

RANCANG BANGUN KETEL UAP BERBAHAN BAKAR LIMBAH KAPASITAS 285 KG/JAM

Suyono

Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bandung
Jl Kanayakan No. 21 – Dago, Bandung - 40135
Phone/Fax : 022. 250 0241 / 250 2649
Email: suyono_uc@yahoo.com

Abstrak

Dalam upaya mendukung program pemerintah membangun ketahanan energy nasional, dilakukan penelitian, pengembangan dan pemanfaatan sumber energy baru dan terbarukan untuk diubah menjadi daya listrik. Salah satu cara untuk memanfaatkan sumber energi yang terkandung di dalam limbah biomasa adalah dengan cara dibakar. Panas hasil pembakaran digunakan untuk mengubah air menjadi uap, yang dapat digunakan untuk mengoperasikan mesin-mesin uap. Selanjutnya mesin uap untuk menggerakkan generator listrik, maka terbangkitlah daya listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Perangkat yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap adalah ketel uap atau *boiler*.

Ketel uap yang dirancang bangun di sini adalah ketel uap yang memiliki kapasitas untuk mendukung sistem pembangkit listrik dengan kapasitas maksimum 5 kW. Maksud dan tujuannya adalah untuk digunakan sebagai media pendidikan dalam hal pemelajaran mesin-mesin konversi energi di Polman Negeri Bandung.

Seluruh kegiatan yang mencakup proses perancangan, manufaktur, instalasi dan pengujian dilakukan di Polman. Proses perancangan mengikuti teori-teori dasar yang sederhana dan praktis dapat diterapkan. Sedangkan proses manufaktur sebagian besar adalah proses kerja pelat dan kerja las serta sedikit menggunakan mesin-mesin konvensional. Instalasi, operasi dan pengujian-pengujian dilakukan juga di Polman.

Adapun hasil uji coba menunjukkan bahwa ketel uap memiliki kapasitas volume air 800 liter, dan volume uap 680 liter. Menggunakan limbah sebagai bahan bakar, mampu mengubah air menjadi uap bertekanan maksimum 9.5 bar dengan temperatur maksimum 185°C. Uap dari hasil ketel tersebut dapat digunakan untuk memutar turbin uap hingga mencapai putaran 2600 rpm pada tekanan 5 bar dan temperatur 150°C.

Pengoperasian ketel uap masih dilakukan secara manual, sehingga pembakaran kurang kontinyus stabil. Pengumpan air ke dalam ketel juga belum tersedia otomatis sehingga ketel uap tidak dapat beroperasi lebih dari dua-setengah jam.

Untuk selanjutnya peningkatan optimalisasi ketel uap dapat dilakukan dengan pemasangan mekanisasi pengumpan bahan bakar, pengumpan air otomatis dan pengisolasian dari temperatur lingkungan, sehingga produktivitas uap lebih stabil, besar dan berkualitas.

Kata kunci: ketel uap, manufaktur, limbah, listrik.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di tingkat dunia pada umumnya terus meningkat karena pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Sedangkan energi fosil yang selama ini merupakan sumber energi utama ketersediaannya sangat terbatas dan terus mengalami deplesi (*depletion*: kehabisan, menipis). Proses alam memerlukan waktu yang

sangat lama untuk dapat kembali menyediakan energi fosil.

Menurut *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi tetap. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun.

Perkiraan rasio ini dihitung berdasarkan jumlah penduduk dan pola konsumsi energi pada saat sekarang. Apabila mempertimbangkan laju pertumbuhan penduduk yang eksponensial dan konsumsi energi yang terus meningkat, tentunya kurun waktu tersebut dapat diperkirakan akan jauh lebih cepat lagi. Upaya-upaya pencarian sumber energi alternatif selain fosil menyemangati para peneliti di berbagai negara untuk mencari energi lain yang kita kenal sekarang dengan istilah energi terbarukan. Energi terbarukan dapat didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Energi terbarukan meliputi energi air, panas bumi, matahari, angin, biogas, bio mass serta gelombang air laut. Beberapa kelebihan energi terbarukan antara lain: Sumbernya relatif mudah didapat; dapat diperoleh dengan gratis; minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar (Jarass, 1980).

