

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai perencanaan kapasitas pembangkit menggunakan 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 penyusunan tugas akhir ini:

(Nalim Kurniawan, 2008) yang menganalisis kelayakan pengolahan sampah kota menjadi produk yang berguna di TPST Bantar Gebang. Berdasarkan perhitungan penentuan biaya investasi dengan kapasitas produksi pembuatan kompos 540 ton/tahun atau 1,5 ton/hari dan harga jual kompos Rp 1.000 per kg maka didapat hasil Rp 540.000.000,00/thn dan setelah dikurangi biaya produksi sebesar Rp 263.580.000,00/thn maka keuntungan yang di peroleh adalah Rp 276.420.000,00/thn.

(Syafurudin, 2006) yang meneliti potensi pemanfaatan nilai ekonomi sampah anorganik melalui konsep daur ulang dalam rangka optimalisasi pengolahan sampah. Dari hasil analisis sampah yang di angkut ke TPA mengalami penurunan. Hal ini di karenakan terjadi pengurangan sampah anorganik yang bernilai ekonomi yang telah di ambil pemulung untuk didaur ulang dari sumbernya.

(Safrizal 2014) dengan judul penelitian *Distributed Generation Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kota (PLTSa) Type Incinerator Solusi Listrik Alternatif Kota Medan*. Dalam penelitian ini dijelaskan bahwa penggunaan energi terbarukan seperti *Municipal Solid Waste* atau sampah kota dapat mengurangi dampak pemanasan global karena mampu menggantikan penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan baku pembangkitan energi listrik. Disamping itu, potensi sampah kota menjadi sumber energi listrik dapat dimanfaatkan untuk mengurangi defisit daya listrik di kota Medan. Penelitian ini menggunakan jumlah penduduk dan produksi sampah rumah tangga per hari sebagai asumsi dasar perhitungan.

(T. Iskandar dan N D. Siswati 2012) dengan judul penelitian Pemanfaatan Limbah Pertanian sebagai Energi Alternatif Melalui Konversi Thermal. Penelitian ini menganalisis penggunaan metode gasifikasi dalam pemanfaatan biomassa menjadi sumber energi listrik. Menurut penelitian ini, gasifikasi biomassa menawarkan sistem energi alternatif yang paling menarik untuk dikembangkan dengan sistem jenis gasifikasi *down draft*, karena gas yang dihasilkan lebih bersih.

## **2.2 Pengertian Sampah**

### **2.2.1 Sampah Kota**

Sampah merupakan suatu bahan yang terbuang atau dibuang dari suatu sumber hasil aktivitas manusia maupun proses-proses alam yang tidak mempunyai nilai ekonomi. Dalam Undang-Undang No.18 tentang Pengelolaan Sampah menyatakan definisi sampah sebagai sisa kegiatan sehari-hari manusia dan atau dari proses alam yang berbentuk padat.

Permasalahan sampah merupakan permasalahan yang krusial bahkan sampah dapat dikatakan sebagai masalah kultural karena berdampak pada sisi kehidupan terutama dikota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Makasar, Medan dan kota besar lainnya. Sampah akan terus ada dan tidak akan berhenti diproduksi oleh kehidupan manusia, jumlahnya akan berbanding lurus dengan jumlah penduduk, bisa dibayangkan banyaknya sampah-sampah dikota besar yang berpenduduk padat. Permasalahan ini akan timbul ketika sampah menumpuk dan tidak dapat dikelola dengan baik.

### **2.2.2 Sumber dan Komposisi Sampah Kota**

Sumber sampah banyak dihasilkan dari pemukiman dan pasar tradisional. Sampah pasar pada umumnya 90% mengandung sampah organik yang terdiri dari sampah sayuran, buah, dan sejenisnya yang seragam sehingga memudahkan dalam pengelompokan. Sedangkan sampah pemukiman cukup beragam dimana beberapa komposisi yang dapat dijumpai 70% mengandung sampah organik dan 30 % mengandung anorganik. Hasil survei pada tahun 2010 di Medan menunjukkan komposisi sampah yang ada sebagai berikut:

Volume sampah : 2-2.5 lt/kapita/hari  
Ratio timbunan sampah : 0.7 kg/kapita/hari  
Kerapatan : 250 kg/m<sup>3</sup>  
Sampah organik : 65.7 %  
Sampah anorganik : 34.3 %

### 2.2.3 Penggolongan Sampah

Permasalahan pengelolaan sampah merupakan permasalahan yang krusial bahkan dapat dikatakan sebagai masalah kultural karena berdampak pada sisi kehidupan manusia. Sampah akan terus ada dan tidak berhenti diproduksi oleh kehidupan manusia. Jumlahnya sebanding dengan jumlah penduduk, dapat dibayangkan banyaknya sampah-sampah di kota besar dengan penduduk yang padat. Permasalahan ini akan timbul ketika sampah menumpuk dan tidak dapat dikelola dengan baik. Beberapa metode pengelolaan sampah dan penerapannya adalah sebagai berikut:

1. *Open Dumping* (Pembuangan Terbuka)

Merupakan cara pembuangan sederhana dimana sampah hanya dibuang pada suatu lokasi, dibiarkan terbuka tanpa pengaman dan ditinggalkan setelah lokasi penuh.

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 dilakukan dengan cara penimbunan sampah, setelah itu kemudian dipadatkan lalu ditutup dengan tanah, yang dilakukan terus menerus secara berlapis-lapis sesuai dengan rencana yang ditetapkan. Pekerjaan pelapisan sampah dengan tanah penutup dilakukan setiap hari pada akhir jam operasi.

#### 4. *Inceneration*

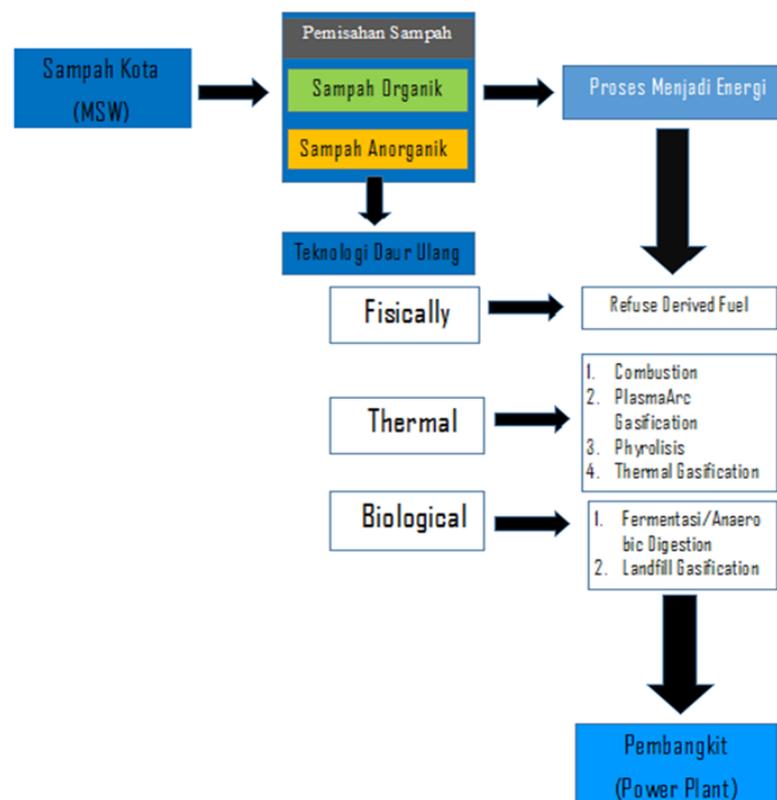
Metode ini dilakukan dengan cara membakar sampah yang telah terkumpul. Pembakaran sampah dilakukan untuk mereduksi volume buangan padat.

#### 5. *Composting*

Metode ini dilakukan dengan mengubah sampah organik menjadi kompos sebagai penyubur tanaman.

### 2.2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA)

Pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) merupakan pembangkit yang dapat membangkitkan tenaga listrik dengan memanfaatkan sampah sebagai bahan utamanya, baik dengan memanfaatkan sampah organik maupun sampah anorganik. Berikut ini adalah gambaran secara umum pemanfaatan sampah untuk pembangkitan tenaga listrik.



