



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENERAPAN SISTEM GASIFIKASI TEMPURUNG
KELAPA UNTUK PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK**

SKRIPSI

**MUHAMMAD WAFI
0906602925**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENERAPAN SISTEM GASIFIKASI TEMPURUNG
KELAPA UNTUK PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

**MUHAMMAD WAFI
0906602925**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2012**

PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Muhammad Wafi

NPM : 0906602925

Tanda Tangan : 

Tanggal : 28 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Muhammad Wafi
NPM : 0906602925
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : **Studi Penerapan Sistem Gasifikasi Tempurung Kelapa Untuk Pembangkit Tenaga Listrik**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : **Ir. Agus R. Utomo, MT** (.....)

Penguji : **Ir. I Made Ardita Y, MT** (.....)

Penguji : **Dr. Ir. Ridwan Gunawan, MT** (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 28 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkah dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, dimulai dari masa perkuliahan sampai dengan penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi tepat pada waktunya. Untuk itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. **Ir. Agus R. Utomo, MT** selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
2. Orang tua dan keluarga yang telah banyak memberikan bantuan dukungan baik secara moral maupun material.
3. Sahabat, baik di lingkungan kampus maupun pergaulan yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan skripsi

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT. berkenan membalas setiap kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat untuk pengembangan ilmu kedepannya.

Depok, 28 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Wafi
NPM : 0906602925
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“STUDI PENERAPAN SISTEM GASIFIKASI TEMPURUNG KELAPA
UNTUK PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 28 Juni 2012

Yang menyatakan



(Muhammad Wafi)

ABSTRAK

Nama : Muhammad Wafi
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : **STUDI PENERAPAN SISTEM GASIFIKASI BERBAHAN BAKAR TEMPURUNG KELAPA UNTUK PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK**

Potensi energy yang berasal dari limbah produksi kopra, yaitu tempurung kelapa, khususnya di pulau sulawesi, relative tinggi. Bila tempurung kelapa dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada sistem gasifikasi dengan design teknis jenis fixed bed updraft gasifier berdimensi diameter 22 cm, tinggi 55 cm, dan dan ketebalan 4 mm. memberikan efisiensi maksimum sebesar 40 %. Dengan inkremental bahan bakar sebesar 2.42 kg/jam. Dan pemakaian bahan bakar spesifik sebesar 2.52 kg/kWh.

Kata Kunci :
Energy, tempurung kelapa, gasifikasi, updraft gasifier, efisiensi, incremental.

ABSTRACT

Name : Muhammad Wafi
Study Program : Electrical Engineering
Title : **STUDY OF IMPLEMENTATION FROM GASIFIER SISTEM IS USING SOURCE OF COCONUT SHELL TO GENERATE ELECTRIC POWER**

Coconut shell as waste production of copra has great potential energy, especially in Sulawesi Island in Indonesia. If coconut shell was used as fuel in gasification system with its fixed bed updraft gasifier technical design and has dimension 22 cm width, 55 cm height and 4 mm deep could provide maximum efficiency 40 %. With incremental rise of fuel usage 2,42 kg/hour and specific fuel consumption 2,52 kg/kWh.

Key word :
Energy, coconut shell, gasification, updraft gasifier, efficiency, incremental

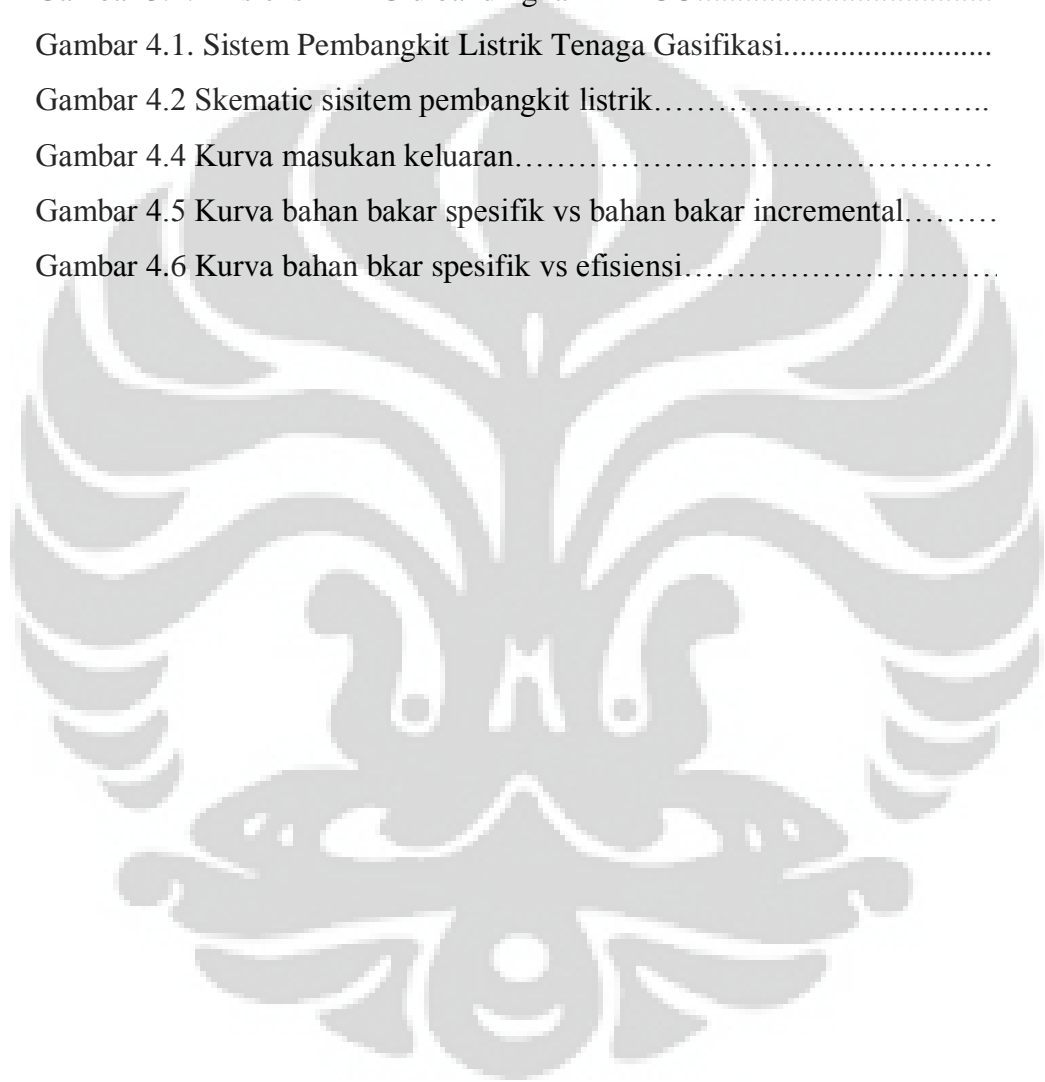
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	X
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian.....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA TERMAL.....	4
2.1 Karakteristik Masukan-Keluaran (I/O).....	4
2.2 Karakteristik Efisiensi	7
2.3 Karakteristik Pemakaian Bahan Bakar Spesifik.....	8
2.4 Karakteristik Pemakaian Bahan Bakar Inkremental.....	9
2.5 Bahan Bakar.....	10
2.5.1 Biomassa.....	11
BAB III SISTEM GASIFIKAS.....	14
3.1 Definisi Gasifikasi	14
3.2 Jenis-jenis Gasifier.....	16
3.3 Prinsip Kerja <i>Fixed Bed Updraft Gasifier</i>	17
3.3.1 Karakteristik <i>Fixed Bed Updraft Gasifier</i>	17
3.4.2 Komponen <i>Fixed Bed Updraft Gasifier</i>	18
3.3.2.1 Reaktor Utama.....	18

3.3.2.2 Unit Pembersih Gas.....	20
3.4 Pembangkit Listrik Tenaga Tempurung Kelapa Kopra.....	21
3.5 Karakteristik Bahan Bakar Tempurung Kelapa.....	22
BAB IV STUDI PENERAPAN SISTEM GASIFIKASI BERBAHAN	24
BAKAR TEMPURUNG KELAPA UNTUK PEMBANGKIT	
TENAGA LISTRIK.....	
4.1 Persamaan Karakteristik Input/Output.....	25
4.2 Algoritma Penerapan Sistem	27
4.2.1 Algoritma Penerapan Sistem Gasifikasi Untuk Pembangkit Tenaga Listrik.....	28
4.2.2 Algoritma Sistem Persamaan Karakteristik Masukan Keluaran.....	29
4.4 Studi Kasus.....	30
4.4.1 Hasil Perhitungan.....	31
4.5 Keuntungan Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik.....	34
BAB V KESIMPULAN.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	42

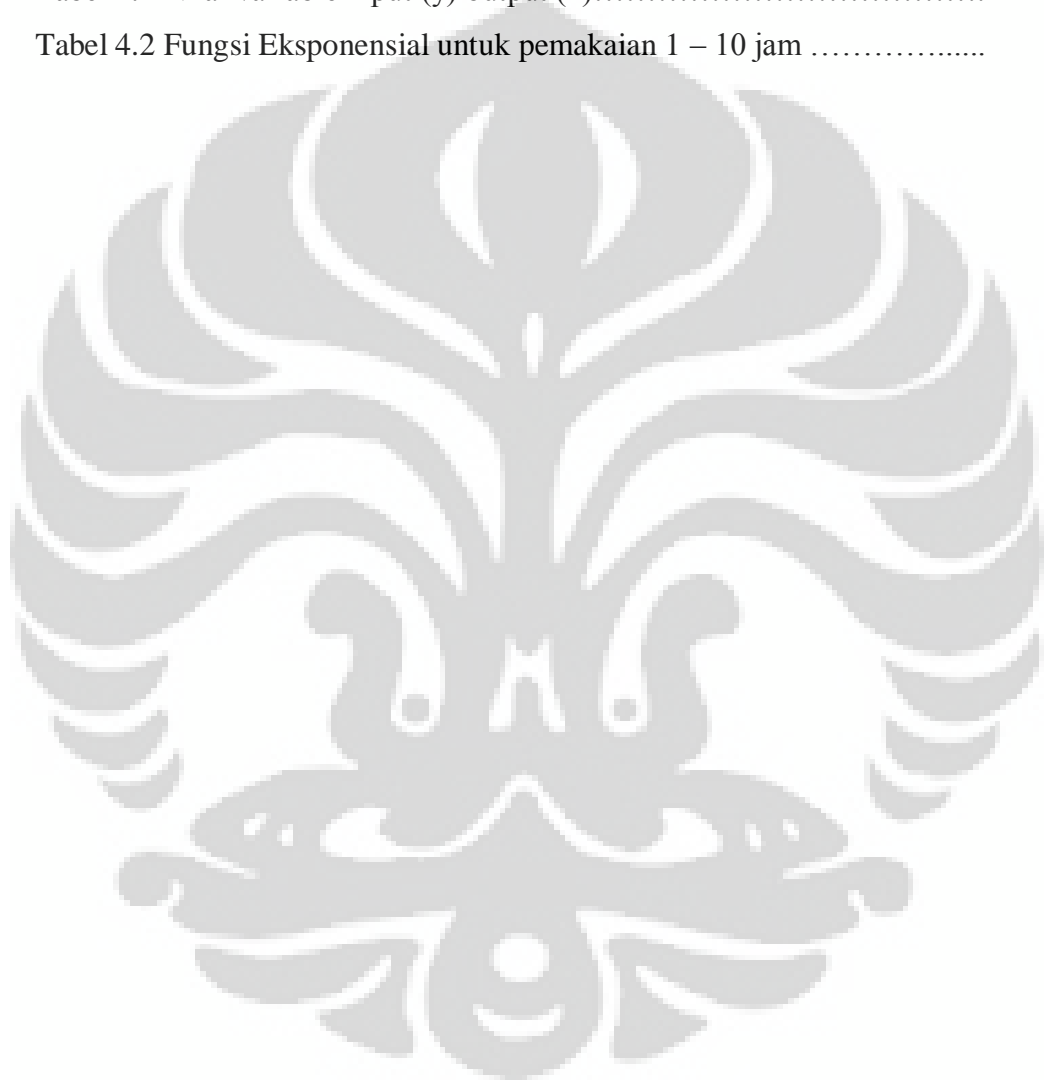
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Masukan-Keluaran Pembangkit Tenaga Listrik.....	6
Gambar 2.2. Kurva Efisiensi.....	7
Gambar 2.3. Kurva Pemakaian Bahan Bakar Spesifik.....	8
Gambar 2.4. Kurva Pemakaian Bahan Bakar Inkremental.....	9
Gambar 3.1. Efisiensi PLTG dibandingkan PLTGU.....	22
Gambar 4.1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gasifikasi.....	24
Gambar 4.2 Skematic sisitem pembangkit listrik.....	25
Gambar 4.4 Kurva masukan keluaran.....	32
Gambar 4.5 Kurva bahan bakar spesifik vs bahan bakar incremental.....	33
Gambar 4.6 Kurva bahan bkar spesifik vs efisiensi.....	33



