

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang perancangan pembangkit listrik tenaga sampah menjadi energi terbarukan sudah pernah di buat dengan studi kasus beberapa kota di Indonesia. Berikut adalah paparan dari beberapa penelitian yang berkaitan dan dijadikan sebagai sumber referensi dalam penyusunan tugas akhir :

1. Rachmad ikhsan dan syukriyadin (2014) melakukan penelitian tentang kelayakan pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah di Kota Banda Aceh, Menggunakan metode landfill gas dan metode least cost untuk menghitung analisa ekonomi dengan cara menentukan nilai NPV, ROI, BCR, PP, dari hasil perhitungan menggunakan metode diatas tadi dapat dihasilkan besar potensi gas metana sebesar 1,992,533 m<sup>3</sup>/tahun dan energi yang dihasilkan 15.065.010 kWh dan daya yang didapatkan 1,7 MW, sedangkan nilai NPV = Rp.18.607.329.579, IRR = 24 % BCR = 3,73 dan juga nilai pp = 4,01 tahun, sehingga bisa dilihat dari hasil diatas pembangunan PLTSa di Aceh dapat memenuhi kriteria.
2. (Sanupal, 2017) dengan judul penelitian “Analisis Pemanfaatan Sampah TPA Putri Cempo Untuk Pembangkit Listrik Dan Pengaruh Terhadap Jaringan Distribusi Tenaga Listrik Surakarta”. Dalam penelitiannya di peroleh bahwasanya dengan sampah organik 523,41 Ton/hari di dapatkan dari tempat penampungan sampah di Surakarta, Kabupaten Karanganyar, Kabupaten Sukoharjo, Kabupaten Boyolali, Kabupaten Wonogiri, Kabupaten Sragen, Dan Kabupaten Klaten, PLTSa mampu membangkitkan daya maksimum sebesar 10,1 Mwatt.
3. (Muhammad Ali Nurdin, 2016) Dengan menggunakan asumsi pertumbuhan penduduk dan asumsi pertumbuhan ekonomi untuk sepuluh tahun mendatang dengan rata rata pertumbuhan masing -masing 1,12 % dan 6,84 %, per tahun,

maka proyeksi permintaan energi listrik pada tahun 2024 diperkirakan akan mencapai 3,718.1 GWh, atau mengalami pertumbuhan rata-rata 4,6 % selama sepuluh tahun untuk semua sektor pada akhir periode simulasi tahun 2024.

4. (Isnaini Nur Romadlon, 2016) Dengan menggunakan asumsi pertumbuhan penduduk dan asumsi pertumbuhan ekonomi untuk sepuluh tahun mendatang dengan rata-rata pertumbuhan masing-masing 1,2 % dan 6,2 % per tahun, maka proyeksi permintaan energi listrik pada tahun 2024 diperkirakan akan mencapai 72.018,5 GWh, atau mengalami pertumbuhan rata-rata 5,7 % selama sepuluh tahun untuk semua sektor pada akhir periode simulasi tahun 2024.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Sampah Kota**

Sampah adalah barang yang dianggap sudah tidak terpakai dan dibuang oleh pemilik/pemakai sebelumnya, tetapi bagi sebagian orang masih bisa dipakai jika dikelola dengan prosedur yang benar. (Panji Nugroho, 2013). Sampah memiliki bentuk yaitu sampah padat, cair dan gas. Undang-Undang Pengelolaan Sampah Nomor 18 tahun 2008 menyatakan sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau dari proses alam yang berbentuk padat.

Permasalahan sampah merupakan masalah yang krusial di kota-kota besar di Indonesia seperti Yogyakarta, Jakarta, Bandung dan kota lainnya. Menumpuknya sampah disebabkan oleh beberapa faktor bisa disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang setiap tahunnya semakin bertambah, bisa juga disebabkan kurangnya lahan untuk menampung sampah yang setiap tahunnya meningkat. Maka dari itu perlu adanya pengolahan sampah dengan baik sehingga sampah bukan lagi masalah yang krusial di Indonesia. Menurut Suprihatin (1999) dan Nisandi (2007), berdasarkan asalnya sampah dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Sampah anorganik

Sampah anorganik adalah yang sudah dibuang dan sampah anorganik ini adalah sampah yang tidak bisa terurai contoh plastik, botol, ember dan masih banyak lagi. Tetapi sampah anorganik ini bisa kita manfaatkan kembali menjadi barang yang bermanfaat

2. Sampah Organik

Sampah organik adalah sampah sisa buangan yang berasal dari makhluk hidup baik manusia, hewan maupun tumbuhan. Sampah organik ini adalah jenis sampah yang bisa terurai sendiri karena sampah organik memiliki bakteri pengurai sendiri sehingga walupun kita biarkan dia akan terurai sendiri. Contoh sampah organik buah buahan, sayur sayuran, sisa sisa makan dan masih banyak lagi . Sampah organik bisa dimanfaatkan sebagai biogas, pakan ternak, kompos dan lain sebagainya.

### **2.2.2 Penggolongan Sampah**

Permasalahan pengolahan sampah merupakan suatu masalah yang tidak ada hentinya karena sampah akan terus ada dan tidak berhenti di produksi oleh kehidupan manusia. Jumlah sampah selalu meningkat dan jumlahnya sebanding dengan jumlah penduduk bahkan lebih, bisa kita bayangkan begitu banyaknya sampah yang ada. Permasalahan ini akan timbul ketika sampah menumpuk dan tidak bisa dikelola dengan baik, ada beberapa metode pengolahan dan penerapan sampah.

1. Open Dumping (Pembuangan Terbuka)

Open Dumping ini merupakan pembuangan sampah yang sederhana dimana sampah hanya kita buang di suatu tempat atau lokasi yang terbuka dan akan ditinggalkan ketika lokasi atau tempat itu sudah penuh dengan sampah

2. Controlled Landfill

Metode ini merupakan peningkatan dari open dumping dimana secara periodik sampah yang telah tertimbun ditutup dengan lapisan tanah untuk menghindari potensi gangguan yang ditimbulkan. Dalam operasionalnya,

juga dilakukan perataan dan pemadatan sampah untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan lahan dan kestabilan.

### 3. Sanitary Landfill

Metode ini merupakan pengolahan sampah dengan cara melapisi permukaan sampah dengan *geotekstil* sebelum di timbun dengan sampah. Metode ini kebalikan metode *controlled landfill*. Geotekstil ini merupakan sebuah pelapis untuk mengalirkan air lindi yang di keluarkan oleh sampah dan air nya di salurkan ke bak penampung untuk dijadikan pupuk cair.

### 4. Metode insenerator

Metode ini dilakukan dengan cara memasukan sampah kedalam unit pembakaran dalam suhu  $800\text{ }^{\circ}\text{C} - 1.200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Metode ini bisa mereduksi sampah 80%-100%. Panas yang dihasilkan bisa digunakan sebagai pembangkit listrik.

