

## **BAB II**

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

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Penelitian dan pembuatan pembangkit tenaga listrik menggunakan energi terbarukan sudah pernah dibuat dengan studi kasus diberbagai wilayah Indonesia. Berikut beberapa penelitian dan buku yang berkaitan dan dijadikan sebagai sumber referesi dalam penyusunan tugas akhir ini:

Haznan Abimanyu dan Sunit Hendrana (2014) dengan buku “Konversi Biomassa untuk Energi Alternatif di Indonesia”. Buku ini menganalisa dan membahas mengenai biomassa-biomassa di Indonesia yang bisa dimanfaatkan untuk pembangkitan energi listrik dari biogas, biofuel dan sebagainya. Dalam perubahan konversi tersebut terdapat banyak kendala dan proses untuk menghasilkan hasil yang berkualitas.

Iskandar dan 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 *downdraft* karena gas yang dihasilkan lebih bersih.

#### **2.2 Dasar Teori**

##### **2.2.1 Biomassa**

Berdasarkan penelitian *International Energy Association* (IEA), biomassa adalah setiap bahan biologis, termasuk bahan bakar fosil atau gambut yang mengandung energi bahan kimia (awalnya diterima matahari) dan tersedia konversi ke berbagai pembawa energi lainnya. Sedangkan definisi biomassa menurut UK *Biomass Strategy* (2007) dalam Korhaliller (2010), biomassa dalam

kaitannya dengan energi terbarukan adalah segala material biologis (termasuk mikroba) yang berasal dari tanaman atau hewan yang bisa digunakan untuk memproduksi panas atau tenaga, bahan bakar termasuk bahan-bahan transportasi atau sebagai pengganti produk dan material berbasis fosil.

Pada umumnya, biomassa merupakan bahan-bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintetik, baik berupa produk maupun buangan. Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, limbah pertanian, limbah hutan dan kotoran ternak.

#### **A. Biomassa Tradisional dan Modern**

Dalam penggunaannya, biomassa dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu biomassa tradisional dan biomassa modern. Biomassa tradisional mengacu pada belum adanya jaminan penyediaan kembali biomassa melalui upaya penanaman kembali tanaman bahan baku ataupun pemanfaatan limbah pertanian. Sementara ini, biomassa modern mengacu pada telah adanya upaya penanaman ataupun pemanfaatan bahan yang berasal dari sistem budidaya komoditi pertanian, kehutanan atau limbah kota.

##### **1. Biomassa Tradisional**

Biomassa padat termasuk kayu bakar yang dikumpulkan, arang, residu pertanian, hutan dan kotoran ternak yang biasanya diproduksi tapi tidak berkelanjutan dan biasanya digunakan pada daerah pedesaan di negara-negara berkembang dengan pembakaran yang dapat menimbulkan polusi.

##### **2. Biomassa Modern**

Energi yang berasal dari pembakaran bahan bakar biomassa padat, cair dan gas yang efisien digunakan dalam rumah tangga hingga pabrik konveksi skala industri untuk aplikasi modern dari penghangat ruangan, pembangkit listrik ataupun transportasi. Penggunaan biomassa secara modern sudah menjadi ciri khas digunakan oleh negara-negara maju yang menyadari pendayagunaan teknologi biomassa menjadi energi lain.

Tabel 2.1 Indikator pembeda biomassa tradisional dengan modern

NO	Indikator	Biomassa Tradisional	Biomassa Modern
1	Teknologi/istilah	Tidak ada pengganti tanaman secara nyata dilapangan melalui budidaya	Ada pergantian biomassa secara tindakan nyata melalui budidaya
2	Tujuan Penggunaan	Memasak dan menghangatkan ruangan	Menghasilkan listrik, biofuel untuk mesin.
3	Efisiensi Konversi Energi	Rendah	Tinggi
4	Teknologi Konversi	Pembakaran langsung	Gasifikasi, <i>pyrolysis</i> , <i>thermolysis</i>
5	Perlakuan	Hanya untuk pengeringan pra penggunaan biomassa	Pengeringan, pembuatan pelet, disangrai dan lainnya.
6	Produk Tambahan	Hanya abu	Gas, biosolid dan biofuel
7	Penggunaan	Rumah tangga, negara-negara berkembang	Industri, pembangkit listrik, pemukiman dan negara-negara maju
8	Implikasi	Berpengaruh pada penambahan gas penyebab efek rumah kaca melalui pembahan CO <sub>2</sub>	Dianggap nol karena ada penggantian melalui budidaya yang akan menyerap CO <sub>2</sub> kembali ke sistem tumbuhan

Sumber: Goldenber and Celho (2004) dan Gurung and Eun Oh (2013)

## B. Manfaat Energi Biomassa

Pemanfaatan biomassa menjadi energi memiliki berbagai manfaat di bidang lingkungan dan juga ekonomi. Beberapa manfaat penggunaan energi biomassa antara lain:

### 1. Peningkatan kualitas udara

Pemanfaatan biomassa menggantikan bahan bakar fosil berarti dapat membantu peningkatan kualitas udara. Hal ini disebabkan karena adanya pengurangan polusi hasil pembakaran biomassa dibandingkan dengan hasil pembakaran bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil juga telah lama dipermasalahkan karena menimbulkan terjadinya hujan asam, sedangkan

biomassa tidak menghasilkan emisi sulfur ketika dibakar yang mana bisa mengurangi resiko terjadinya hujan asam.

#### 2. Mengurangi jumlah metana di atmosfer

Metana merupakan salah satu gas yang menyebabkan terjadinya efek rumah kaca dan pemanasan global. Metana biasanya dihasilkan ketika bahan organik terurai, oleh karena itu dengan penggunaan biomassa dapat mengurangi jumlah metana di atmosfer karena hasil dari biomassa yaitu berupa gas metan bisa dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin pada pembangkit tenaga listrik.

#### 3. Menimalisir limbah organik

Masalah sampah merupakan salah satu masalah yang saat ini sangat vital di dunia, dikarenakan produksi sampah dunia selalu terjadi peningkatan dari tahun ke tahun. Keberadaan limbah organik di lingkungan juga akan semakin menumpuk, mulai dari limbah rumah tangga, limbah kota, dan lainnya. Jika limbah-limbah tersebut tidak diolah dan hanya dibuang begitu saja, maka bisa mengeluarkan gas berbahaya seperti metana. Oleh karena itulah perlu dilakukan proses karbonasi untuk meningkatkan kadar kalor serta meminimalisir emisi dari limbah organik melalui pemanfaatan biomassa ini.

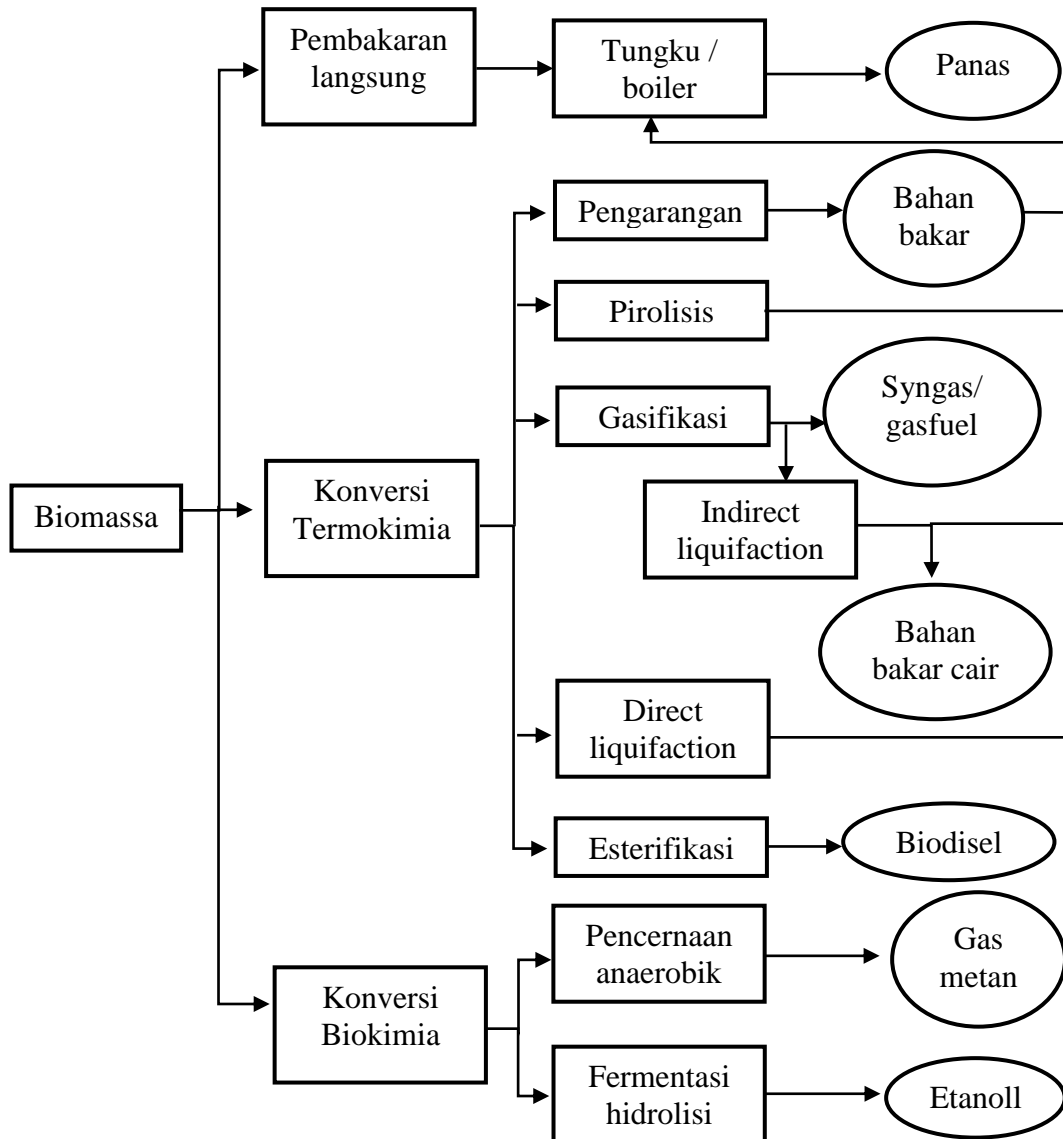
#### 4. Mengurangi jejak karbon

Biomassa menghasilkan emisi karbon lebih sedikit dibandingkan dengan pembakaran 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 karbon dioksida di atmosfer.