**Gambar 2.1** Teknologi PLTSA

**Sumber:** <http://tutoriallingkungan.blogspot.co.id>.

Gambar diatas menunjukkan teknologi-teknologi yang digunakan dalam pengelolaan sampah menjadi energi listrik menggunakan tiga mekanisme kerja yaitu memanfaatkan mekanisme secara fisika, mekanisme secara *thermal* dan mekanisme secara biologi. Dari beberapa jenis teknologi diatas, dapat dijelaskan dua teknologi yang sudah banyak digunakan yaitu teknologi plasma arc gasifikasi dan teknologi pirolisis.

Ada beberapa penggolongan sampah, penggolongan ini berdasarkan atas beberapa kriteria yaitu: asal sampah, sifat dan jenisnya.

- Penggolongan sampah berdasarkan asalnya
  1. Sampah hasil rumah tangga termasuk didalamnya sampah rumah sakit, hotel dan kantor
  2. Sampah hasil kegiatan industry
  3. Sampah hasil kegiatan pertanian meliputi perkebunan, perikanan dan peternakan.
  4. Sampah hasil kegiatan perdagangan misal sampah pasar, swalayan dan toko
  5. Sampah hasil kegiatan pembangunan
  6. Sampah jalan raya.

### **2.2.5 Pengolongan sampah berdasarkan sifatnya**

1. Sampah organik terdiri atas dedaunan, sisa makanan, kertas sayur dan buah. Sampah organik merupakan sampah yang mengandung senyawa organik dan tersusun oleh unsur karbon, hidrogen dan oksigen serta sampah organik mudah terdegradasi oleh mikroba.
2. Sampah anorganik terdiri atas kaleng, plastik, besi, kaca dan bahan-bahan lainnya yang tidak tersusun oleh senyawa organik. Sampah ini tidak dapat terdegradasi oleh mikroba sehingga sulit diuraikan.

### **2.2.6 Sistem Pengelolaan Sampah Perkotaan Ideal**

Dalam Pengelolaan Sampah Terpadu sebagai salah satu upaya pengelolaan Sampah Perkotaan adalah konsep rencana pengelolaan sampah perlu dibuat dengan

tujuan mengembangkan suatu sistem pengelolaan sampah yang modern, dapat diandalkan dan efisien dengan teknologi yang ramah lingkungan. Dalam sistem tersebut harus dapat melayani seluruh penduduk, meningkatkan standar kesehatan masyarakat dan memberikan peluang bagi masyarakat dan pihak swasta untuk berpartisipasi aktif. Dengan demikian perlu adanya kebijakan pengelolaan sampah perkotaan yang ditetapkan di kota-kota di Indonesia meliputi 5 (lima) kegiatan, yaitu:

- Penerapan teknologi yang tepat guna
- Peran serta masyarakat dalam pengelolaan sampah
- Perlunya mekanisme keuntungan dalam pengelolaan sampah
- Optimalisasi TPA sampah
- Sistem kelembagaan pengelolaan sampah yang terintegrasi

### **2.2.7 Proses Konversi *Thermal***

Proses konversi thermal dengan memanfaatkan sampah kota/biomassa sebagai sumber bahan bakar yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik dapat dicapai melalui beberapa cara, yaitu dengan metode *pirolisis*, *combustion*, *PAG*, *Thermal Gasifikasi*.

### **2.2.8 Thermal Gasifikasi**

*Gasifikasi* adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termo kimia menjadi gas, dimana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Selama proses gasifikasi reaksi kimia utama yang terjadi adalah endotermis (diperlukan panas dari luar selama proses berlangsung). Media yang paling umum digunakan pada proses gasifikasi ialah udara dan uap. Produk yang dihasilkan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian utama, yaitu padatan, cairan (termasuk gas yang dapat dikondensasikan) dan gas permanen. Media yang paling umum digunakan dalam proses gasifikasi adalah udara dan uap. Gas yang dihasilkan dari gasifikasi dengan menggunakan udara

mempunyai nilai kalor yang lebih rendah tetapi disisi lain proses operasi menjadi lebih sederhana.