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Potensi energy terbarukan di Indonesia.....	12
Tabel 3.1 Komposisi buah kelapa.....	23
Tabel 3.2 Analisa Proximat dan Ultimat Tempurung Kelapa.....	23
Tabel 4.1 Nilai bahan bakar dengan efisiensi 27% untuk pemakaian 1 jam..	31
Tabel 4.2 Nilai variable input (y) output (x).....	32
Tabel 4.2 Fungsi Eksponensial untuk pemakaian 1 – 10 jam	33



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia adalah salah satu negara penghasil kelapa terbesar di dunia indonesia menempati posisi pertama dengan 31,2 % dari total luas areal kelapa di dunia, dengan produksi buah kelapa rata-rata 15,5 miliar butir pertahun [9]. Dari total tersebut juga ikut menghasilkan limbah tempurung kelapa sebesar 1,1 juta ton. Potensi limbah tempurung tersebut sampai saat ini masih belum dimanfaatkan dengan maksimal, pemanfaatannya baru sebatas untuk dibakar dan digunakan sebagai arang aktif. Apabila potensi tersebut dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan kemungkinan energi yang dapat dihasilkan sebesar 18,7 GJ pertahun.

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengkonversi biomassa seperti tempurung kelapa menjadi energi. Salah satu caranya yaitu melalui proses termokimia. Dengan proses thermo-kimia biomassa di konversikan menjadi energi melalui tiga cara yaitu: pembakaran langsung (direct combustion), gasifikasi dan pirolisa [1]. Gasifikasi adalah proses perubahan bahan bakar padat menjadi gas, dimana udara yang diperelukan lebih rendah daripada udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Gas hasil dari proses gasifikasi disebut biogas, producer gas atau syngas. Dalam studi yang dilakukan sebelumnya oleh Fajri Vidian, menggunakan updraft gasifier yang merupakan sebuah silinder dari bahan stainless steel dengan diameter 22 cm, tinggi 55 cm dan ketebalan 4 mm , yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses gasifikasi, telah didapatkan beberapa parameter yang dapat digunakan untuk mengkalkulasikan potensi tempurung kelapa yang dapat digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik [1].

Limbah tempurug kelapa yang dihasilkan oleh suatu kabupaten, dapat di produksi menjadi energi listrik dan dapat menghemat peran bahan bakar minyak yang selama ini digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik. Sistem dapat dilakukan mulai dari skala kecil seperti di desa-desa yang produksi kelapanya

cukup besar, ataupun dari perkebunan kelapa milik perusahaan atau milik masyarakat mandiri. Dari skala kecil tersebut yang potensi pembangkitannya kecil, apabila dimaksimalakan penerapannya di seluruh nusantara membuat penghematan menjadi signifikan. Hal ini bisa dilakukan dengan menerapkan studi-studi yang telah dilakukan, dan mengembangkannya.

1.2 Tujuan

1. Memanfaatkan tempurung kelapa yang merupakan limbah produksi kopra sebagai sumber energi terbarukan untuk bahan bakar sistem gasifikasi.
2. Menerapkan gasifikasi berbahan bakar tempurung kelapa untuk menghasilkan tenaga listrik.
3. Mempelajari karakteristik sistem gasifikasi sebagai pembangkit tenaga listrik.

1.3 Batasan Masalah

1. Design gasifikasi yang digunakan dalam studi ini berbasis penelitian Fajri Vidian, yaitu menggunakan updraft gasifier yang merupakan sebuah silinder dari bahan stainless steel dengan diameter 22 cm, tinggi 55 cm dan ketebalan 4 mm.
2. Bahan bakar yang digunakan adalah tempurung kelapa.
3. Analisis hanya difokuskan pada karakteristik elektrik secara teknis.

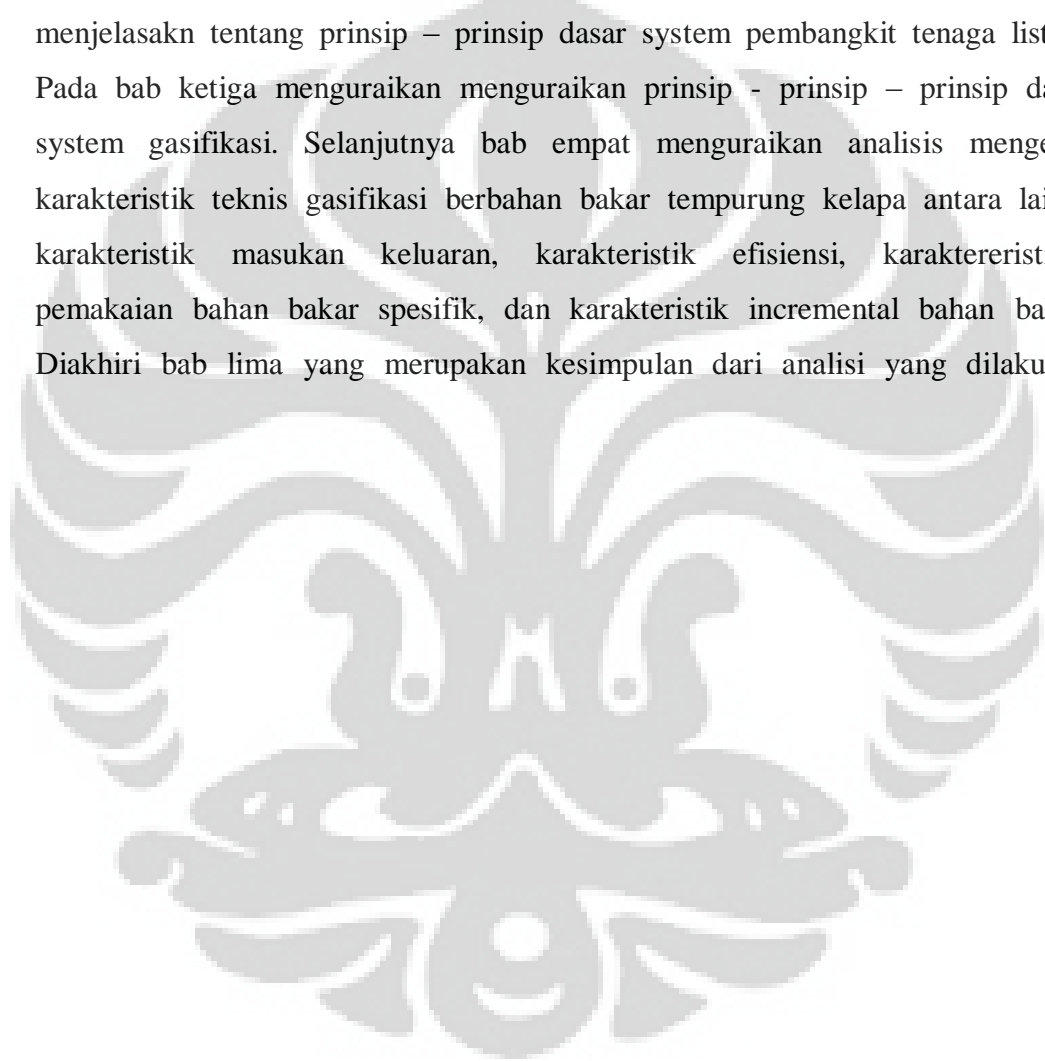
1.4 Metodologi Penelitian

1. Membaca literatur berupa buku-buku, karya ilmiah, dan *browsing Internet* untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam mempelajari dan melakukan perhitungan serta melakukan analisis.
2. Menggunakan design gasifikasi dari Fajri Vidian, yaitu jenis fixed bed updraft gasifier.
3. Menggunakan bahan bakar tempurung kelapa (limbah kopra).

4. Analisis dengan perhitungan dilakukan secara manual.
5. Kesimpulan yang didapat berdasarkan analisis dan hasil perhitungan.

1.5 Sistematika Penulisan

Bab pertama menjelaskan tentang latar belakang masalah, tujuan, pembatasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan. Kemudian bab kedua menjelaskan tentang prinsip – prinsip dasar system pembangkit tenaga listrik. Pada bab ketiga menguraikan menguraikan prinsip - prinsip – prinsip dasar system gasifikasi. Selanjutnya bab empat menguraikan analisis mengenai karakteristik teknis gasifikasi berbahan bakar tempurung kelapa antara lain : karakteristik masukan keluaran, karakteristik efisiensi, karaktereristikik pemakaian bahan bakar spesifik, dan karakteristik incremental bahan bakar. Diakhiri bab lima yang merupakan kesimpulan dari analisi yang dilakukan



BAB II

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA TERMAL

Berdasarkan energi yang digunakannya, pembangkit tenaga listrik secara umum dibagi menjadi dua klasifikasi utama. Yaitu tenaga air (hydro) dan tenaga panas (thermal). Berdasarkan skalanya pembangkit listrik tenaga air dibagi menjadi klasifikasi konvensional (skala besar), mini hidro dan mikro hidro. Sedangkan pembangkit listrik tenaga thermal dibagi menjadi beberapa jenis yaitu, tenaga uap, tenaga gas, tenaga panas bumi, tenaga nuklir, dan gasifikasi.

Pembangkit dengan menggunakan tenaga gasifikasi mengubah suatu bentuk energy yang terkandung dalam bahan bakar menjadi gas yang mudah menyala atau disebut juga gas bakar (gas burner) yang nantinya akan menggerakkan turbin. Secara menyeluruh karakteristik pembangkit listrik tenaga thermal ditentukan oleh karakteristik cara kerjanya (performance characteristic) yang meliputi karakteristik masukan-keluaran, karakteristik efisiensi, karakteristik konsumsi bahan bakar spesifik dan karakteristik pemakaian bahan bakar incremental [2].

2.1 Karakteristik Masukan-Keluaran (I/O)

Performansi atau unjuk kerja suatu pusat pembangkit tenaga listrik pada prinsipnya ditentukan oleh apa yang dinamakan lengkung masukan-keluaran. Lengkung itu memberikan gambaran daripada efisiensi termis pusat pembangkit itu. Berapakah jumlah panas yang harus dimasukkan sebagai bahan bakar, dan berapakah jumlah panas yang dihasilkan sebagai tenaga listrik [2].

Selain tergantung dari sifat-sifat pusat pembangkit tenaga listrik itu sendiri, seperti efisiensi konversi dan keandalan, lengkung masukan-keluaran itu tergantung juga dari kondisi yang berada di luar pusat pembangkit itu sendiri,

seperti keadaan air pendingin, kualitas bahan bakar, kecakapan para operator, dan bentuk lengkung beban [2].

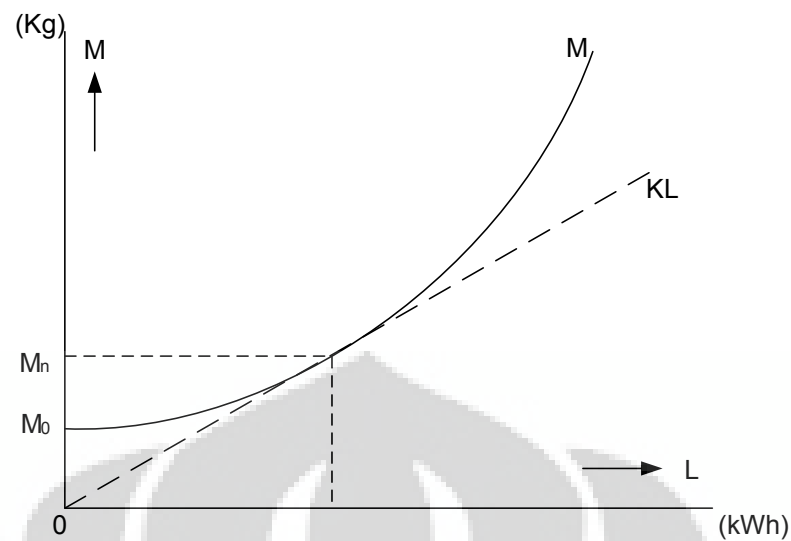
Secara matematis lengkung masukan-keluaran dapat dinyatakan sebagai deret ukur yang berbentuk :

$$\begin{aligned} M &= M(L) \\ &= M_0 + aL + bL^2 + cL^3 + \dots + mL^n \dots \end{aligned} \quad (2.1)$$

Di mana :

- M = nilai panas bahan bakar yang dipakai (Kilogram)
- M_0 = nilai bahan bakar yang diperlukan untuk menjalankan pusat listrik tanpa beban
- L = nilai panas energi listrik yang dihasilkan (kilo watt hour)
- a,b,c, = konstanta

Rumus masukan-keluaran $M = M(L)$ diatas dalam praktek sukar dikuantifisir dan penggunaannya bermanfaat pada pertimbangan kualitatif. Lengkung fungsi itu biasanya diperoleh dari suatu rangkaian percobaan yang dilakukan pada pusat pembangkit tenaga listrik itu secara langsung. Dalam gambar 2.1 terlihat suatu bentuk kurva masukan-keluaran yang sering dijumpai [2].



Gambar 2.1 Kurva Masukan-Keluaran pembangkit tenaga listrik

Tampak pada gambar 2.1 titik M_0 , yaitu jumlah bahan bakar yang dipakai bilamana pusat pembangkit bekerja tanpa beban. Efisiensi termis pada titik ini berjumlah nol. Untuk nilai L yang suku kecil L^2 , L^3 dan seterusnya tidak berpengaruh, sehingga pada awal kurva lengkung banyak dipengaruhi oleh suku aL , yang lebih banyak merupakan suatu garis lurus pada taraf ini [2].

Untuk nilai L yang lebih besar, maka suku dengan L pangkat dua ke atas akan berpengaruh, sehingga lengkung akan bersifat eksponensial.

Dalam gambar 2.1 tercantum pula besaran L_n , yaitu produksi nominal desain. Pada taraf produksi ini jumlah bahan bakar yang dipakai berjumlah M_n . Kriteria desain sering dibuat sedemikian rupa sehingga L_n dicapai pada efisiensi tertinggi, atau [2]:

$$\frac{L_n}{M_n} = \text{maksimal} \quad (2.2)$$

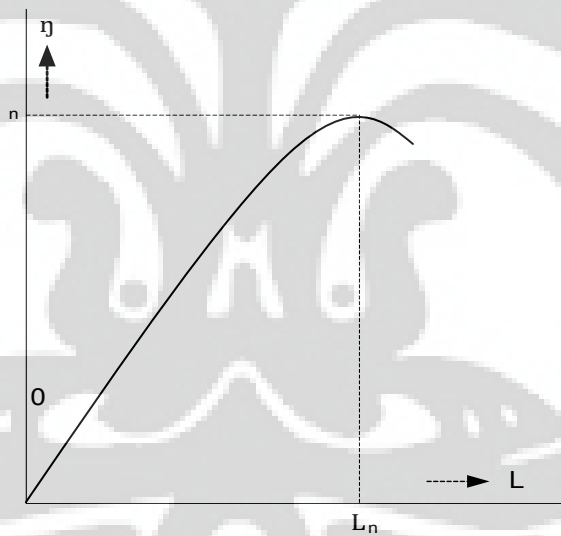
2.2 Karakteristik Efisiensi

Kurva karakteristik masukan-keluaran merupakan kurva karakteristik utama yang bias dibentuk menjadi kurva kurva karakteristik pokok lainnya.

Bilamana dari tiap harga dari L dicatat harga M , dan dihitung hasil bagi M/L diperoleh lengkung efisiensi :

$$\eta = \eta \left(\frac{L}{M} \right) \quad (2.3)$$

Lengkung efisiensi itu terlihat pada Gambar 2.2. dalam gambar ini terlihat bahwa efisiensi adalah nol untuk $L = 0$, sedangkan untuk nilai nominal dari keluaran L_n efisiensi mencapai harga η_n yang tertinggi. Banyak pabrik membuat desain sedemikian rupa, sehingga efisiensi maksimal tersebut dicapai pada 90% beban nominal [2].



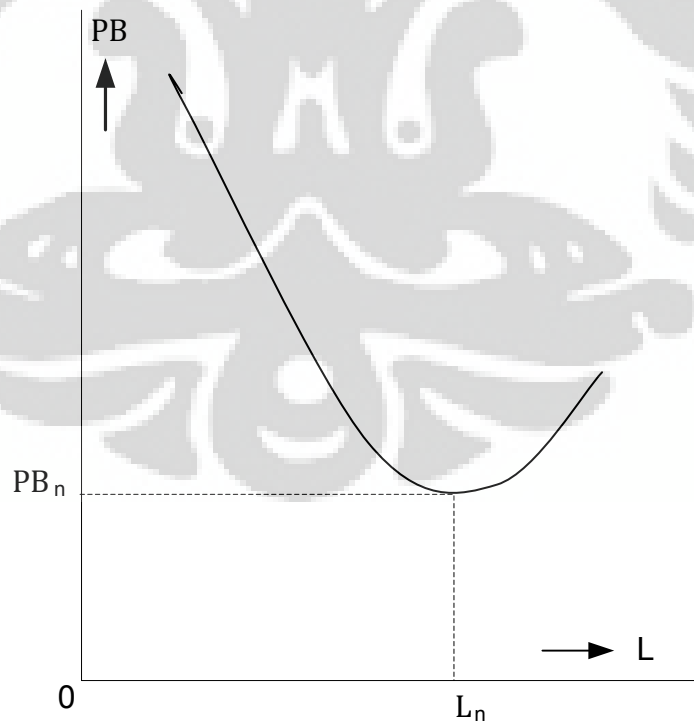
Gambar 2.2 Kurva Efisiensi

2.3 Karakteristik Pemakaian Bahan Bakar Spesifik

Dari sebuah pusat pembangkit tenaga listrik sering pula ingin diketahui pemakaian bahan bakar per satuan produksi, atau pemakaian bahan bakar spesifik PB, yaitu :

$$\begin{aligned} PB &= PB \left(\frac{M}{L} \right) \\ &= \frac{M_0}{L} + a + bL + cL^2 \dots + mL^{n-1} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Untuk keluaran $L = 0$, kiranya jelas bahwa PB mempunyai harga tak terhingga. Juga dapat disimpulkan, bahwa karean merupakan kbalikan dari efisiensi, kurva untuk PB juga merupakan kebalikan dari nilai η . Gambar 2.3 memperlihatkan pemakaian bahan bakar spesifik itu sebagai fungsi dari keluaran. Nilai PB yang terendah PB_n diperoleh pada harga keluaran minimal L_n [2].



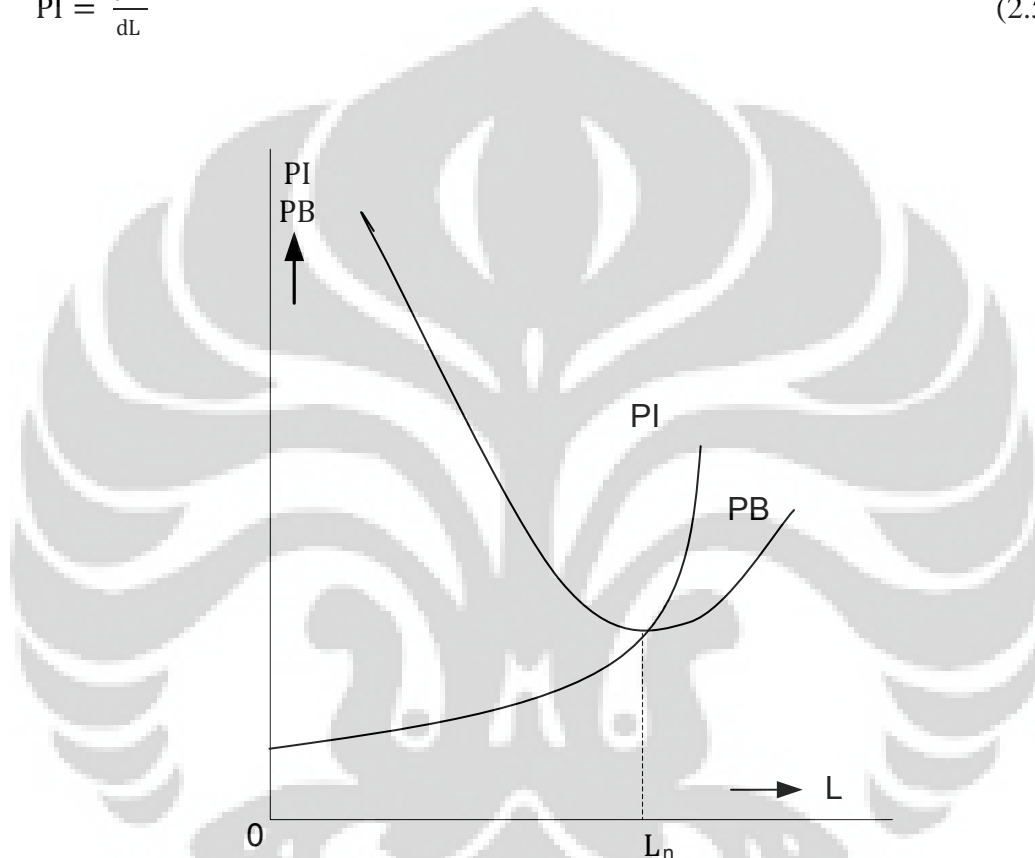
Gambar 2.3 Kurva Pemakaian Bahan Bakar Spesifik

2.4 Karakteristik Pemakaian Bahan Bakar Inkremental

Pemakaian bahan bakar inkremental PI didefinisikan sebagai tambahan bahan bakar (atau tambahan masukan dM) yang diperlukan untuk mencapai sesuatu tambahan produk (atau tambahan keluaran dL) [2].

Atau dalam rumus :

$$PI = \frac{dM}{dL} \quad (2.5)$$



Gambar 2.4 Kurva Pemakaian Bahan Bakar Inkremental

Secara matematis hal ini berarti bahwa PI merupakan lereng dari fungsi $M(L)$. selanjutnya dapat ditulis bahwa :

$$PI = a + 2bL + 3cL^2 + \dots + mnL^{(n-1)} \quad (2.6)$$

Yang merupakan suatu lengkung yang agak menyerupai kurva $M(L)$. perlu dicatat bahwa lengkung PI akan memotong lengkung PB pada $L = L_n$ yang merupakan nilai minimum PB, sebagaimana terlihat pada gambar 2.4

Hal ini dapat dilihat sebagai berikut. Dalam gambar 2.4 tercantum lengkung masukan-keluaran $M(L)$ merupakan suatu garis singgung dengan sudut dM/dL . Pada titik $L = L_n$ garis singgung itu mempunyai bentuk :

$$M = kL$$

Dengan k suatu konstanta, yang akan melalui titik nol. Sedangkan nilai pemakaian bahan bakar PB untuk $L = L_n$ adalah PB_n . karenanya, maka lengkung PI akan memotong kurva PB untuk $L = L_n$ pada titik PB_n

2.5 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah sejumlah massa yang mengandung potensi energy termal. Setiap jenis bahan bakar ditentukan oleh nilai kalor yang terdapat dalam bahan bakar tersebut, dalam kaitan dengan pembangkit listrik, bahan bakar dibagi menjadi dua macam, bahan bakar terbarukan dan bahan bakar tidak terbarukan. Biomassa merupakan bahan bakar terbarukan, karena bahan bakar ini bias diperbaharui dalam waktu yang singkat. Pada studi ini bahan bakar yang digunakan adalah biomassa tempurung kelapa yang merupakan limbah dari kelapa yang digunakan sebagai bahan baku kopra.

