homepage: www.teknik.unsam.ac.id

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

Perencanaan Ketel Uap Menggunakan Bahan Bakar Biomassa Sawit Dengan Kapasitas Uap 100 Ton/Jam Pada Daerah Aceh Selatan

Ibrahim[1] dan Aqli Bill Haqqi[2]

[1,2] Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala,
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam – Banda Aceh 23111, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 10 Mei 2014
Direvisi dari 20 Mei 2014
Diterima 30 Mei 2014

Kata Kunci:
Ketel uap,
Biomassa Sawit

A B S T R A K

Ketel uap/boiler merupakan suatu peralatan atau sistem yang bertujuan untuk merubah air menjadi uap yang berguna. Uap yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga. Perencanaan ketel uap ini termasuk pada skala besar dengan kapasitas uap yang dihasilkan sebesar 100 ton/jam menggunakan bahan bakar biomassa sawit (tandan kosong sawit/tankos dan cangkang) sebagai sumber bahan bakar. Ketel uap ini direncanakan pada daerah Aceh Selatan, dengan perkiraan penghasilan tandan kosong sawit sekitar 1,8 ton/jam. Ketel uap dengan kapasitas besar diharapkan bisa digunakan sebagai pembangkit energi listrik. Ketel uap ini direncakan dapat menghasilkan uap pada temperatur 100 – 120^{o}C.. Tekanan uap di rencanakan 35 kg/cm^{2}. Jenis yang dirancang adalah ketel uap pipa air. Bahan ketel menggunakan bahan carbon steel.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Krisis energi listrik di Indonesia disebabkan karena semakin menipisnya bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batubara yang tidak diimbangi dengan peningkatan pertumbuhan penduduk. Relevansi krisis energi listrik dengan krisis bahan bakar fosil terjadi karena banyak pembangkitan tenaga listrik menggunakan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utamanya. Solusi bagi krisis energi listrik dan bahan bakar baku fosil seperti tersebut diatas adalah adanya sumber energi alternatif. Sumber energi alternatif tersebut harus bias menjadi bahan bakar subtitusi yang ramah lingkungan, efektif, efisien dan dapat diakses oleh masyarakat luas. Selain itu sumber energi alternatif tersebut idealnya berasal dari sumber energi yang bias diperbarui. Sumber energi yang bias diperbarui relative tidak berpotensi habis. Sebaliknya, selalu tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang lebih dari cukup, antara lain energi angin, air, biomassa, panas bumi, energi surya dan lain-lain.

Bentuk energi baru terbarukan (EBT) selain panas bumi dan tenaga air yang tersedia di Indonesia adalah biomassa, energi matahari dan energi kelautan. Besarnya potensi dan pemanfaatan energi terbarukan tersebut dapat dilihat pada tebel 1.1

Tabel 1.1 Potensi dan Pemanfaatan Energi Terbarukan

No	Energi Baru dan Terbarukan	Sumber Daya	Kapasitas Terpasang	Rasio (%)
	1	2	3	4 = 3/2
1	Mini/Mikrohidro	500 MWe	86,1 MWe	17,22
2	Biomass	49.810 Mwe	445,0 MWe	0,89
3	Tenaga Surya	4,80 kWh/m^{2}/hari	12,1 MWe	-
4	Tenaga Angin	9.290 MWe	1,1 MWe	0,01
5	Kelautan	240 GWe	1,1 MWe	0,01

Sumber: Draft KEN 2010-2050

Salah satu potensi energi yang dapat diperbarui adalah energi biomassa limbah kelapa sawit. Selama ini, kelapa sawit banyak digunakan sebagai penghasil minyak nabati. Limbah kelapa sawit yang ditimbulkan oleh pengolahan kelapa sawit memiliki kandungan kalori yang cukup tinggi. Bila dikelola dengan baik limbah kelapa sawit dapat

Alamat e-mail: abillhaqqi@gmail.com
© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

digunakan sebagai energi alternatif pengganti batu bara yang biasa digunanakan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Limbah kelapa sawit tersebut dikenal dengan nama biomassa sawit. Limbah kelapa sawit yang bisanya digunakan sebagai energi alternatif adalah cangkang, serat dan tandan kosong kelapa sawit.