Pertimbangan konservasi energi dan lingkungan hidup memang menuntut kita untuk segera dapat memanfaatkan energi terbarukan yang tersedia dengan mudah dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan energi fosil. Tetapi seperti kita ketahui, khususnya di Indonesia, pemanfaatan potensi energi terbarukan seperti air, angin, biomasa, panas bumi, surya dan samudera, sampai saat ini masih belum optimal. Misalnya, untuk kasus energi biomasa yang terkandung dalam limbah pertanian, limbah perkebunan, atau limbah rumah tangga sampai saat ini belum dimanfaatkan untuk diambil energinya. Hal ini terutama karena beberapa kendala seperti di bawah ini:

1. Sering dianggap belum kompetitif dibandingkan dengan energi fosil, karena:
 - a. Kemampuan SDM yang masih rendah.
 - b. Reayasa dan teknologi pembuatan sebagian besar komponen utamanya belum dapat dilakukan di dalam negeri, jadi masih harus impor.
 - c. Iklim investasi belum kondusif. Biaya investasi pembangunan yang tinggi menimbulkan masalah finansial pada penyediaan modal awal.
2. Belum tersedianya data potensi sumber daya biomasa yang lengkap, karena masih terbatasnya kajian/studi yang dilakukan.
3. Akses masyarakat terhadap energi masih rendah (DESDM, 2005).
4. Peran Pemerintah yang kurang:
 - a. Belum terlihat adanya *sense of urgency*
 - b. Antar lembaga pemerintah kurang sinergis.

c. Masih kurang dapat menyediakan insentif-insentif.

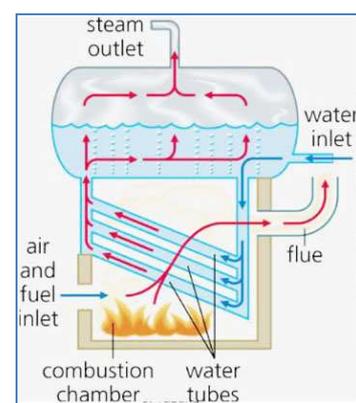
Beberapa strategi yang mungkin dilakukan untuk mengatasi kendala-kendala tersebut diatas, antara lain:

1. Meningkatkan kegiatan studi dan penelitian yang berkaitan dengan:
 - a. identifikasi setiap jenis potensi sumber daya energi terbarukan secara lengkap di setiap wilayah;
 - b. upaya perumusan spesifikasi dasar dan standar rekayasa sistem konversi energinya yang sesuai dengan kondisi di Indonesia;
 - c. pembuatan *prototype* yang sesuai dengan spesifikasi dasar dan standar rekayasanya;
 - d. pengumpulan pendapat dan tanggapan masyarakat tentang pemanfaatan energi terbarukan tersebut.
2. Memasyarakatkan pemanfaatan energi terbarukan sekaligus mengadakan analisis dan evaluasi lebih mendalam tentang kelayakan operasi sistem di lapangan dengan pembangunan beberapa proyek percontohan.
3. Memberikan prioritas pembangunan pada daerah yang memiliki potensi sangat tinggi, baik teknis maupun sosio-ekonominya.

Untuk tujuan pemanfaatan energi biomasa dibutuhkan mesin pengolah energi yaitu salah satunya adalah ketel uap, biomasa dibakar, panasnya untuk mengubah air menjadi uap, tenaga uap dapat digunakan untuk menjalankan mesin-mesin uap.

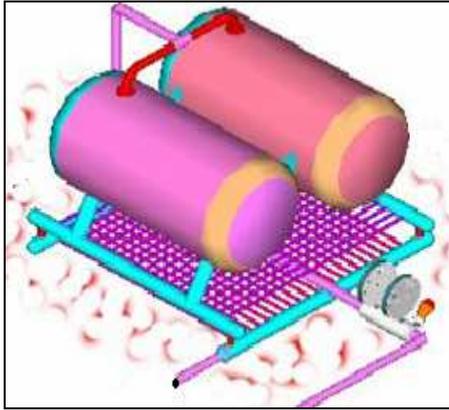
2. Garis-Garis Besar Perancangan

2.1 Konstruksi



Gambar 1. Konstruksi dasar ketel uap pipa air.
Sumber: <iptek-center.blogspot.com>19/4/2012

Gambar 1 memperlihatkan konsep dasar sebuah ketel uap pipa air. Dimana bagian-bagian utamanya adalah ruang bakar, saluran udara pembakar, pipa-pipa air, saluran air masuk, saluran gas bekas, tabung wadah air dan uap, saluran uap keluar.