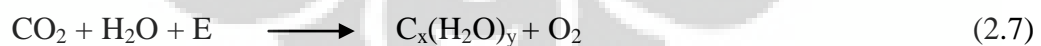
Proses gasifikasi bahan bakar tempurung kelapa menjadi gas terdiri dari beberapa proses. Setelah bahan bakar dimasukkan kedalam reactor maka terjadilah proses pengeringan. Proses drying dilakukan untuk mengurangi kadar air (moisture) yang terkandung di dalam biomass bahkan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Lalu masuk ke proses pirolisis, proses ini adalah pembakaran tanpa melibatkan oksigen. Produk yang dihasilkan oleh proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti temperatur, tekanan, waktu, dan heat losses. Pada zona ini biomass mulai bereaksi dan membentuk tar dan senyawa gas yang flammable. Kemudian Proses oksidasi pada tahap ini dihasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon di bawah. Proses ini terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya lebih dari $900^{\circ}C$. Pada temperatur setinggi ini

pada gasifier downdraft, akan memecah substansi tar sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih rendah. Dan yang terakhir adalah Proses reduksi proses dimana reaksi penyerapan panas (endoterm) terjadi, yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Di antaranya adalah Bourdour reaction, steam-carbon reaction, water-gas shift reaction, dan CO methanation yang merupakan proses penting terbentuknya senyawa-senyawa yang berguna untuk menghasilkan flammable gas, seperti hydrogen dan karbon monoksida. Dapat dikatakan bahwa pada proses reduksi ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO, H₂ dan CH₄ mulai terbentuk. Sehingga pada bagian ini disebut sebagai producer gas [3]

2.5.1 Biomassa

Pada dasarnya biomassa merupakan produk fotosintesis, yakni butir-butir hijaudaun yang bekerja sebagai sel-sel surya, menyerap energy matahari dan mengkonversi dioksida karbon dengan air menjadi suatu senyawa karbon, hydrogen dan oksigen. Senyawa ini dapat dipandang sebaagai suatu penyerapan energy yang dapat dikonversi menjadi suatu produk lain. Hasil konversi dari senyawa itu dapat berbentuk arang atau karbon, alcohol kayu, ter dan lainnya. Energy yang disimpan itu dapat pula dimanfaatkan dengan langsung membakar kayu itu; panas yang dihasilkan digunakan untuk memasak atau keperluan lain.

Proses fotosintesis dapat dirumuskan dengan reaksi kimia berikut :



di mana :

E	= energy cahaya
CO ₂	= gas dioksida karbon
H ₂ O	= air
C _x (H ₂ O) _y	= hidrokarbon yang terjadi
O ₂	= gas oksigen

Biomass merupakan bahan energi yang dapat diperbaharui karena dapat diproduksi dengan cepat. Karena itu bahan organik yang diproses melalui proses geologi seperti minyak dan batubara tidak dapat digolongkan dalam kelompok biomass. Biomass umumnya mempunyai kadar volatile relatif tinggi, dengan kadar karbon tetap yang rendah dan kadar abu lebih rendah dibandingkan batubara. Biomass juga memiliki kadar volatil yang tinggi (sekitar 60-80%) dibanding kadar volatile batubara, sehingga biomass lebih reaktif dibanding batubara [2].

Pemakaian biomassa sebagai sumber energy, dapat mereduksi efek global warming. Karbon dioksida yang dihasilkan oleh biomassa tersebut terhitung cukup besar, yang kurang lebih sama besar dengan yang dihasilkan bahan bakar atau batubara, akan tetapi karbon dioksida tersebut dapat digunakan untuk proses pertumbuhan tanaman baru. Sehingga karbon dioksida yang dilepas ke lingkungan dianggap tidak ada .

Upaya yang dilakukan untuk mengembangkan biomassa adalah mendorong pemanfaatan limbah industri pertanian dan kehutanan sebagai sumber energi secara terintegrasi dengan industrinya, mengintegrasikan pengembangan biomassa dengan kegiatan ekonomi masyarakat, mendorong pabrikasi teknologi konversi energi biomassa dan usaha penunjang, dan meningkatkan penelitian dan pengembangan pemanfaatan limbah termasuk sampah kota untuk energi.

Tabel 2.1 Potensi Energi terbarukan di Indonesia [11]

Sumber	Potensi(MW)	Kapasias Terpasang (MW)	Pemanfaatan (%)
Large Hydro	75000	4200	5.6
Biomassa	50000	302	0.604
Geothermal	20000	812	4.06
Mini?mikro hydro	459	54	11.764
Energi Cahaya (solar)	0.48 m ² /hari	5	319 x 10 ⁻³
Energi Angin	9286	0.5	538 x 10 ⁻³
Total	154745	5373.5	22.028

BAB III SISTEM GASIFIKASI

Agar biomassa tempurung kelapa dapat menghasilkan energy, diperlukan sebuah system untuk mengkonversi tempurung tersebut. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengkonversi tempurung tersebut, yaitu [1] :

1. Pembakaran (combustion) secara langsung pada
2. Pirolisa
3. Gasifikasi

Perbedaan jenis konversi energi tersebut terletak pada banyaknya udara (oksigen) yang dikonsumsi saat proses konversi berlangsung. Pada pembakaran secara langsung, maka energy yang didapatkan adalah dalam bentuk energy termal. Metode ini merupakan metode paling sederhana. Yang menjadi masalah utamanya adalah rendahnya efisiensi serta menimbulkan polusi udara yang cukup besar. Sedangkan untuk pirolisis cenderung tidak memerlukan oksigen dalam prosesnya. Selanjutnya akan dibahas mengenai konversi energi gasifikasi lebih detail.

3.1 Definisi Gasifikasi

Gasifikasi secara bahasa dapat diartikan sebagai pembuatan gas. Secara definisi yang sebenarnya, gasifikasi adalah proses konversi energi dari bahan bakar yang mengandung karbon (padat ataupun cair) diuraikan oleh reaksi termal dengan memakai udara terbatas sebagai perantara oksida sehingga terjadi pembakaran tidak sempurna. Hasil dari gasifikasi yaitu berupa campuran gas yang mudah menyala (CO , H_2 , dan CH_4), emisi (CO_2 , NO_3), dahan padat (*char* dan *ash*), dan bahan cair (*steam char*) [10]. Pembakaran untuk biomassa yang mempunyai nilai *moistre* yang tinggi harus dilakukan dengan system pembakaran bertingkat agar mengurangi jumlah produksi oksida nitrogen dan menaikkan jumlah karbon yang habis terbakar.

Agar gasifikasi berfungsi dengan baik, maka harus memenuhi persyaratan sebagai berikut [12]:

- (1) Ukuran partikel bahan bakar

Ukuran partikel yang terlalu akan menyebabkan penurunan tekanan dan banyaknya kotoran yang terdapat pada aliran gas yang dihasilkan. Hal ini akan menurunkan muatan gas dalam gasifier dan timbulnya tar yang banyak. Sedangkan ukuran partikel yang terlalu besar akan mengakibatkan berkurangnya reaktivitas bahan bakar sehingga bermasalah pada start up dan gas yang dihasilkan menjadi sedikit.

(2) Kandungan air (*moisture*)

Bahan baku yang digunakan untuk proses gasifikasi umumnya diharapkan berkelembaban rendah karena semakin tinggi nilai kandungan air dari bahan bakar maka akan menyebabkan turunnya efisiensi termal karena panas yang digunakan lebih banyak digunakan untuk menaikkan suhu air. Sehingga akan menurunkan energi dan nilai panas gas. Kandungan yang ideal adalah 10 - 20%. Kandungan air yang cukup berfungsi untuk menghasilkan hydrogen.

(3) Kandungan Abu (*ash*)

Pada proses gasifikasi akan selalu dihasilkan abu, abu ini akan menghasilkan tarak dan mengandung *char* yang tidak ikut terbakar sehingga menurunkan nilai panas gas yang dihasilkan. Dan juga Adanya abu ini sangat mengganggu karena berpotensi menyumbat saluran sehingga membutuhkan maintenance lebih. Desain gasifier yang baik setidaknya menghasilkan kandungan dust yang tidak lebih dari 2 – 6 g/m³.

(4) Nilai panas (*heating value*)

Nilai panas ini berkaitan dengan energi kimia yang berada didalam bahan bakar. Nilai panas merupakan jumlah energi (joule) per jumlah massa (kg), nilai ini sangat penting untuk menentukan efisiensi *gasifikasi* dan efisiensi system. Semakin tinggi kandungan energi yang dimiliki biomass maka syngas hasil gasifikasi biomass tersebut semakin tinggi karena energi yang dapat dikonversi juga semakin tinggi.

3.2 Jenis-jenis Gasifier

Gasifier dapat dibedakan berdasarkan :

- Mode fluidisasi
- Arah aliran
- Gas yang diperlukan untuk proses gasifikasi

Berdasarkan mode fluidisasinya, jenis gasifier dapat dibedakan menjadi 3 jenis. Gasifier tersebut adalah : gasifikasi unggun tetap (*fixed bed gasification*), gasifikasi unggun bergerak (*moving bed gasification*), gasifikasi unggun terfluidisasi (*fluidized bed gasification*), dan *entrained bed*.

Berdasarkan arah aliran, gasifier dapat dibedakan menjadi gasifikasi aliran searah (*downdraft gasification*), gasifikasi aliran berlawanan (*updraft gasification*) dan gasifikasi aliran menyilang (*crossdraft gasification*). Pada gasifikasi *downdraft*, arah aliran gas dan arah aliran padatan adalah sama - sama ke bawah. Pada gasifikasi *updraft*, arah aliran padatan ke bawah sedangkan arah aliran gas mengalir ke atas. Sedangkan gasifikasi *crossdraft* arah aliran gas dijaga mengalir mendatar dengan aliran padatan ke bawah.

Berdasarkan gasifying yang diperlukan untuk proses gasifikasi, terdapat gasifikasi udara dan gasifikasi oksigen/uap. Gasifikasi udara adalah metode dimana gas yang digunakan untuk proses gasifikasi adalah udara. Sedangkan pada gasifikasi uap, gas yang digunakan pada proses yang terjadi adalah uap.

Temperature masukan gas turbin yang tinggi akan dapat menaikkan efisiensi dan ini dapat dicapai dengan penggunaan material baru dan perbaikan sistem pendinginnya. Gas hasil gasifikasi akan mengalami proses pembersihan sulfur dan nitrogen. Sulfur yang masih dalam bentuk H_2S dan nitrogen dalam bentuk NH_3 lebih mudah dibersihkan sebelum dibakar daripada sudah dalam bentuk oksida dalam gas buang. Sedangkan abu dibersihkan dalam reactor gasifikasi. Gas yang sudah bersih ini dibakar dalam ruang bakar dan kemudian gas hasil pembakaran disalurkan ke dalam turbin gas untuk menggerakkan generator. Gas buang dari turbin gas biasanya dimanfaatkan dengan menggunakan HRSG (*Heat Recovery*

System Generator) untuk membangkitkan uap. Uap dari HRSG (setelah turbin gas) digabungkan dengan uap HRSG (setelah reactor gasifikasi) kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap yang akan menggerakkan generator [9].

3.3 Prinsip kerja *Fixed Bed Updraft Gasifier*

Pada simulasi analisis pemanfaatan tempurung kelapa ini, system gasifikasi yang akan digunakan adalah jenis *fixed bed updraft gasifier*.