Pada daerah Aceh Selatan misalnya, produksi tandan buah segar kelapa sawit diperkirakan mencapai 65.646 ton/tahun (7,6 ton/hari). Sedangkan untuk ketersediaan tandan kosong kelapa sawit cukup signifikan bila ditinjau berdasarkan rata-rata jumlah produksi tandan kosong kelapa sawit terhadap total jumlah tandan buah segar yang diproses. Rata-rata produksi tandan kosong kelapa sawit adalah berkisar 22% hingga 24% dari total berat tandan buah segar yang diproses di pabrik kelapa sawit (Darnoko, 2002). Jadi dapat disimpulkan bahwa produksi tandan sawit kosong (tankos) pada daerah Aceh Selatan adalah sekitar 1,8 ton/hari.

Untuk pemanfaatan biomassa tersebut, dapat dilakukan dengan merancang sebuah ketel uap yang menggunakan energi bahan bahan bakar dari biomassa tersebut. Perencanaan ketel uap ini memanfaatkan biomassa tandan kosong kelapa sawit dan cangkang kelapa sawit.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Bahan Bakar Biomassa

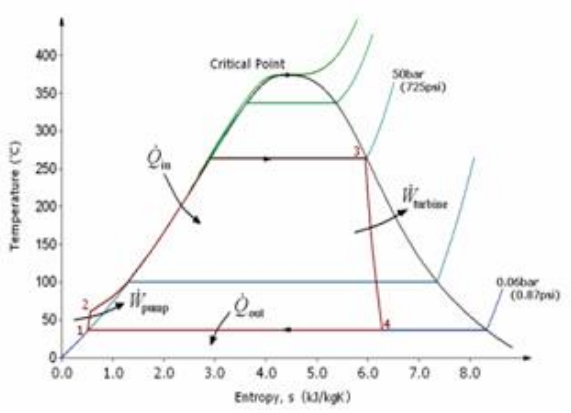
Biomassa adalah bagian yang dihasilkan dari limbah produk pengolahan hasil pertanian, kehutanan, industry dan limbah rumah tangga. Biomassa sangat beragam jenisnya yang ada pada dasarnya merupakan hasil produksi dari makhluk hidup. Jumlah produksi biomassa sangat melimpah di dunia. Namun pemanfaatan energy yang berasal dari biomassa masih belum optimal.

Biomassa dapat digunak an untuk menyediakan panas, membuat bahan bakar, dan pembangkitan l;istrik. Kayu sebagai sumber terbesar dari bioenergi telah digunakan untuk menyediakan panas selama ribuan tahun. Tetapi masih banyak tipe lain dari biomassa, seperti tanaman, sisa-sisa pertanian atau kehutanan, dan komponen organic dari sampah kota dan industri, yang sekarang dapat digunakan sebagai sumber energy. Yang termasuk sumber daya biomassa adalah semua bahan organik yang pada dasarnya dapat diperbaharui termasuk tanaman dan pohon khusus untuk energy tersebut, tanaman pangan, sampah dan sisa-sisa pertanian, sisa dan sampah kehutanan, tanaman air, kotoran hewan, sampah perkotaan dan metrial sampah lain.

Dari berbagai sumber daya yang ada, maka penulis memilih biomassa sawit sebagai bahan bakar untuk perencanaan ketel uap ini.

2.2. 2.2 Ketel Uap

Ketel uap/boiler merupakan suatu peralatan atau sistem yang bertujuan untuk merubah air menjadi uap yang berguna. Uap yang dihasilkan dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga. Pada dasarnya, prinsip kerja ketel uap menggunakan konsep siklus rankine. Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Siklus Rankine merupakan model operasi dari mesin uap panas yang secara umum ditemukan di pembangkit listrik. Sumber panas yang utama untuk siklus Rankine adalah batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir, dan panas matahari.



