

AMPAS TEBU SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF PADA PUSAT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)

“BAGASSE AS AN ALTERNATIVE FUEL IN STEAM POWER PLANTS”

Annisa Purwati¹, Prastyono Eko Pambudi², Wiwik handajadi³

¹Mahasiswa, ²Pembimbing 1 dan ³Pembimbing 2

Jurusan Teknik Elektro IST AKPRIND Yogyakarta

Jalan Kalisahak 28, Komplek Balapan Tromol Pos 45, Yogyakarta 55222

Telp. (0274) 563029 Email : Annisa_A3@rocketmail.com

Abstrak

As the increase of population and the depletion of fossil fuel reserves, the new alternative fuels and renewable and environmentally friendly, effective and efficient indispensable. One source of new alternative and renewable energy is biomass bagasse. At the center of the fuel steam power is an important part of the process of generating electricity. The type of fuel is also always a consideration because fuel is the main device of pemangkitan steam power. In addition to solar bagasse also be an option as plant fuel. Results testers calorie fuel bagasse = 4178,272 cal / g coal = 5619,1654 cal / g. from testing conducted quality analysis of fuel needed to power 4800 it cost and environmental impact of bhana fuel. The analysis shows that the bagasse can be used as the fuel is more economical in terms of fuel procurement costs.

Key words: Bagasse, sugar, energy alternative

Seiring bertambahnya jumlah penduduk dan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil, maka bahan bakar alternatif yang baru dan terbarukan serta ramah lingkungan, efektif dan efisien sangat diperlukan. Salah satu sumber energi alternatif baru dan terbarukan tersebut adalah biomassa ampas tebu. Pada pusat listrik tenaga uap bahan bakar merupakan bagian penting dari perangkat proses pembangkit listrik. Jenis bahan bakar juga selalu menjadi pertimbangan karena bahan bakar merupakan perangkat utama dari pemangkitan listrik tenaga uap. Selain solar ampas tebu juga menjadi pilihan sebagai bahan bakar pembangkit. Hasil pengujian kalori bahan bakar ampas tebu = 12634734753 kal/g batu bara= 2352533546 kal/g. dari pengujian yang dilakukan analisa kualitas bahan bakar yang dibutuhkan untuk daya 4800 biaya yang dibutuhkan dan dampak lingkungan dari bhana bakar. Hasil analisa menunjukkan bahwa ampas tebu dapat digunakan sebagai bahan bakar yang lebih ekonomis dari segi biaya pengadaan bahan bakar.

Kata kunci : Ampas tebu, gula, energi alternative

1. PENDAHULUAN

Pengertian Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan, karena efisiensinya tinggi sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik.

Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

- Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi. Energi kimia dapat diperoleh melalui reaksi, artinya energi yang dikandung oleh suatu zat kimia tersebut hanya bisa dilepaskan setelah melalui proses reaksi
- Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
- Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik. Energi mekanik dalam termodinamika didefinisikan sebagai suatu energi yang dapat digunakan untuk mengangkat suatu benda. Energi mekanik dapat disimpan dalam bentuk energi potensial dan energi kinetik.

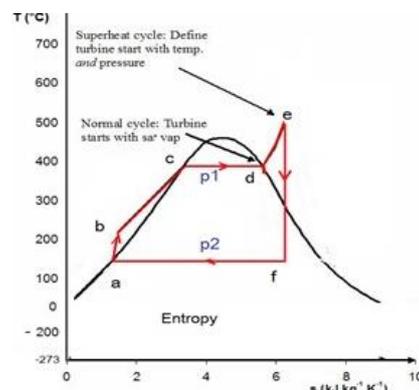
2. Landasan Teori

Jenis pembangkit yang digunakan disini adalah jenis pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). PLTU adalah pembangkit yang menggunakan tenaga uap sebagai penggerak turbin, dimana poros dari turbin ini dikopel dengan poros generator dan supaya konservasi energi untuk peningkatan efisiensi system.

2.1 Siklus Rankine

Siklus Merupakan rangkaian sebuah proses dimana dimulai dari suatu tingkat kondisi yang akan kembali ke

tingkat kondisi semula dan selalu berulang. Pada pembangkit tenaga uap, fluida yang mengalami proses tersebut adalah air. Air berfungsi sebagai fluida kerja. Air dalam siklus kerjanya mengalami proses-proses pemanasan, penguapan, ekspansi, pendinginan dan kompresi. Siklus Rankine sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, boiler, turbin dan kondensor.



Gambar 2. 1 Diagram T – s Siklus PLTU (Siklus Rankine)

1. a – b : Air dipompa dari tekanan P_2 menjadi P_1 . Langkah ini adalah langkah *kompresi isentropis*, dan proses ini terjadi pada pompa air pengisi.
2. b – c : Air bertekanan ini dinaikkan temperaturnya hingga mencapai titik didih. Terjadi di LP heater, HP heater dan Economiser. .
3. c – d : Air berubah wujud menjadi uap jenuh. Langkah ini disebut *vapourising* (penguapan) dengan proses *isobar isothermis*, terjadi di boiler yaitu di *wall tube (riser)* dan *steam drum*.
4. d – e : Uap dipanaskan lebih lanjut hingga uap mencapai temperatur kerjanya menjadi uap panas lanjut (*superheated vapour*). Langkah ini terjadi di *superheater* boiler dengan proses *isobar*.
5. e – f : Uap melakukan kerja sehingga tekanan dan

temperaturnya turun. Langkah ini adalah langkah *ekspansi isentropis*, dan terjadi didalam turbin.

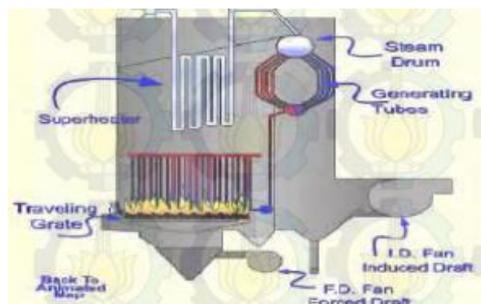
6. $f - a$: Pembuangan panas laten uap sehingga berubah menjadi air kondensat. Langkah ini adalah *isobar isothermis*, dan terjadi didalam kondensor.

2.2 Komponen utama pada PLTU

2.2.1 Ketel Uap / Boiler

Ketel uap yang konvertibel adalah ketel uap yang menggunakan sistem pengapian otomatis yaitu bisa menggunakan bahan bakar minyak, bahan bakar gas dan bahan bakar padat secara bersamaan dan bisa diubah-ubah setiap saat.

Boiler atau ketel uap adalah suatu perangkat mesin yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap. Proses perubahan air menjadi uap terjadi dengan memanaskan air yang berada didalam pipa-pipa dengan memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar. Pembakaran dilakukan secara kontinyu didalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar.

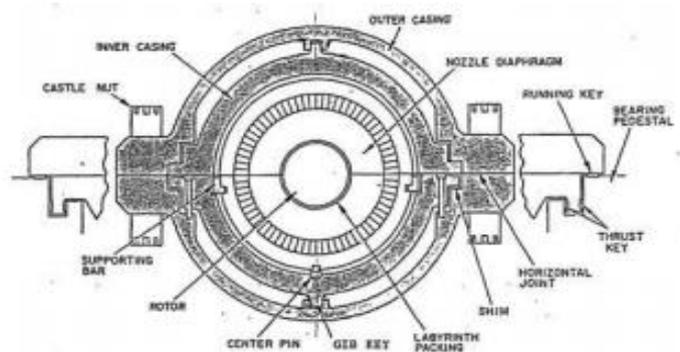


Gambar 2. 3 Boiler dengan bahan bakar ampas tebu

2.2.2 Turbin Uap

Turbin merupakan salah satu alat pengkonversi energi yang termasuk jenis mesin penggerak utama, dimana energi fluida keija dipergunakan langsung untuk memutarinya. Dengan adanya energi kinetis

uap yang digunakan langsung untuk memutar turbin, maka dapat dikatakan juga bahwa kemajuan teknologi turbin banyak dipengaruhi oleh kondisi uap yang dihasilkan. Tujuan yang ingin dicapai oleh teknologi turbin adalah mengambil manfaat sebesar-besarnya dari energi fluida kerja yang tersedia, mengubahnya menjadi



energi mekanis dengan efisiensi maksimum, untuk lebih jelasnya lihat pada Gambar 2.2

Gambar 2.2 Turbin Uap

2.2.3 Alternator/Generator

Alternator/generator merupakan alat pembangkit tenaga listrik yaitu merubah tenaga mekanis dari turbin diubah menjadi tenaga listrik. Umumnya alternator/generator yang digunakan adalah 3 fase. Suatu alat listrik yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik dapat bergerak mula yang memutar *rotor generator* pada suatu putaran tertentu sebagai prime mover. Penggerak mula yang banyak dipakai adalah tenaga engine diesel.

Bagian generator yang tidak bergerak atau statis dinamakan stator sedangkan yang bergerak berputar dinamakan rotor tersambung pada sebuah penggerak mula dan diputar, medan magnet yang turut berputar akan memotong-motong kumparan (lilitan) pada stator maka pada kumparan stator akan timbul gaya gerak listrik (GGL).



Gambar 2. 4 Alternator atau Generator

2.2.4 Superheater

Ialah suatu alat yang dipanaskan oleh gas-gas asap, uap kenyang yang diperoleh dari ketel uap dimasukkan kedalam superheater ini sehingga dari dalamnya kita memperoleh uap kering (uap dipanaskan lanjut). Superheater ini biasanya disebut juga pemanas uap lanjut.

2.2.5 Economizer

Ialah suatu alat untuk menaikkan temperatur air pengisian air ketel. Economizer ini dipanaskan oleh gas-gas asap. Air pengisi ketel terlebih dahulu dimasukkan kedalam economizer sehingga kita mendapatkan air pengisi ketel yang sudah panas. Hal ini berguna untuk lebih mudahnya mengubah air tersebut menjadi uap. Economizer ini disebut juga pemanasan pendahuluan dari air pengisi ketel uap. Di dalam *economiser* air menyerap panas gas buang yang keluar dari *superheater* sebelum dibuang ke atmosfer melalui cerobong.



Gambar 2. 5 Economiser

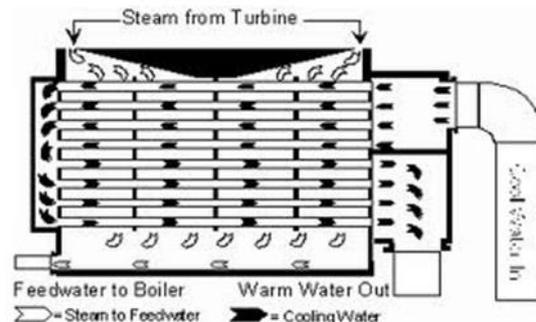
2.2.6 Airheater

Ialah suatu alat yang berguna untuk memanaskan udara yang digunakan untuk pembakaran. Airheater ini dipanaskan oleh

gas-gas asap. Jadi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar sedapat mungkin seluruhnya dipakai supaya jangan banyak panas yang terbuang. Sebab panas yang terbuang berarti suatu kerugian panas. Pabrik Gula Madukismo tidak memiliki Airheater.

2.2.7 Kondensor

Ialah alat yang dipakai untuk mendinginkan uap. Uap yang sudah keluar dari turbin dialirkan ke Kondensor untuk didinginkan dan uap tersebut akan menjadi titik-titik air dan akhirnya akan menjadi air kembali yang bisa dimanfaatkan untuk kepentingan PLTU maupun kepentingan lainnya. Prinsip kerja Kondensor proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (tubes). Uap mengalir di luar pipa-pipa (*shell side*) sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa (*tube side*). Kondensor seperti ini disebut kondensor tipe surface (permukaan).



Gambar 2.6 Prinsip kerja kondensor

3. Metode penelitian

Ruang Lingkup materi penelitian ini mengkaji tentang unjuk kerja system pengoprasian pembangkit PLTU. Materi kajian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a Ampas tebu digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU).
- b Komponen-komponen utama dan komponen penunjang alat yang digunakan dalam PLTU dengan bahan bakar ampas tebu.

- c Siklus Rankine yang digunakan pada PLTU dengan bahan bakar ampas tebu.
- d Efisiensi system pada PLTU dan cara peningkatannya.

3. 1 Pengumpulan Data Lapangan

Data-data diperoleh dari PG.Madu Baru Yogyakarta dengan Alamat kelurahan Tirtonirmolo kecamatan Kasihan kabupaten Bantul, Tromol Pos 49 Yogyakarta. Penulis mengumpulkan beberapa metode pengumpulan data tersebut diantara lain :

3. 3. 1 Data Primer

Data primer merupakan hasil pengamatan dan pengujian secara langsung di lapangan atau melaksanakan sebagian pekerjaan sebagai pembanding. Untuk memperoleh data primer tersebut penulis menggunakan 2 metode, yaitu:

- a Metode Survey
Dengan cara mengajukan pertanyaan pada pembimbing, petugas bagian yang berwenang.
- b Metode Observasi
Dengan cara melakukan pengerjaan, pengamatan dan pencatatan secara sistematis terhadap gejala yang dihadapi.
- c Metode Wawancara
Metode ini adalah metode pengumpulan data atau informasi melalui tanya jawab dengan pihak yang bersangkutan sesuai data yang diperlukan.

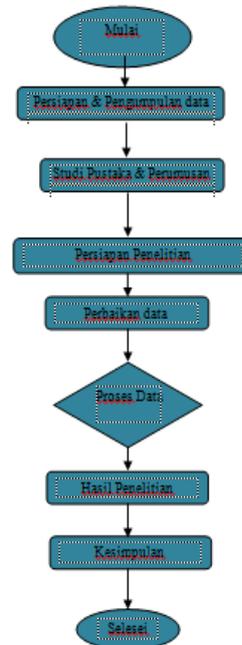
3. 3. 2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang dapat secara langsung dengan cara mempelajari buku-buku literature, jurnal, maupun dokumen serta keterangan yang

didapat dari instansi atau perusahaan yang bersangkutan.

3. 4 Diagram Alir

Penulisan dilakukan dilakukan dengan menggunakan metode studi kasus (penelitian) mengenai studi penelitian pembangkit tenaga listrik PLTU PG. Madu Baru Yogyakarta. Sedangkan bahan diperoleh melalui studi kepustakaan dan data perusahaan yaitu mempelajari buku-buku literature yang berkaitan dengan bidang yang dikemukakan serta dengan melakukan konsultasi dan wawancara dengan pihak yang berkompeten diperusahaan tertentu. Adapun analisis dalam pembahasan ini mengunakan analisis perhitungan representasi analisis dalam bentuk grafis.



Gambar 3.1 Diagram Alir Jalannya Penelitian

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4. 1 Perbandingan Ampas tebu dengan bahanbakar Lain pada PLTU terutama ampas tebu dan batu bara

Sebagai acuan untuk mengetahui perbandingan kadar-kadar yang terkandung pada pembangkit tiap PLTU dengan bahan

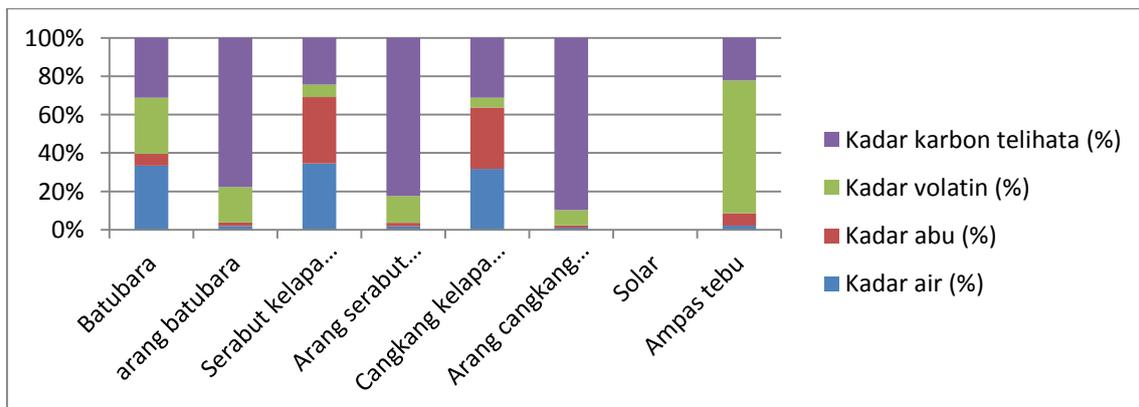
bakar berbeda, maka dapat disimpulkan apakah pembangkit ampas tebu lebih emiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar lain. Bahan Bakar lain yang digunakan adalah batu bara,serabut kelapa sawit, solar dll

Tabel 4.1 Perbandingan kandungan yang terdapat dalam Bahan bakar yang biasa digunakan pada PLTU

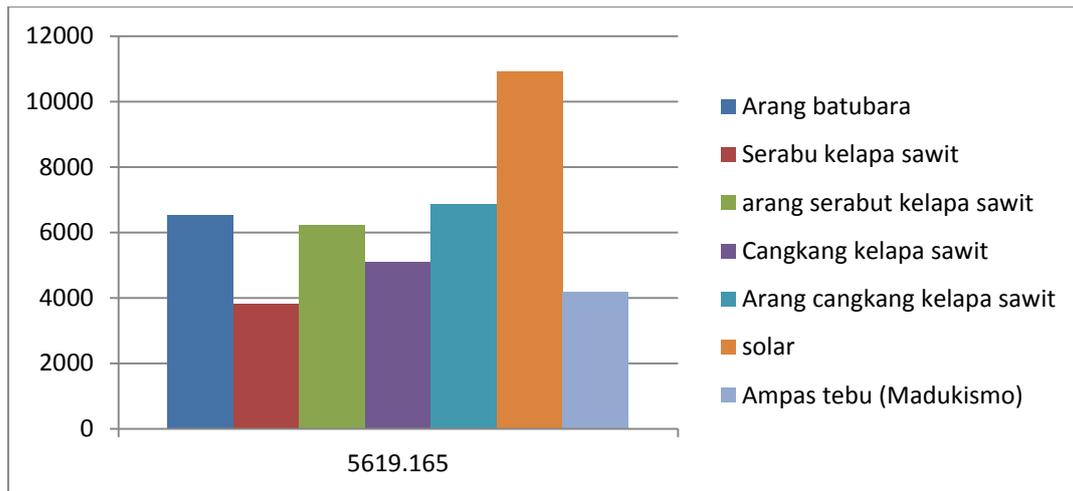
No	Bahan	Kadar Air (%)	Kadar abu (%)	Kadar volatin (%)	Kadar karbon terlihat (%)	Nilai kalor (kal/gr)
1	Batubara	4,7712	8,7687	41,9108	44,5493	5619,1654
2	Arang Batubara	1,3986	13,2286	29,2518	56,1203	6543,5030
3	Serabut Kelapa sawit	25,3267	4,8379	52,0113	17,8219	3809,7001
4	Arang serabut kelapa sawit	1,5683	11,9753	15,9835	70,4728	6231,2293
5	Cangkang kelapa sawit	21,7746	3,5164	53,3612	21,3472	5112,5682
6	Arang cangkang kelapa sawit	0,9948	6,8782	15,5319	76,7729	6877,3256
7	Solar	-	-	-	-	10935,37
8	Ampas Tebu	2.195	6.447	69.166	22.192	4124,272

Dari table diatas dapat kita lihat hasil penelitian, data tersebut merupakan akhir dari hasil penelitian. Nilai kalor yang didapat adalah nilai kalor dari masing-masing bahan uji atau sample dengan kondisi kadar air, kadar abu, kadar volatile dan kadar karbon (*fixed carbon*). Jenis konversi energi pembangkit listrik dengan menggunakan biomassa, mempunyai kandungan kalori yang tidak begitu besar

dibanding dengan PLTU batubara, tetapi bakar dari biomassa merupakan bahan bakar limbah yg diproduksi sendiri, sehingga tidak dapat habis selama masa giling Solar atau high speed diesel (HSD) tidak dilakukan pengujian kadar air,kadar abu, kadar volatile dan kadar carbon (*fixed carbon*), karena solar merupakan bahan cairan yang tidak memiliki unsur-unsur tersebut.



Gambar 4.1 Grafik perbandingan kadar air, kadar abu, kadar volatile, dan kadar karbon (*fixed carbon*).



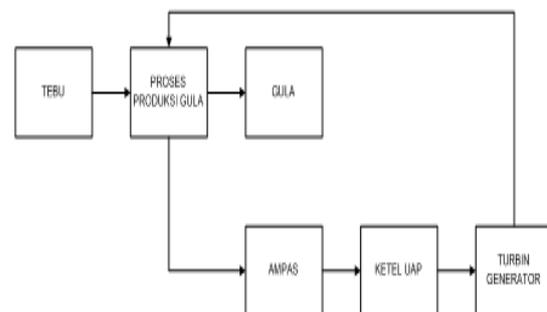
Gambar 4.2 Grafik perbandingan nilai kalor bahan/ sample

Pada PT. Madubaru PG.PS Madukismo dalam memenuhi kebutuhan energi listrik dilakukan dengan cara pembangkitan sendiri, terutama ditekankan pada pemikiran potensi ampastebu yang digunakan sebagai bahan bakar, penerapan Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) ampastebu yang diharapkan paling sedikit dapat memenuhi kebutuhan energi listrik pada pabrik gula serta memberikan gambaran mengenai perbandingan nilai ekonomis dari PLTU ampastebu.

4. 1.1 Ampas tebu sebagai bahan bakar alternatif

Tebu merupakan sumber energi potensial untuk menghasilkan listrik. Di beberapa negara, industri gula menghasilkan surplus listrik sehingga dapat dijual ke perusahaan listrik setempat. Tebu dikenal sebagai tanaman multiproduk. PG.Madukismo sendiri mempunyai tenaga uap yang berupa ketel uap dengan bahan bakar berupa ampastebu, kayu bakar, fuel oil (FO). Kebutuhan akan uap tersebut diperoleh dari ketel uap tipe water tube boiler atau ketel uap pipa api. Kebutuhan uap untuk proses maupun untuk penggerak alat produksi, energi tersebut diperoleh dari

pembakaran Bagas (ampasTebu) yang diproses di stasiun Ketelan.



Gambar 4.3 Siklus sederhana proses ampas tebu.



Gambar 4.4 Ampas Tebu

Tabel 4. Ampas Tebu yang di hasilkan di PG.Madukismo dari 2 jenis katel

- Kapasitas giling = 33.000 ku/hr
- Uap % tebu = 58%
- Uap yang dibutuhkan = 2.160 ku/jam = 90 ton/jam
- Ampas % tebu = 26,25 %
- Ampas yang dihasilkan = 687,5 ku/jam
- Kg uap/kg tebu giling = 0,586
- Tebu giling = 5.000.000 /120 hari = 41666.667 ku/hari

	SATUAN	KETEL
- Pemakaian uap (steam flow)	Ton/jam	81
- Effisiensi ketel	%	70
- Tekanan pada produk uap	Ato	21
- Suhu pada produk uap	°C	350
- Uap yang dihasilkan boiler	Ton/jam	80
- Suhu udara masuk superheater	°C	325
- Suhu udara sblm masuk superheater	°C	200
- Intalphi uap	Kcal/kg	731,0
- Intalphi air pengisi ketel	Kcal/kg	115,0
- Pol ampas	%	2,78
- Zat kering ampas	%	49
- Kondensat yang di recycle		107

Dalam operasinya, Pabrik Gula Madukismo mengolah tebu berkapasitas sekitar 33.000 ku/hari untuk dijadikan gula. Jumlah ampas yang dihasilkan tergantung pada kadar sabut tebu. Semakin tinggi kadar sabut yang terkandung di dalam tebu, semakin banyak jumlah ampas yang dihasilkan. Jumlah ampas yang dihasilkan berkisar antara 26,25 % (tergantung kadar sabut) dari jumlah tebu yang digiling. Sehingga rata-rata jumlah ampas tebu yang dihasilkan adalah sekitar 41666.667 ku/hari. Dari jumlah ampas tebu yang dihasilkan dari penggilingan setiap hari, sebagian besar digunakan untuk pembakaran boiler. Sehingga bisa menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin generator.

4.1.1.1Panas yang dihasilkan oleh ampas (bagas)

Perhitungan Neraca Masa

$$\begin{aligned}
 \text{Tebu giling} &= 5.000.000 \text{ ku}/120 \text{ hari} \\
 &= \\
 &= \frac{5.000.000}{120 \text{ hari}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\
 &= 1.736.111,1 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

4. 5. 1. 2 Entalphi ampas tebu di PT.Madubaru

Nilai 1 kalor setara dengan 4,2 joule, maka kalor energi yang dibutuhkan adalah sebesar

$$\begin{aligned}
 4178 \text{ kal/g} &= 4,2 \text{ kkal/g} \\
 &= 4200 \text{ kkal/kg} \times 4,2
 \end{aligned}$$

$$= 17.640 \text{ kJ/kg}$$

4. 1. 1. 2 Energi kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik 4.800 KW jika $\cos\theta = 1$ (dalam keadaan ideal)

$$= 4800 \text{ kJ/s}$$

$$= 4800 \text{ kJ/s} \times 3600$$

$$Q_1 = 17.280.000 \text{ kJ/jam}$$

Jadi energi kalor yang dibutuhkan untuk membangkitkan energy listrik sebesar 4.800 Kw adalah 17.280.000 kJ/jam

Dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini

$$Q_1 = m \times H$$

Maka dapat dihitung

$$Q_1 = m \times H$$

$$17.280.000 \text{ kJ/jam} = m \times H$$

$$m = \frac{17.280.000 \text{ kJ/jam}}{17.640 \text{ kJ/kg}}$$

$$m = \frac{17.280.000 \text{ kJ/jam}}{17.640 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 979,6 \text{ kg/jam}$$

Diketahui :

$$Q_1 = 17.280.000 \text{ kJ/s}$$

$$H = 17.650 \text{ kJ/kg}$$

Jadi ampas tebu yang dibutuhkan untuk membangkitkan energi listrik sebesar 4800 Kw adalah 979,6 kg/jam, dalam keadaan ideal.

4. 1. 1. 3 Energi kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap

Jika tidak ada energi yang terbuang selama proses konversi, kalor yang dibutuhkan untuk mengubah air menjadi uap adalah sebesar :

$$\text{Suhu air} = 30^\circ\text{C} (t_1)$$

$$\text{Suhu uap} = 350^\circ\text{C} (t_2)$$

$$C_{air} = 4,2 \times 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \text{ (dari tabel)}$$

$$m_{air} = 1600 \text{ kJ/jam untuk 1 ketel}$$

$$\text{untuk 5 ketel} = 1600 \text{ kJ/jam} \times$$

$$= 80.000 \text{ kJ/jam}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

$$= 350^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}$$

$$= 320^\circ\text{C}$$

Maka dapat dicari dengan persamaan dibawah

$$Q_2 = m \times C \times \Delta t$$

$$= 80.000 \text{ kg/jam} \times 4,2 \text{ kJ/kg} \times 320$$

$$= 107.520.000 \text{ kJ/jam}$$

Jadi energy kalor yang dibutuhkan untuk mengubah air adalah 107.520.000 kJ/jam

4. 1. 1. 4 Total energi kalor yang dibutuhkan oleh PLTU untuk menghasilkan energi listrik sebesar 4800 KW adalah

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2$$

$$= 17.280.000 \text{ kJ/jam} + 107.520.000 \text{ kJ/jam}$$

$$= 124.800.000 \text{ kJ/jam}$$

4. 1. 1. 5 Total ampas tebu yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi kalor sebesar Q_{total} adalah

$$Q_{total} = m_{at} \times H_{at}$$

maka

$$124.800.000 = m_{at} \times 17.640 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{at} = \frac{124.800.000}{17.640}$$

$$= 7.074,83 \text{ kg/jam}$$

$$= 7 \text{ ton/jam}$$

Jika efisiensi PLTU sebesar 100% maka dibutuhkan

Asumsi efisiensi PLTU 30%, maka energi kalor yang dibutuhkan PLTU dapat dihitung dengan persamaan

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$\text{maka } \eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$0,3 = \frac{124.800.000}{Q_{in}}$$

$$Q_{in} = \frac{12.800}{0,3}$$

$$Q_{in} = 416.000.000 \text{ kJ/jam}$$

Jika efisiensi PLTU hanya sebesar 30%, maka energi kalor yang dibutuhkan adalah sebesar 416.000.000 kJ/jam
 Ampas tebu yang dibutuhkan jika efisiensi PLTU 30% adalah

$$\begin{aligned}
 Q_{total\ 2} &= m_{at} \times H_{at} \\
 m_{at} &= \frac{Q_{total\ 2}}{H_{at}} \\
 &= \frac{416.000.000}{17.640} \\
 &= 23.582,76 \text{ kg/jam} \\
 &= 23,4 \text{ ton/jam}
 \end{aligned}$$

Rata-rata ampas tebu yang dipakai untuk menghasilkan daya tersebut sebanyak 23,4 ton ampas tebu/jam. Perbedaan yang sangat besar antara energi ideal yang terkandung dalam ampas tebu dan energi listrik yang dihasilkan di lapangan karena pembangkit ini memiliki efisiensi yang sangat rendah. Sehingga ada cukup banyak energi yang tidak terkonversi menjadi listrik. Bahwa dalam proses transfer panas/ energi tidak mungkin tidak ada energi yang terbuang ke lingkungan atau dengan kata lain tidak mungkin ada sistem termodinamika yang dapat terisolasi sempurna. Karena itu, efisiensi suatu sistem termodinamika selalu memiliki nilai dibawah 1 atau dibawah 100%. Efisiensi 100% berarti bahwa energi yang masuk ke sistem sepenuhnya diubah menjadi kerja.

4. 1. 1. 6 Analisa biaya bahan bakar ampas tebu

Sesuai kondisi penjualan ampas tebu dari distributor, harga ampas tebu di akhir tahun 2014 adalah Rp 200/kg. Jika untuk membangkitkan listrik 4800 Kw membutuhkan 23,4 ton maka kalkulasi biaya yang diibuthkan untuk pengadaan ampas tebu sebagai bahan bakar sebesar

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kg ampas tebu} &= \text{Rp } 200 \\
 23.000 &= 23.400 \times 200 \\
 &= 4.680.000/\text{jam}
 \end{aligned}$$

4.1.2 Batu bara sebagai bahan bakar alternative

4. 1. 2. 1 Entalphi Batubara

Nilai 1 kalor setara dengan 4,2 joule, maka kalor energi yang dibutuhkan adalah sebesar

$$\begin{aligned}
 5619 \text{ kal/g} &= 5,62 \text{ kkal/g} \\
 &= 5620 \text{ kkal/kg} \times 4,2 \\
 &= 23.604 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

4. 1. 2. 3 Energy kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik

$$\begin{aligned}
 4.800 \text{ KW jika } \cos\theta = 1 \text{ (dalam keadaan ideal)} \\
 &= 4800 \text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

$$= 4800 \text{ kJ/s} \times 3600$$

$$Q_1 = 17.280.000 \text{ kJ/jam}$$

Jadi energi kalor yang dibutuhkan untuk membangkitkan energy listrik sebesar 4.800 Kw adalah 17.280.000 kJ/jam

Dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini

$$Q_1 = m \times H$$

Maka dapat dihitung

$$Q_1 = m \times H$$

$$17.280.000 \text{ kJ/jam} = m \times H$$

$$m = \frac{m \times 17.640 \text{ kJ/kg}}{17.280.000 \text{ kJ/jam}}$$

$$m = \frac{17.280.000 \text{ kJ/jam}}{236.040 \text{ kJ/kg}}$$

$$= 73,208 \text{ kg/jam}$$

Diketahui :

$$Q_1 = 17.280.000 \text{ kJ/s}$$

$$H = 236.040 \text{ kJ/kg}$$

Jadi ampas tebu yang dibutuhkan untuk membangkitkan energi listrik sebesar 4800 Kw adalah 73,208 kg/jam, dalam keadaan ideal.

4. 1. 2. 4 Energi kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap

Jika tidak ada energi yang terbuang selama proses konversi, kalor yang dibutuhkan untuk mengubah air menjadi uap adalah sebesar :

$$\text{Suhu air} = 30^\circ\text{C} (t_1)$$

$$\text{Suhu uap} = 350^\circ\text{C} (t_2)$$

$$C_{air} \text{ (dari tabel)} = 4,2 \times 10^3 \text{ j/kg}^\circ\text{C}$$

$$m_{air} = 1600 \text{ kj/jam untuk 1 ketel}$$

$$\begin{aligned} \text{jadi untuk 5 ketel} &= 1600 \text{ kj/jam} \times 5 \\ &= 80.000 \text{ kj/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta t &= t_2 - t_1 \\ &= 350^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} \\ &= 320^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka dapat dicari dengan persamaan dibawah

$$\begin{aligned} Q_2 &= m \times C \times \Delta t \\ &= 80.000 \text{ kg/jam} \times 4,2 \text{ kj/kg} \times 320 \\ &= 107.520.000 \text{ kj/jam} \end{aligned}$$

Jadi energy kalor yang dibutuhkan untuk mengubah air adalah 107.520.000 kj/jam

4. 1. 2. 5 Total energi kalor yang dibutuhkan oleh PLTU untuk menghasilkan energi listrik sebesar 4800 KW adalah

$$\begin{aligned} Q_{total} &= Q_1 + Q_2 \\ &= 17.280.000 \text{ kj/jam} + 107.520.000 \text{ kj/jam} \\ &= 124.800.000 \text{ kj/jam} \end{aligned}$$

4. 1. 2. 6 Total ampas tebu yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi kalor sebesar Q_{total} adalah

$$Q_{total} = m_{at} \times H_{at}$$

maka

$$\begin{aligned} 124.800.000 &= m_{bb} \times 236.040 \text{ kj/kg} \\ m_{bb} &= \frac{124.800.000}{236.040} \\ &= 5287,24 \text{ kg/jam} \\ &= 5,3 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

Jika efisiensi PLTU sebesar 100% maka dibutuhkan

Asumsi efisiensi PLTU 30%, maka energi kalor yang dibutuhkan PLTU dapat dihitung dengan persamaan

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$\text{maka } \eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

$$0,3 = \frac{124.800.000}{Q_{in}}$$

$$Q_{in} = \frac{12.800}{0,3}$$

$$Q_{in} = 416.000.000 \text{ kj/jam}$$

Jika efisiensi PLTU hanya sebesar 30%, maka energi kalor yang dibutuhkan adalah sebesar 416.000.000 kj/jam

Ampas tebu yang dibutuhkan jika efisiensi PLTU 30% adalah

$$\begin{aligned} Q_{total 2} &= m_{at} \times H_{at} \\ m_{at} &= \frac{Q_{total 2}}{H_{at}} \\ &= \frac{416.000.000}{23.604} \\ &= 17.624 \text{ kg/jam} \\ &= 17,624 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

4. 1. 1. 6 Analisa biaya bahan bakar batu bara

Sesuai kondisi penjualan batubara dari distributor, harga Batubara acuannya HBA Indonesia pada April 2015 adalah US\$64,48/ton (Indonesia Finance,2015). Dari harga pasar tersebut dapat dilakukan kalkulasi biaya yang dibutuhkan untuk pembangkitan listrik, apabila pada analisa kuantitas batu bara untuk menghasilkan daya sebesar

$$\begin{aligned} 1 \text{ ton batu bara} &= \text{US\$ } 65,48 \\ \text{US\$ } 1 &= \text{Rp } 12.833 \end{aligned}$$

maka

$$\begin{aligned} 1,7 \text{ ton/jam} &= 17,624 \times 65,48 \\ &= \$ 1154,02 \end{aligned}$$

$$\text{US\$ } 1 = \text{Rp. } 14.809.538,7$$



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan biaya untuk batu bara dan ampas tebu

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

1. PLTU ini menghasilkan limbah gas dan limbah padat yang bisa menimbulkan dampak negatif pada lingkungan. Limbah cair tidak dihasilkan dari PLTU ini karena uap panas yang dihasilkan setelah melewati turbin digunakan lagi untuk proses pengolahan gula sehingga tidak diperlukan air pendingin. Limbah gas yang dihasilkan hanya gas CO₂. Namun, limbah gas CO₂ yang dihasilkan bisa digunakan untuk proses pengolahan gula menggantikan gas SO₂ sehingga Kadar pencemaran udaranya rendah. Limbah padat yang dihasilkan berupa abu pembakaran.
2. Ampas tebu memiliki kandungan kalori lebih kecil yaitu 4124,272 kal/g dibandingkan dengan bahan bakar lain yang biasa digunakan di Pusat listrik tenaga uap.
3. PLTU Ampas tebu ini adalah listriknya hanya bisa dihasilkan pada waktu hari giling saja. Sebab pada waktu hari giling itu ampas tebu untuk operasi pembangkitan listrik pada PLTU Ampas tebu, bisa dihasilkan. Masa giling di madukismo 6bulan/ tahun atau kurang lebih yang benar – benar aktif rutin selama 120 hari dan menggiling 5.000.000 kwintal tebu PLTU
4. Rata-rata ampas tebu yang dipakai untuk menghasilkan energi 23,4 ton/jam Perbedaan yang sangat besar antara energi ideal yang dipakai 7 ton/jam. ampas tebu dan energi listrik yang dihasilkan di lapangan karena pembangkit ini memiliki efisiensi yang sangat rendah. Sehingga ada cukup banyak energi yang tidak terkonversi menjadi listrik.
5. Perbandingan PLTU Ampas tebu ini lebih ekonomis bila dibandingkan dengan PLTU Batu

Bara dalam hal biaya bahan bakar. Sehingga didapatkan, biaya pembangkitan total PLTU Ampas tebu ini adalah Rp. 4.600.000/jam lebih ekonomis bila dibandingkan dengan PLTU Batu bara, yaitu Rp. 14.809.538,7/jam

5.2 SARAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di PT.Madubaru mengenai Ampas tebu sebagai bahan bakar alternatif pada Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) dapat disampaikan saran sebagai berikut :

Perlu dilakukan peremajaan PLTU Ampas tebu di PT.Madubaru sehingga bisa meminimalisir losses energi dan menghasilkan efisiensi yang maksimal. Perlu dilakukan studi lebih lanjut cara penyimpanan ampas tebu yang baik karena PLTU PT.Madubaru Sangat tergantung pada tersedianya pasokan bahan bakar. Diharapkan energi yang dihasilkan bisa lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

Eddy Santoso, Bambang, *Limbah Pabrik Gula: Penanganan, Pencegahan Dan pemanfaatannya Dalam Upaya Program Langit Biru Dan Bumi Hijau, Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia, Pasuruan, Indonesia*
Hanesya Rio. 2012 . *Skripsi Perbandingan Penggunaan Energi alternative*

Bahan Bakar Serabut (Fiber) dan Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Bahan Bakar Batubara Dan Solar Pada Pembangkit Listrik

- Kadir, A., 2010, *Energi, sumberdaya, inovasi, Tenaga listrik dan potensi ekonomi* edisi ketiga UI-PRESS, Jakarta.
- Marsudi Djiteng. 2008. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta. Graha Ilmu.
- Muin Syamsir A. 1998. *Pesawat Pesawat Konversi Energi Ketel Uap*. Jakarta. Rajawali
- Muslim Supari, dkk. 2008. *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta. Direktorat Pendidikan SMK.
- Moran, Michael J. & Howard N. Saphiro. 2006. *Fundamentals Of Engineering Thermodynamics 5th Edition*. Cheicester : John Wiley and Sons Ltd.
- Pressa Perdana Surya S., 2006. *Studi Pemanfaatan Biomassa Ampas tebu (dan perbandingan dengan batu bara) Sebagai Bahan Bakar pembangkit listrik tenaga uap 1X3MW di Asembagus, kabupaten situbondo (Studi kasus pabrik gula asembagus)*. Surabaya
<http://listrik.files.PLTU.wordpress.com/2010/05.jpg>
http://3.bp.blogspot.com/_9nevJIL/gambar.jpg
<http://ih6.googleeius.com/-jt3pz3ia8DI/uvhs/aats54%turbin.uap.pltu.jpg>