

**ANALISA KERUGIAN PANAS PADA KETEL
UAP PIPA AIR DI PKS PTPN III
TEBING TINGGI DENGAN
KAPASITAS 20 Ton/jam**



TUGAS AKHIR

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Sarjana Untuk
Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Mesin*

Disusun Oleh :

**SUYITNO
08.813.0058**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

MEDAN

2012

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

DAFTAR ISI

	Hal
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
ABSTRAK.....	ix
BABI PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah.....	3
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Ketel Uap.....	6
2.1.1. Pengertian Dasar Ketel Uap.....	9
2.2. Proses Pembentukan Uap.....	10
2.3. Kebutuhan Uap Di Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit.....	13
2.4. Bahan Bakar.....	14
2.4.1. Jenis – Jenis Bahan Bakar.....	14
2.4.2. Bahan Bakar Cangkang.....	15
2.4.3. Sabut.....	15
2.4.4. Nilai Kalor Bahan Bakar.....	16
2.5. Pemakaian Bahan Bakar.....	17

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 20/9/23

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

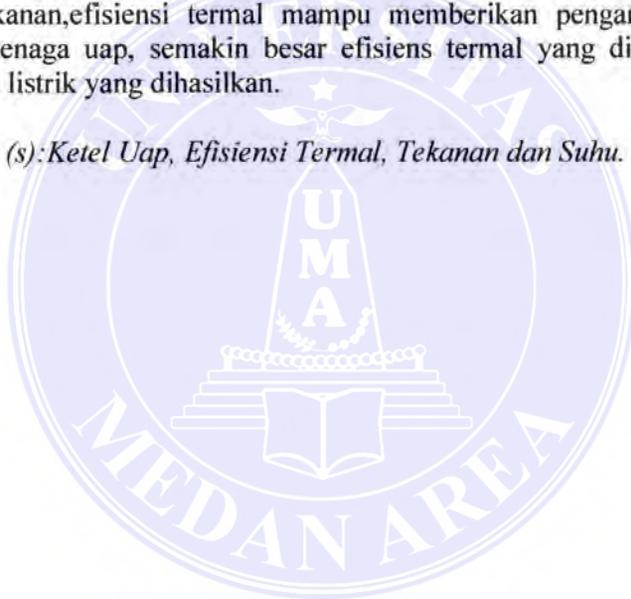
2.6. Kebutuhan Udara Pembakaran.....	17
2.7. Analisa Gas Asap.....	18
2.7.1. Berat Gas Asap.....	20
2.7.2. Volume Gas Asap.....	20
2.8. Energi Kalor Hasil Pembakaran.....	21
2.9. Perpindahan Panas Pada Ruang Bahan Bakar Boiler.....	21
2.9.1. Perpindahan Panas Secara Konduksi.....	21
2.9.2. Perpindahan Panas Secara Konveksi.....	23
2.9.3. Perpindahan Panas Secara Radiasi.....	24
2.10. Kerugian Panas Pada Instalasi Ketel.....	24
2.10.1. Kerugian Gas Asap Kering.....	24
2.10.2. Kerugian Gas Asap Basah.....	26
2.10.3. Kerugian Akibat Bahan Bakar Hidrogen.....	27
2.10.4. Kerugian Karena Abu Masih Mengandung Panas.....	27
2.10.5. Kerugian Panas Akibat Radiasi.....	28
2.11. Nerada Kalor.....	29
2.11.1. Daya Guna Ketel.....	30
2.12. Volume Ruang Bakar.....	30
BAB III Metode Analisa.....	32
3.1. Konsep Penganalisaan.....	32
3.2. Start Penelitian.....	33
3.3. Survey Lapangan.....	33
3.4. Pengumpulan Data.....	33
UNIVERSITAS MEDAN AREA.....	33

3.6. Kesimpulan dan Saran.....	33
BAB IV ANALISA DATA.....	34
4.1. Penggunaan Bahan Bakar.....	34
4.1.1. Nilai Kalor Pembakaran.....	35
4.1.2. Pemakaian Bahan Bakar.....	37
4.1.3. Kebutuhan Udara Pembakaran.....	38
4.1.4. Analisa Gas Asap.....	39
4.1.5. Energi Kalor Hasil Pembakaran Bahan Bakar.....	41
4.1.6. Kelipatan Penguapan.....	41
4.1.7. Perpindahan Panas Pada Ruang Bakar Boiler.....	42
4.1.8. Panas Berguna.....	43
4.2. Kerugian Panas Pada Ketel.....	44
4.2.1. Kerugian Gas Asap Kering.....	44
4.2.2. Kerugian Gas Asap Basah.....	45
4.2.3. Kerugian Panas Akibat Bahan Bakar Hidrogen.....	46
4.2.4. Kerugian Panas Karena Abu Masih Mengandung Panas...	47
4.2.5. Kerugian Paanas Karena Radiasi.....	48
4.3. Neraca Kalor.....	48
4.3.1. Efisiensi Ketel.....	49
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1. Kesimpulan Penulisan.....	50
5.2. Saran Penulisan.....	51
DAFTAR PUSTAKA	53

ABSTRAK

Pembangkit daya tenaga uap merupakan perangkat yang berfungsi sebagai penghasil tenaga dengan memanfaatkan energi potensial uap yang diubah menjadi energi kinetik sehingga dapat memberikan kerja mekanik memutar poros dan menghasilkan daya. Perangkat daya tenaga uap ini memiliki siklus yang bias disebut siklus rankine. Artikel ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu dan tekanan dalam meningkatkan efisiensi termal, kemudian menggambarkan bahwa efisiensi termal mampu memberikan pengaruh terhadap prestasi kerja pembangkit daya uap dalam menghasilkan daya listrik. Mengetahui metode atau cara dalam meningkatkan efisiensi termal. Cara untuk meningkatkan efisiensi termal melalui analisa siklus rankine yaitu, menurunkan tekanan kondensor, meningkatkan temperature uap panas lanjut (superheated) dan meningkatkan tekanan pada boiler. Metode diatas mampu memberikan hasil yang sesuai dengan data literatur yang ada, bahwa peningkatan efisiensi termal dipengaruhi oleh suhu dan tekanan, efisiensi termal mampu memberikan pengaruh pada kerja pembangkit daya tenaga uap, semakin besar efisiensi termal yang dihasilkan, maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan.

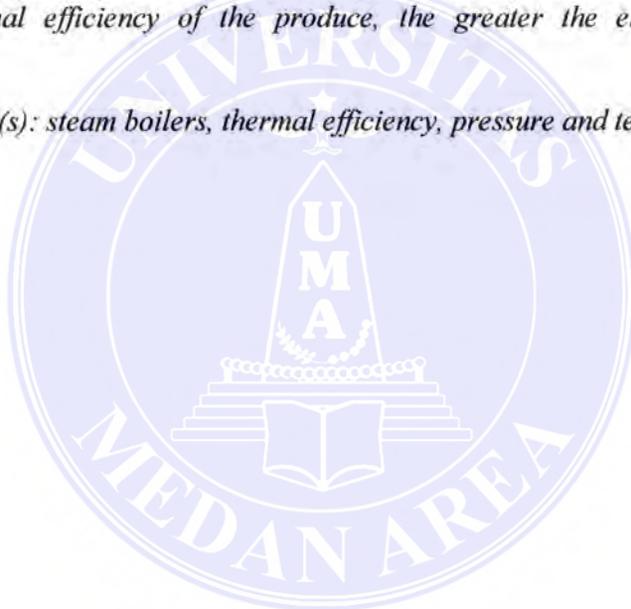
Subjek/ Kata Kunci (s): Ketel Uap, Efisiensi Termal, Tekanan dan Suhu.



ABSTRACT

Steam power plant is a device that serves as a producer of energy by utilizing the potential energy in the steam is converted into kinetic energy so as to provide employment and generate mechanical shaft rotate daya. Perangkat steam power cycle could have called siklusrankine. Artikel aims to determine the effect of temperature and pressure and in improving the efficiency of rigging, and then describe the thermal efficiency is able to provide an influence on job performance in a steam power plant generates power listrik. Mengetahui methods or ways to improve efficiency to enhance efisiensi termal termal. Cara through analysis of the Rankine cycle, reduce condenser pressure, further increasing the temperature of steam (superheated) and increase the pressure on the above boiler. Metode able to deliver results in accordance with existing literature data, that increasing the thermal efficiency is influenced by temperature and pressure, thermal efficiency can influence the generation of work steam power, the greater the thermal efficiency of the produce, the greater the electrical power generated.

Subject / Keyword (s): steam boilers, thermal efficiency, pressure and temperature



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ketel uap pipa air (*water tube boiler*) merupakan salah satu alat konversi energi dengan mengubah energi kimia pada bahan bakar menjadi energi panas, digunakan untuk mengubah air menjadi uap. Dari hasil pembakaran bahan bakar dengan udara menghasilkan aliran gas yang panas.

Aliran gas (*flow gas*) didistribusikan beberapa komponen yang membutuhkan energi panas pada peralatan ketel melalui tiga proses perpindahan panas (*heat transfer*) yaitu perpindahan panas secara rambatan (*conduction*), perpindahan panas secara aliran (*convection*), serta perpindahan panas secara pancaran (*radiation*).

Dalam proses pembakaran bahan bakar akan menghasilkan sejumlah panas. Besarnya panas yang dihasilkan pada reaksi pembakaran tergantung pada komposisi bahan bakar, karena dengan menggunakan bahan bakar yang berbeda pula. Besaran panas yang dihasilkan pada proses pembakaran tidak semua dapat dimanfaatkan, disebabkan oleh adanya beberapa kerugian - kerugian. Perbedaan panas yang dilepaskan dalam dapur dengan panas yang digunakan untuk menghasilkan uap dikenal dengan sebutan kehilangan panas pada ketel uap. Oleh karena itu perlu meminimalisasikan kerugian - kerugian panas pada ketel uap, karena sangat mempengaruhi kinerja dan efisiensi ketel. Kehilangan panas didalam ketel adalah perbedaan panas yang dilepaskan didalam dapur dengan panas yang digunakan untuk menghasilkan uap. Ada beberapa kerugian panas pada instalasi ketel uap, antara lain :

UNIVERSITAS MEDAN AREA
Sebagai Media Asap Kering, merupakan kerugian panas yang terbawa oleh gas

Document Accepted 20/9/23

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

asap kering keluar dari cerobong asap. Ketika gas bekas (*Flue Gas*) keluar

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

meninggalkan *air heater*, gas bekas masih mengandung sejumlah panas yang tidak lagi memiliki kesempatan untuk dimanfaatkan. Karenanya energi panas akan terus terbawa gas bekas mengalir kecerobong dan akhirnya terbang ke atmosfer, diklasifikasikan menjadi kerugian gas asap kering dan kerugian gas asap basah. Kerugian gas asap kering adalah kerugian panas yang terbawa oleh sejumlah gas asap hasil pembakaran carbon dan sulfur. Kerugian ini adalah merupakan kerugian panas yang terbawa oleh gas asap bekas dan terbang ke atmosfer melalui cerobong, yang disebut gas asap basah yang merupakan uap air. Apabila bahan bakar yang dipakai mengandung air, maka untuk setiap kilogram air yang terdandung dalam bahan bakar diperlukan sejumlah panas untuk mengubahnya menjadi uap dan keluar bersama gas bekas cerobong. Panas yang dikandung uap air dapat terdiri dari Panas sensible, Panas laten, Super heat. Yang besarnya tergantung pada tekanan dan temperatur keluar *airheater*. Perlu diingat bahwa besarnya panas ini sama sekali tidak tergantung pada berapapun tingginya temperature dalam dapur ketel, melainkan hanya tergantung pada temperatur awal ketika masuk ketel dan temperatur akhir ketika meninggalkan *airheater*.

Kerugian Panas Akibat Bahan Bakar Hidrogen. Waktu terjadi proses pembakaran hidrogen, reaksi pembakaran adalah air (H_2O) yang segera menguap dan mendapatkan pemanas lanjut. Berat air (H_2O) yang terbentuk adalah sembilan kali berat hidrogen dalam bahan bakar, jadi : $W(H_2O) = 9 H_2$. Seperti halnya juga dengan moisture maka air yang terbentuk akan segera menguap di bawah kondisi saturasi. Kemudian mendapat panas lanjut, lalu menjadi uap panas lanjut dibawah kondisi tekanan dan temperatur ruang bahan bakar, kemudian bergabung dengan unsur - unsur gas asap lainnya, lalu mengalami perpindahan panas dan meninggalkan ketel dibawah

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Kondisi cerobong asap.

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Kerugian Panas Karena Abu Masih Mengandung Panas. Kerugian ini terjadi akibat abu dan terak masih mengandung panas yang masih dapat dipergunakan.

Kerugian Panas Akibat Radiasi. Kerugian ini terjadi karena faktor perpindahan panas oleh peralatan ketel, misalnya badan ketel pipa - pipa uap, dan lain - lain.

Melihat hal - hal diatas maka penulis tertarik untuk melakukan **Analisa Kerugian Panas Pada Ketel Uap Pipa Air di Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit**. Dengan adanya analisa ini diharapkan agar para pembaca, khususnya orang - orang yang terlibat dalam perencanaan ketel dapat mengetahui kerugian - kerugian dan neraca kalor pada ketel uap pipa air (*water tube boiler*).

1.2. Perumusan Masalah

Pada analisa ini penulis ingin menghitung serta menganalisa berapa besar persentase kerugian panas yang terjadi di dalam ketel pipa air (*water tube boiler*) di Pabrik PKS dengan kapasitas ketel uap 30 ton Tbs/jam yang meliputi : Nilai kalor bahan bakar yang digunakan, komposisi gas asap, dan reaksi pembakaran, kelipatan penguapan, panas berguna, untuk mendapatkan kerugian panas pada ketel.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk menghindari pembahasan/pengkajian yang tidak terarah dan agar dalam pemecahan permasalahan dapat dengan mudah dilaksanakan. Adapun batasan masalah dalam penyelesaian Proposal Tugas Sarjana ini, adalah :

- 1). Kerugian gas asap kering (Q_g)
- 2). Kerugian gas asap basah ($Q_{moisture}$)
- 3). Kerugian bahan bakar yang tidak terbakar.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

4). Kerugian panas akibat bahan bakar hydrogen (Q_{H_2})

5). Kerugian panas karena abu masih mengandung panas (Q_{at})

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



6). Kerugian panas akibat radiasi.

7). Pertimbangan antara “energi masuk” (*in put*) dengan “energi berguna” (*out put*) dan “kehilangan energi” (*losses*).

1.4. Tujuan

Adapun tujuan dari dilakukannya analisa ini antara lain :

- 1). Mengetahui berapa besar efisiensi panas ketel bila bekerja dengan tekanan tertentu di Pabrik PKS.
- 2). Menganalisa berapa “energi masuk” (*in put*) dengan “energi berguna” (*out put*) dan “kehilangan energi” (*losses*) pada ketel uap pipa air (water tube boiler) yang ada di pabrik PKS dengan kapasitas 30 ton/jam.
- 3). Menghasilkan suatu kesimpulan dan memberikan informasi yang berarti bagi pembaca dan pihak perusahaan.

1.5. Sistematika Penulisan

Pada analisa kerugian panas dan neraca kalor pada ketel uap pipa air (water tube boiler) di pabrik PKS ini dibuat sistematika penulisan, agar teratur dan lebih terarah dalam pembahasan.

Adapun sistematika yang penulis buat adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan tentang latar belakang masalah, perumusan, tujuan dan manfaat penelitian serta batasan masalah yang berfungsi untuk menentukan secara spesifik area pembahasan yang akan dilakukan, asumsi yang berfungsi untuk menyederhanakan kompleksitas permasalahan yang dihadapi dan sistematika penulisan

UNIVERSITAS MEDAN AREA yang berisikan penulisan bab dalam laporan penelitian Tugas Sarjana

Document Accepted 20/9/23

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

ini:

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang tinjauan pustaka yang berkenaan dengan tulisan ini yang terdiri dari : pengertian dasar ketel uap, proses pembentukan uap, bahan baker, kerugian - kerugian, panas dan neraca kalor, kebutuhan uap di Pabrik PKS.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dibahas mengenai metode yang diinginkan dalam melakukan penelitian/perancangan dan data - data yang digunakan dalam penelitian, seperti studi lapangan, analisa data, jadwal serta kesimpulan dan saran.