Beberapa keunggulan dari teknologi gasifikasi yaitu :

1. Mampu menghasilkan produk gas yang konsisten yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik.
2. Mampu memproses beragam input bahan bakar termasuk batu bara, minyak berat, biomassa, berbagai macam sampah kota dan lain sebagainya.
3. Mampu mengubah sampah yang bernilai rendah menjadi produk yang bernilai lebih tinggi.
4. Mampu mengurangi jumlah sampah padat.
5. Gas yang dihasilkan tidak mengandung *uran* dan *dioxin* yang berbahaya.

Berikut adalah gambar 2.2 skema penerapan teknologi dengan sistem thermal gasifikasi.



**Gambar 2.2** Proses Kerja PLTSa Thermal Dengan Gasifikasi

**Sumber :** <http://pusaranelang.blogspot.co.id/2012/06/inovasi-baru-pembangkit-litrik-tenaga.html>

### 2.2.9 Potensi Energi Sampah Kota (MSW)

Untuk menghitung potensi energi yang dapat di hasilkan oleh sampah dapat di cari dengan mengetahui jumlah sampah yang di hasilkan oleh provinsi DKI Jakarta sehingga dapat di cari dengan menghitung jumlah energinya. Adapun rumus yang di gunakan untuk menghitung timbunan sampah yang dihasilkan tiap kota per hari dengan proyeksi jumlah penduduk yang ada dapat dengan menggunakan rumus:

*Total timbunan sampah yang di hasilkan (per hari) = Jumlah Penduduk x jumlah timbunan per kapita (kg / hari)*

Untuk volume sampah yang dihasilkan per orang di dalam suatu kota besar tercatat rata – rata sekitar 0,5 kg/kapita/hari (Sudradjat, 2006). Sedangkan menurut SNI 19-3964-1995, satuan timbunan sampah untuk kota besar yaitu sebesar 2 – 2,5 liter/orang/hari atau sekitar 0,4 – 0,5 kg/orang/hari (Damanhuri, 2010).

Untuk mengetahui jumlah sampah yang di hasilkan perkotanya dilihat dari proyeksi penduduk untuk setiap kota dan golongan sampah kota yang dapat dihasilkan dari proyeksi jumlah penduduk dan klasifikasi golongannya dapat di lihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Rekap Tonase Dan Volume Sampah Di DKI Jakarta

NO	TAHUN	TONASE	RATA-RATA/HARI	PENDUDUK
1	2010	1.847.675.25	5.062.12	8.524.152
2	2011	1.888.085.22	5.172.84	10.187.595
3	2012	1.921.226.05	5.263.63	9.761.407
4	2013	2.062.776.98	5.651.44	9.988.329
5	2014	2.067.534.86	5.664.48	10.012.271
6	2015	2.342.987.41	6.419.14	10.075.310

Sumber : Jakarta Dalam Angka 2015

Dari tabel tersebut dihasilkan data-data dan jumlah sampah kota yang dapat dihasilkan per/hari nya. Dari perhitungan jumlah timbunan sampah yang di hasilkan dapat menggunakan rumus yang ada diatas :

- Contoh Perhitungan Timbunan Sampah per kota :

*Total timbunan sampah yang di hasilkan / hari. = Jumlah Penduduk x jumlah timbunan per kapita (kg / hari).*

- Untuk DKI Jakarta jumlah timbunan sampah yang dihasilkan per hari adalah :

*Timbunan sampah kota Jakarta = jumlah penduduk x jumlah timbunan per kapita (kg/hari).*

- Untuk menghitung jumlah timbunan sampah per-tahun jumlah timbunan sampah tiap kota di akumulasikan dan di jadikan satuan ton / hari agar mendapat jumlah yang tepat dan kemuadian di kali 365 hari (1 tahun) agar mengetahui proyeksi timbunan selama satu tahun.