Gambar 2. Konstruksi rancangan

Pada gambar 2 ini adalah sebuah konstruksi hasil rancangan yang mempertimbangkan perpindahan panas kemudahan proses, tersedianya material, pengoperasian dan pemeliharaan.

2.2 Perkiraan Energi

Perkiraan energi dimulai dari besarnya daya output maksimum yang akan dihasilkan. Asumsi menggunakan mesin uap rotary atau turbin uap untuk mengubah tenaga uap menjadi tenaga mekanik pada putaran poros. Apabila daya maksimum yang direncanakan adalah 5 kW, asumsi efisiensi turbin 0.5; efisiensi generator 0.8 dan efisiensi transmisi 0.95, maka tenaga uap yang dibutuhkan untuk memutar turbin adalah sebesar 13.16 kW (13.16 kJ/det) setara dengan 11305.058 kKal/jam.

Apabila kondisi uap masuk turbin bertekanan 8 bar dan temperaturnya 200°C, maka entalpinya adalah 2839.8 kJ/kg dan volume jenisnya 0.2609 m³/kg. Selanjutnya ketika uap keluar turbin tekanannya 0 bar, temperatur 100°C, maka enthalpinya 2674 kJ/kg. Selisih energi uap (enthalpi) yang masuk dan keluar turbin adalah 165.8 kJ/kg. Jadi laju kebutuhan uap untuk turbin adalah = (13.16 kJ/det)/(165.8 kJ/kg) = 0.0794 kg/det = **285.6961 kg/jam**.

Untuk menjamin kebutuhan uap terpenuhi aman, hasil uap dari ketel di target tekanan 10 bar, temperatur 200°C, air umpan bertekanan 0 bar dan temperatur 24°C. Dari perbedaan dua kondisi air dan uap didapat kebutuhan panas yang harus dihasilkan oleh pemanas, yaitu sebesar 792810.23 kJ/jam.

2.3 Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan di sini adalah bahan bakar jenis biomasa limbah dari perkebunan, pertanian, pertukangan atau sampah rumah tangga. Sebagai contoh adalah limbah yang berupa kayu-kayuan atau dengan sebutan bahan bakar padat atau *solid fuel*. Disamping kayu-kayu yang berbentuk batangan, bisa juga ampas dari kelapa sawit (limbah dari pabrik minyak kelapa sawit), ampas tebu (limbah dari pabrik gula) atau sampah organik dari rumah tangga yang sudah dipersiapkan.

Dari berbagai jenis bahan bakar kayu-kayuan, besar kecilnya nilai kalor tergantung dari jenis kayu atau masa jenisnya dan bentuk siap bakarnya. Makin kecil bentuknya, makin besar nilai kalornya. Namun dari berbagai jenis bahan bakar tersebut nilai kalornya berkisar antara (16.2 – 31.39)MJ/kg. [3]

Kebutuhan untuk ketel uap tersebut di atas, jika digunakan bahan bakar yang mempunyai nilai kalor 18 MJ/kg, maka ketel tersebut akan menghabiskan bahan bakar sebanyak (792810.23 kJ/jam)/(18000 kJ/kg) = 44.05 kg/jam. Akan tetapi karena sistem pembakaran pada ketel uap tersebut masih tergolong tradisional, maka banyak energi panas yang hilang sehingga efisiensinya rendah. Jika efisiensinya diambil terendah = 45%, maka kebutuhan bahan bakar = 97.88 kg/jam.[4].