### **C. Konversi Biomassa**

Biomassa sebenarnya sudah dikonversi menjadi energi sejak beberapa abad lalu, namun penerapannya masih sangatlah sederhana yang mana biomassa langsung dibakar untuk menghasilkan panas. Namun seiring perkembangan zaman, panas yang dihasilkan oleh pembakaran biomassa telah digunakan untuk menghasilkan uap dalam boiler. Uap ini digunakan untuk

memutar turbin yang mana nantinya menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan energi biomassa dapat dilakukan dengan berbagai cara, saat ini telah banyak dikembangkan teknologi pemanfaatannya.



Gambar 2.1 Bagan teknologi konversi biomassa (Sumber: <http://web.ipb.ac.id/>)

### 1. Pembakaran Langsung (*direct combustion*)

Proses konversi dengan pembakaran langsung merupakan paling mudah dan konvensional dibanding dengan yang lainnya. Pada proses ini, biomassa langsung dibakar tanpa proses-proses tertentu, seperti halnya yang telah

dipraktekkan pada tingkat rumah tangga dengan menggunakan bahan bakar kayu atau limbah kayu, ranting dan daun-daun kering sebagai bahan bakar untuk kegiatan memasak atau pemanas ruangan. Pada tingkat industri, proses pembakaran langsung biomassa pada umumnya menggunakan peralatan dan teknologi yang lebih modern atau inovasi, terutama untuk menggerakkan turbin untuk kepentingan produksi dan dengan menggunakan tambahan generator untuk menghasilkan listrik.

Pada saat ini seiring dengan berkembangnya teknologi, konversi pembakaran langsung biomassa sudah berkembang ke bentuk lain yang lebih populer, seperti mengubah biomassa padat menjadi briket atau pellet agar lebih mudah dalam penggunaan, penyimpanan dan proses pengirimannya. Hasil konversi berupa briket dan pellet bisa digunakan sebagai energi untuk keperluan memasak pada skala rumah tangga dan industri makanan. Penggunaan input pellet kayu dengan tungku inovatif menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi (Dian Desa,2012), selain itu penggunaan konversi ini dapat mengurangi emisi (Faaij,2006).



Gambar 2.2 Hasil konversi berupa briket dan pellet (Sumber: google.com)

## 2. Gasifikasi

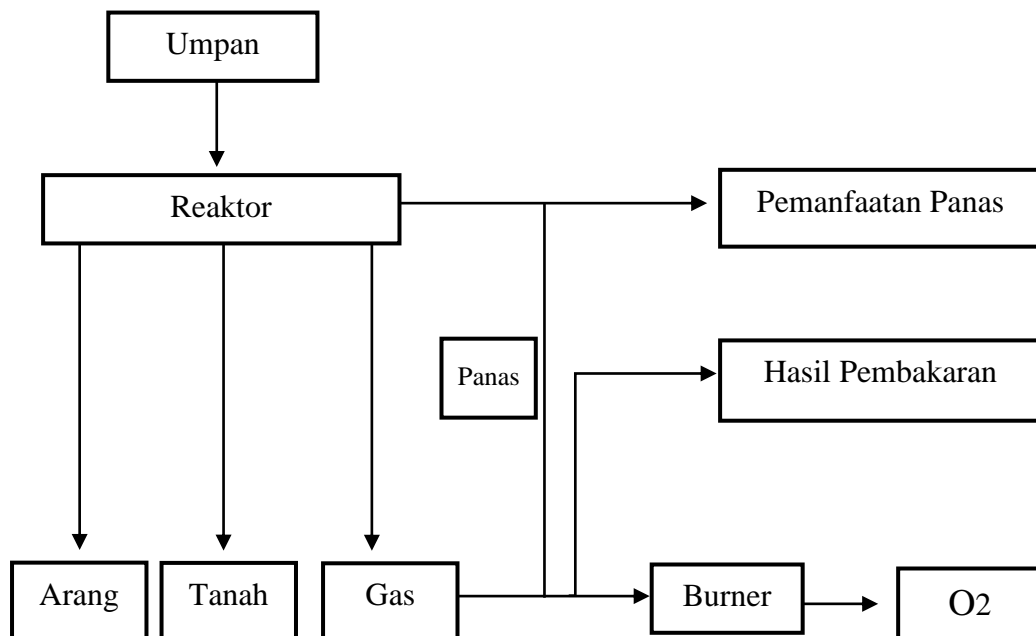
Konversi energi biomassa secara gasifikasi merupakan proses pirolisa sekunder dikarenakan adanya panas yang tinggi menyebabkan biomassa terurai dan direduksi menjadi gas CO serta beberapa jenis gas lainnya. Dengan kata lain, proses gasifikasi merupakan proses pembakaran tidak sempurna bahan baku padat biomassa yang melibatkan reaksi antara oksigen secara terbatas dengan bahan

bakar padat berupa biomassa. Hasil pembakaran biomassa yang berupa uap air dan karbon dioksida direduksi menjadi gas yang mudah terbakar, yaitu hidrogen ( $H_2$ ), karbon monoksida ( $CO$ ) dan metan ( $CH_4$ ). Gas-gas produksi ini disebut dengan *synthetic gas* atau *syngas*.

Salah satu jenis gasifier yang sederhana dan banyak digunakan yaitu jenis *downdraft gasifier*. Dikarenakan adanya pergerakan udara dan bahan bakar menyebabkan biomassa mengalami serangkaian proses, yaitu proses pengeringan, pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Keuntungan yang didapat dari menggunakan reactor gasifikasi tipe *downdraft* yaitu gas yang dihasilkan lebih bersih dibandingkan tipe lainnya. Gasifikasi tipe *downdraft* dapat diaplikasikan sebagai pembangkit daya, seperti daya listrik atau mesin (Purnomo, 2012).

### 3. Pirolisis

Konversi secara pirolisis atau biasa juga disebut termal yaitu proses dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan (pyrn) tanpa adanya melibatkan oksigen atau reagen lainnya pada suhu lebih dari ( $150^\circ C$ ), dimana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas.



Gambar 2.3 Bagan proses pirolisis dengan energi pembakaran gas hasil pirolisi  
(Sumber: <http://web.ipb.ac.id/>)

Proses pirolisi terdapat beberapa tingkatan proses, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku, sedangkan pirolisis sekunder adalah pirolisis yang terjadi pada partikel dan gas/uap hasil dari pirolisis primer

Pada umumnya terdapat tiga produk dalam proses pirolisis, yaitu gas, *pyrolysis oil* dan arang, yang mana proporsinya tergantung dari metode pirolisis, karakteristik biomassa dan parameter reaksi. Masing masing produk pirolisis merupakan bahan bakar yang dapat di konversi menjadi listrik melalui berbagai cara yang berbeda. Proses pirolisis merupakan tahap awal dari rangkaian proses yang terjadi dalam proses gasifikasi yang melibatkan proses kimia dan fisik yang kompleks dimana suatu perubahan dalam kondisi operasi berpengaruh pada proses secara keseluruhan.

#### 4. *Liquification*

Salah satu pemanfaatan energi biomassa adalah dengan mengubahnya menjadi bentuk cair dengan proses kondensasi. Proses *liquification* biasanya dilakukan dengan cara pendinginan atau perubahan dari padat ke cairan dengan peleburan, bisa juga dilakukan dengan pemanasan atau penggilingan dan pencampuran dengan cairan lain untuk memutuskan ikatan.

Jenis bahan bakar cair yang paling umum dihasilkan yaitu 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.

#### 5. Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan metode konversi biomassa yang saat ini paling umum digunakan untuk memproduksi biodiesel. Transesterifikasi merupakan suatu reaksi organik dimana suatu senyawa ester diubah menjadi



senyawa ester lainnya melalui pertukaran gugus alkohol dari ester dengan gugus alkil dari senyawa alkohol lain. Reaksi ini sering disebut sebagai reaksi alkoholisis, yaitu reaksi antara trigliserida dengan alkohol menghasilkan ester dan gliserin.

#### D. Pemanfaatan Biomassa Sebagai Sumber Energi Listrik

Pemanfaatan biomassa menjadi energi listrik pada saat ini telah banyak dilakukan dengan membangun pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTBM) dari skala kecil sampai skala besar. Saat ini pembangkit listrik biomassa masih terus dikembangkan lagi dikarenakan untuk bahannya sendiri berupa biomassa akan semakin bertambah dari tahun ke tahunnya, sedangkan untuk pengelolaannya kurang memadai.

##### 1. Bak Penampung

Bak penampung berfungsi sebagai tempat penimbunan sementara larutan substrat dan juga sebagai tempat pencampuran larutan substrat dengan larutan *greenphoskko (activator metana)* sebelum dipompa ke dalam biodigester. Jika volume *substrat* padat sudah dapat diketahui, maka untuk mengestimasi luas ruang bak penampung dapat diketahui dengan perhitungan:

$$\text{Volume substrat pada (Vf)} = \frac{m}{p}$$

$$\text{Luas alas (La)} = \frac{Vf}{t}$$

Dimana: Vf = volume substrat (m<sup>3</sup>)

m = massa (kg)

p = massa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

La = luar alas (m<sup>2</sup>)

T = tinggi (m)

## 2. Biodigester

Biodigester atau *anerobik* digester suatu teknologi yang memanfaatkan proses biologis dimana bahan organik oleh mikro organisme *anerobik* terurai dalam ketiadaan oksigen terlarut. Komposisi biogas yang dihasilkan oleh biodigester sebagian besar terdiri dari 50-70% gas metan ( $\text{CH}_4$ ), 30-45% karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan gas lainnya dalam jumlah kecil seperti  $\text{H}_2\text{S}$ . Biodigester pada umumnya dimanfaatkan pada skala kecil seperti rumah tangga, namun tidak menutup kemungkinan biogester dapat juga dimanfaatkan pada skala yang lebih besar seperti komoditas, koperasi pasar dan lainnya.

### a. Komponen Biodigester

Komponen pada biodigester sangatlah bervariasi dan tergantung dari jenis biodigester yang digunakan. Akan tetapi secara umum, biodigester terdiri dari komponen-komponen antarav lain:

#### 1) Saluran Slurry

Saluran slurry merupakan saluran yang berfungsi untuk memasukkan slurry (campuran limbah dan air) ke dalam reaktor utama. Pencampuran ini berfungsi untuk memudahkan pengaliran serta menghindari terbentuknya endapan.

#### 2) Saluran Residu

Saluran residu merupakan saluran yang digunakan untuk mengeluarkan kotoran yang telah difermentasi oleh bakteri. Residu yang keluar pertama kali merupakan slurry masukan pertama setelah retensi.