*Timbunan Sampah dalam Satu tahun = total timbunan sampah (ton/hari) x 365 hari.*

- Jadi dari perhitungan diatas tersebut dihasilkan proyeksi jumlah sampah dalam satu tahun, untuk selanjutnya dikonversikan ke satuan Gigajoule dengan mengalikan hasil timbunan sampah dalam setahun Ton / tahun, di kali 14 Gigajoule karna untuk 1 ton sampah yang di hasilkan sama dengan 14 Gigajoule. Produksi sampah dalam menghasilkan listrik dapat di ketahui dengan rumus :

*P.sampah = jumlah sampah dalam satu tahun(ton/tahun) x 14 Gj.*

- Daya yang mampu dibangkitkan oleh energi sampah kota (MSW) ini dihitung dapat di hitung dengan 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 dihitung daya yang mampu dihasilkan energi sampah kota dengan Capacity Factor MSW = 0,75 %, dan dengan mengetahui jumlah produksi sampah dalam waktu jam / tahun atau sekitar 8760 jam dalam satu tahun produksi.

#### **2.2.10 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*

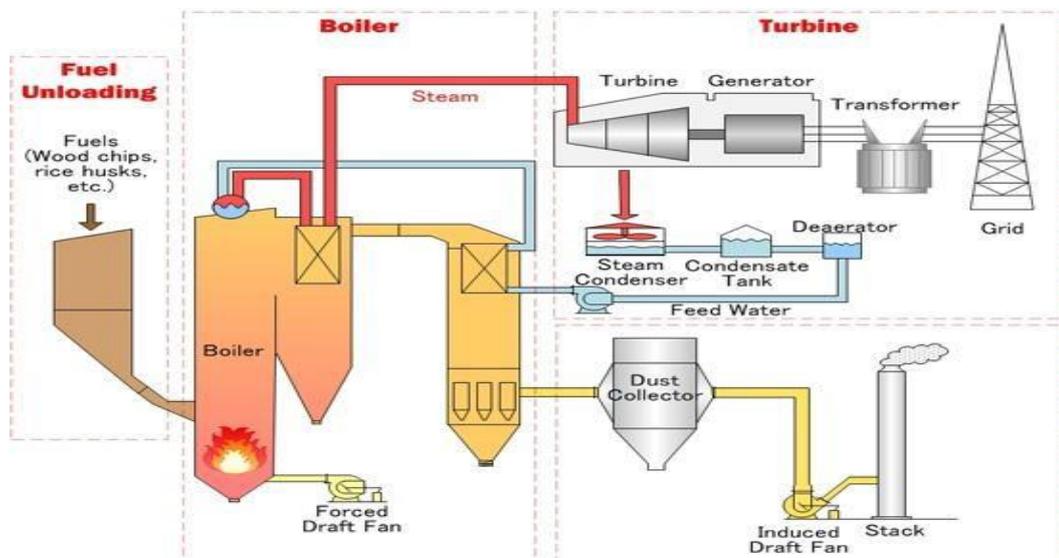
*Gasifikasi* biomassa adalah proses dekomposisi termal dari bahan-bahan organik melalui pemberian sejumlah panas tinggi dengan suplai oksigen terbatas untuk menghasilkan synthesis gas yang terdiri dari CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan CH<sub>4</sub> (selanjutnya disebut syngas) sebagai produk utama 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

**Sumber :** <http://pembangkit-uap.blogspot.co.id/2015/03/pembangkit-listrik-tenaga-biomassa.html>

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 magnetik 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.

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

### **2.4.1 Struktur LEAP**

Pendekatan yang digunakan oleh LEAP adalah struktur pemodelan dengan pendekatan *accounting framework*. Struktur ini dapat digunakan untuk membuat model sistem energi dengan variabel-variabel tentang diskripsi fisik sistem energi, biaya, dan dampak lingkungan. Lebih dari sekedar mensimulasikan kebijakan di sisi permintaan dan penyediaan energi, LEAP dapat digunakan untuk menganalisis dampak implementasi kebijakan-kebijakan tentang energi. Dengan demikian,

*accounting framework* digunakan sebagai alat untuk menganalisis implikasi dari penerapan beberapa skenario permintaan atau penyediaan energi untuk mencapai target-target yang telah ditentukan. Selain itu, LEAP dengan pendekatan *accounting framework* juga dapat digunakan untuk melakukan eksplorasi sumber energi primer, dampak lingkungan, dan biaya sosial yang 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