### 5. Metode gas metan

Metode ini menggunakan teknik fermentasi secara anaerob terhadap sampah organik. Sampah organik diberi air dan di masukan kedalam *gester* ( dimasukan dalam tempat kedap udara). Dan di diamkan beberapa minggu dan sampah organik yang di fermentasi secara *anaerob* menghasilkan gas metana sehingga bisa dimanfaatkan menjadi energi listrik atau gas untuk kompor dan lain sebagainya.

### 6. Metode Komposting

Metode ini jelas tidak lagi asing buat kita yaitu memanfaatkan sampah organik menjadi pupuk sehingga bermanfaat untuk menyuburkan tanaman.

Ada beberapa jenis penggolongan sampah berdasarkan sifat, asal sampah dan jenis sampah

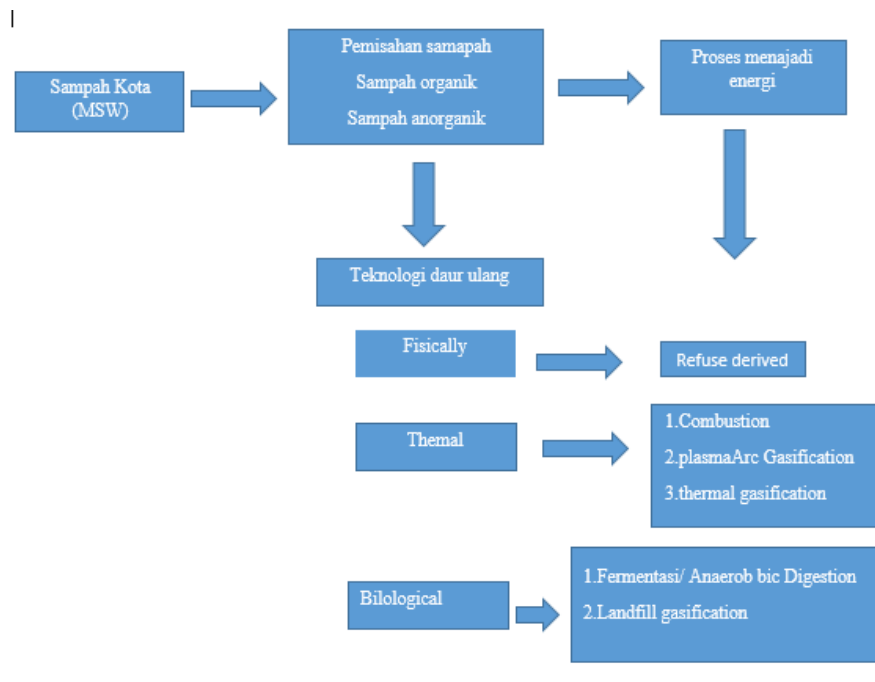
#### 1. Pengelompokan sampah berdasarkan asalnya.

- Sampah yang berasal dari rumah tangga termasuk sampah dari rumah sakit, kanto dan hotel
- Sampah yang berasal dari industry

- Sampah yang berasal dari hasil pertanian, perikanan dan peternakan.
- Sampah yang berasal dari perdagangan seperti sampah pasar, toko dan swalayan.
- Sampah yang berasal dari pembangunan
- Sampah yang berasal dari jalan raya

### 2.2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA)

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) merupakan pembangkit yang dapat membangkitkan listrik dengan memanfaatkan sampah sebagai bahan bakarnya, baik menggunakan sampah organik dan anorganik. PLTSA juga bisa kita definisikan sebagai “Pemusnah Sampah”. Tujuan dibangunnya PLTSA ialah untuk mengkonversi sampah menjadi energi listrik dan mengurangi volume sampah. Ada dua proses alternatif pengolahan sampah menjadi energi listrik yaitu dengan proses biologis yang menghasilkan gas-bio dan proses thermal yang menghasilkan panas.



**Gambar 2.1** Teknologi PLTSA

Gambar 2.1 merupakan teknologi teknologi yang digunakan untuk mengubah atau mengkonversi sampah menjadi energi listrik. Pengolahan sampah menggunakan tiga mekanisme kerja yaitu secara biologi, thermal, dan secara fisika.

#### 2.2.4 Proses konversi thermal

Proses konversi thermal dengan memanfaatkan sampah kota sebagai sumber bahan bakar yang bisa kita manfaatkan sebagai energi listrik dapat kita lakukan dengan beberapa cara antara lain, dengan metode insenerasi dan thermal gasifikasi

##### a) Metode *insenerasi*

Yaitu metode yang menggunakan proses *oksidasi* bahan organik menjadi bahan anorganik. Prosesnya sendiri merupakan proses *oksidasi* cepat antara bahan organik dengan oksigen. Sampah di turunkan dari truk pengangkut sampah dan di masukan kedalam *inserator*. Didalam *inserator* sampah dibakar. Panas yang dihasilkan dari proses pembakaran kemudian digunakan untuk merubah air menjadi uap bertekanan tinggi setelah itu uap dari boiler langsung keturbin untuk memutar generator.

##### b) *Thermal gasifikasi*

Merupakan suatu proses perubahan bakar padat secara thermo kimia menjadi gas, dimana udara yang di perlukan lebih rendah dari pada udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Media yang sering digunakan dalam proses gasifikasi ini adalah udara dan uap. Produk yang dihasilkan dapat di kategorikan menjadi 3 bagian utama yaitu padat, cairan (termasuk yang dapat di kondensasikan ) dan gas yang permanen.

Gas yang dihasilkan dalam proses gasifikasi thermal ini mempunyai nilai kalor yang lebih rendah tetapi disisi lain proses operasi menjadi sederhana. Ada beberapa keunggulan dari gasifikasi thermal yaitu :

- 1) Bisa menghasilkan sebuah produk gas yang konsisten yang dapat digunakan sebagai pembangkit
- 2) Teknologi ini mampu memproses atau membakar banyak bahan seperti batu bara, minyak berat, biomassa dan berbagai macam sampah.
- 3) Teknologi ini mampu mengubah sampah yang bernilai rendah menjadi sebuah produk yang bernilai tinggi
- 4) Teknologi ini Mampu mengurangi jumlah sampah.
- 5) Teknologi ini tidak menghasilkan gas yang mengandung *furane* dan *dioxin* yang berbahaya.

Konsep pengolahan sampah menjadi energi listrik tenaga sampah dapat kita ringkas sebagai berikut :

- 1) Pemilihan sampah

Tahap ini dimana sampah di pilah terlebih dahulu untuk memanfaatkan sampah yang masih bisa di daur ulang. Kemudian sisanya di masukan ke tungku insinerator untuk pembakaran

- 2) Pembakaran sampah

Pada tahap pembakaran ini dimana sampah dibakar dengan menggunakan teknologi pembakaran yang memungkinkan pembakaran bisa berjalan dengan efektif dan aman bagi lingkungan. Untuk suhu pembakaran di pertahankan dalam derajat pembakaran yang tinggi yaitu diatas 1300°C. Asap yang keluar dari pembakaran harus bisa dikendalikan untuk menyesuaikan standar baku mutu emisi gas buang.