2.4 Kebutuhan Udara

Apabila bahan bakar kayu yang digunakan memiliki kandungan sbb: [3]

C	(48 – 50)%
H	(6 – 6.5)%
N	(0.5 – 2.3)%
O	(38 – 42)%

Maka setiap kg bahan bakar kayu membutuhkan O₂ sebanyak (diambil angka maksimum dari tabel) =

(0.5 x 2.67 + 0.065 x 8 + 0.0005 x 1) = 1,8555 kg O₂. Oleh karena di dalam bahan bakar terkandung juga O₂, maka O₂ yang dibutuhkan dari udara luar adalah = 1.8555kg – 0.38kg = 1.4755 [kg O₂/kg bb].

Oleh karena dalam satu kg udara mengandung 0.231 [kg O₂/kg udara], maka udara yang dibutuhkan = 1.4755 [kg O₂/kg bb]/ 0.231[kg O₂/kg udara]=6.38745[kg u/kgbb].

Jika masa jenis udara pada 0°C adalah 1.29 kg/m³, maka kebutuhan udara dapat ditulis = $6.38745[\text{kg u/kgbb}]/ 1.29 [\text{kg/m}^3] = 4.952 [\text{m}^3 \text{ u} / \text{kg bb}]$.

Jika laju pembakaran bahan bakar adalah 97.88 kg bb/jam, maka laju kebutuhan udara adalah = $97.88 \text{ kg bb/jam} \times 4.952 [\text{m}^3 \text{ u} / \text{kg bb}] = 484.702 [\text{m}^3 \text{ u/jam}]$ atau $8.08 \text{ m}^3 \text{ u/menit}$.

2.5 Produksi Uap

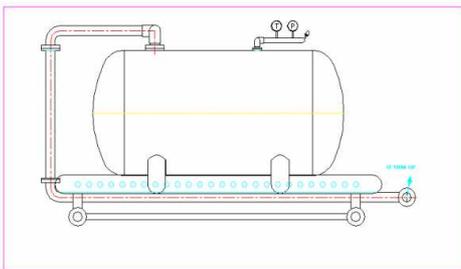
Untuk menghasilkan uap yang kering atau super heated, saluran uap keluar yang menuju turbin, dibelokkan ke bawah melewati api pembakaran pipa-pipa air, sehingga uap yang ke turbin merupakan uap kering yang siap meniup turbin.

Untuk mengurangi tingkat kondensasi pada pipa-pipa laluan uap menuju turbin, pipa-pipa tersebut dibalut dengan isolasi tahan panas, sehingga uap masih dalam keadaan kering ketika sampai di turbin.

Untuk mengetahui tingkat keadaan uap, maka dipasang thermometer dan barometer pada dua tempat yaitu sepasang thermometer dan barometer berada di atas tabung uap, dan sepasang lagi dipasang pada pipa saluran uap sebelum nosel menuju turbin.

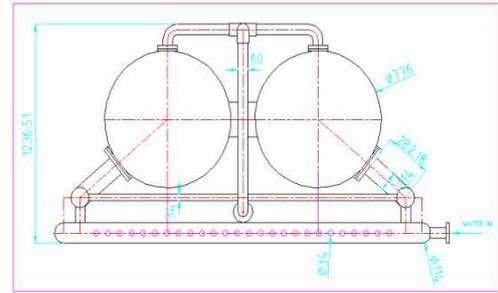
3. Manufaktur

3.1 Bahan dan komponen standar

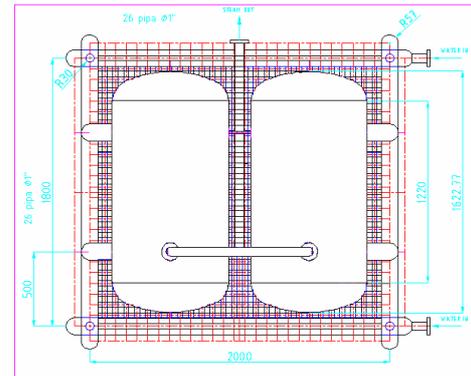


Gambar 3. Konstruksi ketel uap,tampak depan.