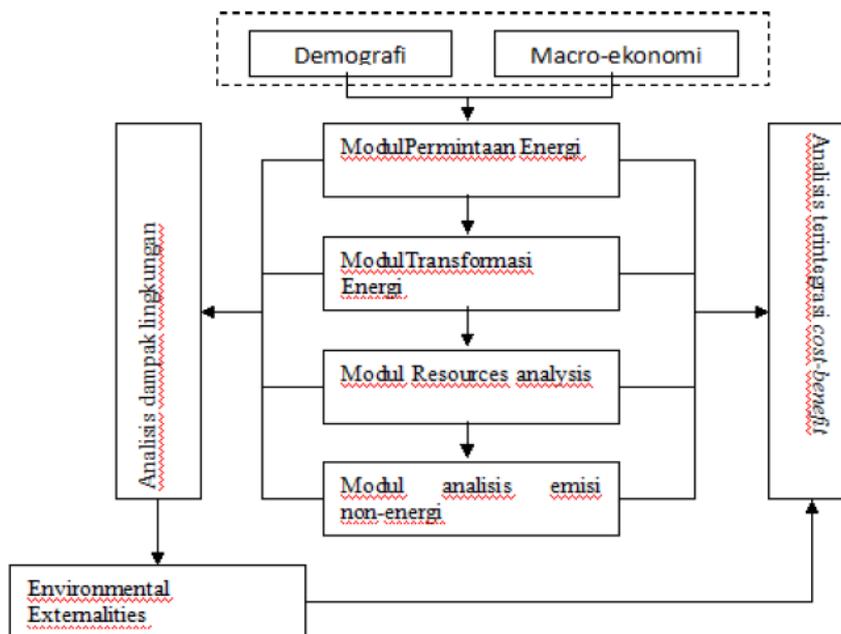
LEAP yang berupa teks digunakan sebagai masukan modul optimasi dari *Open Source energi Modeling System (OSeMOSYS)*. Hasil perhitungan optimasi *OSeMOSYS* dimasukkan kembali ke LEAP untuk ditampilkan sebagai hasil dari sistem least-cost.

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

LEAP terdiri dari 5 buah modul utama, yaitu modul variabel penggerak, modul analisis permintaan energi, modul transformasi energi, modul analisis sumber daya, dan modul teknologi dan dampak lingkungan. Diagram alir perhitungan yang dilakukan oleh LEAP ditunjukkan dalam Gambar 2.5 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

**Sumber :** LEAP Indonesia guide, Oetomo Tri Winarno 1997

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:**

- Pemodelan permintaan energi secara terstruktur,
- Pemodelan permintaan energi berdasarkan perubahan penggunaan jenis energi,

### **2. 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*.

### **3. Sumber Daya Energi:**

- Kebutuhan, produksi, dan ekspor dan impor energi primer.
- Perhitungan berdasarkan luar-wilayah untuk sumber energi biomassa 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:**

- Semua emisi dan dampak langsung dari sistem energi.
- Sumber-sumber sektor non-energi.

### 2.4.3 Metode-Metode dalam LEAP

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

Analisis permintaan energi 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 *stock-turnover*.

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*.

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

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

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

#### 2.4.4 Perhitungan Permintaan Energi

Di dalam LEAP, perhitungan permintaan energi dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode energi final dan energi *useful*. Di dalam analisis permintaan energi final, permintaan energi dihitung sebagai perkalian antara level aktivitas dan intensitas energi. Level aktivitas merupakan ukuran aktivitas sosial dan ekonomi yang mempengaruhi permintaan energi. Sedangkan intensitas energi adalah rata-rata konsumsi energi per teknologi pengguna energi atau per satuan level aktivitas. Selanjutnya, permintaan energi dihitung untuk tahun dasar dan periode simulasi LEAP dengan menggunakan persamaan 2.4:

$$D_{b,s,t} = TA_{b,s,t} \times EI_{b,s,t} \quad 2.4$$

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).

#### 2.4.5 Perhitungan Kapasitas Pembangkit Listrik

Kapasitas pembangkit listrik dapat dihitung secara endogenous untuk mempertahankan nilai *planning reserve margin* (PRM) yang telah ditentukan. Perhitungan kapasitas pembangkit diawali dengan menghitung nilai kapasitas yang ada dengan persamaan 2.5.

$$C_{BA} = (C_{EX} + C_{EN}) \times C_{value} \quad 2.5$$

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.

$$C_{peak} = \frac{D}{LF \times 8760[\text{jam}/\text{tahun}]} \quad 2.6$$

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* dihitung berdasarkan persamaan 2.7.

$$PRM_{BA} = (C_{BA} - C_{peak}) / C_{peak} \quad 2.7$$

Dimana  $PRM_{BA}$  adalah PRM sebelum ada penambahan kapasitas.

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

$$C_{ENA} = (PRM - PRM_{BA}) \times C_{peak} \quad 2.8$$

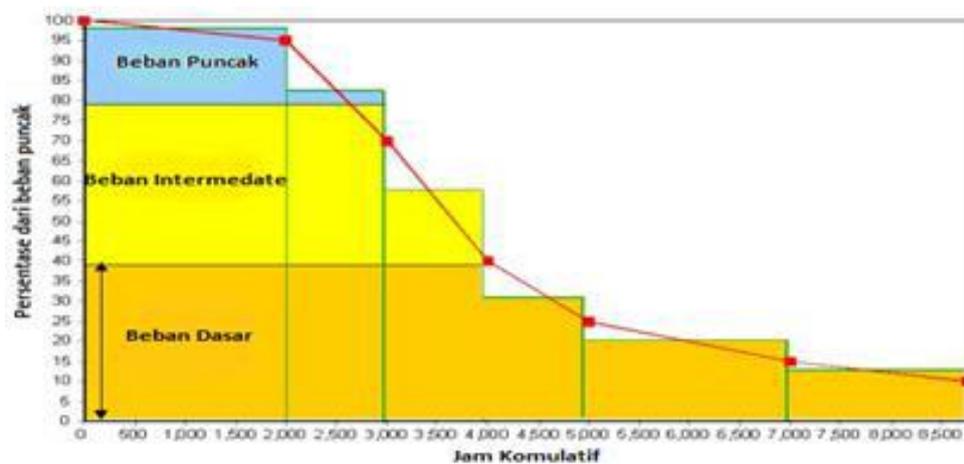
Dimana  $C_{ENA}$  adalah kapasitas pembangkit listrik yang harus ditambahkan untuk mempertahankan PRM pada nilai yang sudah ditentukan. Pada akhirnya, LEAP menghitung kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan untuk setiap proses pembangkit listrik.

#### 2.4.6 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 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 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.

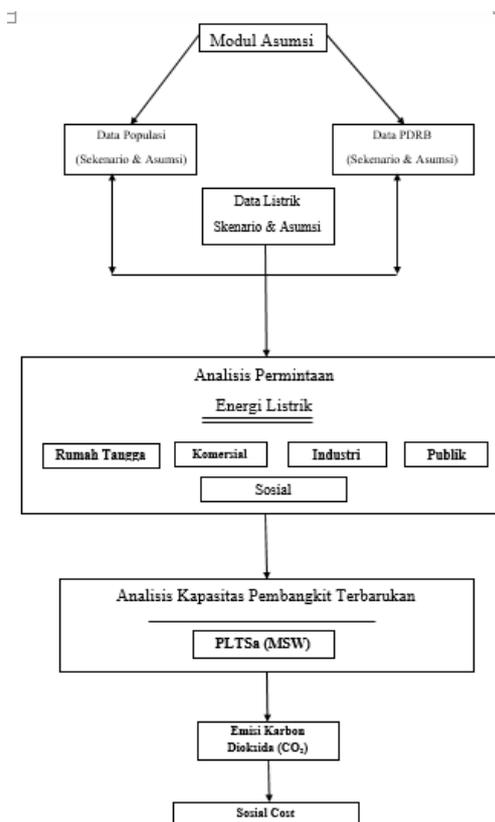
**Sumber :** LEAP Indonesiaguide, Oetomo Tri Winarno 1997

Di dalam gambar 2.7, 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 2.6.

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.

### 2.4.7 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

### 2.4.8 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 komplemen 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.