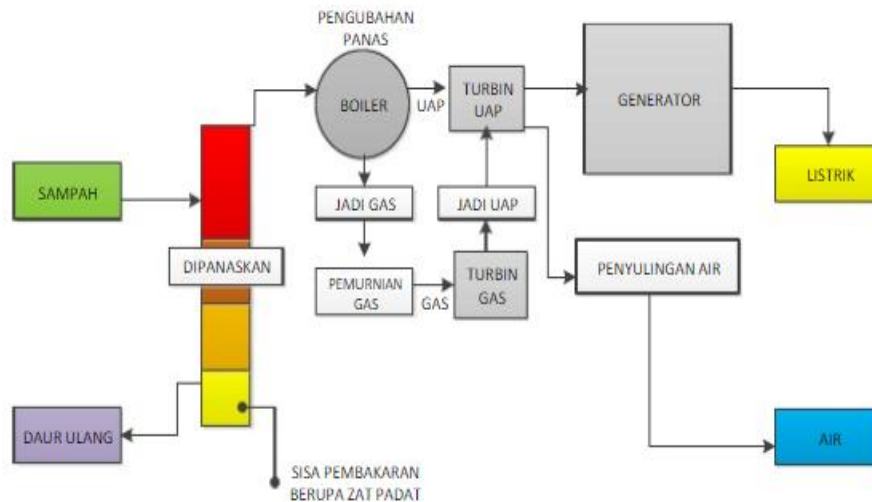
- 3) Pemanfaatan panas

Pada tahap ini proses pembakaran sampah akan menghasilkan panas yang bisa dimanfaatkan untuk memanaskan boiler dan uap panas yang dihasilkan di gunakan untuk memutar turbin dan menggerakkan generator listrik.

- 4) Pemanfaatan abu sisa pembakaran

Pada tahap ini merupakan sisa dari proses pembakaran yaitu abu. Volume dari berat abu yang di hasilkan dari proses pembakaran yaitu sebesar 5% dari berat atau volume sampah semula sebelum dibakar.

Pada gambar 2.2 dibawah ini merupakan skema kerja dari glasifikasi thermal



**Gambar 1.2** Proses Mengubah Sampah Menjadi Energi Dengan Metode Thermal  
(Sumber : [http://www.academia.edu/11101387/Pembangkit\\_Listrik\\_Tenaga\\_Sampah](http://www.academia.edu/11101387/Pembangkit_Listrik_Tenaga_Sampah))

Dikota kota besar di Eropa, Amerika, Jepang, dan belahan negara lainnya untuk *waste energy* sudah dilakukan sejak berpuluh tahun yang lalu, dan hasilnya diakui dapat menyelesaikan masalah sampah. Pencemaran dari PLTSA yang selama ini ditakuti oleh masyarakat dapat mencemari udara menipiskan lapisan ozon sudah dapat diatasi atau diantisipasi oleh negara yang telah menggunakan Pembangkit Listri Tenaga Sampah terlebih dahulu.

Salah satu pencemaran yang berbahaya yaitu: *Dioxin* , merupakan senyawa organik berbahaya yang merupakan hasil dari sampingan sintesa kimia pada proses pembakaran zat organik yang bercampur dengan bahan yang mengandung *halogen* pada temperatur tinggi, seperti plastik pada sampah,dapat menghasilkan *dioksin* pada temperatur yang rrelatif rendah seperti pembakaran di tempat pembungan akhir sampah TPA.

Untuk pembangkit listrik tenaga sampah sendiri sudah dilengkapi dengan sistem pengolahan emisi dan efluen, sehingga polutan yang dikeluarkan tidak



berbahaya atau dibawah baku mutu yang berlaku di Indonesia dan tidak mencemari lingkungan.

*Residu*, Merupakan hasil dari pembakaran sampah lainnya berupa residu atau abu bawah (*booton ash*) dan abu terbang (*fly ash*) yang termasuk dalam kategori limbah B3, namun hasil pengujian untuk pemanfaatan abu PLTSa sudah banyak dilakukan di negara negara lain contoh negara Singapura yang memanfaatkan abu tadi menjadi bahan batako atau bahan bangunan dan negara Singapura berencana akan membangun sebuah pulau pada tahun 2029 yang memanfaatkan batako dari abu hasil PLTSa.

### 2.2.5 Potensi energi sampah

Untuk menghitung potensi energi yang dapat dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga sampah ini dapat di cari dengan mengetahui jumlah sampah yang ada di bantul yogyakarta sehingga dapat dicari dengan cara menghitung energinya. Adapun cara atau rumus yang digunkana untuk menghitung timbunan sampah perhari dengan proyeksi jumlah penduduk yang ada dapat menggunakan rumus:

$$\text{Total timbunan sampah yang dihasilkan (per hari)} = \text{Jumlah penduduk} \times \text{jumlah timbunan perkapita (kg/hari)}$$

Untuk banyaknya sampah yang di hasilkan per orang didalam suatu kota besar tercatat rata – rata sekitar 0.5/kapita/hari (sudrajat 2006). Sedangkan menurut SNI 19-3964, satuan rimbunan sampah untuk kota besar yaitu sebesar 2-2,5 liter/orang/hari atau sekitar 0,4-0,5 kg/orang/hari (Damanhuri,2010)

Jika ingin mengetahui jumlah sampah yang dihasilkan di perkotaan dilihat dari jumlah penduduk untuk setiap kota dan golongan sampah yang dihasilkan dari proyeksi jumlah penduduk. Dengan menggunakan rumus :

$$\text{Total timbunan sampah yang dihasilkan/hari} = \text{Jumlah penduduk} \times \text{jumlah timbunan perkapita (kg/hari)}$$

Untuk daerah istimewa yogyakarta jumlah timbunan sampah yang dihasilkan per hari adalah

$$\begin{aligned} & \text{Timbunan sampah kota yogyakarta} = \\ & \text{Jumlah penduduk} \times \text{jumlah timbunan perkapita (kg/hari)} \end{aligned}$$

Untuk menghitung jumlah timbunan sampah pertahun jumlah timbunan sampah yang berada di tiap tiap kota di akumulasikan dan dijadikan satuan ton/hari agar mendapatkan jumlah yang tepat dan kemudian dikali 365 hari(1 tahun) agar kita bisa tahu berapa jumlah timbunan sampah selama satu tahun.

$$\begin{aligned} & \text{Timbunan sampah dalam satu tahun} = \\ & \text{Total timbunan sampah (ton/hari)} \times 365 \text{ hari} \end{aligned}$$