Dari hasil perancangan konstruksi, dimensi dan kapasitas, di dapat gambar kerja bangun ketel uap sebagai berikut:



Gambar 4. Konstruksi ketel uap tampak samping



Gambar 5. Konstruksi ketel uap tampak atas

Dari hasil rancangan seperti gambar 2 sd. gambar 5 di atas, dibutuhkan bahan-bahan baja karbon rendah dan pipa-pipa uap serta komponen standar sebagai berikut:

No	Bahan untuk	dimensi	jumlah
1	Pipa air	Ø1"x1700	52
2	Tabung frame	Ø4"x1700	4
3	Tabung uap-air	Ø776x1500	2
4	Tabung kaki	Ø4"x 300	4
5	Tabung panas lanjut	Ø2"x 2000	1
6	Pipa uap keluar	Ø2"x4000	1
Komponen std		spesifikasi	
7	Safety valves	10 bar	2
8	Pressure gages	15 bar	2
9	Temp gages	300 *C	2
10	Seight glass	-	1
11	Main valves	Ø2"	1
12	Ventury meter	Ø2"	1
13	Steam trap	Ø1"	1
14	Water valves	Ø1/2"	2
15	Water pump	150W	1
16	Reg tekanan uap	10 bar	1

3.2 Metoda proses manufaktur

Pembuatan dari tiap-tiap komponen ketel uap diawali dari gambar kerja, lalu membuat perencanaan kegiatan proses pemesinan dan

proses pengerjaan lain. Sebagian besar proses pengerjaan ketel uap ini adalah proses kerja pelat dan proses pengelasan, yaitu pemotongan, pembentukan dan pengelasan.



Gambar 6. Manufaktur: pembentukan-pengelasan-perakitan

3.3 Proses Perakitan /*Assembling*

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam proses *assembling* agar berjalan dengan baik dan lancar adalah:

- Sebelum memulai proses *assembling*, terlebih dahulu mempelajari dan memahami dengan baik gambar susunan dari bagian-bagian yang akan di *assembling*.
- Memahami proses *assembling* dari setiap komponen.
- Untuk menghindari kerusakan atau kegagalan pada saat proses *assembling*, maka perlu penggunaan alat bantu sesuai kegunaannya.
- Memastikan bahwa seluruh bagian terikat dengan kencang sesuai standar.
- Memeriksa dan menguji fungsi dari tiap-tiap komponen yang telah dirakit.

4. Pengujian

4.1 Hasil

Hasil dari proses rancang bangun terlihat seperti gambar 6 di bawah ini:



Gambar 7. Ketel uap berbahan bakar limbah hasil rancang bangun



Gambar 8. Instalasi dan pengujian rangkaian

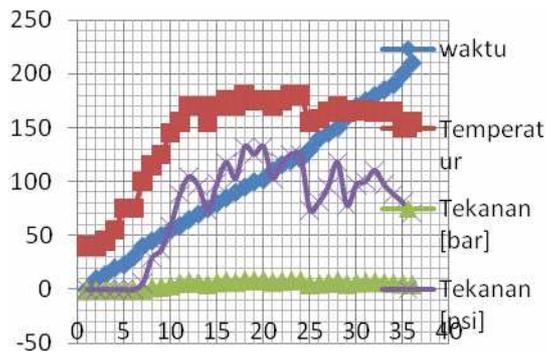


Gambar 9. Instalasi ketel uap dan pengujian operasi



Gambar 10. Menggunakan bahan bakar kayu-kayu bekas (limbah pembangunan).

Hasil pengujian ketel uap dari mulai penyalaan bahan bakar hingga bahan bakar habis:



Gambar 11. Hasil pengujian ketel uap

Table 1. Hasil pengujian ketel uap ke-4 (dari 9x)

No	Menit ke	Temp [°C]	Tekanan [bar]	Tekanan [psi]
0	0	40	0	0
1	10	40	0	0
2	14	45	0	0
3	20	55	0	0
4	23	75	0	0
5	30	75	0	0
6	40	100	0.4	5.9
7	45	115	2	29
8	50	125	2.5	37
9	55	145	4	59
10	59	155	6	88
11	65	170	7.1	104
12	70	170	6.5	96
13	75	155	5	74
14	80	170	6.7	98
15	85	175	8	118
16	90	170	7	103
17	95	180	9	132
18	100	175	8.5	125
19	102	175	9	132
20	110	170	7	103
21	116	175	8	118
22	120	180	8.5	125
23	121	180	8.5	125
24	130	155	5	74
25	140	158	5.5	81
26	145	165	6.5	96
27	150	170	8	118
28	160	165	5.3	76
29	170	166	6.6	97
30	175	166	6.8	100
31	180	165	7.5	110
32	185	165	6.6	97
33	190	165	6	88
34	200	150	5.5	81
35	210	155	4.8	71

Rata-rata pemakaian uap 5.47 bar.