#### 3) Katup pengaman (*Control valve*)

Katup ini digunakan sebagai pengatur tekanan gas dalam biodigester. Bila tekanan gas dalam saluran lebih tinggi daripada kolam, maka gas akan keluar melalui pipa dan mengakibatkan tekanan dalam biodigester menurun.

#### 4) Sistem pengaduk

Sistem pengadukan digunakan untuk mengurangi pengendapan dan peningkatan produktifitas biodigester dikarebakan kondisi substrat yang seragam. Pengadukan pada biodigester dilakukan dengan berbagai cara,

seperti pengadukan mekanis, sirkulasi substrat biodigester atau sirkulasi ulang produksi biogas ke bagian atas biodigester menggunakan pompa.

5) Saluran gas

Pembuatan saluran gas pada biodigester disarankan menggunakan bahan polimer yang bertujuan untuk menghindari terjadinya korosi pada saluran.

6) Tangki penyimpanan gas

Pada biodigester terdapat dua jenis tangki penyimpanan gas yaitu tangki yang bersatu dengan unit reaktor (*floating dome*) dan terpisah dengan reaktor (*fixed dome*).

b. Proses biologis Biodigester

Proses biologis yang terjadi pada digester *anerobik* merupakan proses alami pembusukan material organik, dimana bahan organik dipecah menjadi komponen sederhana dalam kondisi anaerobik. Mikro organisme anaerobik mencerna bahan organik untuk menghasilkan metana dan karbon dioksida sebagai produk hasil yang ideal. Adapun tahapan biologis dan kimia dalam *anerobik* digester antara lain:

1) Reaksi kimia hidrolisis

Reaksi kimia yang mana molekul-molekul organik kompleks dipecah menjadi gula sederhana, asam amino dan asam lemak dengan penambahan gugus hidroksil.

2) Reaksi biologis acidogenesis

Reaksi biologis yang mana gangguan lebih lanjut dengan acidogens menjadi molekul sederhana, asam lemak volatil (VFAs) terjadi, memproduksi amonia, karbon dioksida dan *hidrogen sulfide* sebagai produk sampingan.

3) Reaksi biologis acetogenesis

Reaksi biologis yang mana molekul sederhana dari *acidogenesis* lebih lanjut dicerna oleh acetogens untuk menghasilkan karbon dioksida, hidrogen dan asam asetat.

#### 4) Reaksi biologis metanogenesis

Reaksi biologis yang mana gas metana, karbon dioksida dan air yang diproduksi oleh metanogen.

#### c. Jenis-jenis Biodigester

*Anerobik* digester memiliki berbagai jenis yang dapat menghasilkan panas dari bahan biomassa, antara lain:

##### 1) *Complete Mix*

*Complete mix* merupakan wadah berbentuk lingkaran besar yang dapat memproses limbah yang campuran padatnya hanya sekitar 10% saja. Digester *complete mix* dapat beroperasi dengan baik pada berbagai tingkat suhu dan dapat menghasilkan panas selama lebih dari 20 berhari-hari.



Gambar 2.4 Biodigester *Complete Mix* (Sumber: M Rizky, ITB 2014)

##### 2) *Cover Lagoon*

*Cover Lagoon* membutuhkan penutup seperti membran kain dan menempatkannya di kolam penampungan limbah. Kemudian limbah diproses dan panas yang dihasilkan diserap oleh penutup. Proses ini tidak cocok untuk limbah padat, tetapi sistem ini paling sesuai untuk limbah cair. *Cover Lagoon* agak lebih sederhana dan biayanya lebih efektif dibandingkan dengan dua tipe digester lainnya, tetapi memiliki satu kelemahan yaitu produksinya tergantung pada suhu



Gambar 2.5 Biodigester *Cover Lagoon* (Sumber: M Rizky, ITB 2014)

Pada musim panas ketika kolam penampung dipanaskan, produksi akan 35% lebih tinggi daripada di musim dingin. Hal lain yang harus diperhatikan adalah paling tidak dibutuhkan waktu 2-3 tahun agar *Cover Lagoon* stabil dan menghasilkan biogas secara konsisten.

### 3) *Plug Flow*

*Plug Flow* digester biasanya dibangun di bawah tanah. Setiap hari, sejumlah tertentu kotoran hewan dikirim ke alat ini. Di sistem ini terdapat sebuah kompartemen dengan udara yang tipis.



Gambar 2.6 Biodigester *Plug Flow* (Sumber: M Rizky, ITB 2014)

Sistem ini juga dapat memproses kotoran yang campuran padatnya tidak lebih dari 15%. Jadi, ketika kotoran hewan yang baru ditambahkan, kotoran hewan yang tua masuk ke dalam palung dan akan diproses,

sedangkan kotoran hewan yang baru tersebut menunggu sampai hari berikutnya untuk didorong ke bawah. Dengan cara ini, proses terus berlangsung sampai suplai ke digester dihentikan.

#### d. Produk Hasil Biodigester

Biodigester atau *anerobik* digester tidaklah hanya menghasilkan biogas saja, akan tetapi ada tiga produk utama hasil dari biodigester yaitu:

##### 1) Biogas

Biogas merupakan campuran gas yang terdiri dari sebagian besar metana dan karbon dioksida, akan tetapi juga mengandung sebagian kecil gas lainnya seperti hidrogen. Metana dalam biogas dapat dibakar untuk menghasilkan listrik, biasanya dengan mesin *reciprocating* atau *microturbine*. Karena gas tidak dibuang langsung ke atmosfer sehingga tidak memberikan kontribusi untuk meningkatkan konsentrasi karbon dioksida atmosfer, karena itu dianggap menjadi sumber energi yang ramah lingkungan.

##### 2) Digestate

Biodigester menghasilkan residu padat dan cair yang disebut digestate dimana berfungsi sebagai vitamin tanah. Jumlah biogas dan kualitas digestates yang diperoleh akan bervariasi sesuai dengan bahan baku yang digunakan. Lebih banyak gas akan diproduksi jika bahan baku adalah mudah membusuk.

##### 3) Air limbah

Air limbah bisa didapatkan dari kandungan air limbah asli yang diolah tetapi juga mencakup air yang dihasilkan selama reaksi mikroba dalam sistem pencernaan. Air ini dapat dilepaskan dari dewatering dari digestate yang biasanya akan berisi BOD dan COD yang tinggi yang akan memerlukan pengolahan lebih lanjut sebelum dilepaskan ke saluran pembuangan air.

e. *Gas Holder*

*Gas Holder* biasanya diletakkan diatas biodigester yang mana memiliki peranan sebagai tempat penyimpanan gas sementara sebelum didistribusikan ke inlet generator. Untuk menghitung *gas holder* dapat digunakan perbandingan antara volume *substrat* padat ( $V_f$ ) dengan *gas holder* ( $V_g$ ) dengan perbandingan 1:2 yaitu:

$$\text{Volume gas holder (Vg)} = \frac{V_d \times V_g}{V_f}$$

Dimana:  $V_g$  = Volume *gas holder* ( $m^3$ )

$V_d$  = Volume biodigester ( $m^3$ )

$V_f$  = Volume *substrat* ( $m^3$ )

### 2.2.2 Biogas

#### A. Pengertian Biogas

Biogas merupakan gas alami yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (anaerobik). Biogas pertama kali ditemukan oleh warga negara cina berupa campuran gas di rawa yang disebut rawa gas metana. Gas metana merupakan gas yang terbentuk dari proses fermentasi akibat aktifitas bakteri metanogen atau metanogenik. Gas metana adalah hidrokarbon paling sederhana yang berbentuk gas dengan rumus kimia  $CH_4$ . Pada umumnya, metana murni tidak berbau, tetapi biasanya ditambahkan bau belerang untuk mendeteksi kebocoran yang mungkin terjadi.

Sebagai komponen utama gas alam, metana dapat dijadikan sumber bahan bakar untuk penggerak generator pembangkit listrik. Nilai kalor biogas cukup tinggi yaitu 4000 – 6700 kcl/ $m^3$ . Hal ini berarti hampir mencapai energi untuk mendidihkan 130 kg air dalam suhu  $200^\circ C$  atau nyala lampu sekitar 40 – 100 watt selama 5 – 6 jam (Depkes, 1987).

## B. Manfaat Biogas

Implementasi awal dari teknologi biogas di Indonesia dimulai pada tahun 1970-an karena masalah energi. Sejalan dengan semakin meningkatnya jumlah ternak, kotoran ternak, limbah rumah tangga dan limbah cair. Maka teknologi biogas tidak hanya diarahkan untuk memenuhi kebutuhan energi, namun juga untuk mengatasi permasalahan lingkungan. Adapun manfaat dari proyek biogas antara lain:

1. Mengurangi biaya pengolahan air dan polusi yang disebabkan oleh zat-zat organik
2. Menghasilkan limbah dari biogas yang bisa dimanfaatkan berupa pupuk organik berkualitas
3. Menghasilkan energi dalam bentuk biogas yang merupakan bahan bakar terbarukan dan berkualitas
4. Mengurangi emisi gas rumah kaca dan daur ulang limbah organik.

## C. Proses Pembentukan Biogas

Sebelum digunakan sebagai bahan untuk pembangkitan tenaga listrik, limbah organik haruslah diubah terlebih dahulu melalui penguraian menjadi biogas. Ada tiga kelompok bakteri yang berperan dalam pembentukan biogas, antara lain:

### 1. Bakteri Fermentatif

Kelompok bakteri fermentasi ini terdiri dari *Streptococci*, *Bacteriodes*, dan beberapa jenis *Enterobacteriaceae*.

### 2. Bakteri Asetogenik

Kelompok bakteri asetogenik hanya terdiri *Desulfovibrio*

### 3. Bakteri Metana

Kelompok bakteri metana terdiri dari *Methanobacterium*, *Methanobacillus* dan *Methanococcus*.



Biomassa yang telah diberikan bakteri akan membentuk biogas yang mana proses pembentukan biogas berlangsung dalam 4 tahap, antara lain:

1. Tahap Hidrolisis

Pada tahap hidrolisis terjadi perombakan bahan organik yang awalnya padat menjadi senyawa-senyawa asam organik berantai panjang, hidrogen, karbon dioksida dan alkohol.

2. Tahap Pengasaman.

Pada tahap pengasaman dimana asam-asam organik berantai panjang yang dibentuk pada proses hidrolisis diubah menjadi asam organik berantai pendek, hidrogen dan karbon dioksida.

3. Tahap pembentukan asetat

Pada tahap ini, asam-asam organik berantai pendek yang dihasilkan dari tahap pengasaman diubah lagi menjadi asetat.