Jadi setelah kita melakukan perhitungan diatas dihasilkan kapasitas jumlah sampah pertahun, untuk selanjutnya di konversikan atau di ubah dalam satuan Giga joule dengan mengalikan hasil timbunan sampah yang dihasilkan samadengan 14 Gigajoule. Produksi sampah dalam menghasilkan listrik dapat diketahui dengan rumus.

$$\text{Produksi sampah} = \text{jumlah sampah pertahun} \times 14 \text{ Gj}$$

Untuk daya yang mampu di bangkitkan oleh energi sampah (MSW) ini bisa kita hitung menggunakan rumus:

$$P = \text{Total MWh} / (\text{CF MSW} \times 8760)$$

Dimana :

P = Daya yang dihasilkan (MW)

CF = Capacity Factor (%)

Faktor kapasitas tahunan (8760)

Dari rumus rumus diatas dapat di hitung daya yang mampu dihasilkan energi sampah kota dengan asumsi Capacity Factor MSW = 85 (sumber : energy supply sector new and renwable energy power indoesia 2050 pathway

calculator) % dan dengan mengetahui jumlah produk sampah dalam jam / tahun atau sekitar 8760 dalam satu tahun produksi.

### **2.2.6 Teknologi Pengolahan Sampah PLTSa Tipe *Incinerator***

Berdasarkan Seminar Teknologi Lingkungan yang diselenggarakan oleh Steering Committee Akselerasi Pertukaran Teknologi Lingkungan, APEC, secara garis besar terdapat 2 macam teknologi pengolahan sampah yaitu teknologi pembakaran (incineration) dan teknologi fermentasi metana. Makalah ini hanya membahas pengolahan sampah menggunakan teknologi pembakaran (incinerator).

## **2.3 Biomassa**

Pada umumnya biomassa merupakan bahan yang dapat diperoleh dari tanaman baik secara langsung maupun tidak langsung dan dimanfaatkan sebagai energi dalam jumlah yang sangat besar. Basis sumber daya ini meliputi ribuan spesies tanaman daratan dan lautan, sumber pertanian, perkebunan dan limbah residu dari proses industri. Energi biomassa adalah jenis bahan bakar yang dibuat dengan mengkonversi bahan biologis seperti tanaman. Bahan organik dapat diperoleh dari hewan dan mikroorganisme. Tumbuhan memproduksi makanan dengan bantuan sinar matahari melalui proses fotosintesis. Energi ini lantas ditransfer ke hewan dan manusia saat mengkonsumsi tumbuhan. Saat tidak dikonsumsi, tumbuhan lantas dipecah atau dimetabolisme oleh mikroorganisme untuk kemudian melepaskan karbondioksida dan metana kembali ke atmosfer .

Konsentrasi gas karbondioksida di atmosfer tidak akan berubah selama karbondioksida yang dilepaskan oleh pembakaran biomassa setelah pemanfaatan energi dikembalikan seperti semula, seperti proses reforestrasi atau yang biasa disebut netralitas karbon biomassa. Energi yang menggantikan bahan bakar fosil dapat diperoleh dari siklus, yaitu pembakaran biomassa dan refiksasi karbondioksida, oleh karena itu emisi karbondioksida dapat direduksi dengan cara mengganti bahan bakar fosil dengan biomassa.

### 2.3.1 Manfaat Energi Biomassa

Penggunaan energi biomassa memiliki berbagai manfaat di bidang lingkungan maupun ekonomi. Beberapa manfaat energi biomassa antara lain:

- Mengurangi Jumlah Metana di Atmosfer

Metana merupakan salah satu gas yang menyebabkan efek rumah kaca dan pemanasan global. Penggunaan biomassa dapat mengurangi jumlah metana di atmosfer karena hasil dari biomassa adalah gas metan yang dimanfaatkan untuk memutar turbin pada pembangkitan tenaga listrik.

- Mengurangi Jejak Karbon

Biomassa menghasilkan emisi karbon lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Hal ini karena tanaman yang dipakai untuk biomassa baru tumbuh dan menggantikan yang lama sehingga digunakan untuk menghasilkan energi biomassa sebelumnya. Penggunaan bahan bakar fosil akan berkurang ketika sejumlah besar energi biomassa digunakan dan ini berarti akan menurunkan tingkat karbondioksida di atmosfer.

- Peningkatan Kualitas Udara

Saat biomassa menggantikan bahan bakar fosil, hal ini berarti membantu untuk meningkatkan kualitas udara karena akan ada lebih sedikit polusi. Penggunaan bahan bakar fosil telah lama dipermasalahkan karena menyebabkan hujan asam. Biomassa tidak menghasilkan emisi sulfur ketika dibakar dan ini akan mengurangi resiko hujan asam. Dengan menanam tanaman bahan baku biomassa, karbon di atmosfer akan didaur ulang. Hal ini memberikan sebuah manfaat besar bagi peradaban manusia karena berkurangnya polusi di udara.

- **Dapat Diandalkan**

Dengan pertumbuhan populasi manusia serta pertumbuhan ekonomi yang tinggi, kebutuhan akan energi listrik tentunya akan meningkat pula. Energi biomassa dapat menjadi alternatif pemenuhan kapasitas energi listrik yang dapat diandalkan. Karena bahan tanaman yang digunakan untuk memproduksinya dapat dipasok secara konstan. Biomassa juga merupakan energi yang murah untuk diproduksi.

- **Daur Ulang**

Beberapa sumber energi biomassa meliputi limbah industri, hal ini merupakan sebuah keuntungan besar karena ini berarti tidak ada keluaran industri yang sia-sia misalnya pada industri pembuatan gula, limbah ampas tebu dapat dimanfaatkan menjadi energi biomassa.

### **2.3.2. Konversi Biomassa**

Penggunaan biomassa untuk menghasilkan panas secara sederhana sebenarnya telah dilakukan sejak beberapa abad yang lalu. Penerapannya masih sangat sederhana, biomassa langsung dibakar untuk menghasilkan panas. Seiring perkembangan zaman, panas hasil pembakaran biomassa akan dikonversi menjadi energi listrik. Panas hasil pembakaran biomassa akan menghasilkan uap dalam boiler. Uap akan ditransfer ke dalam turbin sehingga akan memutar turbin dan turbin menggerakkan generator. Generator kemudian mengubah energi magnetik menjadi energi listrik.

Pemanfaatan energi biomassa dapat dilakukan dengan berbagai cara, saat ini telah banyak dikembangkan teknologi pemanfaatan energi biomassa terdiri dari :

- **Pembakaran Langsung (*Direct Combustion*)**

Pemanfaatan panas biomassa telah dikenal sejak dulu seperti pemanfaatan kayu bakar. Seiring kemajuan zaman, yang dihasilkan dari pembakaran biomassa dimanfaatkan untuk memutar turbin pada

pembangkitan energi listrik. Untuk memutar turbin, diperlukan ekspansi uap yang bertekanan dan bersuhu tinggi.

Beberapa sistem pembangkit listrik berbahan bakar batubara menggunakan biomassa sebagai sumber energi tambahan dalam boiler efisiensi tinggi untuk mengurangi emisi. Sedangkan untuk industri kayu dan kertas, serpihan kayu terkadang langsung dimasukkan ke boiler untuk menghasilkan uap yang dimanfaatkan untuk proses manufaktur serta untuk menghangatkan ruangan.

- Konversi menjadi bahan bakar cair

Salah satu pemanfaatan energi biomassa adalah dengan mengubahnya menjadi bentuk cair. Jenis bahan bakar cair yang paling umum adalah etanol dan biodiesel. Etanol merupakan alkohol yang dibuat dengan fermentasi biomassa dengan kandungan hidrokarbon yang tinggi. Etanol dapat diproduksi dari tanaman pangan seperti jagung dan tebu. Dewasa ini, etanol dimanfaatkan sebagai aditif bahan bakar untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> dan asap lainnya pada kendaraan bermotor. Biodiesel merupakan ester yang dibuat dari minyak tanaman, lemak binatang, ganggang atau bahkan minyak goreng bekas.

- *Gasifikasi*

*Gasifikasi* biomassa adalah proses dekomposisi termal dari bahan-bahan organik melalui pemberian sejumlah panas tinggi dengan suplai oksigen terbatas untuk menghasilkan synthesis gas yang terdiri dari CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> (selanjutnya disebut syngas) sebagai produk utama dan sejumlah kecil bio-arang, abu dan sisa material yang tidak terbakar (*inert*) sebagai produk ikutan. (Eggen dan Kraatz, 1976).

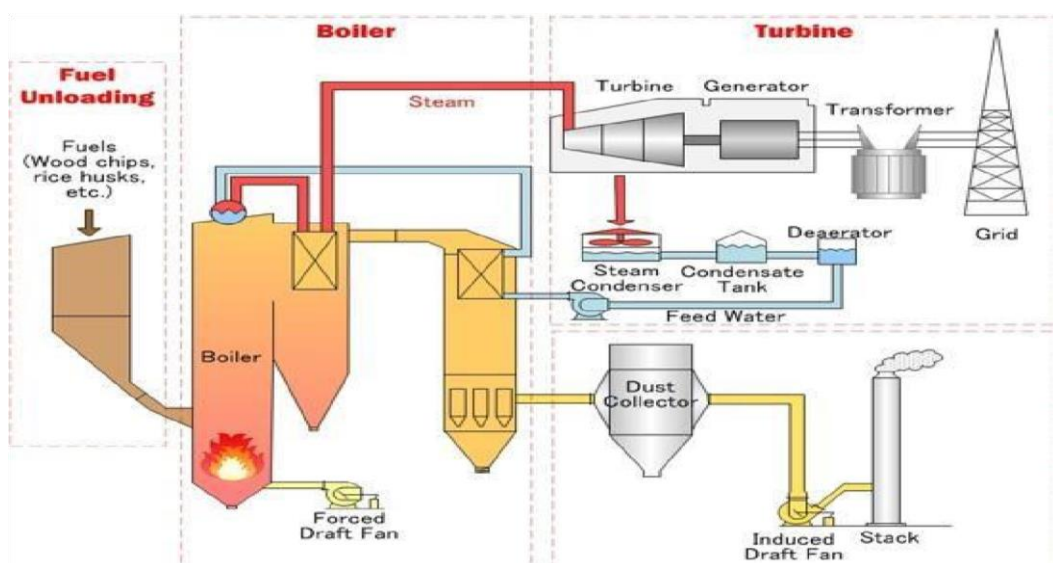
### **2.3.3 Potensi Pemanfaatan Biomassa sebagai Sumber Energi Listrik**

Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik maka perlu dicari alternatif sumber-sumber energi yang bersifat terbarukan dan ramah lingkungan. Dewasa ini, energi fosil sudah tidak dapat diandalkan sebagai sumber untuk

membangkitkan energi listrik karena jumlahnya di alam kian menipis serta emisi yang dilepaskan berpotensi menimbulkan pemanasan global. Salah satu alternatif sumber energi yang bersifat *renewable* adalah biomassa. Secara keseluruhan, energi yang dapat dihasilkan dari biomassa di Indonesia diperkirakan sebesar 32.654 MW namun dari jumlah yang sangat besar tersebut baru 1.717 Mw atau sekitar 5,26 % saja yang dimanfaatkan (Dewan Energi Nasional, 2014).

### 2.3.4 Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa

Prinsip kerja pembangkit listrik tenaga biomassa mirip dengan pembangkit listrik tenaga uap, namun sumber bahan bakar yang digunakan bukan batubara melainkan biomassa. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung pada Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) adalah konversi energi biomassa menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan dalam ruang bakar dari ketel uap (*boiler*). Uap dari drum ketel dialirkan ke turbin uap. Dalam turbin uap, energi (*enthalpy*) uap dikonversikan menjadi energi mekanis penggerak generator, kemudian generator akan mengubah energi magnetik menjadi energi listrik seperti yang terlihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Skema Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa

Kedalam ruang bakar ketel disemprotkan bahan bakar dan udara pembakaran. Udara pembakaran dihasilkan oleh kompresor. Kompresor adalah sebuah alat yang berfungsi menekan udara yang masuk pada ruang pembakaran. Hal ini dilakukan agar udara memiliki rasio tekanan yang tinggi. 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 kemudian dialirkan ke turbin uap sehingga terjadi gerakan mekanis pada turbin. Turbin kemudian memutar generator yang fungsinya mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Dari turbin uap, uap juga dialirkan ke kondensor untuk diembunkan. Kondensor memerlukan air pendingin untuk mengembunkan uap yang keluar dari turbin.

Setelah air diembunkan dalam kondensor, air kemudian dipompa ke tangki pengolah air, terdapat penambahan air untuk mengkompensasi kehilangan air karena kebocoran. Dalam tangki pengolah air, air diolah agar memenuhi mutu yang diinginkan untuk air ketel. Mutu air ketel antara lain menyangkut kandungan NaCl, Cl, O<sub>2</sub>, dan derajat keasaman (pH). Dari tangki pengolah air, air dipompa kembali ke ketel, tetapi terlebih dahulu melalui economizer. Dalam economizer, air mengambil energi panas dari gas buang sehingga suhunya naik, kemudian baru mengalir ke ketel uap. 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.

Beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga biomassa adalah sebagai berikut:



- Penilaian lokasi

Lokasi yang dipilih harus memiliki ketersediaan bahan baku yang cukup banyak (mencukupi untuk jangka panjang) serta memenuhi beberapa syarat dan kriteria seperti area yang cukup luas untuk metode pengeringan udara terbuka dan memiliki ruang yang cukup untuk struktur peralatan. Masyarakat pada lokasi tersebut tentu juga harus memiliki ketertarikan atau setidaknya dapat menerima teknologi baru yang akan diterapkan. Ketersediaan sumberdaya, lahan air, sarana transportasi dan tingkat kebutuhan yang tinggi akan menjadi faktor penentuan lokasi yang paling dominan.

- Penilaian ketersediaan bahan baku

Ketersediaan bahan baku menjadi hal penting dalam keberlangsungan pembangkit listrik tenaga biomassa. Perlu adanya survei kesesuaian, observasi dan investigasi penghasil bahan baku biomassa serta kualitas daya penyediaan di daerah tersebut. Apakah kuota yang dapat dipenuhi daerah tersebut akan sesuai dengan kebutuhan yang dihasilkan.

- Penilaian ketersediaan pasokan air

Air dibutuhkan untuk mengisi tangki pendingin, sedangkan air tambahan hanya akan diminta untuk mengganti air yang hilang selama operasi setelah tangki diisi. Jarak pembangkit listrik dengan sumber air, logistik yang dibutuhkan untuk mengaliri air dan volume air yang dibutuhkan untuk tangki pendingin perlu diperhitungkan dan dipastikan bahwa air tersebut akan terus dapat memenuhi kebutuhan standar.

- Akses ke bahan konstruksi dan tenaga kerja lokal

Bahan yang dibutuhkan untuk pembangunan pembangkit listrik tersebut perlu di survey, termasuk penyedia barang dan jasa dalam pembangunannya. Tenaga kerja lokal dapat dijadikan alternatif agar lebih

efisien. Selain itu keterlibatan masyarakat sekitar tentu akan berdampak positif jika mereka memiliki ketertarikan dan merasakan manfaat dari pembangkit listrik tersebut. Dengan kata lain, masyarakat akan turut menjaga dan mengembangkan sarana tersebut karena mereka sendiri yang nantinya akan merasakan manfaatnya.

### 2.3.5 Estimasi Pertumbuhan Kebutuhan Energi Listrik Menggunakan Metode DKL 3.01

Metode DKL 3.01 adalah metode yang digunakan untuk memprediksi kebutuhan energi listrik di suatu wilayah berdasarkan sektor yaitu sektor rumah tangga, sektor industri, sektor komersial, sektor publik dan bisnis. Pendekatan yang digunakan dalam metode DKL 3.01 yaitu pendekatan ekonomi, kecenderungan dan analitis. Untuk menghitung pertumbuhan energi perlu pengelompokan beban sesuai sektornya diantara lain : sektor rumah tangga, sektor bisnis, sektor komersial, sektor publik dan sosial.

#### 2.3.5.2 Prediksi Penggunaan Energi Listrik Sektor Rumah Tangga

Prediksi pertumbuhan energi listrik di sektor rumah tangga dapat menggunakan persamaan berikut :

$$E_{RT} = E_{RT-1} (1 + \Delta_{t-1})$$

Dimana :

$E_{RT}$  = Besar energi rumah tangga yang di perkirakan pada tahun t

$E_{RT-1}$  = Besar energi rumah tangga yang di perkirakan pada tahun t-1

$\Delta_{t-1}$  = Besar pertumbuhan penduduk pada sebelum tahun t yang akan diperkirakan (%).

### 2.3.5.2 Prediksi Penggunaan Energi Listrik Sektor Industri

Untuk menghitung proyeksi kebutuhan energi listrik di sektor industri dapat menggunakan persamaan berikut:

$$E_{IT} = E_{IT-1} (1 + \Delta_{t-1})$$

Dimana :

- $E_{IT}$  = Besar energi sektor industri yang di perkirakan pada tahun t
- $E_{IT-1}$  = Besar energi sektor industri yang di perkirakan pada tahun t-1
- $\Delta_{t-1}$  = Besar pertumbuhan sektor industri pada sebelum tahun t yang akan diperkirakan (%).

### 2.3.5.3 Prediksi penggunaan listrik sektor komersial

Untuk menghitung proyeksi kebutuhan energi listrik di sektor komersial dapat menggunakan persamaan berikut:

$$E_{KT} = E_{KT-1} (1 + \Delta_{t-1})$$

Dimana :

- $E_{KT}$  = Besar energi sektor komersial yang di perkirakan pada tahun t
- $E_{KT-1}$  = Besar energi sektor komersial yang di perkirakan pada tahun t-1
- $\Delta_{t-1}$  = Besar pertumbuhan sektor komersial pada sebelum tahun t yang akan diperkirakan (%).

### 2.3.5.4 prediksi penggunaan listrik sektor publik dan bisnis

Untuk menghitung proyeksi kebutuhan energi listrik di sektor bisnis dan publik dapat menggunakan persamaan berikut:

$$EPB_T = EK_{T-1} (1 + \Delta_{t-1})$$

Dimana :

$EPB_T$  = Besar energi sektor publik dan bisnis yang di perkirakan pada tahun t

$EPB_{T-1}$  = Besar energi sektor publik dan bisnis yang di perkirakan pada tahun-t-1

$\Delta_{t-1}$  = Besar pertumbuhan sektor publik dan bisnis pada sebelum tahun t yang akan diperkirakan (%).

## 2.2.9 Prinsip Kerja LEAP dalam pemodelan Sistem Energi (Heaps,2012)

### 2.2.9.1 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 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, dan
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.

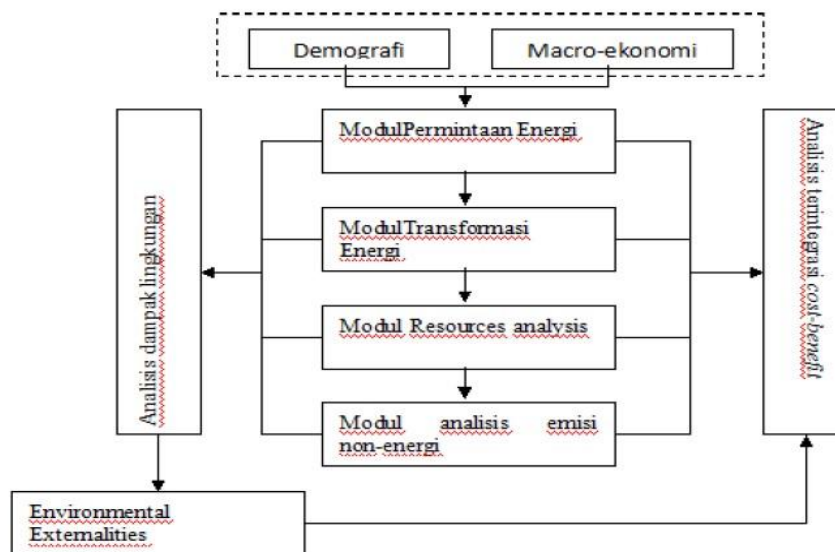
Dalam perkembangannya, LEAP sudah dapat dianggap sebagai model hybrid yang menggabungkan antara optimasi, simulasi, dan accounting. Untuk dapat berfungsi sebagai model hybrid, LEAP beroperasi pada dua tahapan, yaitu relasi dasar accounting sebagai fasilitas built-in dan pengguna LEAP dapat menambahkan 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 energi Modeling System (OSeMOSYS). Hasil perhitungan optimasi OSeMOSYS dimasukkan kembali ke LEAP untuk ditampilkan sebagai hasil dari sistem least-cost.