Gambar 2.1. Siklus rankine

Siklus Rankine terdiri dari 4 tahapan proses :
1 – 2 merupakan proses kompresi isentropik dengan pompa
2 – 3 Penambahan panas dalam boiler pada P = konstan
3 – 4 Ekspansi isentropik ke dalam turbin
4 – 1 Pelepasan panas di dalam kondensor pada P = konstan

Ketel uap dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Ketel-ketel lorong Api dan ketel-ketel pipa api**.** Yaitu ketel-ketel api dan gas asap yang digunakan untuk memanasi air dan uap, akan melalui silinder

api, lorong-lorong api dan pipa-pipa ataupun tabung-tabung api yang di bagian luarnya terdapat api atau uap. Yang termasuk dalam golongan ini ialah ketel-ketel :

- Ketel Cornwall dan ketel Lancashire
- Ketel Schots dan ketel Schots kembar
- Ketel kombinasi antara silinder api, lorong api dan pipa-pipa api
- Ketel Lokomotip dan Lokomobil
- Ketel-ketel Tegak, Ketel-ketel Cochran dan variasinya

2. Ketel-ketel Pipa Air. Yaitu ketel-ketel air atau uap di dalam pipa-pipa atau tabung-tabung, yang dipanasi oleh api atau asap di bagian luarnya. Yang termasuk dalam golongan ketel-ketel pipa air biasa ialah :
   - Ketel Seksi (*Section boiler*) dan beberapa variannya.
   - Ketel Yarrow dan ketel-ketel berpipa terjal serta beberapa variannya.
   - Ketel –D (*D-boiler)* atau ketel dengan dua drum.
   - Ketel Pancaran dan beberapa variannya
3. Ketel-ketel Pipa Air dengan Perencanaan Khusus. Ketel-ketel pipa jenis ini direncanakan dengan berbagai maksud, antara lain :
   - Digunakan untuk bertekanan tinggi dan tekanan superkritis, melebihi 225 kg/cm^2.
   - Untuk dapat menggunakan bahan nuklir,
   - Untuk dapat menggunakan air dengan kualitas agak rendah,
   - Untuk memperbesar beban tungku ketel atau untuk memperbesar angka perpindahan panasnya.

3. Metodologi

3.1. Analisa Bahan Bakar

Untuk menghasilkan uap pada suatu unit ketel uap dibutuhkan sejumlah panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Rumusan dari analisa bahan bakar dapat dilihat dibawah ini.

3.1.1.1. Nilai kalor bahan bakar

Nilai kalor dari bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan rumus *Petit* dan *Dulong* sebagai berikut:

$$HHV = 33195\,C + 121423\,(H_2 - O_2/8) + 10468\,S \quad (kJ/kg)$$

$$LHV = 33195\,C + 121423\,(H_2 - O_2/8) + 10468\,S - 2512\,(W + (9 \times O_2/8)) \quad (kJ/kg)$$

3.1.1.2. Konsumsi bahan bakar

Menurut Menurut Muin, Syamsir A (1988:143) Nilai konsumsi bahan bakar dapat dihitung menggunakan:

$$W_f = \frac{W_s(h_{uap} - h_w)}{LHV \,.\, \eta} \quad kg/jam$$

Dimana:

W_f = Kebutuhan bahan bakar (kg/jam)
W_s = Berat produksi uap (kg/jam)
h_{uap} = Entalpi uap pada temperatur (kJ/kg)
h_w = Entalpi air pada temperatur (kJ/kg)
LHV = Nilai kalor atas bahan bakar kJ/kg
η = efisiensi ketel (%)

3.1.1.3. Produksi gas asap

Menurut Menurut Muin, Syamsir A (1988:181), untuk mengetahui berat total gas asap yang keluar dari cerobong dari hasil pembakaran sempurna 1 kg bahan bakar adalah dengan cara melakukan penjumlahan, yaitu:

$$W = W\,CO_2 + W\,H_2O + W\,SO_2 + W\,N_2 \quad (kg/kg.b.b)$$

3.2. Ruang bakar

Perhitungan volume ruang bakar dapat menggunakan rumus berikut:

$$V = \frac{LHV \; x \; W_f\,(1 - Luc) + H_f}{Hv}$$

Dimana:

V = Volume ruang bakar (m^3)
LHV = Nilai kalor bawah bahan bakar (kJ/kg)
W_f = Jumlah kebutuhan bahan bakar (kg/jam)
Luc = Kerugian pembakaran (asumsi = 0,04)
H_f = Panas sensibel dari bahan bakar (kJ/kg)
Hv = Penyerapan panas pada ruang bakar (kkal/Nm^3)