4. Tahap pembentukan metana

Sesuai dengan urutannya, setelah asam diubah menjadi asetat maka pada tahap ini kemudian diproses menjadi gas metana yang biasanya disebut sebagai biogas.

Tabel 2.2 Komponen penyusun biogas (sumber: PTP-ITB)

Jenis Gas	Jumlah (%)
Metana (CH <sub>4</sub> )	54 - 70
Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	27 - 45
Nitrogen (N)	0.5 - 3
Karbon monoksida (CO)	0.1
Oksigen (O <sub>2</sub> )	0.1
Hidrogen sulfida (H <sub>2</sub> S)	Sedikit sekali

### 2.2.3 Buah-buahan busuk

Buah-buahan busuk pada umumnya diawali melalui proses infeksi yaitu masuknya patogen ke dalam sel ataupun jaringan buah melalui celah alami,

gigitan serangga atau melalui kontak langsung dengan luar. Buah busuk dapat digolongkan kedalam 3 bentuk, yaitu:

1. Busuk keras dan kering atau busuk mummi
2. Busuk lunak dan basah atau busuk bonyok
3. Busuk biasa atau bercak nekrosa

A. Penyakit busuk buah *botrytis*

Infeksi kapang *botrytis* terjadi melalui bunga, yang mana mahkota bunga terserang dan menjadi kering serta gugur. Buah akan membusuk saat menjelang masak, khususnya pada saat iklim sedang lembab atau pada musim hujan. Busuk buah *botrytis* digolongkan sebagai penyakit pasca panen dikarenakan gejala busuk terjadi atau tampak saat buah sedang dalam proses pengangkutan ataupun penyimpanan. Jenis-jenis kapang *botrytis* yang menyerang berbagai jenis buah antara lain:

1. *Botrytis cinerea* Pers

*Botrytis cinerea* Pers merupakan penyakit yang sering disebut busuk kapak kelabu. Penyakit akan menyebabkan kulit buah terlepas dari daging buah yang menyebabkan daging buah buah lunak berair. Penyakit ini bisa dilihat pada warna permukaan buah busuk yang biasanya terdapat kapang warna kelabu.

Beberapa usaha pengendalian agar tidak terserang penyakit busuk buah *botrytis* yaitu:

- a. Sanitasi umum, yaitu sumber-sumber infeksi dimusnahkan
- b. Pertukaran udara, dapat dilakukan dengan pemangkasan secara tepat dengan mengurangi tunas-tunas daun yang tumbuh berlebihan
- c. Kepekaan terhadap serangan *botrytis* dapat dikurangi dengan mengurangi pupuk nitrogen saat masa pertumbuhan dengan maksud mengurangi tumbuhnya tunas-tunas baru dan buah yang tinggi kandungan airnya
- d. Panen, pengangkutan dan penyimpanan buah diusahakan sebaik mungkin agar tidak terjadinya cacat buah.
- e. Pengendalian secara kimiawi dengan cara membunuh sumber infeksi pada daun dan tanaman.

- f. Untuk menghindari serangan busuk setelah panen sebaiknya buah dicuci dengan air panas dan disimpan dalam suhu serendah mungkin.

B. Penyakit busuk buah *rhizopus*

Jenis-jenis kapang *rhizopus* menimbulkan kerusakan berbentuk busuk buah di antaranya sebagai berikut:

1. *Rhizopus nigricans* Her

Kapang *Rhizopus nigricans* Her menimbulkan penyakit busuk buah yang dikenal di seluruh sentra produksi jeruk di dunia. Gejala awal penyakit ini berupa bercak-bercak kuning pucat atau kuning agak berkerut. Bercak berkembang menjadi busuk yang kemudian buah diselaputi miselia dan bentuk tubuh buah kapang lainnya. Buah busuk ini akhirnya dilapisi tepung tipis berwarna hitam atau kelabu.

2. *Rhizopus artocarp*i Raciborski

Kapang yang menyebabkan penyakit busuk buah pada nangka, disebut juga *Rhizopus jackfruit* Rot. Infeksi biasanya terjadi melalui bunga jantan atau pada buah-buah masih muda yang mana sporanya disebarkan melalui angin. Serangan awal tampak dari luar berupa pertumbuhan miselia berwarna kelabu yang kemudian menjadi lebih gelap dengan sporangia-sporangia berwarna hitam. Serangan lebih lanjut menyebabkan seluruh buah menjadi busuk kemudian gugur.

3. *Rhizopus stolonifer* Lind

Kapang yang menyebabkan penyakit busuk pada buah papaya. Hanya menyerang buah-buah masak yang telah terluka sedangkan buah-buah mentah utuh, sehat dan tidak terluka tidak akan diserang. Cendawan ini menimbulkan buah busuk bonyok.

4. *Rhizopus cirxinans* v. *Tilgh* dan *R. arrchizus* Fischer

Kedua jenis kapang ini menyebabkan timbulnya busuk kulit (Hull Rot) pada buah almond di California dan Australia. Infeksi terjadi bila kulit buah pecah dan retak. Kulit yang pecah ini menjadi alur-alur bercak tidak teratur dan berlendir yang menimbulkan cacat alur mengerut pada buah.

Adapun usaha pengendalian agar tidak terserang penyakit busuk buah *rhizopus*, antara lain:

- a. Karena cendawan ini menyerang saat luka maka pada saat pemetikan, pengepakan, pengangkutan dan penyimpanan buah harus dilakukan secara berhati-hati.
- b. Sanitasi kebun senantiasa dilakukan dengan sebaik-baiknya. Buah-buah busuk harus segera dimusnahkan agar tidak menjadi sumber inokulum berikutnya.
- c. Semut yang merupakan pembawa spora serta kepik dan serangga lainnya yang dapat menimbulkan luka pada buah segera diberantas
- d. Busuk buah pada nangka dapat dicegah dengan penyemprotan bubuk bordeaux setiap tiga minggu selama pohon berbunga dan awal pembentukan buah
- e. Perendaman buah-buah pepaya ke dalam air panas, suhu 48° C selama 20 menit dapat mencegah infeksi jamur *Rhizopus*.

### C. Penyakit busuk buah *phytophthora*

Beberapa jenis jamur *phytophthora* yang menimbulkan penyakit busuk buah di antaranya sebagai berikut: antara lain:

#### 1. *Phytophthora palmivora* Butl

*Phytophthora palmivora* Butl merupakan penyebab penyakit layu pada buah pepaya. Gejalanya berupa busuk pada batang, buah serta akar yang menimbulkan busuk akar, layu kecambah/tanaman muda atau kanker pada leher batang. Gejala awal akan tampak pada batang dan buah. Bagian batang di sekitar buah akan timbul bercak-bercak kecil basah dan tidak berwarna. Bercak-bercak akan membesar dan meluas. Akan tetapi pada buah muda atau buah mentah tidak diserang kecuali buah luka.

#### 2. *Phytophthora cinnamon*

*Phytophthora cinnamon* menyerang tanaman nanas di Hawaii dan Australia, khususnya pada lahan-lahan yang jelek drainase dan tinggi curah

hujannya. Penyakit yang ditimbulkan yaitu menyebabkan buah muda menjadi busuk terutama buah yang berasal dari tanaman anakan yang berdekatan atau bersentuhan dengan tanah.

### 3. *Phytophthora nicotianae* B de Haan

*Phytophthora nicotianae* B de Haan merupakan penyebab timbulnya buah busuk basah pada jambu biji, melon dan semangka. Pada bagian yang busuk bila iklim senantiasa lembab akan tumbuh dan berkembang jamur miselia dan sporangia berwarna putih dari kapang ini.

Beberapa usaha pengendalian agar tidak terserang penyakit busuk buah *phytophthora*, antara lain:

- a. Sebaiknya tidak melakukan penanaman pepaya di suatu lahan terus menerus guna mencegah lahan terjangkiti kapang pathogen
- b. Melakukan sanitasi lahan dan pengaturan saluran draenase
- c. Untuk mencegah serangan, saat awal penanaman bibit dicelup dalam larutan bubuk bordeaux dan captafol
- d. Agar dihindari penanaman bersama, berdekatan atau melakukan rotasi tanaman bagi jenis pohon buah yang sama-sama peka terhadap penyakit busuk buah *phytophthora*.

### D. Penyakit busuk buah Pythium

Penyakit busuk buah pythum merupakan golongan cendawan perusak ataupun penyebab busuk akar. Beberapa di antaranya menyerang organ-organ vegetatif dan buah. Akibat serangannya menimbulkan kerusakan busuk bonyok. Bagian yang terserang menjadi berwarna hitam bonyok dengan bentuk tidak seperti biasanya. Busuk bonyok ini dapat menyerang seluruh buah atau hanya sebagian saja. Bagian yang terserang akan membusuk, hitam mengerut dan keriput. Bagian lain yang tidak terserang tetap berwarna dan berbentuk normal

Usaha pengendalian dari penyakit busuk buah pythum sampai saat ini belum diketahui. Buah-buah yang dihasilkan menjadi tidak bernilai ekonomis lagi sehingga lebih banyak dibuang dan dimusnahkan.

E. Penyakit busuk buah antraknosa

Gejala serangan dari antraknosa yaitu tampak pada buah-buah masak berbentuk bercak-bercak cekung busuk. Bila seluruh permukaan buah sudah terserang bercak, maka seluruhnya akan menjadi busuk bonyok dan pada bercak-bercak busuk bonyok akan tumbuh lapisan massa konidia berwarna. Penyakit ini disebabkan oleh kapang *Colletotrichum*. Adapun beberapa kapang *colletotrichum* yang menimbulkan penyakit busuk buah antraknosa antara lain:

1. *Colletotrichum musae* Arx

Penyakit antraknosa pada pisang ini pertama kali dinyatakan sebagai penyakit pasca panen sebab serangannya terjadi pada buah-buah masak dalam penyimpanan. Gejala awal dari penyakit ini tampak pada kulit buah yang mulai menguning dengan bercak-bercak kecil berwarna cokelat. Bercak-bercak ini kemudian semakin membesar dan cekung. Sedangkan pada buah mentah yang telah dipanen timbul bercak-bercak kecil bulat berwarna hitam dan cekung kemudian berwarna kuning. Buah-buah yang terserang hebat menjadi hitam dan busuk bahkan menjadi mengerut dan busuk kering (busuk mummi).

2. *Sphaceloma pinica* Bitsncourt and Jenkins

*Sphaceloma pinica* Bitsncourt and Jenkins merupakan kapang penyebab antraknosa pada buah delima. Menurut keterangan penyakit ini merupakan penyakit penting tanaman delima di dunia.

3. *Colletotrichum lagenarium* (Pass) Ell & Halls

*Colletotrichum lagenarium* (Pass) Ell & Halls merupakan penyebab penyakit antraknosa pada buah semangka.

Beberapa upaya pengendalian agar tidak terserang penyakit busuk buah antraknosa, antara lain:

- a. Melakukan sanitasi kebun sebaik-baiknya dengan cara menjaga kelembaban lahan, pemangkasan dan penyemprotan fungisida secara berkala dan teratur
- b. Buah-buah yang akan disimpan atau diekspor direndam dalam air panas suhu 48°C selama 20 menit sebagai pencegahan.

#### F. Penyakit Busuk Buah *phomopsis*

Kapang *phomopsis* menimbulkan busuk buah serta kanker. Jenis-jenis kapang *phomopsis* yang menimbulkan penyakit diantaranya:

##### 1. *Phomopsis anonacearum* Bondartzeva-Monteverde

Kapang ini menimbulkan busuk yang disebut kanker hitam (*black cancer*) pada buah srikaya. Gejala awal penyakit ini tampak berupa bercak-bercak ungu dengan berbagai ukuran. Bercak ini sering terdapat di dekat ujung buah kemudian mengeras menjadi celah dalam.

##### 2. *Phomopsis citri* Faw

*Phomopsis citri* Faw merupakan kapang penyebab busuk pangkal buah dan telah menyebar keseluruh area jeruk di dunia. Gejala awalnya terlihat di sekeliling ujung pangkal buah yang menjadi liat dan mengeras berwarna kekuningan sampai cokelat. Bila buah mulai masak dan iklim atau udara bertambah panas, maka kebusukan buah cenderung bertambah cepat, baik kualitas maupun kuantitas kebusukan. Infeksi kapang terjadi saat buah masih menggantung di pohon atau melalui tangkai buah yang baru dipetik.

Usaha pengendalian agar tidak terserang penyakit busuk buah *phomopsis*, antara lain:

- a. Melakukan sanitasi kebun, di antaranya memusnahkan sumber inokulum.
- b. Penyemprotan dengan bubur bordeaux
- c. Penyemprotan buah jeruk menjelang panen dengan benomyl berdosisi 500 ppm

#### 2.2.4 HOMER

Sistem tenaga mikro merupakan sebuah sistem yang menghasilkan tenaga listrik atau panas untuk melayani sesuatu beban. Beberapa sistem menggunakan teknologi penyimpanan energi yang berbeda dan kombinasi pembangkit tenaga listrik yang terhubung dengan jaringan transmisi listrik maupun terpisah. Untuk mengatasi masalah dalam perancangan sistem mikro dapat menggunakan perangkat lunak HOMER.

HOMER (*Hybrid Optimisation Model for Energy Renewable*) merupakan sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *U.S National Renewable Energy Laboratory* (NREL) yang bekerjasama dengan Mistaya Engineering serta dilindungi hak ciptanya oleh *Midwest Research Indtitute* (MRI) dan digunakan oleh Departemen Energi Amerika Serikat (DOE).

#### A. Keunggulan HOMER

HOMER memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan perangkat lunak yang serupa, seperti *Hybrid*, *RetScreen* dan lainnya. Adapun keunggulan HOMER antara lain:

1. Dapat mengetahui hasil yang optimal dari konfigurasi sistem (mensimulasikan beberapa konfigurasi sistem berdasarkan *Net Present Cost*).
2. Dapat memodelkan sistem jaringan transmisi listrik.
3. Dapat menunjukkan analisa nilai sensitifitas.
4. Dapat memodelkan sumber daya alam yang tersedia.
5. Komponen-komponen hybrid yang akan digunakan lebih lengkap.
6. Parameter-parameter masukan (*input*) sangat terperinci, seperti sumber daya alam, harga bahan bakar, emisi, factor ekonomi dan sebagainya.

HOMER dapat dikatakan sebagai model optimasi tenaga mikro yang berfungsi untuk mempermudah dalam proses rancangan, mensimulasikan dan menganalisa berbagai macam aplikasi sistem tenaga listrik, baik yang berhubungan dengan jaringan transmisi listrik maupun tidak. HOMER mengizinkan pengguna untuk membandingkan beberapa rancangan sistem yang berbeda berdasarkan faktor sumberdaya alam, ekonomi dan komponen peralatan yang digunakan.

#### B. Cara Kerja HOMER

HOMER bekerja berdasarkan tiga hal, yaitu simulasi, optimisasi dan analisa sensitifitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara berurutan dan memiliki fungsi masing-masing.



## 1. Simulasi (*Simulation*)

Proses simulasi akan menentukan bagaimana konfigurasi dari sistem, kombinasi dari besarnya kapasitas komponen-komponen sistem dan strategi operasi yang menentukan bagaimana komponen tersebut dapat bekerja bersama dalam periode waktu tertentu. HOMER dapat mensimulasikan berbagai macam konfigurasi sistem tenaga mikro yang berisikan beberapa kombinasi dari Photovoltaic, turbin angin, turbin air, generator, baterai, hydrogen dan lainnya. Proses simulasi dari HOMER memiliki dua tujuan yaitu:

- a. Menentukan apakah sistem tersebut layak dibuat. HOMER akan mempertimbangkan apakah sistem tersebut sudah cukup untuk melayani beban listrik ataupun panas (*thermal*) sesuai dengan rancangan yang modeler tentukan,
- b. Menghitung keseluruhan biaya dari sistem, termasuk jumlah modal, biaya bahan bakar, biaya pengganti, biaya instalasi dan pengoprasian selama beberapa tahun sesuai dengan waktu proyek.

## 2. Optimisasi (*Optimization*)

Sesuai dengan urutannya, proses optimisasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus yang mana dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimisasi, HOMER mengurutkan nilai NPC (*Net Present Cost*) yang terendah hingga tertinggi. Sistem dikatakan maksimal apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan.

HOMER mensimulasi konfigurasi sistem yang berbeda-beda, apabila tidak layak maka HOMER tidak akan menampilkan hasil optimasi sistem tersebut. Dalam proses optimisasi, terdapat juga sistem konfigurasi komponen-komponen apa saja yang digunakan, jumlah serta kapasitas dari komponen dan strategi pengisian baterai yang digunakan.

Tujuan dari proses optimisasi yaitu untuk menentukan nilai optimal dari konfigurasi sistem dimana variable nilai masukan dapat diubah-ubah sesuai keinginan. Adapun variabel yang dapat diubah antara lain:

- a. Kapasitas daya *photovoltaic*
- b. Kapasitas daya generator
- c. Kapasitas daya elektrolizer
- d. Kapasitas daya tangki hidrogen
- e. Kapasitas daya turbin air
- f. Kapasitas daya *converter AC-DC*
- g. Jumlah baterai yang digunakan
- h. Strategi pengisian baterai

### 3. Analisa Sensitifitas (*sensitifity analysis*)

Analisa sensitifitas bertujuan untuk menunjukkan bagaimana hasil konfigurasi dari sistem yang optimal apabila nilai parameter masukan (*input*) berbeda-beda. Pada proses ini, menggunakan HOMER dapat memasukkan rentang nilai untuk nilai variabel tunggal ataupun ganda yang dinamakan variabel sensitifitas.

Pada proses analisa sensitifitas, pengguna HOMER dapat memasukkan rentang nilai pada nilai variabel tunggal maupun ganda, yang mana variabel tersebut dinamakan dengan variabel sensitifitas. Setiap kombinasi dari nilai variabel sensitifitas menentukan kasus sensitifitas yang berbeda. Seperti jika pengguna menentukan 5 nilai untuk harga jaringan listrik dan 4 nilai untuk suku bunga bank, maka akan terjadi 20 kasus sensitifitas.

#### a. Analisa sensitifitas dalam keadaan tidak menentu

Analisa sensitifitas dilakukan untuk menghadapi keadaan yang berubah-ubah dan tidak menentu. Analisa ini dapat membantu perencana dalam membuat rancangan yang optimal serta memahami dampak dari keadaan yang tidak menentu.

- b. Analisa sensitifitas dengan kumpulan data per jam.

HOMER memiliki kemampuan untuk melakukan menganalisa sensitifitas berdasarkan data setiap jam, seperti beban listrik, sumber daya air, angin dan biomassa.

### C. Pemodelan HOMER

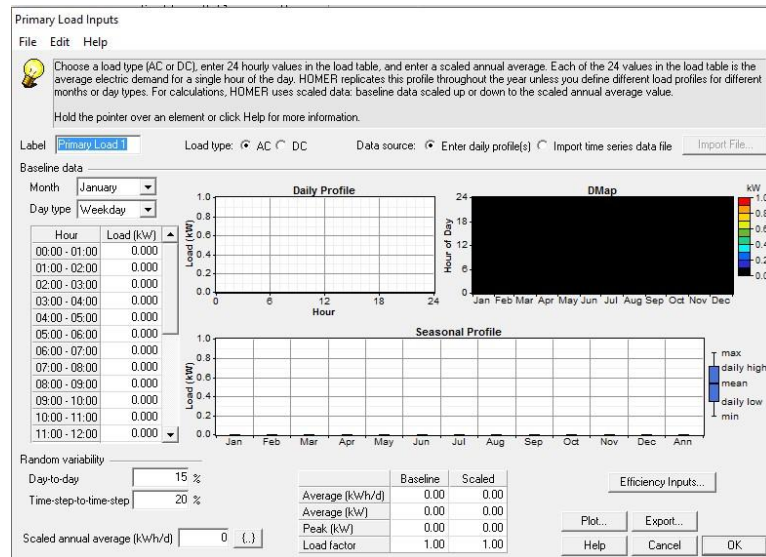
Dalam suatu rancangan sistem tenaga listrik dengan HOMER haruslah berisikan kurang lebih satu sumber tenaga listrik (generator, sel surya, jaringan transmisi) dan juga harus memiliki tujuan untuk apa energi tersebut digunakan (beban thermal, beban listrik).

#### 1. Beban

Permintaan beban yang ada pada HOMER terdiri dari beban listrik dan panas. Sistem tenaga listrik dibuat untuk melayani beban, sehingga proses perancangan dengan HOMER dapat dimulai dari menentukan beban yang harus dilayani berdasarkan data nyata yang ada.

##### a. Beban Utama (*Primary Load*)

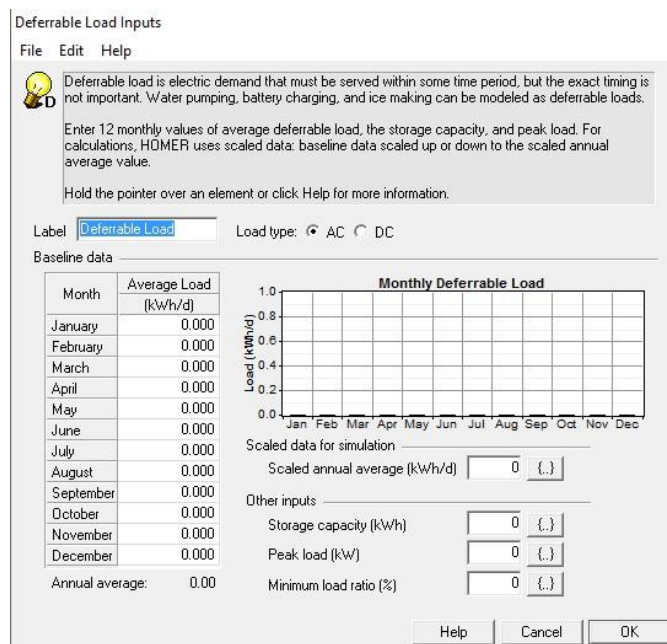
Beban utama adalah permintaan energi listrik yang disuplai oleh suatu sistem tenaga listrik pada waktu yang telah ditentukan. Ketika mengumpulkan data beban, HOMER membuat nilai-nilai data beban per jam berdasarkan profil beban harian. Data beban yang dimasukkan dapat berbeda-beda, sehingga HOMER akan menampilkan grafik beban secara keseluruhan. HOMER juga dapat memodelkan dua beban yang berbeda seperti beban AC atau DC.



Gambar 2.7 Beban utama pada HOMER

### b. Beban Tunda (*Deferrable Load*)

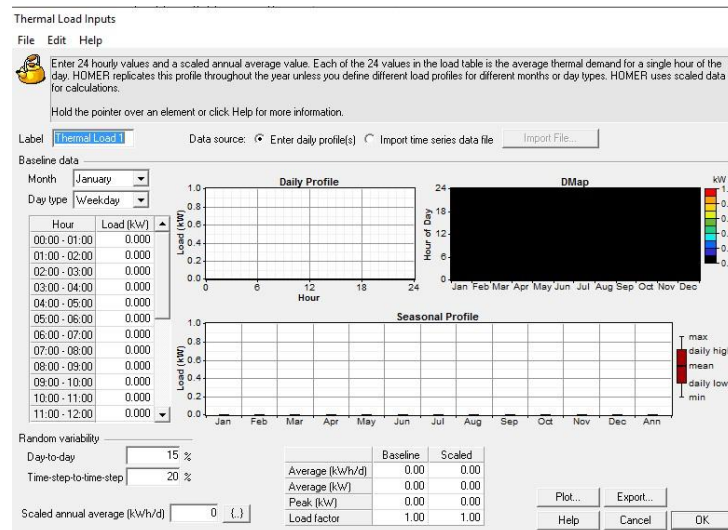
Beban tunda adalah permintaan energi listrik yang dapat ditentukan berdasarkan interval waktu seperti pompa air, alat pengisian baterai dan lainnya. Pada beban tunda sama halnya dengan beban utama dapat dipilih beban berupa AC ataupun DC dan dimana data masukan dibuat per bulan bukan per jam seperti data beban utama.



Gambar 2.8 Beban tunda pada HOMER

### c. Beban Panas (*Thermal Load*)

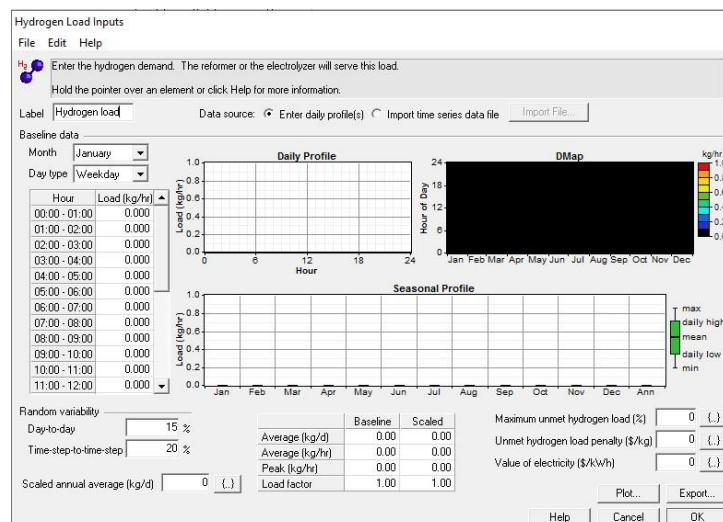
HOMER memodelkan beban panas seperti halnya beban listrik pada umumnya, akan tetapi konsep menggunakan tenaga cadangan tidak diterapkan pada beban panas. Data beban panas ini dapat dimasukkan dengan mengumpulkan data per jamnya.



Gambar 2.9 Beban panas pada HOMER

### d. Beban Hidrogen (*Hydrogen Load*)

Sama halnya dengan beban utama dan tunda, pada beban hidrogen data yang dikumpulkan dan dijadikan masukan berupa data per jam.



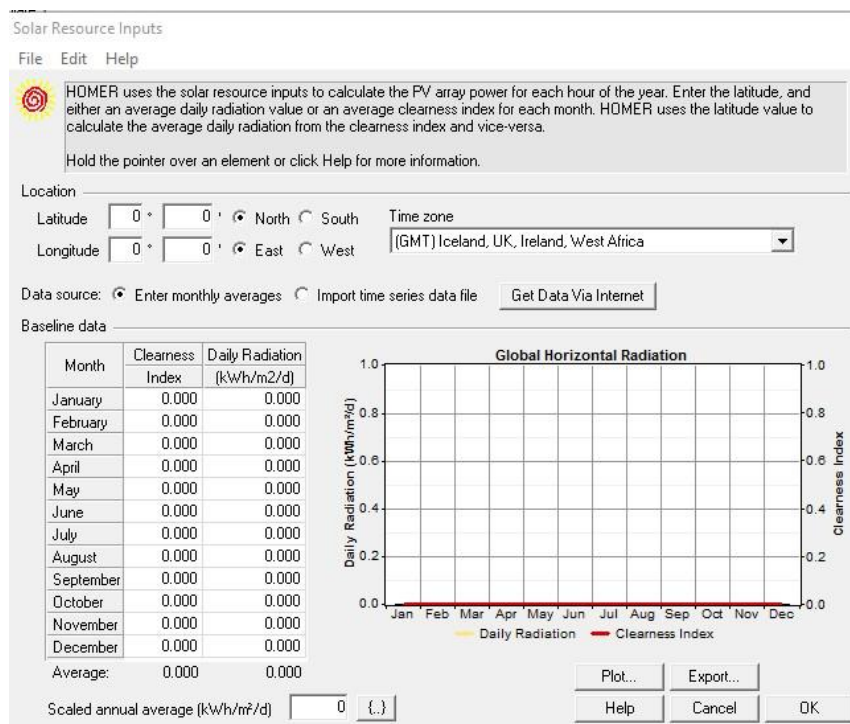
Gambar 2.10 Beban hidrogen pada HOMER

## 2. Sumber Daya Alam (SDA)

Sumber daya alam merupakan faktor yang berasal dari luar sistem dan digunakan untuk menghasilkan energi listrik atau panas. Pada HOMER terdapat 4 jenis sumber daya, yaitu matahari, hidro, angin dan biomassa. Kondisi alam dari sumber daya yang tersedia mempengaruhi proses dan masalah ekonomi dari sistem energi listrik diperbaharui.

### a. Sumber Daya Energi Matahari (*Solar Resource*)

Sumber daya energi matahari digunakan ketika perencanaan pembangkitan tenaga listrik dengan menggunakan sel surya. Perencanaan harus memasukkan data sumber daya matahari dari lokasi yang ingin dibangun sel surya. Sumber daya solar mengindikasikan jumlah rata-rata dari radiasi matahari (pancaran radiasi sinar matahari yang mengarah secara langsung) ke permukaan bumi selama setahun.

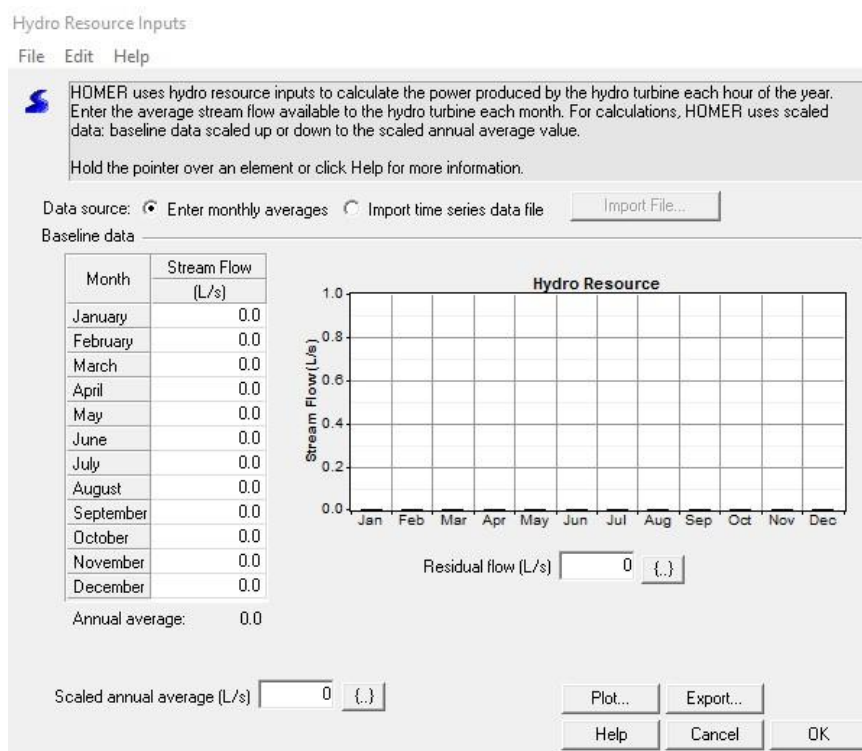


Gambar 2.11 Parameter masukan *solar resource*

### b. Sumber Daya Energi Air (*Hydro Resource*)

Perencanaan data yang dimasukkan pada HOMER untuk sumber daya hydro yaitu mengindikasikan jumlah air yang tersedia untuk menggerakkan turbin

selama setahun. Data perencanaan bisa juga menggunakan data pengukuran aliran sungai per jam ataupun perbulan. Perencanaan juga menentukan aliran sisa, yaitu jumlah minimum aliran sungai yang harus dilewatkan ke turbin air. HOMER akan mengurangi aliran sisa dari data aliran sungai untuk menentukan apakah aliran tersedia untuk turbin atau tidak.