#### **2.2.10 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 2.5 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 2.4** 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:

- a. Permintaan Energi:
  - Pemodelan permintaan energi secara terstruktur,

- Pemodelan permintaan energi berdasarkan perubahan penggunaan jenis energi,
- b. Konversi Energi:
- 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),
  - Sistem *dispatch* pembangkit listrik berdasarkan LDC.
  - Pemodelan ekspansi kapasitas dengan *metode exogenous* dan *endogenous*.
- c. Sumber Daya Energi:
- Kebutuhan, produksi, dan ekspor dan impor energi primer.
  - Perhitungan berdasarkan luar-wilayah untuk sumber energi biomassa dan energi terbarukan.
- d. Biaya:
- Semua biaya yang diperlukan di dalam sistem energi yang terdiri dari biaya kapital, operasi dan pemeliharaan, bahan bakar, efisiensi energi, dan dampak lingkungan.

### 2.2.11 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 didalam 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 *stockturnover*.

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, dan
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. Metode yang digunakan dalam perhitungan biaya ini menggunakan standard mortgage seperti pada persamaan 2.1, 2.2 dan 2.3. Dalam persamaan 2.2 dan 2.3,  $i$  merupakan *interest rate*,  $n$  lifetime sistem pembangkit listrik, dan CRF adalah *capital recovery factor*.

$$\text{Total Cost} = \text{Jumlah Cost} \times \text{CRF} \quad (2.1)$$

$$\text{CRF} = \frac{i \cdot k}{k-1} \quad (2.2)$$

$$k = (1 + i)^n \quad (2.3)$$

### 2.2.12 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 2.4:

$$D_{b,s,t} = T_{A,b,s,t} \times E_{I,b,s,t} \quad (2.4)$$

Dimana :

- D : permintaan energi listrik
- TA : level aktivitas,
- EI : intensitas energi,
- b : cabang yang didefinisikan di dalam LEAP
- s : skenario.
- t : tahun (dari tahun dasar sampai dengan akhir tahun simulasi).

### 2.2.13 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 2.5.

$$CBA = (CEX + CEN) \times Cvalue \quad (2.5)$$

Di mana:

- CBA : kapasitas awal (MW).
- CEX : kapasitas *exogenous* (MW).
- CEN : kapasitas *endogenous* yang telah ditambahkan (MW).
- Cvalue : persentase nilai kapasitas aktual (MW).

Sedangkan kapasitas yang dibutuhkan untuk memenuhi beban puncak dihitung dengan menggunakan persamaan 2.6.

$$C_{peak} = \frac{D}{LF \times 8760 \left(\frac{jam}{tahun}\right)} \quad (2.6)$$

Di mana:

- Cpeak : kapasitas untuk memenuhi beban puncak (MW),
- D : permintaan energi listrik (MWh),
- LF : faktor beban sistem.

PRM sebelum ada penambahan kapasitas secara *endogenous* dimana  $PRM_{BA}$  adalah PRM sebelum ada penambahan kapasitas, dihitung berdasarkan persamaan 2.7.

$$PRMBA = (CBA - Cpeak)/Cpeak \quad (2.7)$$

Selanjutnya, kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan secara *endogenous* ditentukan dengan persamaan 2.8.

$$CENA = (PRM - PRMBA) \times Cpeak \quad (2.8)$$

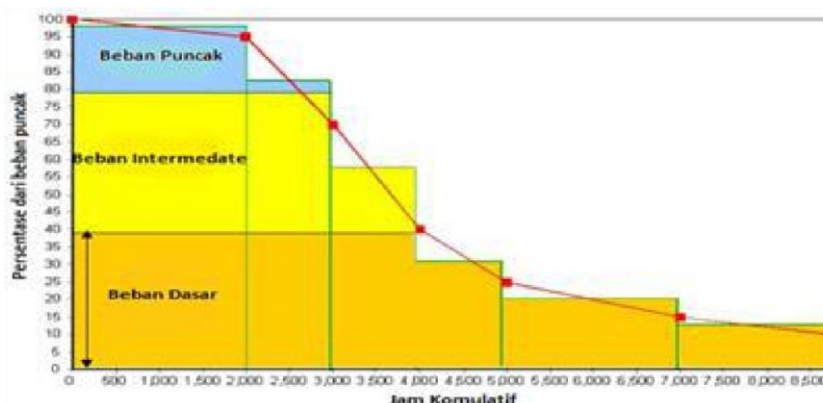
Dimana  $C_{ENA}$  adalah kapasitas pembangkit listrik yang harus ditambahkan untuk mempertahankan PRM pada nilai yang sudah ditentukan. Pada akhirnya, LEAP menghitung kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan untuk setiap proses pembangkit listrik

#### 2.2.14 Proses *Dispatch* Pembangkit Listrik

Dalam perhitungan optimasi, pembangkit listrik di dispatch berdasarkan *running cost*. 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 2.9.

$$RunningCost = VariableOMCost + \frac{FuelCost}{Efficiency} \quad (2.9)$$

Untuk mensimulasikan proses dispatch pembangkit listrik, LEAP pertamama 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 didispatch secara bersamaan. Selanjutnya, LEAP akan melakukan pendekatan diskrit terhadap LDC yang telah ditentukan dan dibagi kedalam interval time slice seperti pada gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Komulatif LDC.

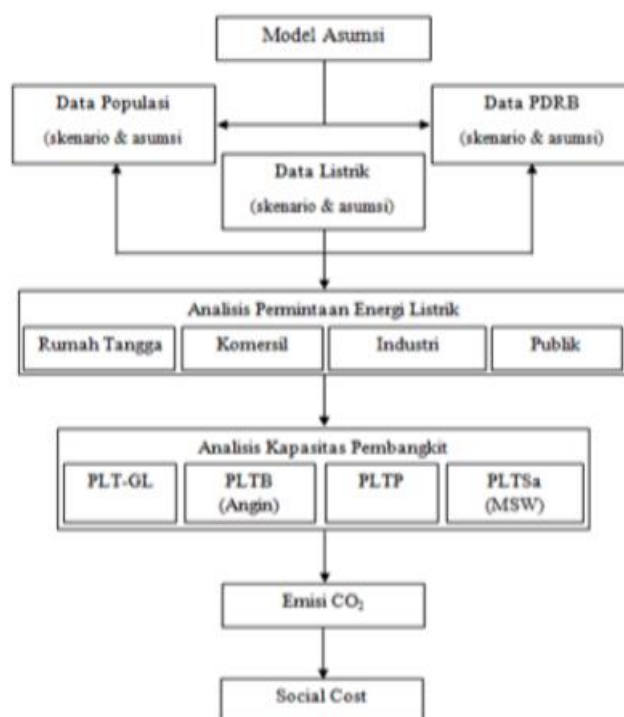
(Sumber : LEAP Indonesiaguide, Oetomo Tri Winarno 1997)

Di dalam gambar 2.5, 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 2.6.