Tipe ini telah umum digunakan untuk bahan bakar batubara sejak 150 tahun yang lalu. Selama pengoperasian, biomassa diumpankan di bagian atas sementara udara masuk melalui grate yang umumnya di selubungi oleh abu. Grate berada dibagian bawah gasifier, dimana udara bereaksi dengan biomassa menghasilkan CO₂ yang sangat panas dan H₂O. Sebaliknya, CO₂ dan H₂O bereaksi kembali dengan kokas menghasilkan CO dan H₂. Temperatur dibagian grate harus dibatasi dengan menambahkan kukus atau resirkulasi gas keluaran untuk mencegah rusaknya grate dan penyumbatan akibat tingginya temperature ketika karbon bereaksi dengan udara. Gas panas yang naik mempirolisa biomasa diatasnya kemudian mendingin sepanjang proses. Biasanya 5-20 persen tar dan minyak terbentuk pada suhu yang terlalu rendah dan terbawa pada aliran gas produk. Panas yang tersisa juga mengeringkan biomassa yang masuk sehingga hampir tidak ada energi yang hilang dari gas. Up draft gasifier terbatas digunakan hingga kapasitas 10 giga joule/jam.m² dibatasi oleh stabilitas unggun atau fluidisasi, pergerakan atau pemanasan berlebih yang menurunkan efesiensi.

3.3.1 Karakteristik *Fixed Bed Updraft Gasifier*

- a) Memiliki efisiensi termal yang baik
- b) Mampu bekerja dengan baik untuk bahan bakar dengan kandungan (moisture) yang tinggi

3.3.2 Komponen *Fixed Bed Updraft Gasifier*

Komponen utama yang terdapat pada *fixed ed downdraft gasifier* antara lain :

3.3.2.1 Reaktor utama

Terdapat berbagai macam bentuk gasifier yang pernah dibuat untuk proses gasifikasi. Untuk gasifier bertipe imbert yang memiliki neck di dalam reaktornya, ukuran dan dimensi neck amat mempengaruhi proses pirolisis, pencampuran, heatloss dan nantinya akan mempengaruhi kandungan gas yang dihasilkannya.

(a) Proses pengeringan

Proses drying dilakukan untuk mengurangi kadar air (moisture) yang terkandung di dalam biomass bahkan sebisa mungkin kandungan air tersebut hilang. Temperatur pada zona ini berkisar antara 100 sampai 300° C. Kadar air pada biomass dihilangkan melalui proses konveksi karena pada reaktor terjadi pemanasan dan udara yang bergerak memiliki humidity yang relatif rendah sehingga dapat mengeluarkan kandungan air biomass. Semakin tinggi temperature pemanasan akan mampu mempercepat proses difusi dari kadar air yang terkandung di dalam biomass sehingga proses drying akan berlangsung lebih cepat. Reaksi oksidasi, yang terdapat beberapa tingkat di bawah zona drying, yang bersifat eksoterm menghasilkan energi panas yang cukup besar dan menyebar ke seluruh bagian reaktor. Disamping itu kecepatan gerak media pengering turut mempengaruhi proses drying yang terjadi.

(b) Proses pirolisis

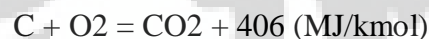
Proses pirolisis merupakan proses yang rumit sehingga pengertian sesungguhnya masih belum dapat dimengerti. Namun secara harfiah pirolisis merupakan proses pembakaran tanpa melibatkan oksigen. Produk yang dihasilkan oleh proses ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti temperatur, tekanan, waktu, dan heat losses. Pada zona ini biomass mulai bereaksi dan membentuk tar dan senyawa gas yang flammable. Komposisi produk yang tersusun merupakan fungsi laju pemanasan selama pirolisis berlangsung. Proses

pirolisis dimulai pada temperatur sekitar 300 °C, ketika komponen yang tidak stabil secara termal, seperti lignin pada biomassa dan volatile matters pada batubara, pecah dan menguap bersamaan dengan komponen lainnya. Produk cair yang menguap mengandung tar dan PAH (polyaromatic hydrocarbon). Produk pirolisis biasanya terdiri dari tiga jenis, yaitu gas ringan (H₂, CO, CO₂, H₂O, dan CH₄), tar, dan arang. Secara umum reaksi yang terjadi pada pirolisis beserta produknya adalah:



(c) Proses oksidasi

Proses oksidasi adalah proses yang menghasilkan panas (eksoterm) yang memanaskan lapisan karbon di bawah. Proses ini terjadi pada temperatur yang relatif tinggi, umumnya lebih dari 900° C. Pada temperatur setinggi ini pada gasifier downdraft, akan memecah substansi tar sehingga kandungan tar yang dihasilkan lebih rendah. Adapun reaksi kimia yang terjadi pada proses oksidasi ini adalah sebagai berikut :

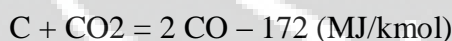


Proses ini dipengaruhi oleh distribusi oksigen pada area terjadinya oksidasi karena adanya oksigen inilah dapat terjadi reaksi eksoterm yang akan menghasilkan panas yang dibutuhkan dalam keseluruhan proses gasifikasi ini. Distribusi oksigen yang merata akan menyempurnakan proses oksidasi sehingga dihasilkan temperatur maksimal. Pada daerah pembakaran ini, sekitar 20% arang bersama volatil akan mengalami oksidasi menjadi CO₂ dan H₂O dengan memanfaatkan oksigen terbatas yang disuplai ke dalam reaktor (hanya 20% dari keseluruhan udara yang digunakan dalam pembakaran dalam reaktor). Sisa 80% dari arang turun ke bawah membentuk lapisan reduction dimana di bagian ini hampir seluruh karbon akan digunakan dan abu yang terbentuk akan menuju tempat penampungan abu.

(d) Proses reduksi

Proses reduksi adalah reaksi penyerapan panas (endoterm), yang mana temperatur keluar dari gas yang dihasilkan harus diperhatikan. Pada proses ini terjadi beberapa reaksi kimia. Di antaranya adalah Bourdour reaction, steam-carbon reaction, water-gas shift reaction, dan CO methanation yang merupakan proses penting terbentuknya senyawa-senyawa yang berguna untuk menghasilkan flammable gas, seperti hydrogen dan karbon monoksida. Proses ini terjadi pada kisaran temperatur 400 sampai 900° C. Berikut adalah reaksi kimia yang terjadi pada zona tersebut :

Bourdour reaction:



Steam-carbon reaction :



Water-gas shift reaction:



CO methanation :



Dapat dikatakan bahwa pada proses reduksi ini gas yang dapat terbakar seperti senyawa CO, H₂ dan CH₄ mulai terbentuk. Sehingga pada bagian ini disebut sebagai producer gas [3]

3.3.2.2 Unit pembersih gas

Fungsi utama dari reactor ini adalah untuk menjaga *performance gasifier* dan menjaga agar gas yang keluar sesuai dengan persyaratan. Cara kerjanya adalah memisahkan gas dengan abu abu yang terbawa. Bagian utama unit pembersih ini adalah :

a) Gas siklon (*cyclone*), bentuknya seperti kerucut terbalik dengan lubang pada bagian bawahnya. Partikel yang dapat dipisahkan 50 – 60 % dengan ukuran partikel 200 – 100 μm.

b) Unit pendingin (*water scrubber*), dapat memisahkan partikel dengan ukuran 5 – 100 μm .

c) Filter, yang terbuat dari tissue serat keramik dengan ukuran partikel yang dipisahkan sebesar 0.05 μm .

3.4 Pembangkit Listrik Tenaga Tempurung Kelapa

Karena pemanfaatan energinya dalam bentuk gas, maka dapat dikatakan bahwa pembangkit listrik dengan tempurung kelapa termasuk kedalam pembangkit listrik tenaga gas. Sebuah pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) terdiri dari sebuah kompresor, ruang pembakaran dan turbin gas dengan generator listrik. Udara dikompresi dalam kompresor, kemudian dialirkan kedalam ruang pembakaran, bersama sama dengan bahan bakar yang disulut. Gas terkembang menjadi suhu dan tekanan tinggi, dimasukkan kedalam turbin gas. Turbin berputar dan menggerakkan generator. Turbin gas bekerja atau dasar prinsip siklus tenaga gas Brayton atau Joule yang merupakan suatu standard siklus udara. Efisiensi thermal untuk siklus ini ideal adalah :

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{1}{(V_2/V_1)^{k-1}}$$

Dengan Q_1 = Energi yang ditambahkan

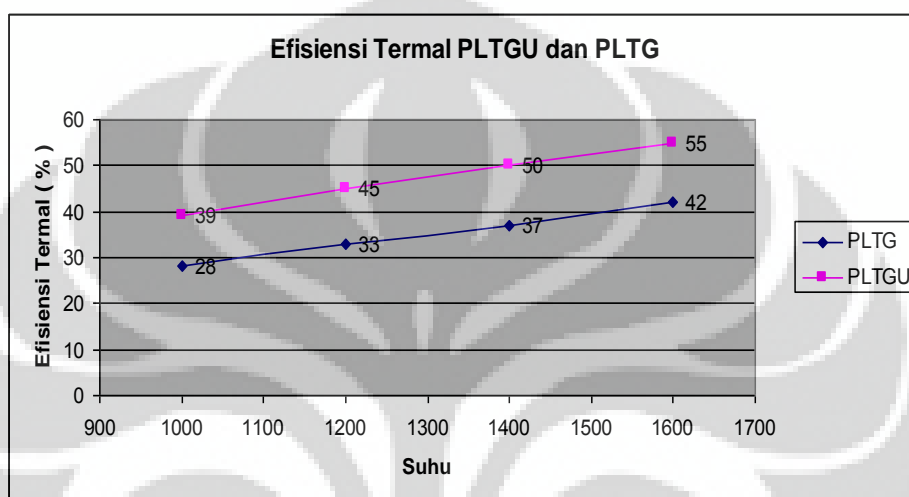
Q_2 = Energi yang dibuang

V_2/V_1 = Rasio kompresi

K = Rasio panas spesifik = 1.3 – 1.4 untuk udara standar sebagai medium standar

Sebuah turbin gas pada umumnya memiliki suatu tingkat efisiensi yang rendah, pemakaian bahan bakar yang tinggi dan gas buang yang meninggalkan turbin masih memiliki suhu yang tinggi sekali. Oleh sebab itu pemakaian spesifik bahan bakar turbin gas adalah tinggi, dan sebuah PLTG biasanya sering dipakai khusus sebagai pusat tenaga listrik pada beban puncak.

Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis lain, PLTG memiliki nilai efisiensi yang lebih rendah. Salah satu penyebabnya adalah tingginya nilai gas buang dari turbin. Sehingga untuk meningkatkan nilai efisiensi PLTG salah satu caranya adalah dengan kogenerasi. Pada gambar dibawah ini dapat dilihat efisiensi dari PLTG dibandingkan dengan efisiensi PLTGU



Gambar 3.1 Efisiensi PLTG dibandingka PLTGU

3.5 Karakteristik Bahan Bakar Tempurung Kelapa

Tanaman kelapa (*Cocos nucifera* L) merupakan tanaman serbaguna atau tanaman yang mempunyai nilai ekonomi tinggi. Seluruh bagian pohon kelapa dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia, sehingga pohon ini sering disebut pohon kehidupan karena seluruh bagian dari pohon, maker, batang, daun, dan buahnya dapa dipergunakan untuk kebutuhan manusia sehari-hari.

Buah kelapa terdiri dari sabut, tempurung, daging buah, dan air kelapa. Berat buah kelapa yang telah masak kira-kira 2 kg per butir. Buah kelapa dapat digunakan hamper pada seluruh bagiannya.