BAB IV ANALISIS DATA

Pada bab ini dibahas tentang perhitungan data-data yang diperoleh dari lapangan dan literatur, untuk menghasilkan suatu kesimpulan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini dibahas mengenai kesimpulan - kesimpulan dari hasil perhitungan data, serta saran - saran yang penulis sampaikan dalam pengerjaan tugas sarjana ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ketel Uap/Boiler

Boiler adalah suatu bejana bertekanan yang tertutup, air dipanaskan dengan memakai bahan bakar antara lain Bahan Bakar Padat, Bahan Bakar Cair, Bahan Bakar Gas. Steam boiler merupakan suatu bejana tertutup yang memiliki tekanan dan berisi air lalu dipanaskan dengan menggunakan bahan bakar baik yang berbentuk padat, cair maupun gas, dari hasil pemanasan yang dilakukan akan menghasilkan steam. *Steam boiler* atau lebih dikenal sebagai ketel uap yakni alat yang digunakan sebagai pengering atau pengubah konsentrasi molekul air menjadi konsentrasi molekul uap air yang akan dipakai untuk proses pengolahan pada pabrik manufaktur khususnya pabrik kelapa sawit yang memproduksi minyak mentah.

Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai boiler, kita harus memahami beberapa faktor - faktor yang dapat mempengaruhi kinerja atau system kerja dari ketel uap. Ada empat faktor yang dominan dalam mempengaruhi sistem kerja dari ketel uap antara lain

- 1). Pressure (tekanan)
- 2). Temperatur (suhu)
- 3). Capacity (kapasitas)
- 4). Efficiency (efisiensi)

1. Pressure (tekanan)

Tekanan adalah hasil berupa dorongan atau tekanan yang dihasilkan dari steam

boiler. Tekanan pada boiler menunjukkan seberapa jauh beban kerja dari boiler didalam

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

bekerja dan hal ini dapat dilihat dari alat yang digunakan sebagai pengukur tekanan.

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Semakin rendah tekanan yang dihasilkan pada boiler, maka semakin baik pula boiler bekerja.



Gambar 2.1. Alat Ukur Tekanan/Pressure Gauge (PTPN III)

2. Temperature (suhu)

Temperatur adalah panas yang dihasilkan steam boiler. Temperatur biasanya diukur dalam satuan *Celcius* atau *Kelvin*. Temperatur yang tinggi sangat dipengaruhi lamanya mesin bekerja.

Temperatur *Steam* Boiler ada dua jenis, yaitu :

- 1). Super Heater Steam, temperature yang dihasilkan adalah sesuai rancangan yang dikehendaki pada boiler.
- 2). Saturated Steam (uap basah), temperatur yang dihasilkan segaris dengan tekanan.



Gambar 2.2. Alat Ukur Suhu/Thermohygrometer (PTPN III)

3. Capacity (kapasitas)

Kapasitas adalah kemampuan maksimum Boiler untuk menghasilkan uap dalam setiap ton/jam. Untuk mencari kapasitas boiler rumus yang digunakan adalah :

$$Q = \frac{\eta \times G_{bb} \times N \times O}{\Delta \text{Enthalpi}}$$

Dimana ;

Q	=	Kapasitas	kg/hr
η	=	Efisiensi Boiler	%
G_{bb}	=	Berat bahan bakar	kg/hr
N.O	=	Nilai kalor	kcal/kg
$\Delta \text{Enthalpi}$	=	Pembedaan Enthalpi uap dan Enthalpi air	kcal/kg

4. Efficiency (efisiensi)

Efisiensi adalah suatu ukuran berapa banyak steam yang dihasilkan dalam setiap ton bahan bakar di dalam ruang dapur.

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan efisiensi adalah :

$$\eta = \frac{Q(\Delta \text{Enthalpi})}{G_{bb} \times N.O} \dots\dots\dots(2.1)$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

Dimana ;
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

kg/hr

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

2. Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Pada pipa ini yang mengalir dalam pipa adalah air, sedangkan energi panas dipancarkan dari luar pipa (ruang bakar) ke air. Umumnya ketel ini digunakan untuk produksi uap dengan kapasitas yang besar.



Gambar 2.4. Ketel Pipa Air (PTPN III)

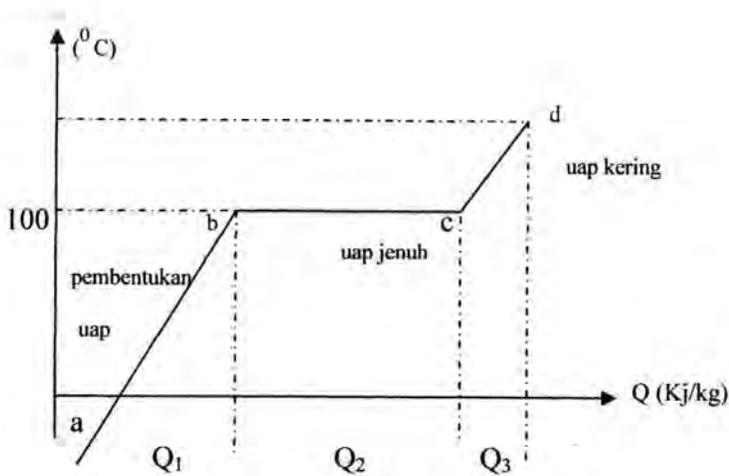
2.2. Proses Pembentukan Uap

Untuk merubah energi panas menjadi energi mekanis diperlukan suatu media kerja (*working agent*). Dalam hal ini media kerja yang digunakan adalah uap. Uap dalam ketel yang dimaksud adalah uap air, yaitu gas yang timbul akibat perubahan fase air menjadi uap melalui proses pemanasan.

Keuntungan penggunaan uap sebagai media kerja adalah :

- 1). Mempunyai kemampuan untuk menerima kalor dalam jumlah yang besar.
- 2). Dihasilkan dari material yang murah dan mudah diperoleh.
- 3). Dapat bekerja pada tekanan tinggi .
- 4). Tidak terbakar dan tidak beracun.
- 5). Cepat menghantarkan panas.

Proses pembentukan uap dapat dilihat sebagai gambar berikut ini :



Gambar 2.1. Grafik Hubungan T – Q

Keterangan gambar 2.1. :

a-b = panas yang diberikan menaikkan suhu air dari 0°C menjadi 100°C di bawah pemanasan hingga (100°C di bawah tekanan atmosfer 1 atm = 1,003 kg/cm) dimana proses ini terjadi pada *sesible heat*.

b-c = panas yang diberikan merubah fase dari 100°C air menjadi 100°C uap jenuh (*pada laten heat*).

c-d = panas yang diberikan menaikkan suhu 100°C uap jenuh menjadi uap kering (*pemanas uap lanjut*) pada proses *sesible heat*.

Pada tekanan 1 atm dan 100°C air akan berubah menjadi uap dan apabila dipanaskan terus menerus maka seluruhnya akan berubah menjadi uap. Pada pemanasan air dari temperatur t_1 $^{\circ}\text{C}$ menjadi 100°C dibutuhkan kalor (Q), maka kalor yang dibutuhkan adalah :

$$Q_1 = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_1 \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana ;

m_a = massa air (kg/satuan waktu)

C_p = panas spesifik air (kcal/kg)

$\Delta t_1 = (100^{\circ}\text{C} - t_1)$

Bila pemanasan terus dilanjutkan, maka volume uap bertambah sampai seluruh air berubah menjadi uap dan temperatur air tidak naik, maka tekanannya juga tetap, kalor yang dibutuhkan untuk perubahan fase ini adalah :

$$Q_2 = m_u \cdot Q_l \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana ;

m_u = massa uap (kg)

Q_l = panas laten (penguapan) (kkal/kg⁰C)

Selanjutnya bila uap air terus dipanaskan, maka temperatur uap air akan naik dan kenaikan temperaturnya sebanding dengan kalor yang diterima yaitu :

$$Q_3 = m_u \cdot C_{ps} \cdot \Delta t_2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana ;

m_u = massa uap (kg)

C_{ps} = panas spesifik uap (kkal/kg⁰C)

$\Delta t_2 = (t_1 - 100^0\text{C})$

Dalam tulisan ini, hanya memakai fase cair dan fase uap, perubahan fase cair menjadi fase uap dan sebaliknya fase uap menjadi fase cair. Proses perubahan fase yang terjadi di dalam ketel (boiler) adalah fase cair menjadi fase uap.

1. Fase Uap/Es

Yaitu bilamana dalam keseimbangan, tekanan (P), volume (V), dan temperatur (T) tidak berubah. Bentuk fisis air adalah dalam bentuk cair jenuh dengan berat jenis 1 kg/dm³ (teoritis). Jika suhu dinaikkan hingga 100⁰C pada tekanan 1 atm, maka air tersebut akan berubah fase berbentuk uap, tetapi bila di atas air tersebut diberikan tekanan, sehingga gelembung - gelembung uap tidak dapat terbentuk dan proses

UNIVERSITAS MEDAN AREA
 penguapan tidak dapat berlangsung meskipun sudah mencapai suhu 100⁰C jadi proses



dalam mencapai titik keseimbangan pada P, V, dan T tidak berubah, maka selama itu disebut fase cair.

2. Fase Uap

Yaitu bilamana suhu air dinaikkan, sehingga bentuk keseimbangannya hilang, maka air berubah fase cair menjadi fase uap atau menguap, fase uap dapat terjadi atau berlangsung dalam ruang tertutup ataupun terbuka. Keadaan uap yang dihasilkan dapat berbentuk :

- 1). Uap basah, yaitu uap yang masih mengandung butiran - butiran yang halus dari air.
- 2). Uap jenuh, yaitu uap yang berada diantara uap basah dan uap kering (uap yang tidak mengandung butiran air lagi).
- 3). Uap panas lanjut (uap kering), yaitu uap yang dihasilkan dengan proses pemanasan lanjut dari uap jenuh.

2.3. Kebutuhan Uap di Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit (PKS)

Kapasitas penguapan adalah berat (jumlah) uap dalam kgper jam atau ton per jam, atau dalam kg per jam, untuk kebutuhan uap tertentu. Untuk menentukan kapasitas uap yang dihasilkan suatu bahan dengan rumus sebagai berikut :

$$W_s = \frac{W_f \cdot LHV \cdot \eta_k}{(H_{sat} - H_a)} \text{ (kg / jam)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana ;

W_f = Jumlah bahan bakar sisa pengolahan.

LHV = Nilai kalor bawah (kkal/kg)

H_{sat} = Enthalpi uap saturasi air pada tekanan 20 kg/cm² (data survey)

UNIVERSITAS MEDAN AREA
 H_a = Enthalpi air masuk ketel (kkal/kg)

Pada pabrik pengolahan buah kelapa sawit, uap digunakan untuk membantu proses pengolahan buah pada masing - masing proses. Uap tersebut berasal dari uap bekas yang telah dipergunakan turbin yang berfungsi sebagai pembangkit tenaga listrik. Sistem distribusi uap yang digunakan adalah sistem seri by pass.

2.2.4. Bahan Bakar

Bahan bakar adalah segala bahan yang dapat terbakar (*Syamsir A. Muin, hal 146*), dimana bahan bakar banyak kita jumpai di sekeliling kita seperti kertas, kayu, minyak tanah dan lain - lain. Selain itu, batu juga dapat terbakar misalnya batu bara. Bahan bakar merupakan komponen utama dalam pembakaran. Jadi untuk melakukan pembakaran diperlukan tiga unsur, yaitu :

- 1). Bahan bakar
- 2). Udara pembakaran (oksigen)
- 3). Suhu (panas)

Panas (kalor) yang timbul karena pembakaran bahan bakar tersebut disebut hasil pembakaran atau nilai bakar (*heating value atau calorific value of fuel*).

2.4.1. Jenis - Jenis Bahan Bakar

Adapun jenis - jenis bahan bakar, yaitu :

- 1). Bahan bakar padat (*Solid Fuel*)
- 2). Bahan bakar cair (*Liquid Fuel*)
- 3). Bahan bakar gas (*Gases Fuel*)

Bahan bakar tersebut dapat digolongkan menjadi dua bagian, yaitu :

- 1). Bahan bakar alam (*Natural fuel*)
- 2). Bahan bakar buatan (*Prepared fuel*)

Dalam penulisan ini bahan bakar yang digunakan untuk ketel di Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit ialah cangkang (*shell*) dan sabut (*Fiber*), termasuk bahan bakar padat alami (*Natural Solid fuel*).

2.4.2. Bahan bakar cangkang

Cangkang merupakan limbah dari hasil pengolahan kelapa sawit, dimana cangkang merupakan bagian dari buah kelapa sawit yang dihasilkan setelah melalui proses pengolahan pada stasiun kerja pengolahan biji (*kernel plant*) dimana pada stasiun kerja ini, biji dari pemisah biji dan sabut (*depericarper*) akan dikutip, dipecah oleh Ripple Mill dan dipisahkan antara inti dan cangkang oleh LTDS (*Light Tenera Dust Separator*).



(a)

(b)

(c)

Gambar 2.4. (a). Depericarper, (b). Ripple Mill, dan (c). LTDS (PTPN III)

2.4.3. Sabut

Sabut merupakan limbah padat hasil pengolahan kelapa sawit, dimana sabut merupakan bagian dari buah kelapa sawit yaitu kulit luar dari buah kelapa sawit atau disebut dengan daging buah kelapa sawit. Berondolan buah kelapa sawit dari mesin

Thresher akan masuk ke dalam Degester untuk dilumatkan sehingga daging buah

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

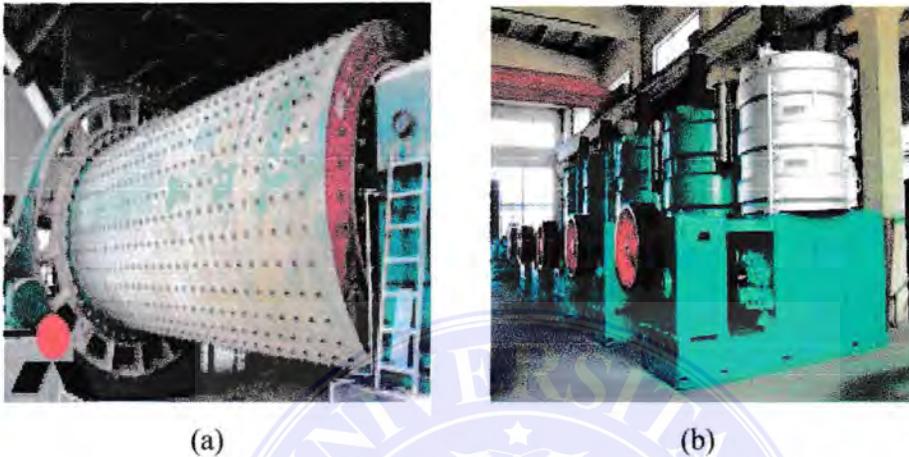
1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

terpisah dari biji. Kemudian sabut dihasilkan melalui proses pemerasan pada mesin *Screw Press*.



Gambar 2.5. (a). Degester, dan (b). Screw Press (PTPN)



Gambar 2.6. Pengolahan Cangkang Sawit Pada Pabrik PKS (PTPN III)

2.4.4. Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor bahan bakar adalah banyaknya energi panas yang diperoleh pada proses pembakaran sempurna dari sejumlah bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar terdiri atas dua bagian :

1. Nilai Kalor Atas (*High Heating Value*)

Yaitu banyaknya panas yang diperoleh pada proses pembakaran sempurna dari 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap air (*Syamsir A. Muin*).

UNIVERSITAS MEDAN AREA

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 20/9/23

(2.6)

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

2. Nilai Kalor Bawah (*Low Heating Value*)

Yaitu banyaknya panas yang diperoleh pada proses pembakaran sempurna dari 1 kg bahan bakar tanpa memperhitungkan panas kondensasi uap air.