Selanjutnya, setiap proses pembangkit listrik *dispatch* berdasarkan interval vertikal untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di bawah kurva LDC. Pembangkit listrik untuk memenuhi beban dasar didispatch 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 tersisi penuh. Pada saat kapasitas yang tersedia melampaui jumlah yang diperlukan, kapasitas aktual untuk setiap proses yang *dispatch* dikurangi sedemikian hingga setiap proses *dispatch* secara proporsional terhadap kapasitas yang tersedia.

### 2.2.15 Diagram Alir Pemodelan LEAP

Model yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir adalah *Long-range Energi Alternatives Planning system* (LEAP) dengan diagram alir sebagaimana pada gambar 2.8. LEAP adalah alat pemodelan dengan skenario terpadu berbasis lingkungan dan energi. LEAP menggabungkan analisis terhadap konsumsi energi, transformasi dan produksi dalam suatu sistem energi dengan menggunakan indikator demografi, pembangunan ekonomi, teknologi, harga, kebijakan dan regulasi.



**Gambar 2.6** Diagram Alir Pemodelan Leap

### 2.2.16 Simulasi LEAP

Untuk melakukan simulasi menggunakan LEAP, perlu melihat kembali data yang dimiliki. Hal ini dimungkinkan karena algoritma LEAP yang memiliki fleksibilitas tinggi yang memberi keluasaan bagi pengguna dalam melakukan

simulasi. LEAP dapat diatur sesuai data yang dimiliki. Apabila data yang dimiliki sangat lengkap seperti emisi buang, teknologi pembangkitan, hingga peralatan elektronik dan penerangan dalam bangunan mampu diakomodasi oleh LEAP.

Demikian juga apabila data yang dimiliki sangat terbatas seperti simulasi pada penelitian ini dimana hanya memiliki data yang berkaitan dengan konsumsi energi listrik pun dapat digunakan. Langkah pertama dalam simulasi adalah mengatur dan menentukan parameter dasar simulasi. Di dalam parameter dasar, lingkup kerja ditentukan yaitu hanya pada analisis permintaan (*demand*). Kemudian menentukan tahun dasar simulasi. Dalam penelitian ini yang digunakan sebagai tahun dasar adalah tahun 2014, setelah itu menentukan batas akhir periode simulasi yaitu tahun 2024. Yang terakhir adalah menentukan unit satuan yang digunakan seperti unit energi, unit panjang, massa dan mata uang.

Proses analisis data dengan menggunakan software LEAP disediakan empat modul utama dan tiga modul tambahan. Modul utama adalah modul-modul standar yang umum digunakan dalam pemodelan energi, yaitu :

#### A. Modul *Key Assumption*

Modul *Key Assumption* adalah untuk menampung parameter parameter umum yang dapat digunakan pada Modul *Demand* maupun Modul *Transformation*. Parameter umum ini misalnya adalah jumlah penduduk, PDB (Produk Domestik Bruto) dan sebagainya. Modul *Key Assumption* ini sifatnya komplementer terhadap modul lainnya.

#### B. Modul *Demand*

Modul *Demand* adalah menghitung permintaan energi energi. Pembagian sektor pemakai energi sepenuhnya dapat dilakukan sesuai kebutuhan pemodel, permintaan energi didefinisikan sebagai perkalian antara aktifitas pemakaian energi (misalnya jumlah penduduk, jumlah kendaraan, volume nilai tambah, dan sebagainya) dan intensitas pemakaian energi yang bersangkutan.

#### C. Modul *Transformation*



Modul *Transformation* adalah menghitung pemasokan energi, pemasokan energi dapat terdiri atas produksi energi primer (gas bumi, minyak bumi, batu bara dan sebagainya) dan energi sekunder (listrik, bahan bakar minyak, LPG, briket, batubara, arang dan sebagainya). Susunan cabang dalam modul *Transformation* sudah ditentukan strukturnya, yang masing-masing kegiatan transformasi energi terdiri atas proses dan output.

#### D. Modul *Resources*

Modul *Resources* adalah terdiri dari primer dan sekunder. Kedua cabang ini sudah default. Cabang-cabang dalam modul *Resources* akan muncul dengan sendirinya sesuai dengan jenis-jenis energi yang dimodelkan dalam modul *Transformation*. Beberapa parameter perlu diisikan, seperti jumlah cadangan (minyak bumi, gas bumi, batubara dan sebagainya) dan potensi energi (tenaga air, panas bumi, tenaga angin, biomasa, dan sebagainya).

Dan modul tambahan adalah pelengkap terhadap modul utama jika diperlukan yaitu :

- Modul *Statistical Differences*

Modul *Statistical Differences* adalah menuliskan asumsi-asumsi selisih data antara data demand dan supply karena perbedaan dalam pendekatan perhitungan demand dan perhitungan supply energi. Cabang-cabang dalam modul *Statistical Differences* akan muncul dengan sendirinya sesuai dengan jenis-jenis energi yang dimodelkan dalam modul *Demand*. Pada umumnya *Statistical Differences* pada pemodelan nol.

- Modul *Stock Changes*

Modul *Stock Changes* adalah untuk menuliskan asumsi-asumsi perubahan stok atau cadangan energi pada awal tahun tertentu dengan awal tahun berikutnya. Cabang-cabang dalam modul *Stock Changes* akan muncul

dengan sendirinya sesuai dengan jenis-jenis energi yang dimodulkan dalam modul *Transformation*. Pada umumnya perubahan pemodelan dianggap nol.

- Modul *Non-Energy Sector Effect*

Modul *Non-Energy Sector Effect* adalah untuk menempatkan variabel-variabel dampak negatif kegiatan sektor energi, seperti tingkat kecelakaan, penurunan kesehatan, terganggunya ekosistem dan sebagainya. Susunan modul diatas sudah baku. LEAP akan mensimulasikan model berdasar susunan tersebut dari atas ke bawah. Simulasi LEAP bersifat *straight forward*, tidak ada *feedback* antara *Demand* dan *Supply Energy*. Permintaan energi dianggap selalu dipenuhi oleh pemasokan energi yang berasal dari transformasi energi domestik maupun impor energi.