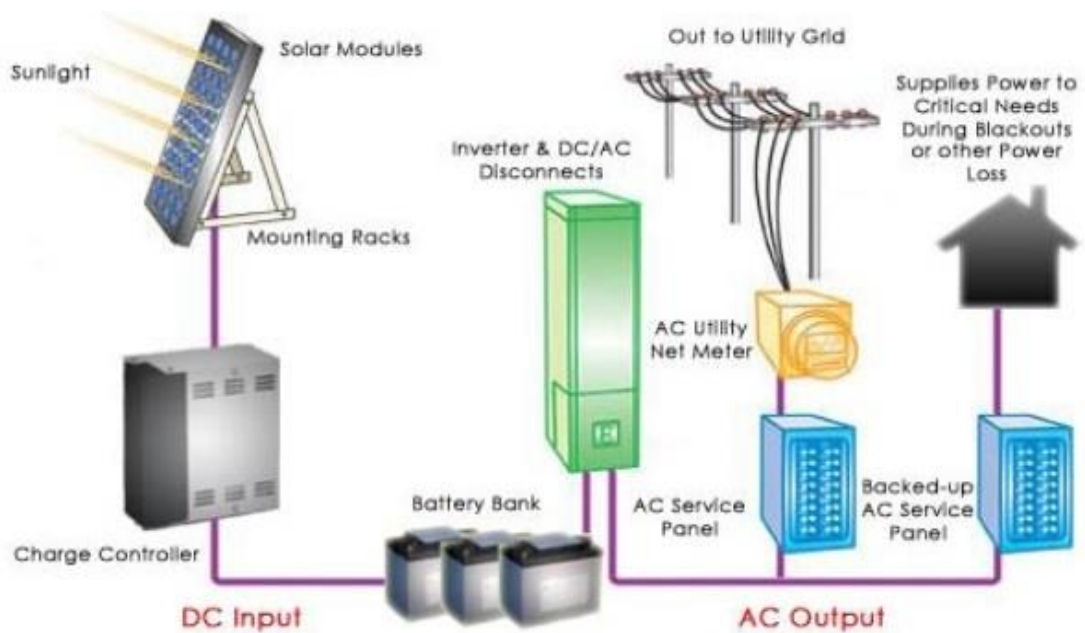
Sumber : Analisis Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Sumber Energi Pada Perumahan Kategori

R1 900 VA di Pulau Bengkalis

D. Sistem Instalasi Terhubung Jaringan (*Grid Connected*)

Sistem terhubung jaringan merupakan sistem instalasi yang dihubungkan

dengan sumber listrik dari jaringan listrik umum. Di Indonesia jaringan ini disediakan oleh PLN. Pada sistem ini tidak terlalu diperlukan adanya baterai karena pada saat sistem kekurangan daya, maka untuk memenuhi kekurangan daya beban tersebut disuplai dari listrik jaringan yang ada. Sistem PV akan bekerja pada saat siang hari dengan ketersediaan intensitas surya yang memenuhi. Sedangkan kekurangan daya pada saat malam hari atau cuaca mendung, disuplai dari jaringan. Dengan demikian kapasitas beban yang terpenuhi tidak tergantung sepenuhnya pada PV, terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema photovoltaic terhubung dengan jaringan

Sumber : Analisis Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Sumber Energi Pada Perumahan Kategori

R1 900 VA di Pulau Bengkalis

2.2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM)

Secara umum biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dimanfaatkan sebagai energi dalam jumlah yang sangat besar. Biomassa juga disebut sebagai “*fitomassa*” dan seringkali diterjemahkan sebagai *bioresource* atau sumber daya yang diperoleh dari hayati. Basis sumber daya ini meliputi ratusan bahkan ribuan spesies tanaman daratan dan lautan, berbagai sumber pertanian, perhutanan dan limbah residu dari proses industri serta kotoran hewan. Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Selain digunakan untuk tujuan primer yaitu serat, bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Pada umumnya digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya. Potensi biomassa di Indonesia yang biasa digunakan sebagai sumber energi jumlahnya sangat melimpah. limbah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan semuanya potensial untuk dikembangkan. Tanaman pangan dan perkebunan menghasilkan limbah yang cukup besar, yang dapat dipergunakan untuk keperluan lain seperti bahan bakar nabati. Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar nabati memberikan tiga keuntungan langsung. pertama, peningkatan efisiensi energi, secara keseluruhan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang percuma jika tidak dimanfaatkan. Kedua, penghematan biaya, karena seringkali membuang limbah biasa lebih mahal dari pada memanfaatkannya. Ketiga, mengurangi

keperluan akan tempat penimbunan sampah karena penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan. Salah satu langkah untuk mengurangi emisi karbondioksida ialah melalui pengenalan energi terbarukan dan ramah lingkungan, energi tersebut merupakan energi biomassa. Biomassa membentuk bagiannya sendiri melalui proses fotosintesis. Konsentrasi gas karbondioksida di atmosfer tidak akan berubah selama karbondioksida yang dilepaskan oleh pembakaran biomassa setelah pemanfaatan energi dikembalikan seperti semula, seperti proses reforestrasi, ini disebut netralitas karbon biomassa. Energi yang menggantikan bahan bakar fosil dapat diperoleh dari siklus, yaitu pembakaran biomassa, emisi karbondioksida dan refiksasi karbondioksida. Oleh karena itu emisi karbondioksida dapat direduksi dengan cara mengganti bahan bakar fosil dengan biomassa.

Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*) sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*). Di zaman modern sekarang ini panas hasil pembakaran akan dikonversikan menjadi energi listrik melalui turbin dan generator. Panas hasil pembakaran biomassa akan menghasilkan uap dalam boiler. Uap akan ditransfer kedalam turbin sehingga akan menghasilkan putaran dan menggerakkan generator. Putaran dari turbin dikonversikan menjadi energi listrik melalui magnet-magnet dalam generator.

A. Pemanfaatan Sekam Padi dan Jerami

a. Pengertian sekam padi

Sekam adalah bagian dari bulir padi-padian berupa lembaran yang kering, bersisik, dan tidak dapat dimakan, yang melindungi bagian dalam (endospermium dan embrio). Sekam dapat dijumpai pada hampir semua anggota rumput-rumputan, meskipun pada beberapa jenis budidaya ditemukan pula variasi bulir tanpa sekam, misalnya jagung dan gandum. Dalam pertanian, sekam dapat dipakai sebagai campuran pakan, alas kandang, dicampur di tanah sebagai pupuk, dibakar, atau arangnya dijadikan media tanam. Ditinjau data komposisi kimiawi, sekam mengandung beberapa unsur kimia penting.

Komposisi kimia sekam padi :

- Selulosa : 58%
- Hemiselulosa : 18,03%
- Lignin : 20,9%
- Abu : 17,17%

b. Pengertian Jerami

Jerami adalah berupa tangkai dan batang tanaman serealialia yang telah kering, setelah biji-bijiannya dipisahkan. Massa jerami kurang lebih setara dengan massa biji-bijian yang dipanen. Jerami memiliki banyak fungsi, di antaranya sebagai bahan bakar, pakan ternak, alas atau lantai kandang, pengemas bahan pertanian, misal telur, bahan bangunan, mulsa, dan kerajinan tangan.

Komposisi kimia sekam padi :

- Selulosa : 28-36%
- Hemiselulosa : 23-28%
- Lignin : 12-16%
- Abu : 15-20%

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

2.3.3 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 ditimbulkan dari 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.

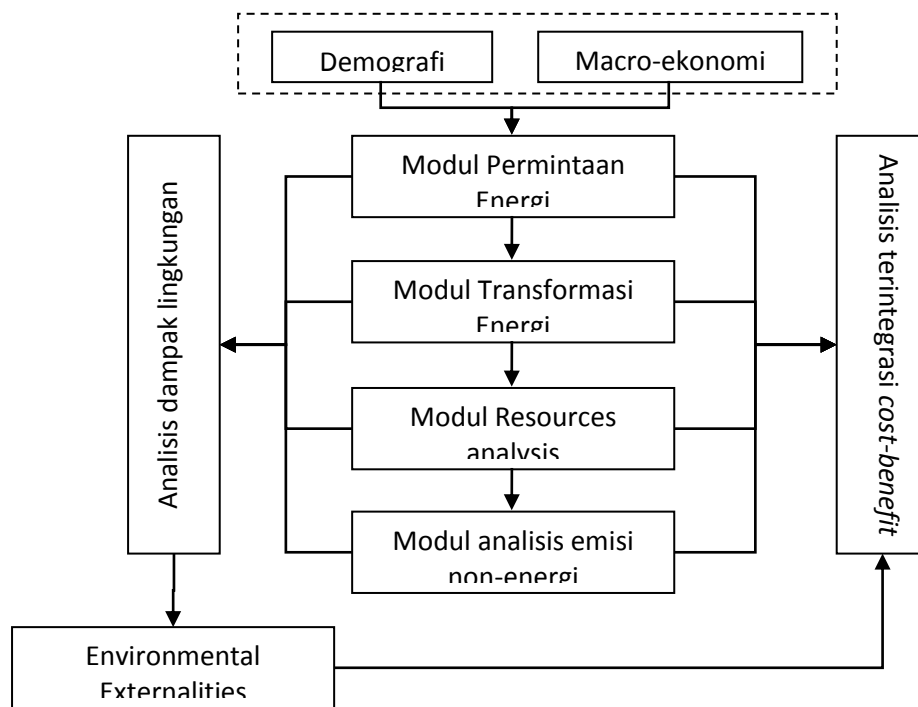
Dalam perkembangannya, LEAP sudah dapat dianggap sebagai model hybrid yang menggabungkan antara optimasi, simulasi, dan *accounting*. Untuk dapat berfungsi sebagai model hybrid, LEAP beroperasi pada dua tahapan, yaitu relasi dasar *accounting* sebagai fasilitas *built-in* dan pengguna LEAP dapat menambahkan 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*.

2.3.4 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 teknonogi 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 menghubungkan 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 di dalam 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

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. System 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: 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.