Gambar 2.12 Parameter masukan *hydro resource*

### c. Sumber Daya Energi Angin (*Wind Resource*)

Sama halnya dengan sumber daya energi matahari, perencanaan pada HOMER sumber daya angin memasukkan data berupa kecepatan angin selama setahun pada daerah yang ingin dibangun turbin angin. Ada empat parameter masukan tambahan pada sumber energi ini, yaitu: *Weibull shape factor*, *autocorrelation factor*, *diurnal pattern strength* dan *hour of peakwind speed*.

*Weibull shape factor* merupakan data pengukuran bagaimana besarnya kecepatan angin dalam setahun. *Autocorrelation factor* merupakan pengukuran kecepatan angin dalam waktu satu jam dan cenderung bergantung pada kecepatan angin pada waktu per jam sebelumnya. *Diurnal pattern strength* dan *hour of*

*peakwind speed* yaitu untuk mengindikasikan *magnitude* dan *phasa* secara berturut dari pola rata-rata harian kecepatan angin.

Wind Resource Inputs

File Edit Help

HOMER uses wind resource inputs to calculate the wind turbine power each hour of the year. Enter the average wind speed for each month. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value. The advanced parameters allow you to control how HOMER generates the 8760 hourly values from the 12 monthly values in the table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Data source:  Enter monthly averages  Import time series data file

Baseline data

Month	Wind Speed (m/s)
January	0.000
February	0.000
March	0.000
April	0.000
May	0.000
June	0.000
July	0.000
August	0.000
September	0.000
October	0.000
November	0.000
December	0.000
Annual average:	0.000

Wind Resource

Wind Speed (m/s)

Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Other parameters

Altitude (m above sea level)

Anemometer height (m)

Advanced parameters

Weibull k

Autocorrelation factor

Diurnal pattern strength

Hour of peak windspeed

Scaled annual average (m/s)

Gambar 2.13 Parameter masukan *wind resource*

#### d. Sumber Daya Energi Biomassa (*Biomass Resource*)

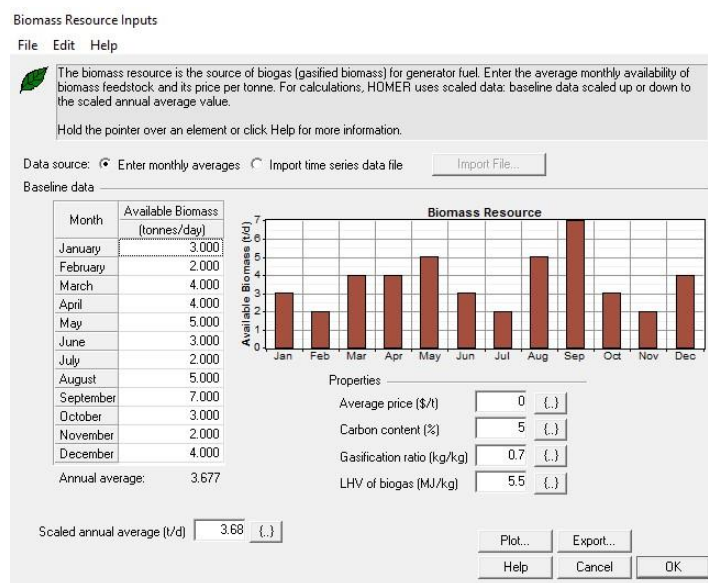
Pada sumber daya energi biomassa, HOMER memodelkan sistem tenaga biomassa yang diubah menjadi energi listrik. Sumber daya biomassa memiliki dua keunikan dibanding sumber daya lainnya, yaitu:

1. Ketersediaan sumber daya alam tergantung dari usaha manusia dalam memanen, transportasi, dan cara penyimpanan.
2. Sumber biomassa diubah menjadi bahan bakar gas ataupun cair untuk dikonsumsi sebagai bahan bakar generator.

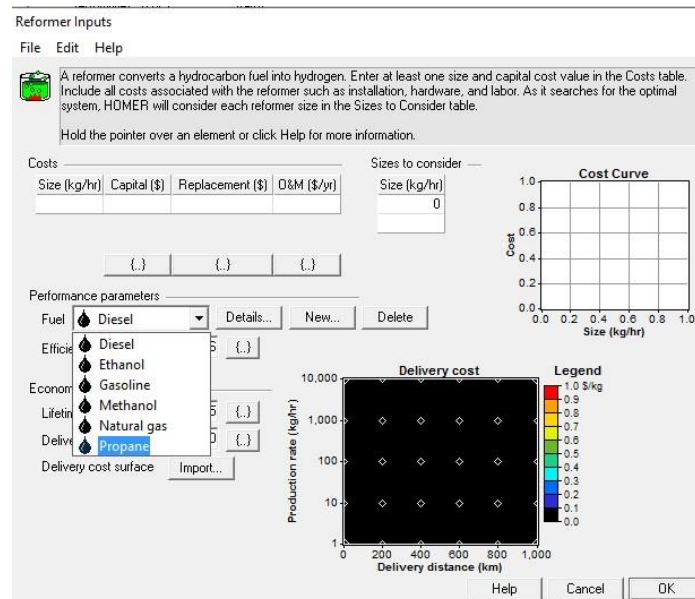
Penggunaan HOMER dapat memodelkan sumber daya biomassa dalam dua cara, antara lain:

1. Menentukan bahan bakar dengan kekayaan alam yang sesuai dan menentukan konsumsi bahan bakar generator untuk menghasilkan listrik.
2. Menggunakan masukan sumber daya biomassa untuk menentukan ketersediaan biomassa selama setahun.



Gambar 2.14 Parameter masukan *biomass*e. Bahan bakar (*fuel*)

HOMER menyediakan berbagai macam bahan bakar untuk digunakan, yang terdiri dari buogas, diesel, ethanol, gasoline, methanol, propane, natural gas dan store hidrogen. Sedangkan untuk property fisik bahan bakar terdiri dari *density*, *carbon content*, *lower heating value* dan *sulfur content*.

Gambar 2.15 Parameter masukan bahan bakar (*fuel*)

#### D. Komponen Utama HOMER

HOMER memiliki 10 tipe model komponen, yang tiga diantaranya menghasilkan listrik dari sumber daya alam yaitu sel surya (PV), turbin angin dan turbin air. Tiga komponen lainnya seperti generator, jaringan transmisi dan boiler (uap) merupakan energi yang dapat diatur atau dikontrol sesuai dengan yang dibutuhkan. Generator mengkonsumsi bahan bakar untuk menghasilkan tegangan AC atau DC.

Komponen lainya yaitu *converter* dan *elekrtolizer* yang berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi bentuk lain. *Converter* mengubah listrik yang semua AC menjadi DC ataupun sebaliknya, sedangkan *elekrtolizer* mengubah kelebihan energi AC dan DC menjadi hidrogen melalui proses elektrolisis air.

##### 1. Sel Surya (PV Array)

HOMER mengkalkulasikan tegangan keluaran dari sel surya menggunakan persamaan:

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \frac{I_t}{I_s}$$

Dimana:

$f_{PV}$  : Pv derating faktor

$Y_{pv}$  : Daya yang diizinkan dari PV array (kW)

$I_t$  : Radiasi matahari secara global pada permukaan PV array (kW/m<sup>2</sup>)

$I_s$  : 1kW/m<sup>2</sup>, standar jumlah radiasi yang digunakan dari kapasitas PV array

Derating faktor merupakan faktor skala untuk menghitung dari efek debu pada panel, rugi-rugi pada kawat, suhu dan semua faktor yang menyebabkan keluaran sel surya berkurang dari kondisi yang diharapkan.

Gambar 2.16 Parameter masukan panel surya (PV)

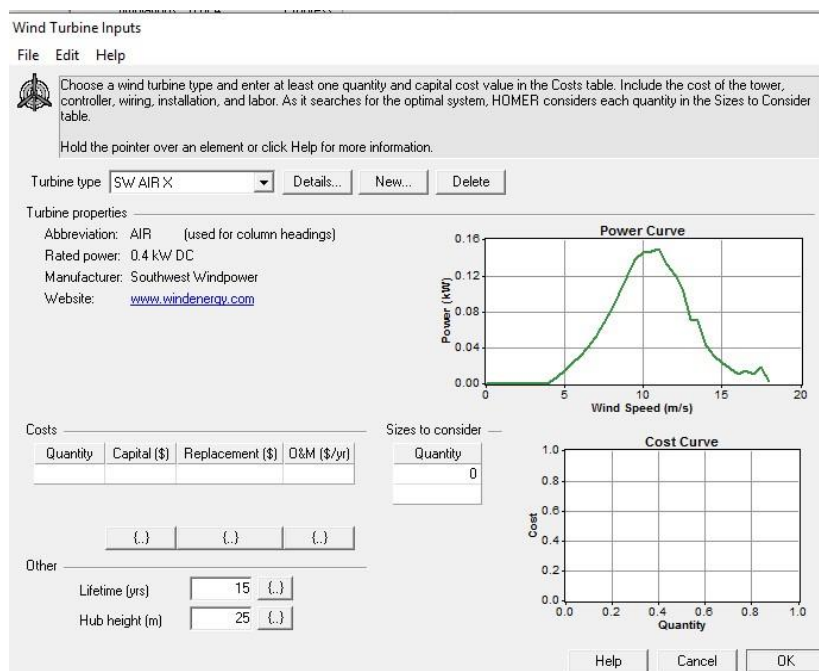
Dalam menggambarkan biaya dari PV array, perencana dapat menentukan biaya modal yang dimiliki (\$), biaya pengganti komponen (\$), biaya operasi dan pemeliharaan (\$/year). Biaya pengganti merupakan biaya untuk mengganti sel surya jika mengalami kerusakan hingga batas waktu garansi.

Tabel 2.3 Parameter keluaran sel surya

Parameter	Keterangan
<i>Average output</i>	Jumlah energi rata-rata dari sel surya selama setahun (kWh/d)
<i>Minimum output</i>	Jumlah minimum keluaran energi sel surya selama setahun (kW)
<i>Masimum output</i>	Jumlah maksimum dari keluaran energi sel surya selama setahun (kW)
<i>Solar penetration</i>	Jumlah rata-rata keluaran energi dari sel surya dibagi dengan beban rata-rata (%)
<i>Capacity factor</i>	<i>Mean output</i> dibagi <i>rated capacity</i> (%)
<i>Hours of operation</i>	Jumlah waktu dari sel surya selama menghasilkan energi (hr/yr)

## 2. Turbin Angin (*Wind Turbine*)

HOMER memodelkan turbin angin sebagai peralatan yang dapat merubah energi kinetic menjadi tegangan AC atau DC. Keluaran tegangan dapat digambarkan berupa kurva terhadap kecepatan angin.