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 9.H_2.586 \text{ (kkal/kg}_{bb}\text{)} \dots \dots \dots (2.7)$$

2.5. Pemakaian Bahan Bakar

Suplai bahan bakar merupakan salah satu factor penting bagi kinerja ketel, untuk menentukan jumlah pemakaian bahan bakar digunakan rumus sebagai berikut

$$W_f = \frac{W_s (H_{sat} - H_a)}{\eta_k \cdot \text{LHV}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana ;

W_s = jumlah bahan bakar sisa pengolahan

LHV = nilai Kalor bawah (kkal/kg_{bb})

H_{sat} = enthalpi uap saturasi air pada tekanan 30 kg/cm²

H_a = enthalpi air masuk ketel (kkal/kg)

η_k = Efisiensi ketel (0,07 – 0,90)

2.6. Kebutuhan Udara Pembakaran

Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna maka dibutuhkan faktor udara lebih (*excess air*). Udara teoritis ditambah *excess air* sama dengan udara aktual, biasanya udara lebih 100 % dari udara minimal yang lebih maju hanya membutuhkan sekitar 25 – 50 tergantung dari kebaikan mesinnya. Rumus empiris untuk menghitung

UNIVERSITAS MEDAN AREA

excess air adalah:

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

$$W_{q,h} = \frac{2,66C + 7,94H_2 + 0,998O_2}{0,232} \text{ kg/kg} \dots\dots\dots(2.9)$$

Atau

$$V_{q,h} = \frac{1,865C + 5,56H_2 + 0,7O_2}{0,21} \text{ kg/kg} \dots\dots\dots(2.10)$$

Agar pembakaran terjadi secara sempurna factor udara lebih, maka volume udara pembakaran sebenarnya adalah :

$$(Va)_{act} = (Va)_{th} \cdot 0,5 + (Va)_{th} (m^3_{sat}/kg_{bb}) \dots\dots\dots(2.11)$$

Volume udara pembakaran yang dibutuhkan setiap jamnya :

$$(Va)_{act} = W_f \cdot (Va)_{act} (m^3_{sat}/kg_{bb}) \dots\dots\dots(2.12)$$

2.7. Analisa Gas Asap

Gas asap terbentuk dari hasil pembakaran dan gas - gas sisa pembakaran. Pada pembakaran sempurna gas asap terdiri dari komponen - komponen : karbon dioksida, dioksida belerang, air (uap), dan sisa - sisa udara pembakaran seperti unsur - unsur Nitrogen, dan Oksigen. Pada umumnya gas asap terbentuk dari hasil pembakaran dan gas sisa hasil pembakaran. Pada pembakaran yang sempurna, gas - gas asap terbentuk dari :

1. Hasil pembakaran :
 - a). Karbon dioksida (CO₂)
 - b). Air (H₂O)
 - c). Sulfur dioksida (SO₂)
2. Gas sisa udara pembakaran
 - a). Nitrogen (N₂)
 - b). Oksigen (O₂)

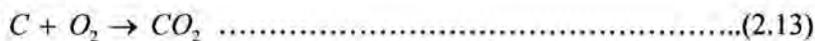
UNIVERSITAS MEDAN AREA
 Analisa berat gas asap hasil pembakaran per kilogram bahan bakar :

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Karbon dioksida (CO₂)

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



$$12 \text{ kg C} + 32 \text{ kg O}_2 = 44 \text{ kg CO}_2$$

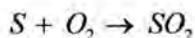
$$1 \text{ kg C} + 2,67 \text{ kg O}_2 = 3,67 \text{ kg CO}_2$$

Artinya setiap pembakaran 1 kg karbon (C) dibutuhkan 2,67 kg oksigen (O₂), sehingga menghasilkan 3,67 kg CO₂.

Maka ;

$$W_{CO_2} = 3,67 C \quad (\text{kg/kg}_{bb}) \dots\dots\dots(2.14)$$

b. Sulfur dioksida (SO₂)



$$32 \text{ kg S} + 32 \text{ kg O}_2 = 64 \text{ kg SO}_2$$

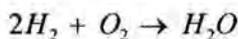
$$1 \text{ kg S} + 1 \text{ kg O}_2 = 2 \text{ kg SO}_2$$

Jadi setiap pembakaran 1 kg sulfur (S) dibutuhkan 1 kg oksigen (O₂), sehingga menghasilkan 2 kg SO₂.

Maka :

$$W_{SO_2} = 2. S \quad (\text{kg/kg}_{bb}) \dots\dots\dots(2.15)$$

c. Air (H₂O)



$$4 \text{ kg H} + 32 \text{ kg O}_2 = 36 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ kg H} + 8 \text{ kg O}_2 = 9 \text{ kg H}_2\text{O}$$

Jadi setiap pembakaran 1 kg hidrogen (H) dibutuhkan 8 kg oksigen (O₂), sehingga menghasilkan 9 kg H₂O.

Maka :

$$W_{H_2O} = 9. H_2 \quad (\text{kg/kg}_{bb}) \dots\dots\dots(2.16)$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

d. Excess oksigen (O₂)_{excess}

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan harus mencantumkan identitas, penelitian dan penelitian karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

e. Nitrogen (N₂)

$$W_{N_2} = 77 \% \cdot (W_a)_{act} \quad (\text{kg/kgkg}_{bb})$$

Sehingga berat gas asap basah (W_g)_{basah} :

$$(W_g)_{basah} = W_{CO_2} + W_{SO_2} + W_{H_2O} + (W_{O_2})_{excess} + W_{N_2} \quad (\text{kg/kgkg}_{bb})$$

Dan diperoleh berat gas asap per jam :

$$W_g = (W_g)_{basah} \cdot W_f \quad (\text{kg/jam})$$

Dimana ;

$$W_g = \text{berat gas asap tiap jam (m}^3/\text{jam)}$$

$$W_{g_{basah}} = \text{berat gas asap (m}^3/\text{jam)}$$

$$W_f = \text{jumlah bahan bakar (kg}_{bb}/\text{jam)}$$

Sementara berat gas asap kering (W_g)_{kering} :

$$(W_g)_{kering} = (W_g)_{basah} - W_{H_2O} \quad (\text{kg/kg}_{bb}) \dots\dots\dots(2.17)$$

2.7.1. Berat Gas Asap

Berat bahan bakar dengan udara pembakaran sama dengan berat gas asap ditambah abu, maka berat komposisi gas asap adalah :

$$V_a = 1 + \frac{2,66C + 7,94H_2 + (0,998S - O_2)}{0,21} R - A(\text{gas}_{asap} / \text{kg}_{bb}) \dots\dots\dots(2.18)$$

Sehingga berat gas asap hasil pembakaran bahan pembakaran bahan bakar setiap jamnya adalah :

$$W_{g \text{ total}} = W_f \cdot W_g \quad (\text{kg}_{asap}/\text{kg}_{bb}) \dots\dots\dots(2.19)$$

2.7.2. Volume Gas Asap

Jumlah oksigen adalah 21 % dari udara, jadi VO₂ = 21 % (V_a)_{act} ; belum termasuk oksigen yang terkandung di dalam bahan bakar.

1. Pada gas asap kering tidak mengandung H₂O terdapat 11 % (CO₂ + SO₂).

$$\frac{(kg)_{asap}}{(kg)_{bb}} = \frac{CO_2 + SO_2}{0,11} \quad \text{kg/kg} \dots\dots\dots(2.20)$$

2. Volume gas asap basah (mengandung uap air) adalah :

$$(Vg)_{kering} = \frac{1,866C + 0,7S}{0,11} + 1,24(9H_2 + M) \quad (m^3 std / kg) \dots\dots(2.21)$$

2.8. Energi Kalor Hasil Pembakaran

Energi kalor merupakan (panas) yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar (furnace). Jumlah energi kalor yang dihasilkan sering disebut dengan kapasitas ruang bakar, yang dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q_f = W_f \cdot LHV \cdot \eta_k$$

Dimana ;

Q_f = jumlah energi kalor (kkal/kg)

W_f = jumlah sisa bahan bakar hasil dari pengolahan (kg_{bb}/jam)

LHV = nilai kalor bawah (kg_{bb}/jam)

η_k = efisiensi ketel (0,90 – 0,97)

2.9. Perpindahan Panas Pada Ruang Bakar Boiler

Pada dasarnya ada tiga cara perpindahan panas dimana panas dapat dipindahkan dari suatu sumber panas ke bagian yang lebih dingin atau dari tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat yang lebih rendah. Ketiga cara tersebut adalah :

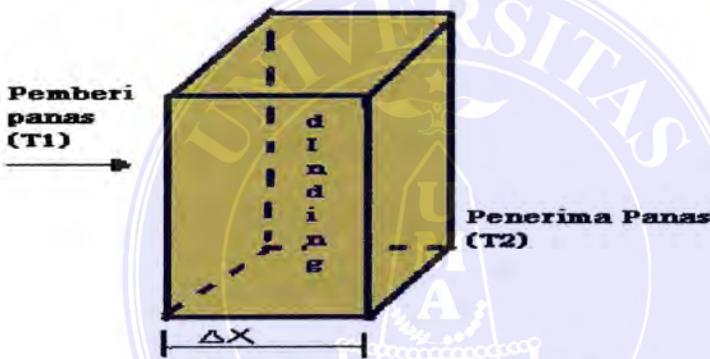
- 1). Konduksi (rambatan)
- 2). Konveksi (aliran)
- 3). Radiasi (pancaran)

2.9.1. Perpindahan panas secara konduksi (rambatan)

Perpindahan panas secara konduksi adalah proses perpindahan panas melalui rambatan dari suatu benda yang dipanaskan ke bagian lain dari benda tersebut yang temperaturnya lebih rendah. Perpindahan panas konduksi terjadi pada benda padat.

Tetapi molekul - molekul benda padat yang satu tidak berpindah ke benda padat yang lain.

Suatu syarat terjadinya konduksi kalor pada suatu zat adalah adanya perbedaan suhu antara dua sisi benda, suhu yang lebih tinggi akan berpindah ke tempat suhu yang lebih rendah (terlihat pada gambar dibawah ini). Di dalam ketel uap, pada dinding ketel panas dirambatkan oleh molekul - molekul dinding ketel sebelah dalam yang berbatasan langsung dengan air ataupun uap.



Gambar 2.7. Perpindahan panas konduksi

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa besar laju perpindahan panas konduksi menurut *J.P. Holman (1984)* dapat ditentukan :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial X} \dots\dots\dots(2.22)$$

dimana :

Q = laju perpindahan kalor konduksi (watt)

k = hantaran thermal (*thermal conductivity*) (watt/m⁰C)

A = luas permukaan perpindahan panas (m²)

$\frac{\partial T}{\partial X}$ = gradien suhu ke arah perpindahan kalor

UNIVERSITAS MEDAN AREA mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala

2.9.2. Perpindahan panas secara konveksi

Perpindahan panas secara konveksi/aliran adalah proses perpindahan panas melalui molekul - molekul fluida cair atau gas. Bila suatu sumber pipa baja yang panas di liri oleh fluida, maka fluida tersebut akan menghantar panas ke seluruh bagian fluida.

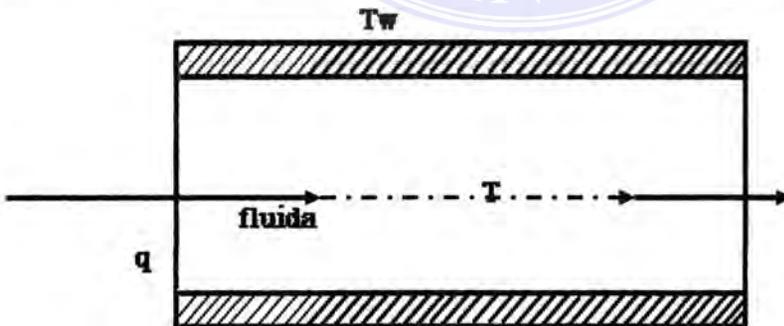
Perpindahan panas secara konveksi dapat dibagi atas dua golongan, yaitu :

a. Konveksi Alami (*Natural Of Free Convection*)

adalah perpindahan panas melalui fluida secara alami, misalnya dengan memanaskan sebatang pipa kemudian dibiarkan pipa tersebut menjadi dingin, fluida yang menghantar kalor adalah udara terbuka, jadi perpindahan panas yang terjadi disini adalah perpindahan panas secara konveksi alami antara dinding pipa dengan udara luar.

b. Konveksi Paksa (*Forced Convection*)

adalah perpindahan panas konveksi dengan menggunakan media pembantu untuk lebih mempercepat laju aliran fluida. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar di bawah ini, yang memperlihatkan sebuah perpindahan panas konveksi paksa pada pipa dengan menggunakan pompa bila fluida cair dan menggunakan blower fluida gas.



Gambar 2.8. Perpindahan panas konveksi pada pipa

Menurut JP. Holman (1988), laju perpindahan panas konveksi dapat dihitung

dengan menggunakan persamaan :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

$$q = hA(T_w - T_\infty)$$

Document Accepted 20/9/23

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

dimana

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

q = laju perpindahan kalor konveksi (watt)

h = koefisien perpindahan kalor konveksi ($\text{watt/m}^{20}\text{C}$)

A = luas penampang perpindahan panas ($^{\circ}\text{C}$)

T_w = suhu permukaan pipa ($^{\circ}\text{C}$)

T_{∞} = suhu fluida yang mengalir ($^{\circ}\text{C}$)

2.9.3. Perpindahan panas secara radiasi (pancaran)

Perpindahan panas secara radiasi adalah proses perpindahan panas dari suatu sumber panas ke penerima panas secara memancar (tanpa media). Melalui suatu gelombang elektromagnetik. Saat sumber panas memancarkan panas sebagian energinya akan diserap oleh penerima dan sebagian akan dipantulkan.

Besarnya perpindahan panas secara radiasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *J.P. Holman, 1984* :

$$q = \sigma A(T)^4 \dots\dots\dots(2.24)$$

Dimana :

q = laju perpindahan kalor radiasi (watt)

σ = konstanta Stefan – Boltzmann ($5.699 \times 10^{-8} \text{ watt/m}^2.\text{K}^4$)

A = luas permukaan (m^2)

T = suhu absolut (K)

2.10. Kerugian - Kerugian Panas Pada Instalasi Ketel

Kehilangan panas di dalam ketel adalah perbedaan panas yang digunakan untuk menghasilkan uap. Macam - macam kerugian panas :

2.10.1. Kerugian Gas Asap Kering

Merupakan kerugian panas yang terbawa oleh gas asap kering keluar dari

cerobong asap. Ketika gas bekas (*flue gas*) keluar meninggalkan *airheater*, gas bekas

masih mengandung sejumlah panas yang tidak lagi memiliki kesempatan untuk

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

dimanfaatkan. Karenanya energi panas akan terus terbawa gas bekas mengalir ke cerobong dan akhirnya terbang ke atmosfer, diklasifikasikan menjadi kerugian gas asap kering dan kerugian asap basah.

Kerugian gas asap kering adalah kerugian panas yang terbawa oleh sejumlah gas asap hasil pembakaran karbon dan sulfur. Pada dasarnya gas asap kering dan gas asap basah merupakan gas sisa yang seharusnya dapat dimanfaatkan. Ketika proses pembentukan kedua gas tersebut tidak berjalan dengan normal dan akan bercampur pada asap yang keluar dari cerobong.



Gambar 2.9. Cerobong Asap (PTPP III)

Besarnya kerugian gas asap kering dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_f = W_f \cdot W_g \cdot C_p (T_g - T_u) \text{ (kkal/kg)} \dots \dots \dots (2.25)$$

Dimana ;

W_f = pemakaian bahan bakar (kg)

W_g = berat gas asap kering (kg/kg_{bb})

C_p = panas jenis gas asap (kkal/kgas asap⁰C)

T_g = temperatur gas asap (⁰C)

UNIVERSITAS MEDAN AREA⁰C)

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23



2.10.2. Kerugian Gas Asap Basah

Kerugian ini merupakan kerugian panas yang terbawa oleh gas asap bekas dan terbang ke atmosfer melalui cerobong, yang disebut gas asap basah yang merupakan uap air. Apabila bahan bakar yang dipakai mengandung air, maka untuk setiap kilogram air yang terkandung dalam bahan bakar diperlukan sejumlah panas untuk mengubahnya menjadi uap dan keluar bersama gas bekas cerobong.

Panas yang dikandung uap air dapat terdiri dari :

- 1). Panas *Sensible*
- 2). Panas *Laten*
- 3). *Super Heat*

Yang besarnya tergantung pada tekanan dan temperature keluar airheater. Perlu diingat bahwa besarnya panas ini sama sekali tidak tergantung pada berapapun tingginya temperatur dalam dapur ketel, melainkan hanya tergantung pada temperatur awal ketika masuk ketel dan temperature akhir ketika meninggalkan air heater.

Sumber air kedua adalah sebagai produk dari reaksi pembakaran hidrogen. Yaitu air yang terbentuk dari proses pembakaran hidrogen adalah Sembilan kali kadar hidrogen dalam satuan berat. Kehilangan panas akibat adanya air dalam bahan bakar dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{moisture}} &= W_m (H_{\text{sup}} - h_b) \dots \dots \dots (2.26) \\
 &= Wm [h.hf + L.hfg + C_p . (tf - tsat) - h_b] \\
 &= Wm [(639,1) + C_p (tf - 100) - h_b] \text{ (kkal/kg)}
 \end{aligned}$$

Pada ; $P = 1,033 \text{ (kg/cm}^2 = 1 \text{ atm)}$

$h = 100,1 \text{ (kkal/kg)}$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

dimana :

- W_m = kandungan air dalam bahan bakar (kg)
- C_p = panas jenis rata - rata air dalam gas asap
- t_f = temperatur gas asap kering
- t_{sat} = temperatur ruang ketel
- h_b = panas total sensible pada ruang bakar

2.10.2. Kerugian Panas Akibat bahan bakar Hidrogen (Q_{H_2})

Waktu terjadi proses pembakaran hidrogen, reaksi pembakaran adalah air (H_2O) yang segera menguap dan mendapatkan pemanas lanjut. Berat air (H_2O) yang terbentuk adalah sembilan kali berat hidrogen dalam bahan bakar, jadi $W(H_2O) = 9 H_2$.

Seperti halnya juga dengan moisture maka air yang terbentuk akan segera menguap di bawah kondisi saturasi, yaitu :

$$P_{sat} = 1 \text{ atm}$$

$$t_{sat} = 100^\circ\text{C}$$

$$h_{sat} = 640 \text{ kkal/kg}$$

Dengan unsur - unsur gas asap lainnya, lalu mengalami perpindahan panas dan meninggalkan ketel di bawah kondisi cerobong asap, yaitu :

$$\text{Tekanan (P)} = 1 \text{ atm}$$

$$\text{Temperatur (}t_g\text{)} = \text{temperatur gas asap.}$$

Pada saat inilah dianggap terjadi kerugian panas, sebesar :

$$Q_{H_2} = 9H_2 [639,1 + C_p.(t_g - 100) - t_u] \text{ (kkal/kg)}$$

2.10.4. Kerugian Panas Karena Abu Masih Mengandung Panas (Q_{at})

Kerugian ini terjadi akibat abu dan terak masih mengandung panas yang masih dapat dipergunakan.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang



Gambar 2.10. Sisa Pembakaran/terak (PTPN III)

Dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_{at} = W_{at} \cdot C_{at} (t_{at} - t_u) \quad (\text{kcal/kg}_{bb})$$

Dimana ;

$$W_{at} = \text{berat abu dan terak (kg/kg}_{bb})$$

$$C_{at} = \text{panas jenis (kcal/kg}^{\circ}\text{C)}$$

$$W_{at} = \text{berat abu dan terak (kg/kg}_{bb})$$

$$C_{at} = \text{panas jenis (kcal/kg}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{at} = \text{temperatur udara dalam (}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_u = \text{temperature udara luar (}^{\circ}\text{C)}$$

2.10.5. Kerugian Panas Akibat Radiasi (Q_{rad})

Pada penulisan ini diasumsikan terjadi pembakaran sempurna, diakibatkan karena keterbatasan alat dalam melaksanakan analisa orsat, maka ada beberapa kerugian yang diabaikan, kerugian - kerugian panas yang tidak dihitung dalam penulisan ini adalah :

1). kerugian uap hidro carbon tak terbakar.

2). kerugian akibat kombinasi karbon dengan air menghasilkan hidrogen.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

3). kerugian akibat pembakaran yang tidak sempurna.

Document Accepted 20/9/23

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

4). Kerugian panas akibat karbon tidak terbakar dalam abu.

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber.
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah.
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

5). kerugian karena kandungan air dalam udara pembakaran.

2.11. Neraca Kalor

Neraca kalor adalah perimbangan antara “energi masuk” (*input*) dengan “energi berguna” (*output*) dan “kehilangan energi” (*losses*). Sebagai energi masuk atau suplai energi adalah jumlah energi hasil pembakaran bahan bakar.

Jadi suplai energi :

$$Q_{in} = W_f \times (\text{LHV}) \text{ (kkal/kg)} \dots \dots \dots (2.27)$$

Atau

$$Q_{in} = (\text{LHV}) \text{ (kkal/kg}_{bb}) \dots \dots \dots (2.28)$$

“Energi berguna” adalah energi yang diserap oleh air sampai terbentuk uap dalam ketel, jadi :

$$Q_{out} = W_e (H_{sat} - H_a) \text{ (kkal/kg)}$$

$$Q_{out} = W_e (H_{sat} - H_a) \text{ (kkal/kg}_{bb})$$

$$W_e = \frac{W_s}{W_f} \text{ (kkal/kg}_{bb}) \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana ;

$$H_{sat} = \text{Enthalpi uap saturasi (kkal/kg).}$$

$$H_a = \text{Enthalpi air mula - mula (kkal/kg).}$$

Kehilangan energi panas adalah semua kehilangan panas yang disebabkan oleh kondisi pembakaran dan peralatan ketel. Proses pembakaran dalam ketel dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir energi. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran kehilangan panas dan energi. Panah tebal menunjukkan jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing - masing. Neraca

menunjukkan jumlah energi yang

panas merupakan keseimbangan energi yang masuk boiler terhadap yang meninggalkan boiler dalam bentuk yang berbeda.

Tabel 2.2. Neraca Panas (kalor)

Suplai panas Kkal/kg	Kkal/kg	%	Distribusi panas	Kkal/kg	%
Panas pembakaran (Q_{in}) = LHV	-	100	- Panas berguna (Q_{ef})	-	-
		0	- Kerugian gas asap kering (Q_g)	-	-
			- Kerugian gas asap basah ($Q_{moisture}$)	-	-
			- Kerugian panas akibat bahan bakar hidrogen(Q_{H_2}).	-	-
			- Kerugian panas akibat abu masih mengandung panas (Q_{at})	-	-
			- Kerugian panas oleh radiasi (Q_{rad})	-	-
			- dan lain - lain.	-	-

2.11.1. Daya Guna (efisiensi) Ketel

Daya guna (efisiensi) ketel adalah perbandingan antara konsumsi panas dengan suplai panas.

$$\text{Jadi ; } \eta_k = \frac{Q_{e_f}}{Q_{i_n}} \times 100\%$$

2.12. Volume Ruang Bakar

Ruang bakar adalah suatu ruangan bagian dari boiler dimana terjadi proses pembakaran atau sebagai tempat mengkonversikan energi kimia bahan bakar menjadi energi panas. Untuk menentukan volume ruang bakar digunakan persamaan berikut :

$$V_f = \frac{W_f \cdot LHV \cdot \eta_f}{hg_f} \quad (m^3)$$

W_f = jumlah bahan bakar yang digunakan ($\text{kg}_{\text{bb}}/\text{jam}$)

LHV = nilai kalor bawah bahan bakar ($\text{kcal}/\text{kg}_{\text{bb}}$)

η_f = efisiensi ruang bakar (0,90 – 0,97)

H_{gr} = Laju panas diserap dapur untuk bahan bakar padat.

= (149.000 – 199.995) kcal/jam

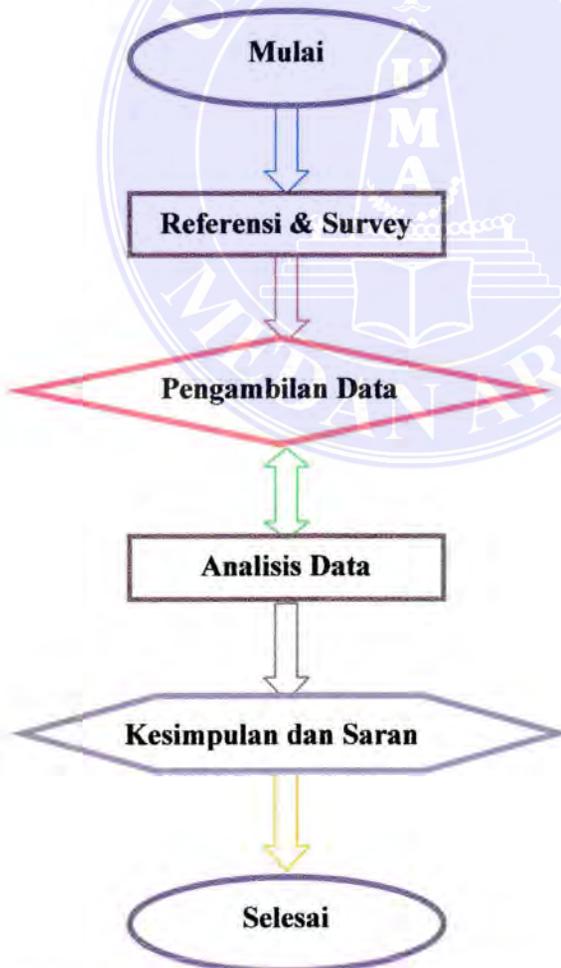


BAB III

METODE ANALISA

3.3. Konsep Penganalisaan

Di dalam menganalisa kerugian panas terhadap ketel uap pipa air pada Pabrik Kelapa Sawit di PTPN III (persero) unit kebun Tebing Tinggi, penulis membuat suatu konsep penganalisaan untuk mempermudah penulisan Tugas Sarjana ini. Konsep penganalisaan yang digunakan dapat dilihat dalam bentuk gambaran flow chart berikut :



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang **Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian**

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

3.1. Start Penelitian

Pada awal penulisan terlebih dahulu penulis mencari judul yang tepat untuk penulisan ini, yaitu dari beberapa sumber, seperti dosen pembimbing, studi literatur, dan survei lapangan. Penulis langsung menentukan latar belakang dari judul yang diperoleh :

3.2. Survey Lapangan

Survey dilakukan untuk mendukung proses pengerjaan proposal awal tugas akhir dan juga untuk mendapatkan keakurasian data serta aplikasi dari teori. Di lapangan penulis mencari data - data yang dibutuhkan, guna melengkapi kekurangan - kekurangan dalam penulisan.

3.3. Pengumpulan Data

Dalam bagian ini penulis mengumpulkan data dari lapangan untuk jadi bahan analisa di bab berikutnya.

3.4. Analisa Data

Daam hal ini penulis hanya menganalisa tentang nilai kalor bahan bakar, panas berguna dan beberapa kerugian panas yang terjadi pada ketel. Data yang dipakai dalam tugas akhir ini adalah data sekunder dari lapangan.

3.5. Kesimpulan dan Saran

Puncak dari analisa tugas akhir ini adalah kesimpulan dari akibat kerugian - kerugian dan dampaknya terhadap neraca kalor, serta saran dari penulis demi kesempurnaan tugas akhir ini.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan Penulisan

Dari rata - rata yang diambil dari Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit yaitu dari PTP Nusantara III Tebing Tinggi dan Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), telah dilakukan analisa perhitungan, maka dari judul analisa Kerugian Panas Pada Ketel Uap Pipa Air di Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai Kalor Bahan Bakar , pada cangkang dan serabut :

$$\text{HHV} = 5935,797 \text{ kkal/kg}$$

$$\text{LHV} = 5586,263 \text{ kkal/kg}$$

2. Panas Pembakaran (Qin) = LHV = 5586,263 kkal/kg

3. Pemakaian Bahan Bakar = 2589,791 kg bahan bakar/jam

4. Udara yang dibutuhkan agar terjadi pembakaran sempurna adalah :

$$(\text{Va})_{\text{act}} = 6,101981 \text{ m}^3_{\text{std}}/\text{kg}_{\text{bb}}$$

$$\text{Wa}_{\text{act}} = 14,68785 \text{ kg/kg}$$

5. Analisa gas asap, berikut ini adalah tabel komposisi gas asap hasil reaksi pembakaran :

$$\text{W}_{\text{co}_2} = 1,655958 \text{ kg/kg}_{\text{bb}}$$

$$\text{W}_{\text{so}_2} = 0,00255 \text{ kg/kg}_{\text{bb}}$$

$$\text{W}_{\text{H}_2\text{O}} = 0,596475 \text{ kg/kg}_{\text{bb}}$$

$$\text{W}_{\text{O}_2} = 0,467819 \text{ kg/kg}_{\text{bb}}$$

$$\text{W}_{\text{N}_2} = 11,30964 \text{ kg/kg}_{\text{bb}}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber.
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah.
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 20/9/23

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

7. Kelipatan penguapan (W_e) = 7,722631 kg/kg_{bb}
8. Panas Berguna = 4469,009 kkal/kg_{bb}
9. Efisiensi Ketel (η_k) = 79,99997%
10. Kerugian – kerugian panas pada Ketel (Q_{loss}) :
- Q_g = 557,4019 kkal/kg
- $Q_{moisture}$ = 64,56685 kkal/kg
- Q_{H_2} = 399,0934 kkal/kg
- Q_a = 1,115749 kkal/kg
- Q_{rad} = 95,0861 kkal/kg
11. Neraca kalor, berikut adalah tabel keseimbangan panas (*heat balance*)

Suplai panas Kkal/kg	Kkal/kg	%	Distribusi panas	Kkal/kg	%
Panas pembakaran (Q_{in})	5586,263	100	- (Q_{ef})	4469,009	79,99997
			- (Q_g)	557,4019	9,978082
			- ($Q_{moisture}$)	64,56685	1,155815
			- (Q_{H_2})	399,0934	7,144193
			- (Q_a)	1,115749	0,019973
			- (Q_{rad})	95,0861	1,702141
Total	5586,263	100		5586,263	100

5.2. Saran Penulisan

Dalam penulisan ini, penulis ingin menyampaikan beberapa saran yang berkaitan dengan Analisa Kerugian Panas Pada Ketel Uap Pipa Air di Pabrik

Pengolahan Kelapa Sawit antara lain adalah :
UNIVERSITAS MEDAN AREA

Untuk meminimalisir kerugian ketel maka harus mengusahakan agar terjadi pembakaran sempurna di ruang bakar untuk pembakaran yang baik diperlukan

lima syarat, yaitu :

- a). Pencampuran reaktan secara murni
 - b). Suplai udara yang cukup
 - c). Suhu yang cukup untuk memulai pembakaran
 - d). Waktu yang cukup untuk kelangsungan pembakaran
 - e). Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api
2. Kekurangan alat dalam melakukan analisa orsat yaitu chomatografi untuk mengukur kadar CO₂ gas asap pada pembakaran tidak sempurna, mengurangi tingkat ketelitian dalam perhitungan.
 3. Agar setiap perusahaan lebih transparan dalam memberikan data yang dibutuhkan mahasiswa.
 - 4 Perbedaan kandungan bahan bakar akan mempengaruhi hasil perhitungan.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Syamsir A. Muin, Ir 'Pesawat-pesawatKonversiEnergi I (KetelUap)' penerbit Rajawali Pers Jakarta, 1988.
- 2) M.J. DjokoSetyardjo, Ir 'KetelUap' penerbit PT. PradnyaParamita, Jakarta, 1989.
- 3) J. P Holman, 'PerpindahanKalor' edisike 6, penerbitAirlangga, Jakarta, 1983.
- 4) www.ITB Center Library.Com.
- 5) www.ketel-uap.com
- 6) <http://www.googleco.id/kontruksi-ketel-pipa-air>
- 7) http://www.fluida_thermal.blog.co.id
- 8) <http://www.recipetory.usu.ac.id>
- 9) 2005.Buku Pedoman "Teknik Pengolahan Pabrik Kelapa Sawit" PTPN III (Persero)