Tabel 3.1 Komposisi buah kelapa

Bagian buah	Jumlah berat %
Sabut (<i>fiber</i>)	35
Tempurung (<i>shell</i>)	12
Daging buah	28
Air kelapa	25

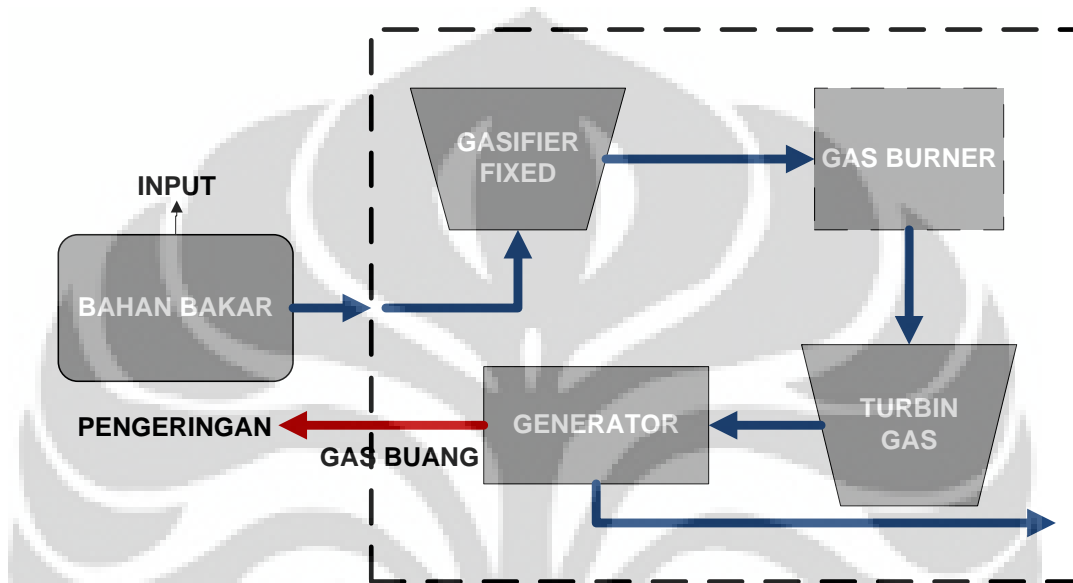
Sampai saat ini pemanfaatan tempurung kelapa hanya terbatas pada pembuatan arang aktif untuk pembakaran. Sedangkan tempurung sendiri mempunyai nilai kalor yang sangat tinggi yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik. Pada percobaan yang dilakukan oleh fajri didapatkan hasil analisa proximat dan ultimat tempurung kelapa.

Table 3.2 Analisa proximat dan ultimat tempurung kelapa

Analisa Proximat %		Analisa Ultimat %	
Moisture	5.3	C	47.59
Volatile Mater	70.7	H	6
Ash	6.26	O	45.52
Fixed Carbon	17.54	N	0.22
LHV (kj/kg)	22000	S	0.05

BAB IV
STUDI PENERAPAN SISTEM GASIFIKASI BERBAHAN BAKAR
TEMPURUNG KELAPA UNTUK PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK

Secara umum system pembangkit listrik tenaga gasifikasi biomassa dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 4.1. Sistem pembangkit listrik tenaga gasifikasi

Daerah yang diberi tanda garis putus-putus merupakan system pembangkit listrik tenaga gasifikasi yang terdiri dari beberapa komponen yaitu, gasifier, gas burner, turbin gas, dan generator. Namun pada skripsi ini komponen-komponen tersebut diabaikan. Hal ini untuk melihat sistem secara makro, sehingga yang dipertimbangkan hanya input yang berupa bahan bakar dan output yang berupa energy listrik yang dihasilkan oleh generator. Dari gambar skematik diatas dapat direpresentasikan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4.2 Skematic sisitem pembangkit listrik

Dengan melihat input dan outputnya, maka dapat dibuat suatu pemodelan karakteristik efisiensi yang merupakan perbandingan output dengan input (dalam bentuk satuan energi).

Pada kondisi umum, jika ada suatu pembangkit listrik maka dapat ditentukan beberapa kebutuhan bahan bakar yang diperlukan agar system memiliki kapasitas tertentu, atau dengan penambahan bahan bakar berapa sehingga dapat menaikkan kapasitas system menjadi nilai tertentu. Pada studi ini dicoba dengan pendekatan yang terbalik dengan kondisi tersebut. Jika ada suatu bahan bakar (tempurung kelapa) di suatu daerah, maka dengan menggunakan system gasifikasi akan menghasilkan kapasitas daya listrik berapa yang bisa dibangkitkan secara kontinyu per satuan waktunya. Pada akhirnya maka pada studi ini akan dihasilkan suatu persamaan karakteristik input-output yang merupakan rangka dasar dalam mendesain suatu pembangkit listrik tenaga gasifikasi ini.

4.1 Persamaan Karakteristik Input/Output

Pada persamaan 2.1 diatas didapat suatu persamaan polynomial dengan pangkat tinggi. Persamaan tersebut sangat sulit untu dikuantifisir. Untuk mendapatkannya perlu dilakukan percobaan demi percobaan secara langsung terhadap system. Penyelesaian persamaan tersebut bisa diperoleh dengan pendekatan persamaan eksponensial, karena kapasitas yang akan diperkirakan cukup besar, maka dapat diestimasikan suatu persamaan karakteristik utama yang baru sebagai fungsi eksponensial seperti dibawah ini :

$$Y = e^{a+bX} \dots\dots\dots (4.1)$$

Persamaan diatas adalah persamaan eksponensial dengan Y adalah energy masukan dan dinyatakan dalam satuan Joule (J) atau kWh dan X adalah energy keluaran dari generator yang dinyatakan dalam Joule (J) atau kWh. Energy masukan berasal dari energy yang dikandung oleh bahan bakar tempurung kelapa. Nilai a dan b adalah sebuah konstanta yang nilainya selalu tetap sepanjang kurve tersebut. Dimana a merupakan nilai awal masukan bahan bakar, dan b merupakan tambahan masukan bahan bakar. Karena system selalu memiliki efisiensi kurang dari 100%, maka energy yang dihasilkan selalu lebih kecil dari energy masukan. Dengan persamaan ini maka perbedaan antara pembangkit listrik yang satu dengan yang lainnya terletak pada nilai dari konstanta a dan b, dan factor lainnya seperti berupa nilai kalor dari bahan bakar. Untuk keadaan yang sebenarnya maka nilai a dan b didapat dengan melakukan percobaan pembebanan pada system tenaga listrik.

Untuk mencari nilai a dan b fungsi eksponensial persamaan (4.1), harus ditentukan N titik data yang diketahui dalam (x,y) untuk $i = 1,2,3,\dots,n$. Lalu mengubah nilai y menjadi z.

Persamaan (4.1) di loritmaka-kan menjadi

$$\ln y = \ln (e^{a+bx}) \dots\dots\dots (4.2)$$

atau $\ln y = a+bx \dots\dots\dots (4.3)$

jika $z = a+bx \dots\dots\dots (4.4)$

maka $z = \ln y \dots\dots\dots (4.5)$

untuk menghitung nilai a, digunakan formulasi :

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots (4.6)$$

untuk menghitung nilai b, digunakan formulasi :

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots (4.7)$$

untuk mencari fungsi pemakaian bahan bakar incremental, persamaan (4.1) didiferensialkan menjadi :

$$\frac{dX}{dY} = b e^{a+bx} \dots\dots\dots (4.8)$$

atau $Y' = b e^{a+bX} \dots\dots\dots (4.9)$

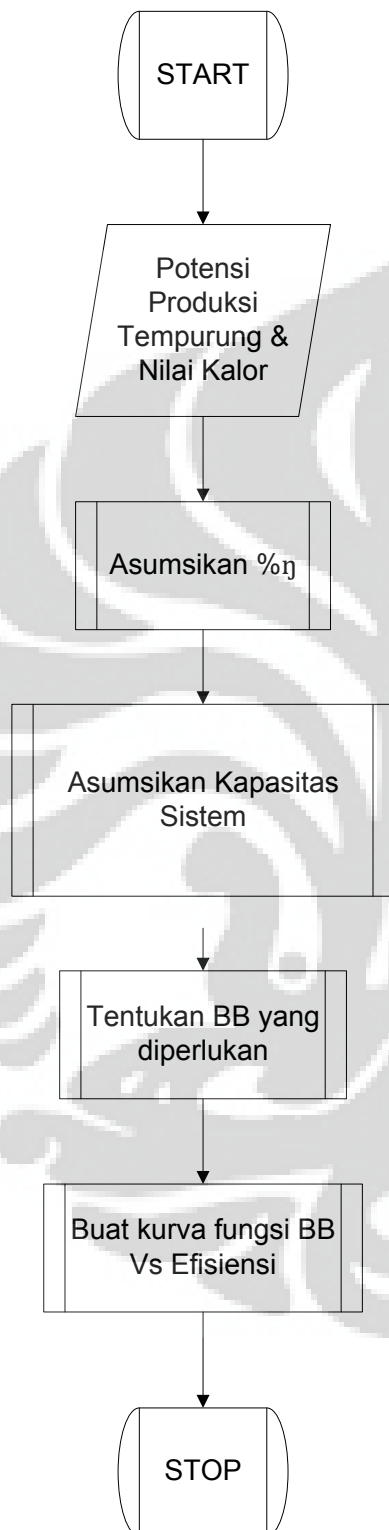
Suatu masukan awal yang berupa sejumlah bahan bakar diperlukan untuk system ini. Masukan awal sangat berguna untuk menanggung agar system tetap bekerja pada saat generator tidak menanggung beban. Sehingga masukan awal ditentukan pada saat $X = 0$. Dari persamaan (4.1) didapat

$$Y_0 = e^a \dots\dots\dots (4.10)$$

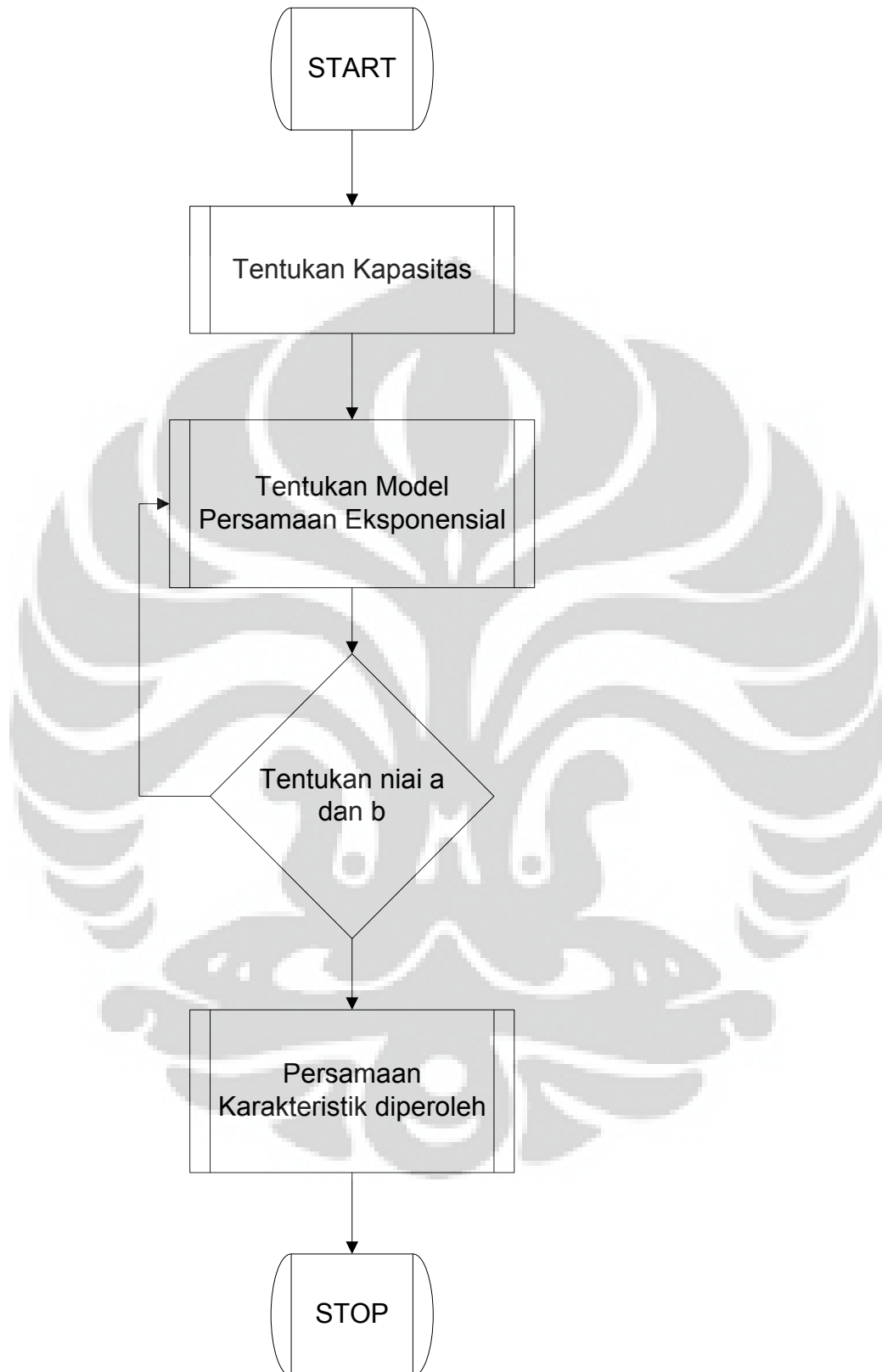
Dari simulasi ini akan ditentukan suatu karakteristik dari pembangkit listrik tempurung kelapa kopra dengan menggunakan gasifikasi *fixed bed updraft gasifier*. Nilai keluaran (X) didapatkan dengan mengasumsikan kapasitas daya dari keluaran generator, untuk efisiensi system sebesar 27 % [3], sehingga dapat menentukan nilai masukan bahan bakar (nilai energinya) yang diperlukan. Selanjutnya membandingkan antara potensi yang dimiliki oleh suatu kabupaten.

4.2 Algoritma Penerapan Sistem

4.2.1 Algoritma Penerapan Sistem Gasifikasi Untuk Pembangkit Tenaga Listrik



4.2.2 Algoritma Sistem Persamaan Karakteristik Masukan Keluaran



Penjelasan Algoritma Simulasi Dan Pemodelan Penentuan Kapasitas Pembangkit Listrik

- (1) Menentukan potensi produktivitas bahan bakar
- (2) Mengidentifikasi nilai kalor yang terdapat pada tempurung kelapa kopra berdasarkan penelitian penelitian sebelumnya.
- (3) Menentukan efisiensi untuk pembangkit listrik dengan gasifikasi berdasarkan penelitian penelitian sebelumnya.
- (4) Mengasumsikan kapasitas sistem efisiensi untuk pembangkit listrik dengan gasifikasi.
- (5) Membuat kurva masukan sebagai fungsi efisiensi untuk tiap kapasitas pembangkit

Algoritma Simulasi Dan Pemodelan Persamaan Karakteristik Masukan Keluaran

- (1) Menentukan nilai b dengan menggunakan persamaan (4.5) dan nilai a dengan persamaan (4.7).
- (2) Substitusi nilai a dan b kedalam persamaan (4.3).
- (3) Menghitung nilai energy bahan bakar masukan awal, saat $X = \text{nol}$ dengan menggunakan Persamaan (4.8).
- (4) Persamaan karakteristik didapat.

4.4 Studi Kasus

Studi kasus untuk penerapan sistem gasifikasi pemanfaatan tempurung kelapa kopra ini dilakukan pada kabupaten buton (sulawesi tenggara) dan menghitung kapasitas pembangkit yang dapat dilakukan. Untuk skripsi ini diasumsikan suatu system pembangkit listrik memiliki beberapa spesifikasi mesin tenaga sebagai berikut :

Jenis Gasifier	: Fixed Bed Updraft Gasifier
Jenis Bahan Bakar	: Tempurung Kelapa Kopra
Nilai Kalor Bahan Bakar	: 22 MJ/kg = 6,11 kWh/kg
Efisiensi system	: 27 %
Produksi rata-rata/tahun	: 928 ton

Produksi rata-rata/hari : 106 kg

4.4.1 Hasil Perhitungan

Dari literature yang didapat, menyebutkan bahwa suatu system mempunyai efisiensi sebesar 27 % [3]. Berdasarkan potensi efektif tempurung kelapa di kabupaten Button (Sulawesi tenggara), yaitu sebesar 106 kg/hari maka potensi listrik yang mungkin dibangkitkan sebesar 170 kW.

Dengan pemakaian bahan bakar 4 kg perjam, dapat dihitung nilai a dan b. berikut adalah hasil perhitungannya, yang dilakukan menggunakan *Microsoft Excel*.

Tabel 4.1 Nilai bahan bakar dengan efisiensi 27 %

INPUT		OUTPUT
Bahan Bakar (kg)	Bahan Bakar (kWh)	Kapasitas (kWh)
4	24.44	6.5988
8	48.88	13.1976
12	73.32	19.7964
16	97.76	26.3952
20	122.2	32.994
24	146.64	39.5928
28	171.08	46.1916
32	195.52	52.7904
36	219.96	59.3892
40	244.4	65.988

Table diatas memperlihatkan pemakaian bahan bakar dalam pemakaian selama satu jam, dengan masukan bahan bakar bakar mulai dari 4 kg, hingga 40 kg. Dengan menggunakan data dari table 4.1, dengan merubah output menjadi x dan input menjadi y, dapat dihitung nilai a dan b.

Tabel 4.2 Nilai variable input (y) output (x)

	x	y	x ²	x*y
--	---	---	----------------	-----

	6.5988	3.196221	43.54416	21.09122
	13.1976	3.889368	174.1766	51.33033
	19.7964	4.294833	391.8975	85.02224
	26.3952	4.582515	696.7066	120.9564
	32.994	4.805659	1088.604	158.5579
	39.5928	4.987981	1567.59	197.4881
	46.1916	5.142131	2133.664	237.5233
	52.7904	5.275663	2786.826	278.5043
	59.3892	5.393446	3527.077	320.3124
	65.988	5.498806	4354.416	362.8552
Σ	362.934	47.06662	16764.5	1833.642

dari table diatas dapat dihitung nilai a dan b, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$a = \frac{\Sigma y \Sigma x^2 - \Sigma x \Sigma xy}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$a = \frac{(47.06 \ 16764.5) - (362.93 \ 1833.64)}{(10 \ 16764.5) - (362.93)^2}$$

$$a = \frac{788937.37 - 665482.97}{167645 - 131718.19}$$

$$a = \frac{123454.4}{35926.81}$$

$$a = 3.43$$

$$b = \frac{n \Sigma xy - \Sigma x \Sigma y}{n \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$b = \frac{(10 \ 1833.64 - (362.93 \ 47.06))}{10 \ 16764.5 - (362.93)^2}$$

$$b = \frac{18336.4 - 17079.48}{167645 - 131718.19}$$

$$b = \frac{1256.92}{35926.81}$$

$$b = 0.034$$

Dari table tersebut didapatkan suatu persamaan :

- karakteristik masukan – keluaran
dengan menggunakan persamaan (4.2) didapatkan persamaan karakteristik masukan keluaran sebagai berikut :

$$\ln Y = \ln (e^{a+bX})$$

atau $Y = e^{a+bX}$

$$Y = e^{3.43+0.034X}$$

- Karakteristik efisiensi

$$\eta = X/Y$$

$$\eta = X / e^{3.43+0.034X}$$

- Karakteristik pemakaian bahan bakar spesifik

$$PB = Y/X$$

$$PB = e^{3.43+0.034X}/X$$

- karakteristik Inkremental bahan bakar

$$dX/dY = b(e^{a+bX})$$

$$Y^2 = b e^{a+bX}$$

$$Y^2 = 0.034 e^{3.43+0.034X}$$

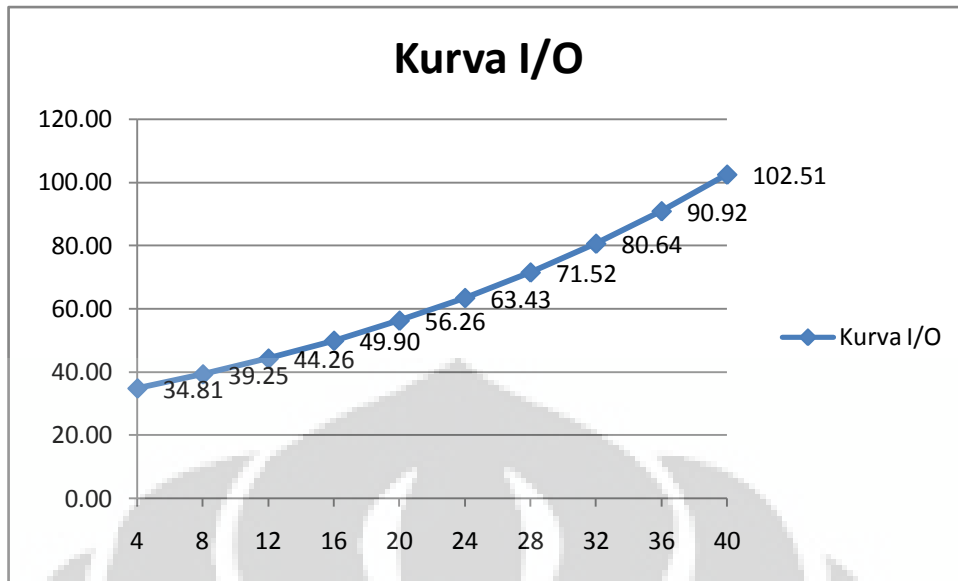
- Karakteristik masukan awal bahan bakar

$$Y_0 = e^a$$

$$Y_0 = e^{3.43}$$

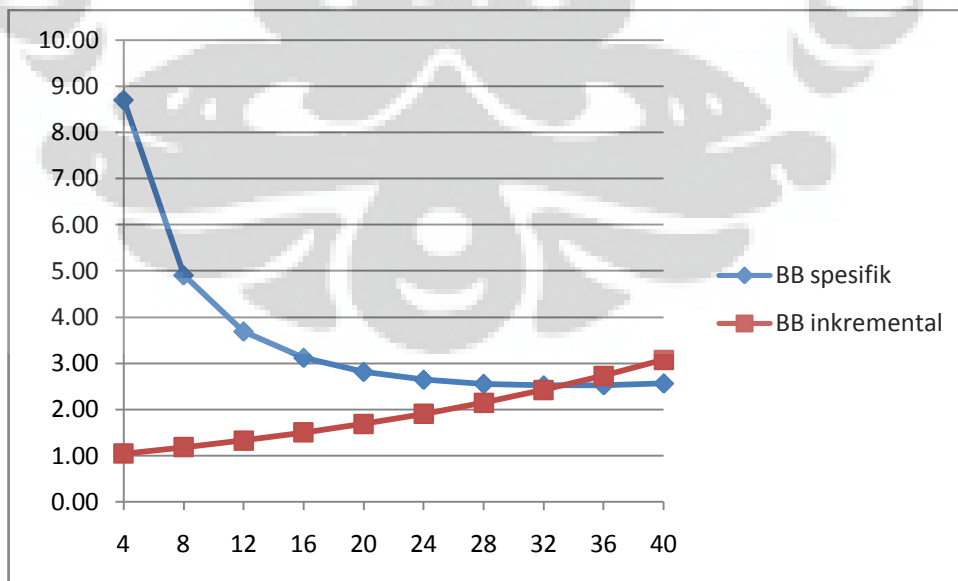
Tabel 4.2 Fungsi Eksponensial untuk pemakaian 1 jam

Output	Input	efisiensi	BB spesifik (kg/kWh)	BB inkremental
4	34.81	0.11	8.70	1.04
8	39.25	0.20	4.91	1.18
12	44.26	0.27	3.69	1.33
16	49.90	0.32	3.12	1.50
20	56.26	0.36	2.81	1.69
24	63.43	0.38	2.64	1.90
28	71.52	0.39	2.55	2.15
32	80.64	0.40	2.52	2.42
36	90.92	0.40	2.53	2.73
40	102.51	0.39	2.56	3.08