Gambar 2.17 Parameter masukan turbin angin (*wind turbine*)

HOMER mengansumsikan kurva tenaga angin menggunakan standar kerapatan udara sebesar  $1.225\text{kg/m}^3$  yang sesuai dengan standar suhu dan tekanan udara. HOMER menghitung keluaran energi dari turbin angin dalam 4 langkah, antara lain:

- a. HOMER menentukan rata-rata kecepatan angin perjam pada ketinggian anemometer yang sesuai dengan data.
- b. HOMER menghitung kecepatan angin pada pusat rotor turbin dengan ketinggian tertentu menggunakan hukum logaritma dan hukum energi.
- c. HOMER menggambarkan kurva energi untuk menghitung keluaran dari kecepatan angin berdasarkan standar kerapatan udara.
- d. HOMER akan mengkalikan nilai keluaran energi dengan ratio kecepatan udara.

Tabel 2.4 Parameter keluaran turbin angin

Parameter	Keterangan
<i>Average output</i>	Jumlah energi rata-rata dari turbin angin selama setahun (kWh/d)
<i>Minimum output</i>	Jumlah minimum keluaran energi turbin angin selama setahun (kW)
<i>Masimum output</i>	Jumlah maksimum dari keluaran energi turbin angin selama setahun (kW)
<i>Solar penetration</i>	Jumlah rata-rata keluaran energi dari turbin angin dibagi dengan beban rata-rata (%)
<i>Capacity factor</i>	<i>Mean output</i> dibagi <i>rated capacity</i> (%)
<i>Hours of operatioin</i>	Jumlah waktu dari turbin angin selama menghasilkan energi (hr/yr)

### 3. Turbin Air (*Hydro Turbine*)

HOMER memodelkan turbin air sebagai peralatan yang dapat mengubah energi air menjadi energi listrik AC atau DC pada efisien tetap. Semakin deras aliran air, maka semakin besar energi yang dapat dihasilkan.

Hydro Inputs

File Edit Help

HOMER models run-of-river hydro installations. Enter the capital cost, available head, and turbine design flow rate. For Economics values, include the civil works and all costs associated with the hydro system. HOMER calculates the nominal power from the available head, design flow rate, and efficiency.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Economics

Capital cost (\$)  (.)

Replacement cost (\$)  (.)

O&M cost (\$/yr)  (.)

Lifetime (years)  (.)

Turbine

Available head (m)  (.) Nominal power: 92 kW

Design flow rate (L/s)  (.)

Minimum flow ratio (%)  (.) Generator type  AC  DC

Maximum flow ratio (%)  (.)

Efficiency (%)  (.)

Intake pipe

Pipe head loss (%)  (.)

Systems to consider

Simulate systems both with and without the hydro turbine

Include the hydro turbine in all simulated systems

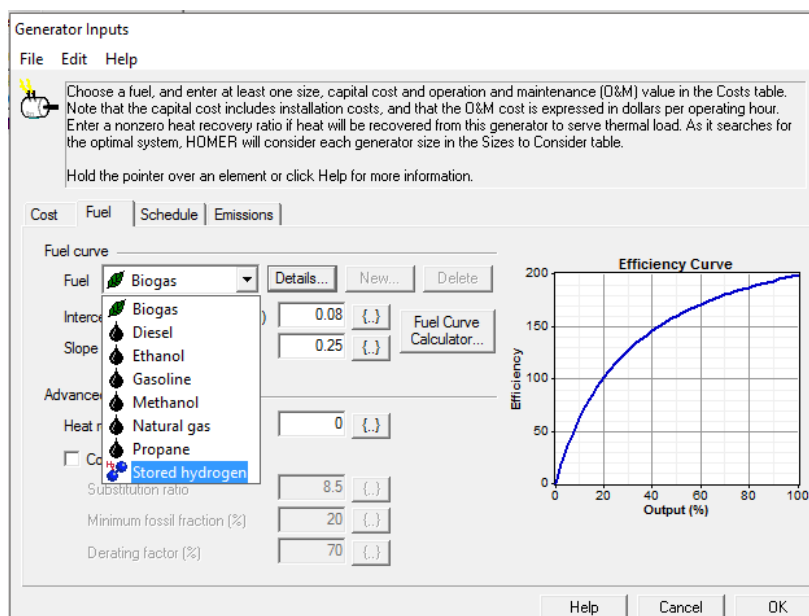
Gambar 2.18 Parameter masukan turbin air (*hydro turbine*)

Tabel 2.5 Parameter masukan turbin air

Parameter	Keterangan
<i>Available head</i>	Jarak vertikal antara pipa terhadap turbin (m)
<i>Design flow ratio</i>	Rata-rata aliran air per detik (L/s)
<i>Minimum flow ratio</i>	Rata-rata minimum aliran air turbin (%)
<i>Maximum flow ratio</i>	Rata-rata maksimum aliran air turbin (%)
<i>Efficiency</i>	Efisiensi rata-rata dari sistem hidro ketika mengubah energi menjadi listrik (%)

#### 4. Generator

Generator pada HOMER sama halnya dengan generator pada umumnya yaitu membutuhkan bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik dan energi panas. HOMER memodelkan bahan bakar yang dapat digunakan generator yaitu biogas, diesel, ethanol, gasoline methanol, natural gas, propane dan stored hydrogen.



Gambar 2.19 Parameter masukan bahan bakar generator

HOMER juga memodelkan generator dengan memasukkan data biaya dari generator seperti modal, biaya pengganti, biaya pengoperasian dan pemeliharaan.

Generator juga memiliki properti tiper keluaran energi, *lifetime (operating hour)* dan *minimum ratio*.

Generator Inputs  
File Edit Help

Choose a fuel, and enter at least one size, capital cost and operation and maintenance (O&M) value in the Costs table. Note that the capital cost includes installation costs, and that the O&M cost is expressed in dollars per operating hour. Enter a nonzero heat recovery ratio if heat will be recovered from this generator to serve thermal load. As it searches for the optimal system, HOMER will consider each generator size in the Sizes to Consider table.  
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Cost Fuel Schedule Emissions

Size [kW]	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/hr)
1.000	0	0	0.000

Size [kW] {..} {..} {..}

Sizes to consider

Size [kW]
0.000
1.000

Properties

Description: Generator 1 Type:  AC  DC  
 Abbreviation: Label  
 Lifetime (operating hours): 15000 {..}  
 Minimum load ratio (%): 30 {..}

Cost Curve

Cost (\$)

Size (kW)

— Capital — Replacement

Help Cancel OK

Gambar 2.20 Parameter masukan biaya generator

HOMER juga memodelkan emisi dari bahan bakar yang digunakan oleh generator. Faktor emisi yang terdapat pada HOMER terdiri dari *carbon monoxide (g/L)*, *unburned hydrocarbons (g/L)*, *particular matter (g/L)*, *proportion of sulfur converted to PM (%)* dan *nitrogen oxides (g/L)*

Generator Inputs  
File Edit Help

Choose a fuel, and enter at least one size, capital cost and operation and maintenance (O&M) value in the Costs table. Note that the capital cost includes installation costs, and that the O&M cost is expressed in dollars per operating hour. Enter a nonzero heat recovery ratio if heat will be recovered from this generator to serve thermal load. As it searches for the optimal system, HOMER will consider each generator size in the Sizes to Consider table.  
Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Cost Fuel Schedule Emissions

Emissions factors

Carbon monoxide (g/kg of fuel)	6.5	{..}
Unburned hydrocarbons (g/kg of fuel)	0.72	{..}
Particulate matter (g/kg of fuel)	0.49	{..}
Proportion of fuel sulfur converted to PM (%)	2.2	{..}
Nitrogen oxides (g/kg of fuel)	58	{..}

Destination of fuel carbon

Carbon dioxide	94.4 %
Carbon monoxide	5.6 %
Unburned hydrocarbons	0.1 %
Total	100.0 %

Help Cancel OK

Gambar 2.21 Parameter masukan emisi generator

Tabel 2.6 Parameter keluaran generator

<b>Parameter</b>	<b>Keterangan</b>
<i>Hours of operation (hr/yr)</i>	Jumlah waktu beroperasi generator selama setahun.
<i>Number of starts (start/yr)</i>	Banyaknya jumlah generator untuk melakukan <i>starts</i> selama setahun.
<i>Operational life (yr)</i>	Umur dari generator yang akan berakhir sebelum waktu penggantian.
<i>Mean electrical output</i>	Jumlah rata-rata energi keluaran generator.
<i>Minimum electrical output</i>	Energi keluaran generator yang terkecil selama setahun.
<i>Maximum electrical output</i>	Energi keluaran generator yang terbesar selama setahun.
<i>Average thermal output</i>	Rata-rata energi thermal generator selama beroperasi.
<i>Minimum thermal output</i>	Jumlah minimum thermal energi genertor selama setahun.
<i>Maximum thermal output</i>	Jumlah maksimum thermal energi genertor selama setahun.
<i>Annual fuel consumption</i>	Total dari bahan bakar yang digunakan generator dalam setahun.
<i>Specific fuel consumption</i>	Rata-rata bahan bakar yang digunakan per kWh dari energi yang dihasilkan generator.

## 5. Elektrolizer dan Tangki Hidrogen

Pada HOMER, perencana menentukan besarnya ukuran daya pada elektrolizer dan juga dapat menandai apakah elektrolizer membutuhkan tegangan AC atau DC. HOMER menetapkan efisiensi elektrolizer sebagai kandungan energi dari hasil hidrogen yang dibagi dengan jumlah konsumsi energi listriknya. Properti fisik dari elektrolizer merupakan ratio energi minimum yang dapat dioperasikan dan disimbolkan dengan persentase (%).

Tangki hidrogen pada HOMER menyimpan hidrogen yang dihasilkan oleh elektrolizer yang nantinya akan digunakan pada generator berbahan bakar hidrogen. HOMER mengansumsikan pada proses penambahan hidrogen pada



tangki tidak membutuhkan energi listrik. Perencana dapat menentukan jumlah hidrogen pada tangki dalam presentase ukuran tangki atau jumlah absolut dalam kilogram dan juga adanya kemungkinan batas level tangki harus sama.