4.2 Pembahasan

Spesifikasi Rancangan:

No	Spesifikasi	Rancangan
1	Daya hasil generator	5 kW
2	Day penggerak turbin	13.6 kW
3	Tekanan uap masuk turbin	8 bar
4	Tekanan uap keluar turbin	0 bar
5	Temp uap masuk turbin	200 °C
6	Temp uap keluar turbin	100 °C
7	Delta enthalpi	165 kJ/kg
8	Laju kebutuhan uap	285.7 kg/jam
Produksi ketel uap		
9	Tekanan uap	10 bar
10	Temperatur uap	200 °C
11	Tekanan air masuk	0 bar
12	Temperatur air masuk	24 °C
13	Kebutuhan energi unt' ketel	792810 kJ/jam
14	Efisiensi energi (7x8/13)	5.97 %
15	Kebutuhan bb limbah	97.88 kg/jam

Perpindahan panas,

Kebutuhan energi untuk ketel	792810.23	kJ/jam
Temperatur api	950	°C
Temperatur air awal	24	°C
Panas api ke dinding α_1	90	kJ/m ² J K
Panas dari dinding ke air α_3	20000	kJ/m ² J K
Panas dlm dinding λ_2	225	kJ/m J K

Untuk menyerap energi 792810.23 kJ/jam dibutuhkan luas permukaan dinding ketel:

$$F = Q / k_o(T_{api} - T_{air})$$

$$1/k_o = (1/\alpha_1) + (1/\lambda_2) + (1/\alpha_3)$$

$$1/k_o = 0.016 \text{ m}^2$$

$$k_o = 64.080 \text{ kJ/m}^2\text{h K}$$

$$F = 13.361 \text{ m}^2$$

Jumlah luas permukaan penyerap panas pada ketel

No	Komponen	Σ	[m ²]
1	Water Tube	52	6.88
2	Tabung Frame	4	2.51
3	Tabung Air-Uap kembar	2	4.49
4	Tabung Kaki	4	0.35
5	Tabung Super Heater	1	0.31
Jumlah		63	13.42

5. Kesimpulan

- Secara umum, ketel uap sudah berfungsi dapat mengubah air menjadi uap.
- Tekanan dapat mencapai 9.5 bar, dan temperatur 185 °C.
- Mampu memutar turbin hingga $n= 2600$ rpm, pada tekanan 5 bar dan temperatur 150 °C.
- Pemakaian uap rata-rata tekanan 5.4 bar mulai dari menit ke-59 sd. Menit ke-210.
- Produksi uap belum bisa stabil akibat pembakaran yg belum bisa stabil.
- Rugi-rugi panas pembakaran masih besar karena masih terbuka.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Bapak **Dr.Ir. Abdurrochim Halim**, dosen Jurusan Teknik Mesin FTMD Institut Teknologi Bandung, yang telah membimbing dalam penulisan makalah ini.

Daftar Pustaka

- [1] Misnah Pantono BE; Suhardi BSc, “Pesawat Tenaga Kalor/Ketel Uap” Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta, 28 Nopember 1979.
- [2] IR.M.J.DJOKO SETYARDJO, “KETEL UAP”, Pradnya Paramita, Jakarta 2006.
- [3] Eija Alakangas, “Properties of wood fuels used in Finland – BIOSOUTH – project” Intelligent Energy- Europe, 30-10-2005. (down load tg.19 Mei 2012).
- [4] Oak Ridge National Laboratory, “Combined Heat And Power”Desember 1, 2008. <http://www.osti.gov/bridge>