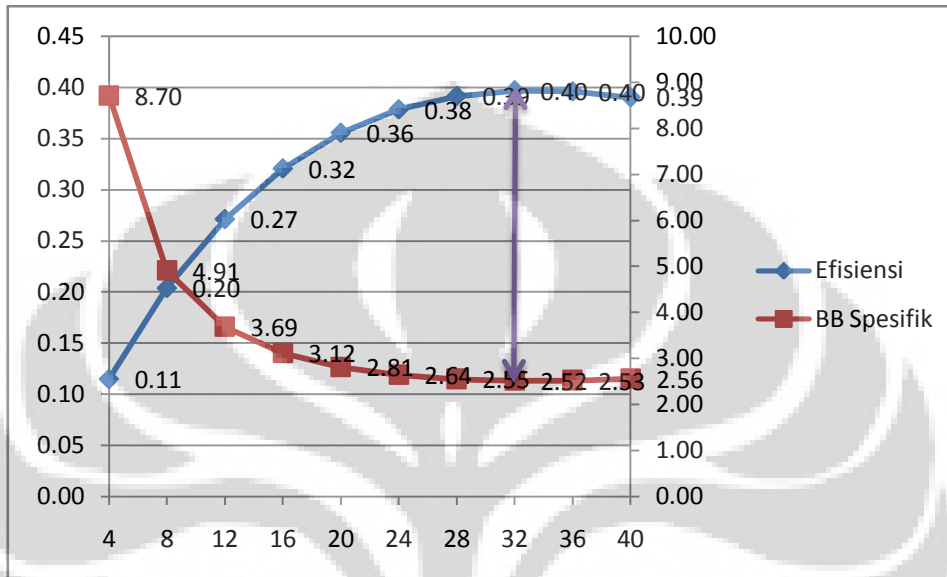
Gambar 4.4 Kurva masukan keluaran

Gambar 4.4 merupakan grafik masukan keluaran, dari sistem gasifikasi dengan efisiensi sebesar 27 %. Didapatkan keluaran sebesar 4 kWh dengan dengan masukan bahan bakar sebesar 34.81 kWh. Pada gambar 4.5 menunjukan kurva bahan bakar spesifik yang dibandingkan dengan kurva bahan bakar incremental. Dari perbandingan grafik ini, didapatkan titik nominal penggunaan bahan bakar spesifik sebesar 2.52 kg/kWh, dan penambahan bahan bakar nominal sebesar 2.42 kg.



Gambar 4.5 Kurva Bahan Bakar Spesifik vs Bahan Bakar Inkremental

Gambar 4.6 merupakan perbandingan kurva bahan bakar spesifik dengan efisiensi. Titik nominal efisiensi sebesar 40 %, pada titik ini penggunaan bahan bakar spesifik didapat. Dengan penggunaan bahan bakar sebesar 2.52 kg/kWh pada pemakaian selama satu jam.



Gambar 4.6 Kurva Bahan Bakar Spesifik vs Efisiensi

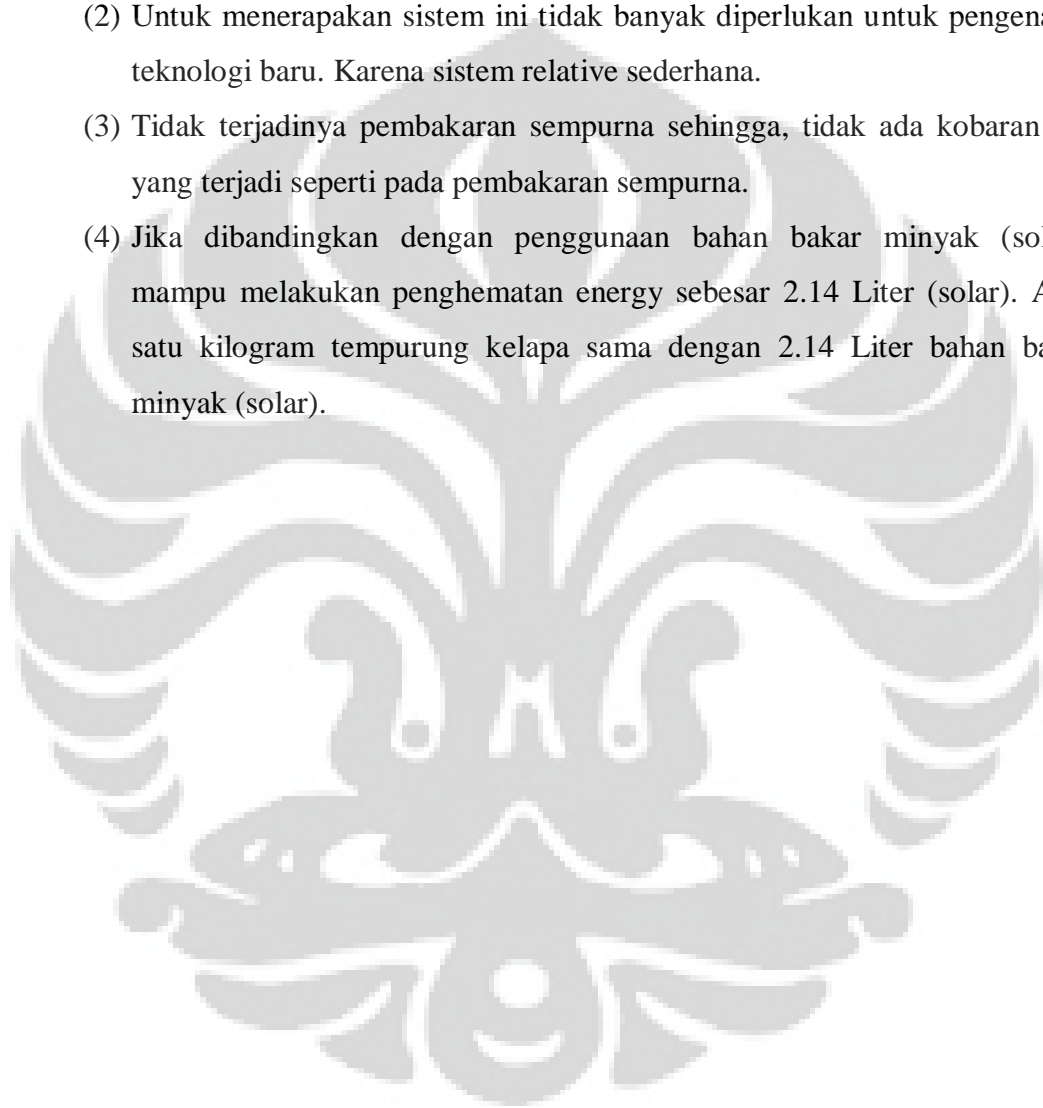
Dari karakteristik yang didapat dapat dinyatakan bahwa, sistem gasifikasi ini dapat bekerja dengan masukan awal bahan bakar sebesar 5.05 kg. dengan efisiensi maksimum sebesar 40 %, sistem mampu menghasilkan output sebesar 32 kWh, dengan penggunaan bahan bakar spesifik sebesar 2.52 kg, dan penambahan sebesar 2.42 kg.

Bila dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar minyak (solar), yang dapat membangkitkan energi sebesar 1 kWh dengan pemakain 0.35 Liter, atau dalam satu Liter solar dapat membangkitkan energi sebesar 2.85 kWh. Maka sistem gasifikasi berbahan bakar tempurung kelapa, mampu melakukan penghematan energy sebesar 6.11 kWh atau dapat menghemah penggunaan bahan bakar minyak (solar) sebesar 2.14 Liter.

4.5 Keuntungan Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit listrik dengan menggunakan gasifikasi biomassa tempurung kelapa mempunyai beberapa keuntungan sebagai berikut :

- (1) Sistem ini juga berbasis pada sumber energy terbarukan yang ramah lingkungan.
- (2) Untuk menerapkan sistem ini tidak banyak diperlukan untuk pengenalan teknologi baru. Karena sistem relative sederhana.
- (3) Tidak terjadinya pembakaran sempurna sehingga, tidak ada kobaran api yang terjadi seperti pada pembakaran sempurna.
- (4) Jika dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar minyak (solar), mampu melakukan penghematan energy sebesar 2.14 Liter (solar). Atau satu kilogram tempurung kelapa sama dengan 2.14 Liter bahan bakar minyak (solar).



BAB V KESIMPULAN

Pada studi penerapan sistem gasifikasi berbahan bakar tempurung kelapa untuk pembangkit tenaga listrik ini bisa diambil kesimpulan :

1. Gasifikasi mempunyai :
 - a. Karakteristik I/O $Y = e^{3.43+0.034X}$
 - b. Karakteristik incremental $Y' = 0.034 e^{3.43+0.034X}$
 - a. Karakteristik masukan awal bahan bakar $Y_0 = e^{3.43}$
 - b. Efisiensi maksimum = 40 %
 - c. Konsumsi bahan bakar spesifik = 2.52 kg/kWh
2. Sistem gasifikasi tempurung kelapa, untuk pemakaian satu kilogramnya. mampu melakukan penghematan sebesar 2.14 Liter bahan bakar minyak (solar).
3. Kendala dari sistem gasifikasi berbahan bakar tempurung kelapa untuk pembangkit tenaga listrik adalah waktu yang diperlukan pada awal pembakaran relatif lama, pengisian bahan bakar yang agak susah, sulit untuk mengatur keluaran gas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vidian, fajri. *Gasifikasi Tempurung Kelapa Menggunakan Updraft Gasifier pada Beberapa Variasi Laju Alir Udara Pembakaran Mesin Sinkron*, Jurnal Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang Vol. 10, No. 2, Oktober 2008.
- [2] Kadir, Abdul, *Energi : Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Edisi Kedua/Revisi, UI Press Jakarta, 1995.
- [3] Wang, Ying. ,Yoshikawa, Yonio.,”Performance Optimization of Two – Staged Gasification System for Woody Biomass”, International Journal Fuel Processing Tecnology, Elsevier, 2007, pp 243-250.
- [4] Saravanakumar, A.,Haridasan, TM., Reed, TB., “*Eksperimental Investigation of Long Stick Wood Gasification in Bottom Lift Ufdraft Fixed Bed Gasifier*”, International Journal Fuel Processing Tecnology, Elsevier, 2007, pp 617-622.
- [5] Jain, Anil Kr., Goss, Jhon R., “Determination of Reaktor Scalling Factor for Throatless Risk Husk Gasifier”, International Journal Biomass & Bioenergy, Pergamon, 18, 2000, pp.249-256.
- [6] Energy, Information and Data
http://www.sludgefacts.org/Ref87_2.pdf
 diakses pada tanggal 2 april 2012
- [7] POTENSI KELAPA DALAM DI SULAWESI TENGGARA
<http://banking.blog.gunadarma.ac.id/peraturanBI/BOKSIPOTENSIKELAPADALAMDISULAWESITENGGARA.pdf>
- [8] ZA, Zainal., Rifau, Ali., GA, Quadir., KN, Seetha-ramu., ”*Experimental Investigation of a Downdraft Biomass Gasifier*”, Biomass Bioenergi Journal, Januari, 2003
- [9] Departemen Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. “*Prospek Dan Arah Pengembangan Agribisnis Kelapa*” Edisi Kedua, 2007
http://www.litbang.deptan.go.id/special/publikasi/doc_perkebunan/kelapa/kelapa-bagian-a.pdf
 diakses pada tanggal 1 juni 2012
- [10] M, Muharnif. “*Pemanfaatan Bahan bakar Nabati Sebagai Sumber Energi Alternatif Dalam Proses Gasifikasi*”, Jurnal Ilmiah Pendidikan Tinggi, Vol. 3 No.3. Desember 2010. ISSN LIPI: 1979-9640

- [11] INDONESIA 2005 – 2025 BUKU PUTIH, Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025, 2006
http://www.batan.go.id/ref_utama/buku_putih_energi.pdf
diakses pada tanggal 1juni 2012
- [12] Hudaya, Chairul. “*Simulasi dan pemodelan kapasitas pembangkit listrik sistem gasifikasi berbahan bakar tandan kosong kelapa sawit dengan pendekatan numerical*”, Skripsi Program Sarjana Bidang Ilmu Teknik Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, 2004
- [13] Regresi
http://lecturer.eepis-its.edu/~prima/metode_numerik/bahan_ajar/12-Regresi.pdf
diakses pada tanggal 1juni 2012