2.3.5 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 2 pendekatan, yaitu analisis energi final dan analisis *useful energy*. Di dalam analisis energi final LEAP menghitung permintaan energi berdasarkan persamaan 2.1. Di dalam persamaan 2.1, jumlah energi yang dibutuhkan (e) berbanding lurus dengan aktivitas di sektor energi (a) dan intensitas energi akhirnya (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)

$$e = a.i \quad (2.1)$$

Metode perhitungan permintaan energi dengan pendekatan analisis *useful energy* dilakukan dengan persamaan 2.2. Energi yang dibutuhkan (e) dalam persamaan 2.2 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 ($+a$), 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 ($+n$).

$$e = a \cdot \left(\frac{u}{n} \right) \quad (2.2)$$

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 *merit order*.

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 sumber daya energi primer (biaya bahan bakar).

5. Biaya sumber daya energi primer yang diimpor.
6. Keuntungan biaya dari aktivitas ekspor sumber daya 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 2.3, 2.4 dan 2.5. Dalam persamaan 2.4 dan 2.5, i merupakan interest rate, n lifetime sistem pembangkit listrik, dan CRF adalah *capital recovery factor*.

$$\text{Annualized cost} = \text{Total Cost} \times \text{CRF} \quad (2.3)$$

$$\text{CRF} = \frac{i \cdot k}{k - 1} \quad (2.4)$$

$$k = (1 + i)^n \quad (2.5)$$

2.3.6 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 2.6:

$$D_{b,s,t} = TA_{b,s,t} \times EI_{b,s,t} \quad (2.6)$$

Di mana:

TA : level aktivitas,

EI : intensitas energi,

B : cabang yang didefinisak di dalam LEAP,

s : skenario,

t : tahun (dari 0 [tahun dasar] sampai dengan akhir

tahun 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.

2.3.7 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 2.7.

$$C_{BA} = (C_{EX} + C_{EN}) \times C_{value} \quad (2.7)$$

Di mana:

C_{BA} : kapasitas awal (MW),

C_{EX} : kapasitas exogenous (MW),

C_{EN} : kapasitas endogenous yang telah ditambahkan (MW),

C_{value} : persentase nilai kapasitas aktual (MW).

Sedangkan kapasitas yang dibutuhkan untuk memenuhi beban puncak dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8,

$$C_{peak} = \frac{D}{LF \times 8760 [jam / tahun]} \quad (2.8)$$

Di mana:

C_{peak} : kapasitas untuk memenuhi beban puncak (MW),

D : permintaan energi listrik (MWh),

LF : faktor beban sistem.

PRM sebelum ada penambahan kapasitas secara *endogenous* dihitung berdasarkan persamaan 2.9,

$$PRM_{BA} = (C_{BA} - C_{peak}) / C_{peak} \quad (2.9)$$

Dimana PRM_{BA} adalah PRM sebelum ada penambahan kapasitas. Selanjutnya, kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan secara *endogenous* ditentukan dengan persamaan 2.10,

$$C_{ENA} = (PRM - PRM_{BA}) \times C_{peak} \quad (2.10)$$

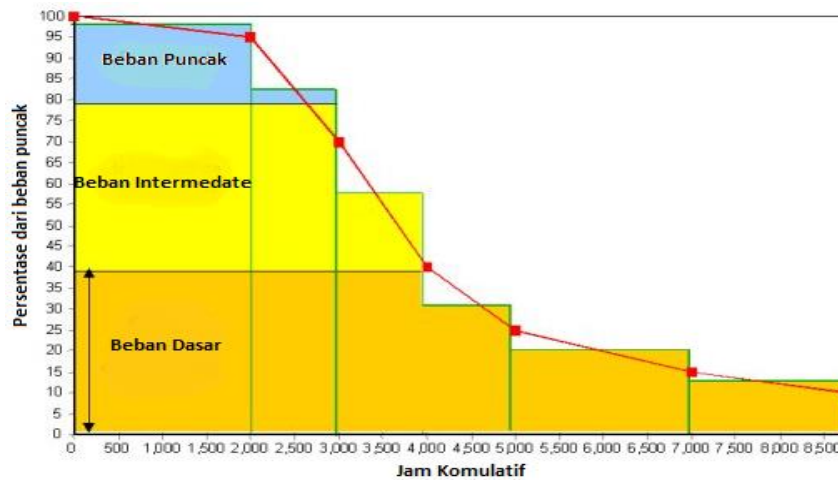
Dimana C_{ENA} adalah kapasitas pembangkit listrik yang harus ditambahkan untuk mempertahankan PRM pada nilai yang sudah ditentukan. Pada akhirnya, LEAP menghitung kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan untuk setiap proses pembangkit listrik.

2.3.8 Proses Dispatch Pembangkit Listrik

Dalam perhitungan optimasi, pembangkit listrik di *dispatch* berdasarkan *runningcost*. Dengan metode *dispatch* ini, modul pembangkit listrik harus mengikut sertakan *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 2.11.

$$RunningCost_i = VariableOMCost_i + \frac{FuelCost_i}{Efficiency_i} \quad (2.11)$$

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.



Gambar 2.7 Komulatif LDC.

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 di *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 intermedate 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 tersisi penuh. 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.