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

3.3. Temperatur pembakaran teoritis

Menurut Muin, Syamsir A, temperatur pembakaran teorotis pada ruang bakar adalah:

$$T_1 = \frac{(LHV)\ x\ \eta_f}{V_g\ x\ C_p}$$

Dimana:

T_1 = Temperatur pembakaran teoritis (°C)
LHV = Nilai pembakaran terendah (kJ/kg)
C_p = Panas jenis gas asap pada (kJ/K)
Vg = Volume gas asap (m^3 std/kg.bb)
η_f = efisiensi dapur (0,90 + 0,97)

3.4. Suhu efektif nyala api

untuk menghitung besarnya suhu efektif dari nyala api pada ruang bakar boiler dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T_f = \sqrt[4]{T_1^2\ .\ T_2^2}$$

Dimana:

T_1 = temperatur teoritis pembakaran
T_2 = temperatur dinding dapur

4. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil perhitungan rumusan diatas, maka diperoleh spesifikasi unit boiler yang dirancang sebagai berikut :

TYPE DAN KAPASISTAS	
Tipe boiler	: pipa air
Kapasitas uap	: 100 ton/jam
Temperature dan tekanan uap operasi	: 100 -120°C; 1,5 – 2,0 bar

DIMENSI UKURAN KETEL :	
Diameter ketel	:2 m
Panjang ketel	: 10 m
Bahan dinding ketel	: carbon steal SA-299
Bahan isolasi	: asbes

DIMENSI UKURAN BIDANG PEMANAS	
Bahan pipa	: steamless carbon stell
Diameter luar (DO)	: 7,30 cm
Diameter dalam (DI)	: 6,26 cm
Tebal pipa (t)	: 0,52 cm
Jarak antara sumbu (b)	: 3xDO = 21,9 cm
Panjang efektif (L)	: 5,2 m
Jumlah baris	: 18 baris
Jumlah pipa	: 252 buah

DIMENSI RUANG BAKAR	
Volume ruang bakar	: 47,76 m^3
Panjang ruang bakar	: 3,8 m^3
Diameter ruang bakar	: 2 m^3

DIMENSI CEROBONG:	
Panjang cerobong	: 20 m
Diameter atas cerobong	: 0,5 m
Diameter bawah cerobong	: 2,12 m
Nilai tarikan asap	: 43 m/s

5. Kesimpulan

1. Unit boiler cukup efisien dengan capaian efisiensi thermal 85%
2. Bahan bakar yang digunakan untuk unit boiler tersedia cukup baik pada daerah Aceh Selatan.
3. Unit boiler yang menggunakan bahan bakar biomassa sawit pada daerah Aceh Selatan dapat digunakan sebagai pengganti pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar konvensional.

4. Daftar Pustaka

5. Babcock dan Wilcock, 1972, *Steam / Its Generation and use*, edisi ke-38.
6. Muin. A, Syamsir, 1988, Pesawat-pesawat Konversi Energi (Ketel Uap), Cv. Rajawali, Jakarta.
7. Incropera, F. P and David P. DeWitt, 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, *Sixth Edition*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
8. Djoko Setyarjo,M.J, 1987, Ketel Uap, Edisi Pertama, PT.Pradnya Paramita, Jakarta.
9. Muluk Chairul, 2011 Pemanfaatan Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Pembangkit Listrik, Jakarta.
10. Anonim, Panduan Untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa, The Japan Institute of Energy.
11. Siregar,H.P, 2001 Pengembangan Ketel Uap untuk Industri Kecil, Prosiding Seminar Nasional Peran Teknologi Informasi dalam pengembangan Usaha Kecil Menengah, Forum Komunikasi Teknologi Tepat Guna Jawa Timur, Surabaya.

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

12. Rusnato, Perencanaan Ketel Uap Tekanan 6 Atm Dengan Bahan Bakar Kayu Untuk Industri Sederhana.
13. Suyatno, 1991 Perencanaan Ketel Uap Kapasitas 2500 kg/jam Uap Jenuh Pada Tekanan 15 Bar Absolute Dengan Bahan Bakar Baggase, Semarang.
14. Anonim, 2010, Panduan dan Format Penulisan Proposal TGA – Karya Ilmiah – TGA, Jurusan Teknik Mesin Unsyiah, Darussalam.

□TAR

© 2014 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra