

**KETEL UAP UNTUK KEPERLUAN
PABRIK KELAPA SAWIT (PKS)
KAPASITAS 30 TON / JAM**



SKRIPSI

**Diajukan Untuk Melengkapi Tugas dan Syarat
Untuk Mencapai Gelar Sarjana**

Oleh :

NURUL FAHMI
NIM : 95 813 0043



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

2006

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

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

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR SIMBOL	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I : PENDAHULUAN	
1 . 1. Latar Belakang	1
1 . 2. Tujuan Perencanaan	2
1 . 3. Batasan Masalah	3
1 . 4. Manfaat	4
1 . 5. Metode Pengumpulan Data	4
1 . 6. Sistematika	5
BAB II : KETEL SEBAGAI PEMBANGKIT TENAGA	
2 . 1. Latar Belakang Penggunaan Ketel Uap	6
2 . 2. Pengertian dan ungsi Ketel Uap	7
2 . 2. 1. Pengertian Kete Uap	7
2 . 2. 2. Proses Pembentukan Uap	8
2 . 2. 3. Fungsi Ketel Uap	12
2 . 2. 4. Pengertian dan Fungsi	
Ruang Bakar Pada Ketel	13

BAB III : PROSES PEMBAKARAN BAHAN – BAHAN PADA DAPUR

KETEL UAP

3. 1. Parameter Pendukung Ruang Bakar	20
3. 2. Nilai Kalor Bahan – Bakar	20
3. 3. Kebutuhan Bahan – Bakar Pada Proses Pembakaran	23
3. 4. Konsumsi Udara Pada Proses Pembakaran	24
3. 5. Proses Produksi	27
3. 5. 1. Berat Gass Asap	27

BAB IV : PERENCANAAN RUANG BAKAR PADA KETEL UAP

4. 1. Volume Ruang Bakar	33
4. 2. Dinding Pipa Air (Tube Water Wall)	35
4. 2. 1. Pipa Water Wall Bagian Samping Kiri Ruang Bakar	40
4. 2. 2. Pipa Water Wall Bagian Depan Ruang Bakar	43
4. 2. 3. Pipa Water Wall Bagian Belakang Ruang Bakar (Real Wall Furnade)	49
4. 4. 4. Pipa Water Wall Pada Kanan Ruang Bakar (Devision Wall Furnace)	51

BAB V : ISOLASI PADA RUANG BAKAR KETEL UANG

5. 1. Fungsi Isolasi	63
5. 2. Mekanisme di Dalam Ruang Pembakaran	68

5. 3. Rangka Bangka (Flat Grace)	72
BAB VI : KESIMPULAN	73
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
GAMBAR TABEL	



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Ketel uap adalah suatu pesawat yang berfungsi sebagai alat untuk perubah energi panas dari bahan – bakar menjadi energi panas dalam uap , kemudian energi uap dipakai untuk berbagai keperluan . Perubahan energi ini terjadi oleh karena adanya pembakaran bahan - bakar di ruang bakar . Ruang bakar adalah suatu komponen utama ketel uap yang berfungsi sebagai tempat terjadinya proses pembakaran bahan – bakar , panas yang dihasilkan oleh bahan - bakar inilah yang dapat mengubah air menjadi uap sehingga uap yang dihasilkan dapat memutar sudu - sudu turbin yang selanjutnya turbin akan menggerakkan generator .

Ada beberapa jenis dapur (Furnace) tergantung pada Penggunaannya seperti :

- Furnace untuk pandai besi
- Furnace untuk pengocoran logam
- Furnace untuk Sistem Konversi Energi

Dalam hal ini penulis akan membahas lebih lanjut mengenai dapur pembakaran (Furnace) untuk sistem konversi energi yaitu kebutuhan Ketel Uap (Boiler) dengan menggunakan bahan – bakar cengkang dan sabuk kelapa sawit yang digunakan di Pabrik PKS PTPN III Kebun Rambutan Tebing Tinggi . Ruang pembakaran dan ketel uap merk Takuma Type N 6000 di PKS PTPN III Kebun Rambutan Tebing Tinggi gempat penulis melakukan PKL

atau Survey dilengkapi dengan kisi-kisi yang berlubang-lubang dan kisi-kisi di buat dari besi tuang dan dipasang agak miring guna mempermudah pembersihan abu, bahan-bakar tersebut. Dalam ruang bakar ini terdapat pipa penguap yang menerima beban panas dari nyala api sehingga mudah mmeperoduksi uap. Tarikan pembakaran dihembuskan oleh Fan Isap (Induced Draft Fan) yang ditempatkan di beakang dapur ketel uap. Sehingga pengotrol api ditempatkan di belakang dapur ketel uap. Sebagai pengontrol api dalam ruang bakar di buat beberapa lubang ditempatkan pada dinding dapur.

1.2 Tujuan Perencanaan

Gambaran keterangan di atas merupakan latar belakang untuk merencanakan ruang bakar ketel uap (Boiler) yang sesuai dengan kebutuhan. Beberapa tujuan yang ingin dicapai perencanaan ini adalah :

- a. Menganalisis ruang bakar yang ada pada ketel uapa merk Takuma Type N 6000
- b. Meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam mengaplikasikan ilmu pengetahuan yang diperoleh dalam mengikuti perkuliahan ;
- c. Menambah wawasan pengetahuan pada disiplin ilmu yang akan menjadi proesi ;

1.3 Batasan Masalah

Perencanaan ini hanya dilakukan secara umum berhubungan dengan keterbatasan masalah waktu, pembahasan ketel uap (Boiler) dan kemampuan penulis. Oleh karena itu perencanaan hanya meliputi :

- a. Perencanaan bentuk dan ukuran ruang bakar ketel uap (Boiler)
- b. Kontruksi dinding dapur
- c. Heat Transfer dalam dapur ketel uap .



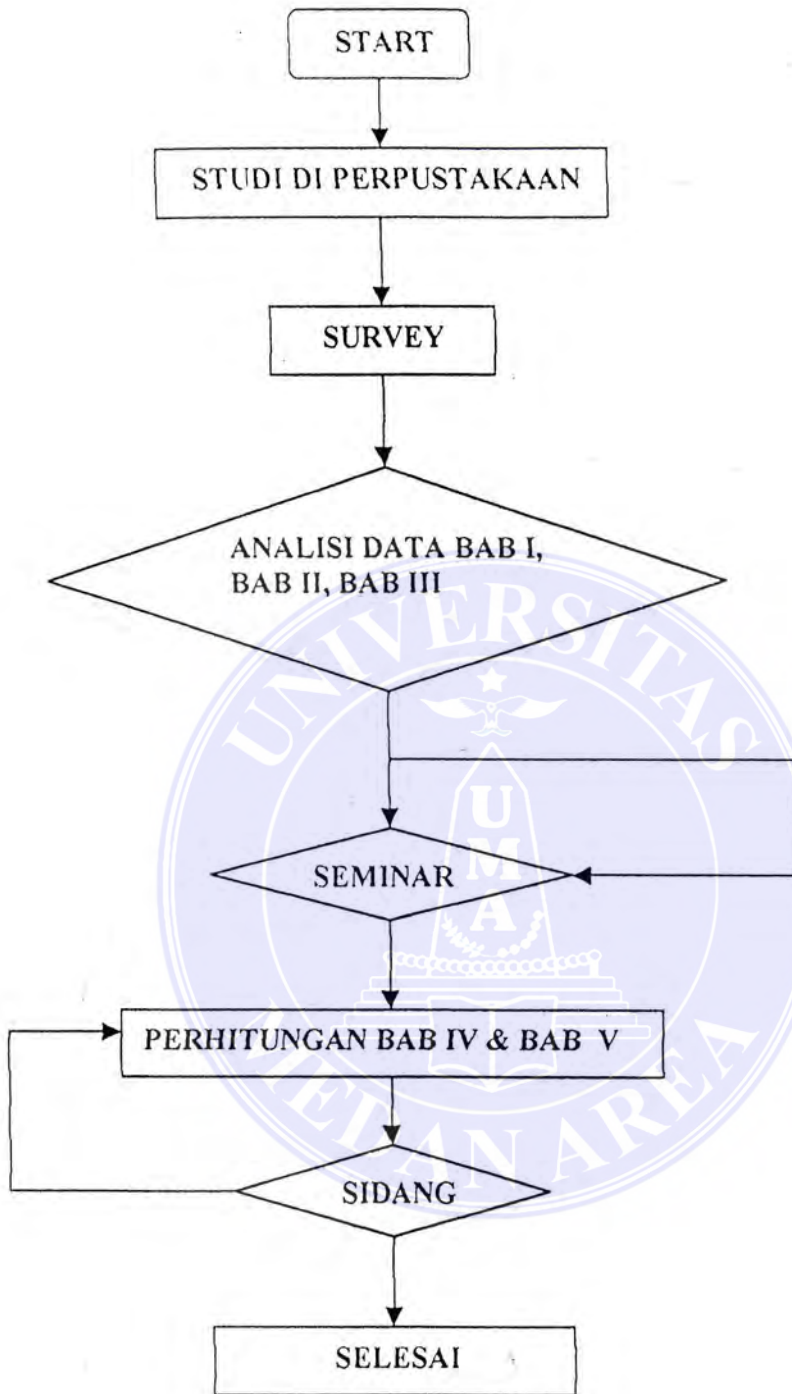
1.4 Manfaat

Laporan ini diharapkan bermanfaat bagi :

- a. Bagi Perusahaan di mana penulis melakukan penelitian seperti Perusahaan akan mempunyai referensi dan masukan mengenai ketel uap khususnya ruang bakar ketel uap dari skripsi ini ;
- b. Bagi para pembaca yang ingin mengetahui tentang ketel uap (Boiler), khususnya ruang bakar pada ketel uap ;
- c. Mahasiswa yang akan membahas lebih lanjut masalah yang sama .

1.5 Metode Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data yang digunakan penulis dalam penulisan tugas Sarjana Tehnik ini adalah :



1.6 Sistematika Penulisan

BAB I Pendahuluan

Dalam bab ini penulis menjelaskan Latar Belakang Masalah , Tujuan Perencanaan , Pembahasan Masalah , Manfaat , Metode Pengumpulan Data , dan Sistematika Penulisan .

BAB II Landasan

Pada bab ini berisi tentang teori umum tentang latar belakang penggunaan ketel uap , pengertian dan fungsi ketel uap , fungsi ruang bakar pada ketel uap pembentukan ketel uap nilai kalor , dan cara pindahan panas pada dapur pembakaran .

BAB III Metologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tentang komponen - komponen yang mendukung Boiler , khususnya Ketel Uap pada rancang ruang bakar yakni , Nilai Kalor Bahan Bakar , Kebutuhan Bahan Bakar , Jumlah Udara Bahan bakar , Gas Asap yang terbentuk .

BAB IV/V Pembahasan

Bab ini menjelaskan perhitungan ukuran utama Ruang Bakar dan Neraca Kalor pada PKS PTPN III Kebun Rambutan Tebing Tinggi .

BAB VI Kesimpulan dan saran

BAB II

KETEL UAP SEBAGAI PEMBANGKIT TENAGA

2.1 Latar Belakang Penggunaan Ketel Uap

Untuk dapat memenuhi energi listrik yang kian tahun semakin meningkat, kita jangan hanya mencari sumber – sumber energi listrik lain seperti : batu bara, tanah gambut, cangkang, serabut, energi surya dan tenaga angin. Oleh karena itu pemerintah pada saat ini bersama – sama dengan perusahaan swasta melakukan usaha – usaha untuk mencari sumber – sumber energi alamiah yang dapat dikombinasikan menjadikan atau menimbulkan energi listrik adalh dengan tenaga uap.

Pada pembangkit listrik tenaga uap, menggunakan ruang bakar dan bahan – bakar agar dapat menghasilkan panas, di mana panas yan dihasilkan oleh bahan – bakr inilah yang dapat mengubah air menjadi uap. Sehingga uap yang dihasilkan oleh bahan – bakar inilah yang dapat mengubah air menjadi uap. Sehingga uap yang dihasilkan dapat memutar sudu – sudu turbin yang selanjutnya turbin akan menggerakkan generator.

Banyak faktor keuntungan sehingga ketel uap banyak digunakan pada saat ini.

Adapun aktor keuntungan tersebut antara lain :

1. Dapat mengubah tenaga uap menjadi energi listrik
2. Dapat membangkit tenaga listrik dengan skala besar

3. Dapat digunakan sebagai alat - alat pemanas dan penggerak alat pabrik pengolahan kelapa sawit . Sebagai contoh pemanas CPO agar tidak membeku , perebusan buah pada sterillizer dl .

Di samping keuntungan , ketel uap mempunyai kerugian terhadap lingkungan , akibat gas asap yang dihasilkan pada proses pembakaran . Sehingga gas asap tersebut akan mengakibatkan polusi udara .

2. 2. Pengertian dan Fungsi Ketel Uap

2. 2. 1 Pengertian Ketel Uap

Secara umum ketel uap adalah suatu alat yang dapat mengubah air menjadi uap dengan menggunakan komponen – komponen dalam melaksanakan prosesnya . Adapun komponen – komponen tersebut : Drum ketel , Ruang - bakar , Pipa – pipa Aliran , Superheater . Sedangkan fluida cair dalam hal ini air sebagai bahan yang akan diproses dari fasa cair menjadi fase uap . Fase uap ini yang akan diproses menjadi uap kering atau uap panas lanjut , dengan menggunakan superheater . Di mana superheater ini menghasilkan panas yang berlebih untuk dapat mengeringkan kadar air yang terdapat pada uap jenuh . Yang mana panas pada supreheater ini diambil dari sisa panas yang dihasilkan oleh pembakaran setelah mendapatkan panas dari superheater uap ini akan menjadi uap kering , uap inilah yang digunakan sebagai penggerak sudu – sudu pada turbin dan kemudian turbin menggerakkan generator dan eneratoe akan menghasilkan arus listrik . Atau denan kata lain ketel juga dapat dikatakan suatu alat dapat mengubah tenagga uap menjadi tenaga listrik .

Uap yang dihasilkan untuk membangkitkan tenaga tersebut adalah bersumber dari air yang diberikan sejumlah kalor atau panas, pada kondisi tertentu akan mengalami perubahan fase, dari fase cair menjadi fase uap. Dalam fase uap masih dikatakan atas dua golongan yaitu fase uap jenuh dan fase uap kering.

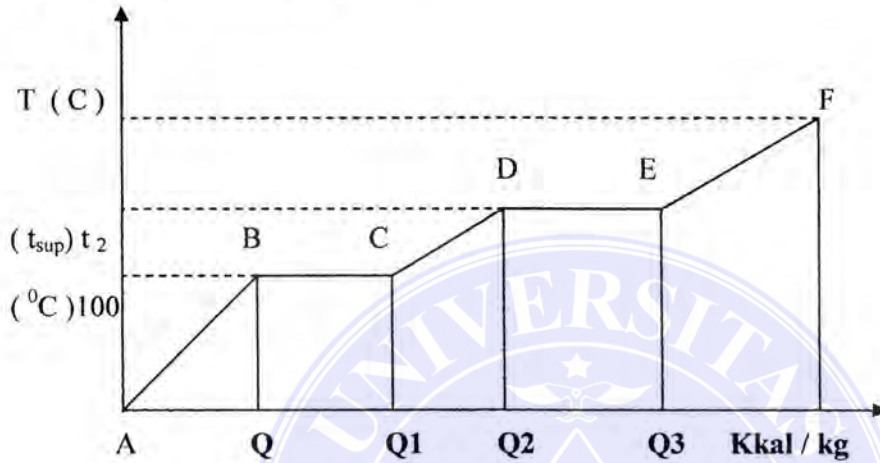
Dalam hal ini uap yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin sebagai pembangkit generator adalah uap kering, yaitu yang masih mengandung air diberi pemanas lagi oleh superheater. Di mana panas superheater diperoleh dari sisa hasil pembakaran pada dapur ketel. Dalam penggunaan pada turbin uap ini harus betul – betul diperhatikan karena dapat berpengaruh pada turbin uap, apabila yang uap yang digunakan untuk penggerak turbin, menghambat gerak sudu – sudu turbin dan akan dapat menimbulkan korosi pada sudu – sudu turbin. Pada proses perubahan fase dapat kita lihat pada diagram yang berikut ini.

2. 2. 2. Proses Pembentukan Uap

Pembentukan uap terjadi dengan adanya panas pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar, di mana dalam hal ini terjadi perpindahan panas melalui pipa – pipa water wall. Jadi untuk menghasilkan uap yang besar dapat digunakan dengan ketel uap. Dalam hal ini dapat dilihat tiga tingkat kondisi dan temperatur yang berbeda :

Kita ambil 1 kg es temperatur -10°C kemudian kita panaskan. Dapat dicatat bahwa temperatur es akan mulai naik sampai mendekati 0°C , seperti diperhatikan oleh garis AB dalam gambar 2.13

Sesudah itu akan terlihat dua macam fase yang bercampur yang fase padat (es) dan fase cair (air) seperti diperlihatkan oleh garis BC , tidak ada kenaikan temperatur pada fase campuran ini hingga seluruh es mencair (terbentuk air) .



Gambar 2.13 Perubahan Fase Air

Keterangan gambar :

A – B : Proses pemanasan air

B – C : Proses pemanasan air melalui pompa

C – D : Proses pembentukan uap

D – E : Proses Pembentukan uap saturasi

E – F : Proses pembentukan uap panas lanjut tanpa mengalami perubahan temperatur

Jumlah energi panas yang diberikan selama proses transformasi BC yang berlangsung tanpa kenaikan suhu disebut panas lebur , besarnya 80 kkal / kg . Titik 0° c disebut titik lebur (titik beku es) . Bila pemanasan diteruskan terhadap 1 kg air pada 0° c (titik C) maka temperatur akan naik

samapi 100^0 c di bawah tekanan standart , seperti diperlihatkan oleh garis CD .

Bila proses pemanasan (Penambahan energi panas) dilanjutkan sesuai garis DE di bawah tekanan standart , akan terlihat bahwa temperatur tidak berubah . Sebagian dari air akan berubah menjadi uap (fase gas) jadi selama berlangsungnya perubahan energi panas pada campuran ini , temperatur tidak naik tetapi energi panas terserap ke dalam proses . Akhir dari proses fase campuran ini ialah terbentuknya uap air secara keseluruhan (disebut air mendidih pada titik E) .Titik E ditandai oleh suhu 100^0 c dan tekanan standart 1 atm . Angka 100 disebut titik didih air di bawah tekanan 1 atm ($1,033 \text{ kg} / \text{cm}^2$) .

Jumlah energi yang terserap selama proses transformasi DE disebut panas penguapan (panas laten) yang besar $538,9 \text{ kkal} / \text{kg}$. Kondisi uap pada $1,033 \text{ kg} / \text{cm}^2$ absolut dan 100^0 c disebut kondisi jenuh (saturasi) . Uap yang terbentuk pada suhu dan tekanan saturasi (kenyang) .

Bila pemanasan (Pemberian energi panas) dilanjutkan di bawah tekanan standart yang konstant maka suhu uap akan naik , sesuai dengan garis proses EF . Uap yang dihasilkan pada kondisi F disebut uap panas lanjut (adi panas) .

Kesimpulan dari proses ABCDEF tersebut diatas disimpulkan dalam table dibawah ini .

Tabel 2. 1 Proses Perubahan Fase Air

Proses	Energi Masuk	Kkal / kg
Pemanasan es A – B	$C_1 [0 - (- 10)]$	$10 C_1$
Peleburan es B – C	Panas Lebur	80

Penguapan Air C – D	$C_2 (100 - 0)$	$100 C_2$
Penguapan D – E	Panas Laten	538,9
Pemanasan Lanjut E – F	$C_3 (t_{sup} - t_{sat})$	$C_3 (t_{sup} - 100)$

Keterangan :

C_1 = Panas jenis air kkal / kg⁰ c

C_2 = Panas jenis air kkal / kg⁰ c

C_3 = Panas jenis uap kkal / kg⁰ c

t_{sat} = Temperatur uap saturasi jenuh

t_{sup} = Temperatur uap adi panas

Umumnya properti dari uap yang siap pakai terdiri dari :

Tekanan	P kg / cm ²
Suhu	t °c
Volume	V kg / cm ³
Entalphy	h kkal / kg
Entropy	s kkal / kg c ⁰

Uap dari hasil pemanasan dapat terjadi pada 3 (tiga)

keadaan yaitu :

a. Uap basah

Yang mana uap ini masih mengandung butiran – butiran yang halus dari air , temperatur uap dan air adalah sama .

b. Uap jenuh

yaitu uap yang berada diantara uap basah dan uap kering. Sesuai dengan fungsinya

ketel uap adalah merubah energi thermis dari hasil pembakaran menjadi thermal panas.

a. Uap kering

yaitu uap yang didapat dari pemanas lanjut (superheater) dari uap jenuh, yang mana

kadar uap mencapai 100% atau kadar $x = 1$

2.2.3 Fungsi Ketel Uap

Pada dasarnya proses ketel uap adalah mengubah air menjadi uap. Di mana drum tersebut sebagai wadah penyimpanan air dan uap yang dihasilkan oleh pemanasan air pada pipa-pipa *water wall* yang dilakukan di dalam dapur, sehingga uap yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai keperluan pada pabrik pengolahan kelapa sawit diperlukan sebagai penggerak generator untuk menghasilkan listrik untuk penggerak komponen atau alat untuk proses pengolahan buah kelapa sawit.

Pada umumnya ketel dapat diklasifikasikan menjadi dua golongan utama yaitu :

1. Ketel Uap Air (*Water Tube Boiler*)
2. Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

Yang dimaksud boiler pipa air adalah pada proses penguapan air fluida kerjanya yaitu air berada di dalam pipa - pipa aliran yang dinamakan pipa *water wall*, sedangkan panas (api) yang

digunakan berada diluar, sedangkan boiler pada pipa api sebaliknya fluid kerjanya (air) berada diluar pipa sedangkan api berada di dalam pipa.

Di dalam rancangan ini penulis memilih boiler pipa air (*water tube boiler*) sebagai pokok rancangan dengan bentuk dapur persegi panjang.

Di tinjau dari pemakainya ketel uap dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu :

1. Boiler Stasioner atau Boiler tetap

Yang dimaksud jenis boiler ini adalah boiler yang kedudukannya tetap diatas fondasi yang tidak bergerak. Contohnya boiler ukuran-ukuran besar yang dipergunakan sebagai pembangkit tenaga untuk industri besar.

2. Mobiler tetap

Yaitu boiler yang dipergunakan atau dipasang pada fondasi yang berpindah-pindah umumnya kapasitas kecil.

Dalam hal ini penggunaan ketel uap pada penggunaan untuk kapasitas besar.

Seperti pada pabrik biasanya ketel uap harus ada yang *stand by* (siap untuk operasi) pada ketel yang sedang beroperasi mengalami kerusakan.

2.2.4 Pengertian dan Fungsi Ruang Bakar pada Ketel (Furnace)

Dapur ruang bakar adalah komponen utama pada ketel dalam melaksanakan proses kerjanya. Ruang bakar ini sangat menentukan dalam proses ketel untuk menghasilkan uap. Karena ruang bakarlah yang menghasilkan uap

panas untuk proses pembakaran pipa – pipa *water wall* dengan menggunakan bahan bakar didalamnya. Adapun fungsi ruang bakar secara umum adalah suatu tempat di mana proses pembakaran bahan bakar terjadi . Adapun proses pembakaran ini akibat terbakarnya bahan bakar dalam hal ini cangkang dan serabut dibantu oleh adanya pemberian udara dan nyala api.

Dalam perencanaan ini penulis memilih bahan bakar cangkang dan serabut, perbandingan antara bahan bakar cangkang dan serabut telah mempunyai suatu angka perbandingan yang telah ditetapkan 3: 1 di mana 3 bagian untuk serabut dan menjadikan sempurna hasil pembakaran , selain faktor supply udara cukup.

Ruang bakar juga akan diartikan sebagai tempat mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas efektif. Untuk mendapatkan hasil pembakaran yang sempurna, dan baik diperoleh lima syarat utama, yaitu :

1. Perencanaan bahan bakar yang sempurna (dalam hal ini perbandingan bahan bakar antara cangkang dan serabut harus sesuai).
2. Supply udara pada ruang bakar harus cukup.
3. Panas yang cukup (nyala api) untuk memulai pembakaran.
4. Waktu yang cukup untuk kelangsungan pembakaran.
5. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api.

Di dalam dapur sumber panas itu adalah nyala api (flame) cahaya kuning dari nyala disebabkan hidro karbon. Sedangkan partikel pijar dari arang abu yang terbang oleh adanya konsumsi udara keruang bakar jumlah dan ukuran partikel pijar yang tergantung pada jenis bahan bakar yang dipakai.

Di dalam penggunaan ruang bakar (Furnace) kapasitas uap ditentukan oleh kapasitas ruang bahan bakar yang dibutuhkan, semakain besar kebutuhan uap yang diinginkan semakin besar pula kalor panas yang harus dihasilkan oleh dapur, secara tidak langsung semakain banyak pula penggunaan bahan bakar semakin besar pula volume dapur yang harus dibutuhkan.

Pada dasarnya ada tiga (3) cara pindahan yang terjadi pada ruang bakar ketel uap (Furnace). Pindahan panas tersebut antara lain :

- a. Dengan cara Pancaran atau Radiasi
- b. Dengan cara Aliran atau Konversi
- c. Dengan cara Perambatan atau Konduksi

Perpindahan panas secara Pancaran atau Radiasi

Pemindahan panas secara pancaran atau Radiasi adalah perpindahan panas secara sesuatu benda ke benda yang lain dengan jalan melalui gelombang- gelombang elektro magnetis tanpa tergantung kepada ada atau tidaknya media atau zat di antara benda yang menerima panas tersebut.

Bidang yang akan dipanasi hanya dapat menerima perpindahan panas secara pancaran bila bidang/benda tersebut melihat api tersebut. Dan bila suatu benda/bidang terhalang pengelihatannya kepada api, maka benda/bidang tersebut tidak akan memperoleh panas secara pancaran.

Semua zat-zat yang memancarkan panasnya (molekul-molekul api atau gas asap), intensitas radiasi thermisnya atau kuat pancaran panasnya tergantung dari temperatur zat yang memancarkan panas tersebut. Bila pancaran panas menimpa suatu benda atau bidang, sebagian dari panas pancaran yang

diterima benda tersebut, akan dipancarkan kembali (re – radiasi) atau dipantulkan (reflected), dan sebagian yang lain dari panas pancaran tersebut diserapnya.

Adapun banyaknya panas yang diterima secara pancaran atau Q_p berdasarkan rumus dari Stephan – Boltzman adalah sebesar :

$$Q_p = C_z \cdot F \cdot [(T_{api} : 100)^4 - (T_{benda} : 100)^4] \text{ kg/jam}$$

Keterangan :

C_z = kostanta pancaran dari Stephan - Boltzmann yang dinyatakan dalam Kj/m^2 .

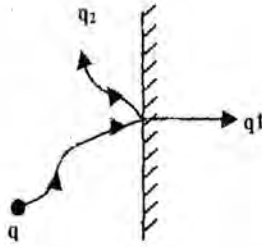
Jam. K^4 dalam $\text{Watt/m}^2 \cdot \text{K}^4$. Bila C_z dinyatakan dalam $\text{Kilojoule/m}^2 \cdot \text{Jam} \cdot \text{K}^4$

Maka Q_p dinyatakan dalam Kilojoule/Jam

Bila C_z dinyatakan dalam $\text{Watt/km}^2 \cdot \text{K}^4$ maka harga Q_p dinyatakan dalam Watt

Perpindahan Panas secara Konveksi

Perpindahan panas secara aliran atau konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul suatu fluida (cair ataupun gas). Molekul – molekul fluida tersebut dalam gerakannya melayang – melayang ke sana kemari membawahkan fluida panas masing – masing q joule.



Pada saat molekul fluida tersebut menyentuh dinding ketel maka panasnya dibagikan sebagian, yaitu q_1 joule kepada dinding ketel, selebihnya yaitu $q_2 = q - q_1$ joule dibawahnya pergi. Bila gerakan dari molekul – molekul yang melayang – layang ke sana kemari tersebut disebabkan karena perbedaan temperatur di dalam fluida itu sendiri, maka perpindahan panasnya disebut konveksi bebas (free convection) atau konveksi alamiah (natural convention).

Bila gerakan molekul – molekul tersebut sebagai akibat dari kekuatan mekanis (karena dipompa atau karena dihembus dengan fan) maka perpindahan panasnya disebut konveksi paksa (forced convection).

Dalam gerakannya molekul – molekul api disebut tidak perlu melalui lintasan yang lurus untuk mencapai dinding ketel atau bidang yang dipanasi.

Jumlah panas yang diserahkan secara konveksi = Q_k

$$Q_k = \alpha \cdot F \cdot (T_{\text{api}} - T_{\text{dinding}}) \text{ KJ/ Jam}$$

Di mana :

α = Angka peralihan panas dari api ke dinding ketel dinyatakan dalam Kj/m^2 .

K° atau

Watt/m².K⁰. Bila α dinyatakan dalam Kiloujoule/m². K⁰ maka Qp dinyatakan dalam KJ/jam, bila α dinyatakan dalam Watt/m². K maka Qp dinyatakan dalam watt .

F = Luas bidang yang dipanasi dinyatakan dalam m².

T = Temperatur di dalam. Kelvin

Perpindahan panas secara Perambatan atau Konduksi

Perpindahan panas secara perambatan atau konduksi ialah perpindahan dari satu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama, atau dari benda padat yang satu ke benda padat yang lain karena terjadinya persinggungan fisik (kontak fisik atau menempel), tanpa terjadinya perpindahan molekul – molekul dari benda padat itu sendiri.

Di dalam dinding ketel tersebut, panas akan dirambatkan oleh molekul – molekul dinding ketel sebelah luar yang berbatasan dengan api, menuju ke molekul – molekul dinding ketel sebelah dalam yang berbatasan dengan air, uap ataupun udara.

Jumlah panas yang dirambatkan = QR melalui dinding ketel adalah sebesar:

$$QR = \frac{\lambda}{s} \cdot F \cdot (T_{d1} - T_{d2}) \text{ Kiloujoule/jam}$$

..... (3)

Keterangan :

λ = Angka perambatan panas didalam dinding ketel dinyatakan dalam KJ/mjam K

atau Watt/m.K^0 . Bila λ dinyatakan dalam $\text{Kiloujoule/m} \cdot \text{jam} \cdot \text{K}^0$ maka QR dinyatakan dalam Kiloujoule/jam , tetapi bila λ dinyatakan di dalam $\text{Watt/m}^2 \cdot \text{K}$ maka QR dinyatakan di dalam Watt .

s = Tebal dinding ketel dinyatakan dalam meter.

F = Luas dinding ketel yang merambatkan panas, dalam m^2 .

T_{d1} = Temperatur dinding ketel yang berbatasan dengan api.

T_{d2} = Temperatur dinding ketel yang berbatasan dengan air, uap atau udara.



BAB III

PROSES PEMBAKARAN BAHAN – BAKAR

PADA DAPUR KETEL UAP

3. 1. Paramater Pendukung Ruang Bakar

Sebelum penulis melanjutkan perencanaan dimensi dan bentuk ruang bakar, maka terlebih dahulu penulis meninjau beberapa parameter pendukung dari terbentuknya ruang – bakar ketel uap berkapasitas 20 Ton uap.

Parameter tersebut meliputi :

- nilai kalor bahan – bakar
- kebutuhan bahan - bakar
- jumlah udara pembakaran
- waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran harus cukup

3. 2. Nilai Kalor Bahan – Bakar

Nilai kalor (heating value) adalah banyaknya panas yang diperoleh pada pembakaran sempurna 1 kg bahan – bakar :

1. Nilai kalor atas (HHV) = Higher Heating Value yaitu banyaknya panas yang diperoleh pada pembakaran sempurna dari satu kilogram bahan – bakar dengan memperhitungkan kandungan air pada bahan – bakar.
2. Nilai Kalor Bawah (LHV) = Lower Heating Value yaitu banyaknya panas yang diperoleh pada pembakaran sempurna dari satu kilogram bahan – bakar tanpa memperhitungkan kandungan air pada bahan – bakar

Dari survey saat kerja praktek di PKS PTPN III Kebun Rambutan Tebing Tinggi di peroleh data dari laboratorium untuk komposisi bahan – bakar cangkang dan serabut.

Tabel 3. 1 Komposisi Cangkang dan Serabut

Unsur (c)	Cangkang %	Serabut %
Karbon (H ₂)	61,34	40,14
Hidrogen (H ₂)	3,25	4,25
Oksigen (O ₂)	31,16	30,12
Nitrogen (N ₂)	2,45	22,29
Sulfur	-	-
Abu	1,8	3,20

Dalam hal ini bahan – bakar yang digunakan adalah bahan – bakar cangkang dan serabut, dengan angka perbandingan 3 : 1 (Tiga bagian untuk serabut dan satu bagian untuk cangkang) untuk proses pembakaran yang akan dilaksanakan, atau dengan perbandingan 75 % untuk serabut dan 25 % untuk cangkang, maka untuk mendapatkan perbandingan kedua jenis bahan – bakar tersebut, direncanakan perbandingan konsumsi bahan – bakar untuk satuan yang beratnya sama.

Maka persentase untuk 1 kg bahan – bakar serabut campur cangkang adalah :

Persentase campuran serabut dan cangkang untuk 1 kg bahan – bakar.

$$C = \left[\frac{25}{100} \times 61,34 \right] + \left[\frac{75}{100} \times 40,15 \right] = 45,45\% = 0,4545$$

$$H_2 = \left[\frac{25}{100} \times 3,25 \right] + \left[\frac{75}{100} \times 4,25 \right] = 4,0\% = 0,04$$

$$O_2 = \left[\frac{25}{100} \times 31,16 \right] + \left[\frac{75}{100} \times 30,12 \right] = 30,38\% = 0,3038$$

$$N_2 = \left[\frac{25}{100} \times 2,45 \right] + \left[\frac{75}{100} \times 22,29 \right] = 17,33\% = 0,1733$$

$$\text{Abu} = \left[\frac{25}{100} \times 1,8 \right] + \left[\frac{75}{100} \times 3,19 \right] = 2,84\% = 0,0284$$

Dengan menggunakan rumus di atas diperoleh nilai kalor tinggi (HHV) dan nilai kalor rendah (LHV) . Nilai kalor tinggi (HHV) adalah : Banyaknya panas yang diperoleh pada pembakaran yang sempurna 1 kg bahan – bakar dengan memperhitungkan kondensasi uap air dengan rumus :

$$HHV = 8080 \cdot C + 34460 \left[H_2 - \frac{O_2}{8} \right] + 2200 \cdot S \dots\dots\dots(1)$$

$$HHV = 8080 (0,4545) + 34460 \left[0,04 - \frac{0,3038}{8} \right] + 2200 (0)$$

$$= 3742,22 \text{ Kkal / kg bahan – bakar}$$

Sedangkan Nilai Kalor Rendah (LHV) adalah banyaknya panas yang diperoleh pada pembakaran sempurna dan 1 kg bahan – bakar tanpa memperhitungkan kondensasi uap air.

Rumus nilai kalor rendah (LHV)

$$LHV = HHV - 2411 (M + 9 H_2) \text{ Kkal / kg. Bb} \dots\dots\dots(2)$$

$$LHV = 3742,22 - 2411 (0,05 + 9 \cdot 0,04) \text{ Kkal / kg, Bb}$$

$$LHV = 2753,71 \text{ Kkal / kg . bahan – bakar}$$

..... (1) (Pesawat – pesawat Konversi Energi I. Ir. Syamsir A. Muin, hal 145)

Di mana

M = Kadar Moisture (Kandungan air dalam bahan – bakar)

= 4 % - 6 % (Hasil dari Laboratorium PTPN III Kebun Rambutan Tebing Tinggi) di ambil 5 %.

Artinya : Dalam 1 kg bahan – bakar (Cangkang dan Serabut) menghasilkan panas 2753,71 Kkal / kg. Bb

3. 3. Kebutuhan Bahan – Bakar Pada Proses Pembakaran

Agar dapat memenuhi kebutuhan uap dengan kapasitas 20 Ton Uap / Jam dan tekanan 20 Kg / Cm² serta temperature 300 °C. Maka memenuhi kebutuhan tersebut. Sehingga jumlah bahan – bakar yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus :

$$W_f = \frac{W_s (H_{sup} - H_a)}{LHV \cdot \eta_k} \text{ (kg. Bahan – bakar / Jam)} \dots\dots\dots (3)$$

Di mana :

W_f = Kebutuhan bahan – bakar (kg bahan – bakar / jam)

W_s = Kapasitas uap ketel (direncanakan)
 = 20 Ton Uap / Jam = 20000 kg uap / jam

H_{sup} = Entalpy uap air superheater pada kondisi t = 300 °C dan tekanan P = 20 kg/cm², hal ini dapat pada diagram mollier

H_{sup} = 720 Kkal / kg

LHV = 2753,71 Kkal / kg

η_k = (0,70 s. d 0,90)

Karena ketel menggunakan daerator, maka temperature air masuk kedalam drum bawah ketel sama dengan temperature air keluar dari daerator yaitu : 95 s.d 300 °C

Di mana :

TA = Temperatur air keluar daerator

$$= 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ha = Entalpy air pengisi ketel pada temperator

$$t = 105 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Maka kebutuhan bahan – bakar dapat dihitung :

$$W_f = 20000 \times \frac{W_r(715 - 105)}{(0,80 \times 2753,71)} \text{ (kg. Bahan – bakar / Jam)}$$

$$W_f = 5537,98 \text{ kg bb / jam}$$

Artinya : Pemakaian bahan – bakar untuk kapasitas 20 Ton Uap /Jam membutuhkan bahan – bakar sebanyak 5537,98 kg bahan – bakar / jam dengan bahan – bakar cangkang dan serabut dengan perbandingan 3 :1

3. 4. Konsumsi Udara Pada Proses Pembakaran

Untuk menghasilkan proses pembakaran yang sempurna salah satu faktor pendukung adalah penggunaan perbandingan bahan – bakar yang tepat. Di dalam proses pembakaran selain bahan – bakar juga dibutuhkan udara pembakaran. Untuk menentukan jumlah udara yang dibutuhkan pada proses pembakaran dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$(W_a)_{th} = \frac{2,66.C + 7,94.H_2 + 0,998.S - O_2}{0,232} \dots\dots\dots(4)$$

.....(3)(Pesawat – pesawat Konversi Energi I, Jr. Syamsir A. Muin hal, 201)

Di mana komposisi bahan – bakar adalah :

$$C = 45,45 \%$$

$$H = 4,0 \%$$

$$N_2 = 17,33 \%$$

$$O_2 = 30,38 \%$$

$$S = -$$

$$\text{Abu} = 2,84 \%$$

$$\text{Maka : } (W_a)_{th} = \frac{2,66(0,4545) + 7,94.(0,04) + 0,998.(0) - 0,3038}{0,232}$$

$$(W_a)_{th} = 5,27 \text{ kg udara / kg bahan – bakar}$$

Artinya : Dalam proses pembakaran cangkang dan serabut 1 kg bahan – bakar dibutuhkan udara seberat 5,27 kg udara.

Agar pembakaran sempurna lebih baik dan sempurna diberikan udara lebih (Excess air) pada ruang bakar yang banyaknya adalah sebagai berikut :

$$(W_a)_{akt} = (W_a)_{th} + (W_a)_{ex} . (W_a)_{th}$$

Di mana :

$$(W_a)_{ex} = \text{Udara lebih (excess air)}$$

$$= 0,25 - 50 \text{ yang di ambil adalah : } 0,3$$

$$(W_a)_{akt} = \text{kebutuhan udara sebenarnya}$$

$$(W_a)_{th} = \text{kebutuhan udara teoritis}$$

$$= 5,27 \text{ kg / kg bb}$$

maka :

$$(W_a)_{akt} = 5,27 + (0,3 \times 4,27)$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang = 6,85 kg udara / kg bahan – bakar

Document Accepted 7/12/23

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)7/12/23

Jadi udara yang dibutuhkan tiap jam adalah :

$$W_a = W_f \times (W_u)_{\text{akt}}$$

Di mana

$$\begin{aligned} W_f &= \text{kebutuhan bahan - bakar} \\ &= 5537,9 \text{ kb bt / jam} \end{aligned}$$

Udara yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} W_a &= 5537,98 \times 6,85 \\ &= 37934,615 \text{ kg udara / jam} \end{aligned}$$

Volume udara teoritis

$$(V_a)_{\text{th}} = \frac{1,865 + 5,56H_2 + 0,6987,S - 0,7xO_2}{0,232} \dots\dots\dots(5)$$

$$(V_a)_{\text{th}} = \frac{(1,865 \times 0,454) + (5,56) \cdot (0,04) + 0,6987 \cdot 0 - (0,7)(0,3038)}{0,21}$$

$$(V_a)_{\text{th}} = \frac{0,8476425 + 0,2224 + 0 - 0,21266}{0,21}$$

$$(V_a)_{\text{th}} = 4,08 \text{ m}^3 / \text{kg bb}$$

Konsumsi udara masuk ruang bakar sebenarnya adalah :

$$(V_a)_{\text{akt}} = (V_a)_{\text{th}} \times n$$

Di mana :

$$\begin{aligned} n &= \text{faktor udara} \\ &= 1,4 - 2 \\ &= 1,5 \text{ diambil} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} (V_a)_{akt} &= 4,102 \times 1,5 \\ &= 6,153 \text{ m}^3 / \text{kg bb} \end{aligned}$$

Jumlah volume yang dibutuhkan ruang bakar tiap jam adalah :

$$\begin{aligned} V &= W_f \times (V_a)_{akt} \\ &= 5537,98 \times 6,155 \\ &= 34075,19 \text{ m}^3 / \text{jam} \end{aligned}$$

3. 5. Produksi Gas Asap

3. 5. 1 Berat Gas Asap

Berat gas asap yang terbentuk dari hasil pembakaran adalah sama dengan jumlah berat udara yang dibutuhkan pada proses pembakaran ditambah dengan bahan – bakar yang dirubah menjadi gas asap ditambah berat abu.

$$\begin{aligned} Mu &= \frac{100}{23} \times \frac{8}{3} \times C + \left(H - \frac{O_2}{8} \right) \text{kg} \\ Mu &= \frac{100}{23} \times \frac{8}{3} \times 0,4545 + \left(0,04 - \frac{0,3038}{8} \right) \text{kg} \\ Mu &= 4,347 \cdot 2,65 \cdot 0,4545 + 0,002 \\ Mu &= 5,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka excess gas asap yang terjadi dari hasil pembakaran bahan – bakar adalah :

$$\begin{aligned} Tu &= (W_a)_{akt} - m \text{ (kg)} \dots\dots\dots (6) \\ Tu &= 6,85 - 5,25 \\ Tu &= 1,6 \text{ kg} \end{aligned}$$

Sehingga berat masing – masing gas asap dalam kg bahan – bakar adalah :

$$W_{CO_2} = \frac{11}{3} \cdot C \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$W_{CO_2} = \frac{11}{3} \times 0,454$$

$$W_{CO_2} = 1,66 \text{ kg / kg bahan - bakar}$$

$$W_{O_2} = \frac{23}{100} \cdot H_u$$

$$W_{O_2} = \frac{23}{100} \cdot 1,66$$

$$W_{O_2} = 0,3818 \text{ kg / kg bahan – bakar}$$

$$W_{N_2} = \frac{77}{100} \cdot (W_{a, \text{ asir}})$$

$$W_{N_2} = \frac{77}{100} \cdot 6,85$$

$$W_{N_2} = 5,27 \text{ kg / kg bahan – bakar}$$

$$W_{H_2O} = 9 \cdot H$$

$$= 9 \cdot 0,04$$

$$W_{H_2O} = 0,36 \text{ kg / kg. Bb}$$

Jumlah gas asap dalam 1 kg bahan – bakar adalah

$$\begin{aligned} mga &= W_{CO_2} + W_{O_2} + W_{NO_2} + W_{H_2O} \\ &= 1,66 + 0,3818 + 5,27 + 0,36 \\ mga &= 7,681 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka persentase dari komposisi gas asap adalah :

$$CO_2 = \frac{1,66}{7,681} \times 100\% = 21,74\%$$

$$O_2 = \frac{0,3813}{7,681} \times 100\% = 4,96\%$$

$$N_2 = \frac{5,29}{7,681} \times 100\% = 68,87\%$$

$$H_2O = \frac{0,36}{7,681} \times 100\% = 4,68\%$$

Produksi gas asap yang terbentuk dihasilkan pada laju pembakaran bahan – bakar perjam adalah :

$$\begin{aligned} m_{ga} &= m_{ga} \times W_f \\ &= 7,681 \times 5537,98 \end{aligned}$$

$$n_{ga} = 42537,22 \text{ kg / jam}$$

Dengan demikian volume gas asap (sisa pembakaran) dapat dihitung dengan terlebih dahulu mengetahui dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$V_g = \frac{W}{\gamma} (m^3 / kg, bb)$$

Di mana :

$$W = \text{massa gas asap (kg . ga / kg bb)}$$

$$\gamma = \text{berat jenis gas asap}$$

Sehingga diperoleh :

$$1. \text{ Volume } CO_2 = \frac{W_{CO_2}}{\gamma_{CO_2}}$$

Di mana :

$$W_{CO_2} = 1,67 \text{ kg / kg. Bb}$$

$$\gamma = 1,97$$

Jadi :

$$V_{CO_2} = \frac{1,67}{1,97}$$

$$= 0,848 \text{ m}^3 / \text{kg.bb}$$

2. Volume H₂O adalah :

$$V_{H_2O} = \frac{W_{H_2O}}{\gamma_{H_2O}}$$

Di mana :

$$W_{H_2O} = 0,36 \text{ kg / kg . bb}$$

$$\gamma_{H_2O} = 0,8$$

Jadi :

$$V_{H_2O} = \frac{0,36}{0,8}$$

$$V_{H_2O} = 0,450 \text{ m}^3 / \text{kg . bb}$$

3. Volume O₂ = $\frac{W_{CO_2}}{\gamma_{CO_2}}$

Di mana :

$$W_{CO_2} = 0,36 \text{ kg / kg . Bb}$$

$$\gamma = 1,43$$

Jadi :

$$V_{O_2} = \frac{0,361}{1,43}$$

$$= 0,252 \text{ m}^3 / \text{kg.bb}$$

4. Volume N₂ adalah :

$$V_{H_2O} = \frac{WN_2}{\gamma N_2}$$

Di mana :

$$W_{N_2} = 5,29 \text{ kg / kg . bb} \quad \gamma_{N_2} = 1,26$$

Jadi :

$$\begin{aligned} V_{N_2} &= \frac{5,29}{1,26} \\ &= 4,198 \text{ m}^3 / \text{kg . bb} \end{aligned}$$

Maka volume gas asap yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned} V_g &= V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{NO_2} + V_{N_2} \\ V_g &= 0,848 + 0,450 + 0,252 + 4,198 \\ V_g &= 5,748 \text{ m}^3 / \text{kg . Bb} \end{aligned}$$

Volume gas asap untuk pembakaran bahan – bakar selama satu jam adalah :

$$(V_g)_{tot} = W_f \cdot V_f$$

Di mana

$$\begin{aligned} W_f &= \text{kebutuhan bahan – bakar} \\ &= 5537,98 \text{ kg / jam . bb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_g &= \text{Volume gas asap} \\ &= 5,748 \text{ m}^3 / \text{jam} \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} (V_g)_{tot} &= 5537,98 \cdot 5,748 \\ &= 31832,309 \text{ m}^3 / \text{jam} \end{aligned}$$

Dari uraian di atas dapat dihitung persentase volume gas asap sebagai berikut :

$$\text{UNIVERSITAS MEDAN AREA: } \frac{0,848}{5,748} = 0,147 = 14,7\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}}{V_g} = \frac{0,450}{5,748} = 0,0783 = 7,83\%$$

$$\text{O}_2 = \frac{V_{\text{O}_2}}{V_g} = \frac{0,252}{5,748} = 0,0438 = 4,38\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_g} = \frac{4,198}{5,748} = 0,730 = 73,0\%$$



BAB IV

PERENCANAAN RUANG BAKAR

PADA KETEL UAP

4.1 Volume Ruang Bakar

Ruang bakar (**furnace**) adalah suatu tempat dimana terjadinya suatu proses pembakaran bahan-bakar yaitu cangkang dan serabut sehingga dapat mengubah energi kimia menjadi energi kalor (**panas**)

Dalam perencanaan ruang bakar didasarkan pada :

1. kapasitas uap yang akan dihasilkan
2. ditinjau dari bahan-bahan (jenis bahan-bahan)
3. prinsip perpindahan panas

Maka perencanaan ruang-bakar dapat dihitung:

$$V_{RB} = \frac{W_f \cdot LHV \cdot \eta}{H_{rf}} \dots\dots\dots (8)$$

Di mana:

V_{RB} = Volume ruang bakar

W_f = Jumlah bahan bakar yang dipergunakan
 = 5537,98 kg ob / jam

LHV = Nilai kalor rendah
 = 2753,71 K.kal / bahan - bakar

H_{rf} = Laju panas yang diserap dapur
 = (222, 500 : 133, 500)..... (9)

.....(8).... Bernhart G. A. S and William A. Vopat, Power Station Engineering and Economy, Hal 170

η_f = Effisiensi dapur
 = (90 % s.d 97 %)

maka :

$$V_{rb} = \frac{5537,9kg / jam \times 2753,71 kkal / kg.bb \times 0,95}{170500 kkal / m^3 \cdot jam}$$

$$= 85 m^3$$

Direncanakan ruang bakar berbentuk balok terpancung dengan dimensi sebagai berikut :

V_{rb} = panjang x lebar x tinggi

- panjang (p) = 6 meter

- Tinggi (h) = 7 meter

Maka lebar ruang bakar (L) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus :

$$L = \frac{V_{rb}}{P \cdot h}$$

$$= \frac{85}{(6) \cdot (7)}$$

$$= 2,4 \text{ meter}$$

Di mana :

α = Sudut kemiringan pipa (10 : 20⁰)
 = 15⁰ (diambil)(10)

$$\text{Tg } \alpha = \frac{\Delta h}{\text{Tinggidapur}}$$

....(9)...Benhart G.A.S. and Wiliam A. Vopat. Power Station Engineering and Economy, Hal 171

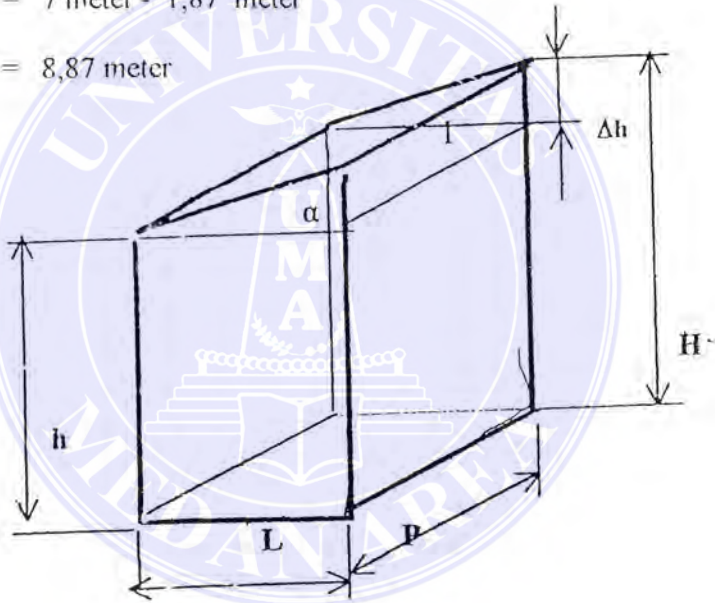
....(10)..Ir.ESM Tambunan, Fajar H. Karo – Karo B. E, Ketel Uap, Hal 220

$$\begin{aligned} \Delta h &= Tg \alpha \cdot \text{Tinggi dapur} \\ &= Tg 15^{\circ} \cdot 7 \text{ meter} \\ &= 1,87 \text{ meter} \end{aligned}$$

maka didapat tinggi ruang bakar dari dasar kedrum atas dengan pembengkokan

pipa water wall (α) = 15°

$$\begin{aligned} H &= \text{Tinggi ruang bakar} + \Delta h \\ &= 7 \text{ meter} - 1,87 \text{ meter} \\ &= 8,87 \text{ meter} \end{aligned}$$



Gambar 4. 1 Bentuk Ruang Bakar

4. 2 Dinding Pipa Air (Tube Water Wall)

Dinding pipa air terdiri dari susunan pipa yang sejajar ditempatkan di bagian dalam ruang bakar. Sehingga membentuk dinding ruang bakar (Furnace) yang kedap udara atau kedap gas (gas tighty), jadi memungkinkan api di dalam

ruang bakar dibuat bertekanan tinggi, maka angka perpindahan panas dari api ke air di dalam pipa menjadi lebih besar.

Dalam perencanaan ini bahan pipa water wall dipilih yaitu bahan pipa Seamless Carbon Steel A53 Grade A pada kondisi temperatur uap (- 20 – 650 F) karena temperatur kerja ketel 300 °C (480,2° F dan diperoleh tegangan izin bahan pipa (Sa) = 12000 psi

Tabel 4.1 Allowable S values for pipe in Power Piping System

Material	Spesificatione and grade	Maximum S for given temperature (psi)				
		-20-650F	800F	900F	1000F	1100F
Electric resistance welded steel	A53, A135; A	10.200	7.650	4.250		
	A53, A135; B	12.750	8.200	4.250		
Electric fusion welded	A165, A285; A	10.100	7.500			
	A165, A285; B	11.250	8.450			
<u>Seamless Carbon Steel</u>	<u>A53, A100; A</u>	<u>12.000</u>	8.000	5.000	1.500	
	A53, A100; B	15000	10.000	5.000	1.500	
Seamless Alloy Steel 1%Cr, 33%Mo 13%Cr, 33% Mo 3%Cr, 1%Mo 18%Cr, 8%Ni	A335, P12	15.000	14.750	13.100	7.500	2.800
	A335, P11	15.000	15.000	13.100	7.800	4.000
	A335, P21	15.000	18.000	12.000	7.000	4.000
	A532, Tp317		16.750	10.000	14.000	10.400

Adapted from ASA B31.1 – 1855 and ASME 1050 Power Boiler Code

Maka :

$$\begin{aligned}
 S_a &= \frac{12000}{14,22} \\
 &= 843,8 \frac{kg}{cm^2}
 \end{aligned}$$

Di mana angka 14,22 pengkonversian psi ke kg/ cm²

Nomor Schedul (sn) pipa adalah

Di mana :

p = Tekanan kerja ketel uap

$$= 20 \text{ kg/cm}^2$$

S_a = Tegangan izin

$$= 843,8 \text{ kg/cm}^2$$

Maka :

$$S_n = \frac{1000 \cdot P}{S_a} \dots\dots\dots (11)$$

$$S_n = \frac{1000 \cdot 20 \text{ kg/cm}^2}{843,8 \text{ kg/cm}^2}$$

$$S_n = 23,7$$

Oleh karena nilai ($S_n = 23,7$) tidak ada terlampir pada tabel maka diambil alternatif yang lebih besar yaitu : $S_n = 40$

Tabel 4. 2 Dimensi Pipa Baja

Ukuran nominal pipa (in)	Diameter luar (in)	Schedule no	Tebal dinding	Diameter dalam (in)	Luas penampang logam (in ²)	Luas penampang dalam (ft ²)
1/8	0,405	40	0,068	0,269	0,072	0,00040
		80	0,095	0,215	0,093	0,00025
¼	0,540	40	0,088	0,364	0,125	0,00072
		80	0,119	0,302	0,157	0,00050
¾	0,675	40	0,091	0,493	0,167	0,00133
		80	0,126	0,423	0,217	0,00098
½	0,840	40	0,109	0,622	0,250	0,00211
		80	0,147	0,546	0,320	0,00163
¾	1,050	40	0,113	0,824	0,333	0,00371
		80	0,154	0,742	0,433	0,00300
1	1,315	40	0,133	1,049	0,494	0,00600
		80	0,179	0,957	0,639	0,00499
1 ½	1,900	40	0,145	1,610	0,799	0,01414
		80	0,200	1,500	1,068	0,01225
		160	0,281	1,338	1,429	0,00976
2	2,375	40	0,154	2,067	1,075	0,02330
		80	0,218	1,939	1,477	0,02050
3	3,500	40	0,216	3,068	2,228	0,05130
		80	0,300	2,900	3,016	0,04587

... (11) ... Bernhart G. A. S and William A. Vopat, Power Station Engineering and Economy, hal 130

Dari tabel Dimensi pipa baja diperoleh

Diameter nominal (D_n)	= 2 in = 5,08 cm
Diameter luar pipa (D_o)	= 2,375 in = 6,03 cm
Diameter dalam pipa (D_i)	= 2,067 in = 5,25 cm
Tebal izin dinding pipa (t izin)	= 0,154 in = 0,39 cm

Sehingga tebal minimum pipa didapat dicari dari persamaan :

$$T_m = \frac{D_o P}{2(S_a + \gamma P)} + C \text{ (inc)} \dots\dots\dots 12)$$

Di mana :

T_m = Tebal minimum pipa

P = Tekanan kerja ketel
= 20 Kg / cm² = 318,528 psi

S_a = Allowable Stress
= 12.000

γ = Koefisien yang tergantung pada temperatur kerja
= 300 °C (480 °F)
= 0,4 untuk temperatur di bawah 900 °F

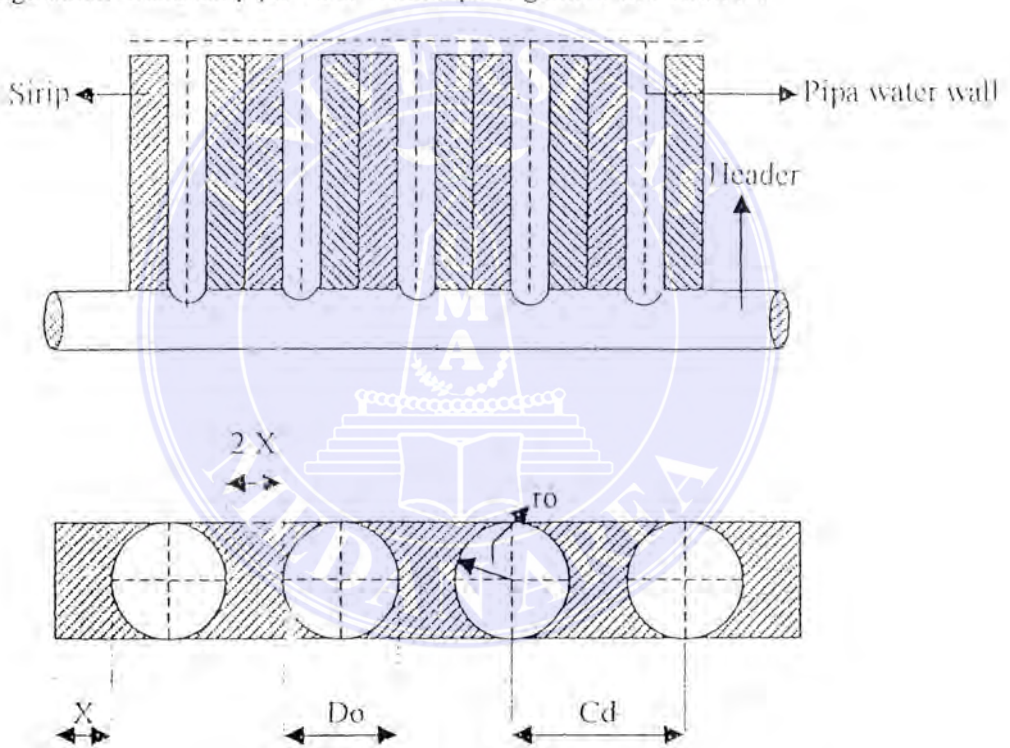
C = Konstanta penambah
= 0,065 inc, untuk diameter pipa $D > 1$ inc (dipakai)
= 0,05 inc, untuk diameter pipa $D < 1$ inc

.... 12) ... Ibid, Hal 318

Maka :

$$\begin{aligned}
 T_m &= \frac{2,375 \text{ inc} \times 318,528 \text{ psi}}{2(12,000 + 0,4 \times 318,528 \text{ psi})} + 0,065 \\
 &= 0,096 \text{ inc} \\
 &= 2,443 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari perbandingan tebal p.p.a standard dan pipa minimum diizinkan terlihat bahwa tebal pipa izin (t_{izin}) > (t_m) terhadap kondisi kerja ketel untuk digunakan. Susunan pipa water terlihat pada gambar di bawah ini.

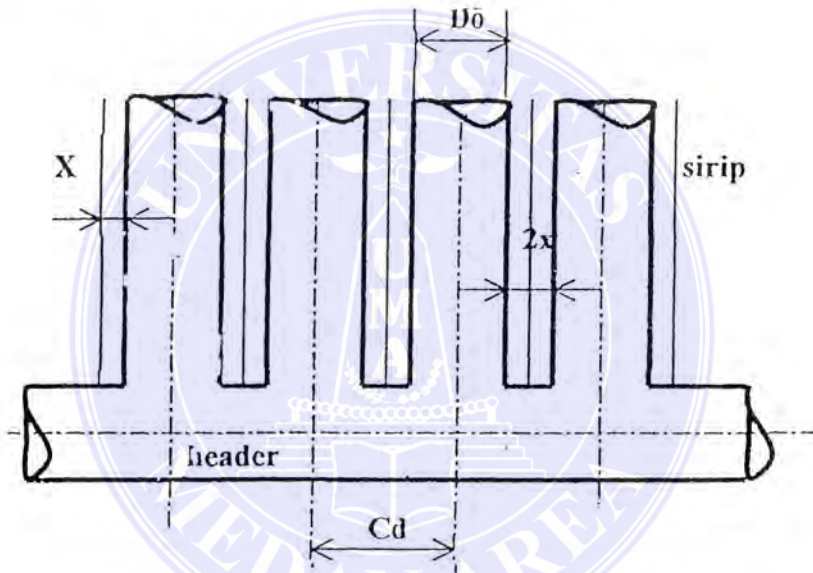


Pipa water wall terdiri dari empat bagian kerja antara lain :

1. Pipa water wall bagian depan
2. Pipa water wall bagian belakang
3. Pipa water wall bagian samping kanan
4. Pipa water wall bagian samping kiri

4. 2. 1 Pipa Water Wall Bagian Samping Kiri Ruang Bakar (Side Wall Furnace)

Untuk menentukan jumlah dari dinding pipa air (tube water wall) bagian kiri harus disesuaikan dengan ukuran ruang bakar. Untuk memperkuat penampang dinding pipa air (tube water wall) yang akan menerima panas yang direncanakan pipa memakai sirip pada kedua sisinya, di mana sirip tersebut disambung dengan sambungan las.



Gambar 4. 2. 1 Susunan Dinding Pipa Air Bagian Kiri

Jarak antara sumbu pipa yaitu :

$$C_d = 2 \cdot r_o + 2x$$

Di mana :

$$r_o = \frac{1}{2} \cdot D_0 \Rightarrow D_0 = 2,375 \text{ inc} = 60,325 \text{ mm}$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 60,325$$

$$= 30,165 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} X &= \text{lebar sirip} \\ &= 7,5 \text{ mm (direncanakan)} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} C1 &= 2 \times 30,17 + 2 \times 7,5 \\ &= 75,34 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga jumlah pipa water wall bagian samping kiri ruang bakar (Furnace) dapat dicari dari persamaan :

$$N_{sw} = \frac{P}{CD} \quad (13)$$

Di mana :

$$\begin{aligned} P &= \text{Panjang ruang bakar} \\ &= 5 \text{ meter} = 5000 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cd &= \text{Jarak antara sumbu pipa} \\ &= 75,32 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi :

$$N_{sw} = \frac{5000}{75,32}$$

$$N_s = 66 \text{ buah}$$

Untuk mencari panjang pipa bagian di atas dapat dicari dengan pendekatan trigonometri dalam hal ini kemiringan pipa direncanakan $\alpha = 15^\circ$ sedangkan lebar lulusan asep (s) di encanakan 1500 mm atau 150 cm

$$b = \frac{P+S}{\cos\alpha}$$

.....(13)....Benhart G.A.S and William A.Vopai, Power Station Engineering and Economy, hal 165

Di mana :

p = Panjang dapur

$$= 7000 \text{ mm} = 700 \text{ cm}$$

s = Lebar laluan gas atap

$$= 1500 \text{ mm (direncanakan)}$$

Maka :

$$b = \frac{7000 + 1500}{\cos 15^\circ}$$

$$b = 8874,1529 \text{ mm (8,874 m)}$$

Untuk panjang suatu buah pipa water wall mulai dari header kiri sampai ke drum atas adalah tinggi ruang bakar dari dasar jarak header dari dasar dapur ditambah panjang pipa bagian atas dengan $\alpha = 15^\circ$

$$L_{\text{swkr}} = (h - k) + b$$

Di mana :

h = Tinggi ruang bakar

$$= 7 \text{ m} = 7000 \text{ mm}$$

b = Panjang pipa bagian atas

$$= 8874,1529 \text{ mm}$$

k = Tinggi header kiri dari dasar dapur

$$= 1500 \text{ mm (ditentukan)}$$

maka panjang satu buah pipa water wall samping kiri adalah :

$$L_{\text{swkr}} = (h - k) + b$$

$$= (7000 \text{ mm} - 1500 \text{ mm}) + 8874,1529$$

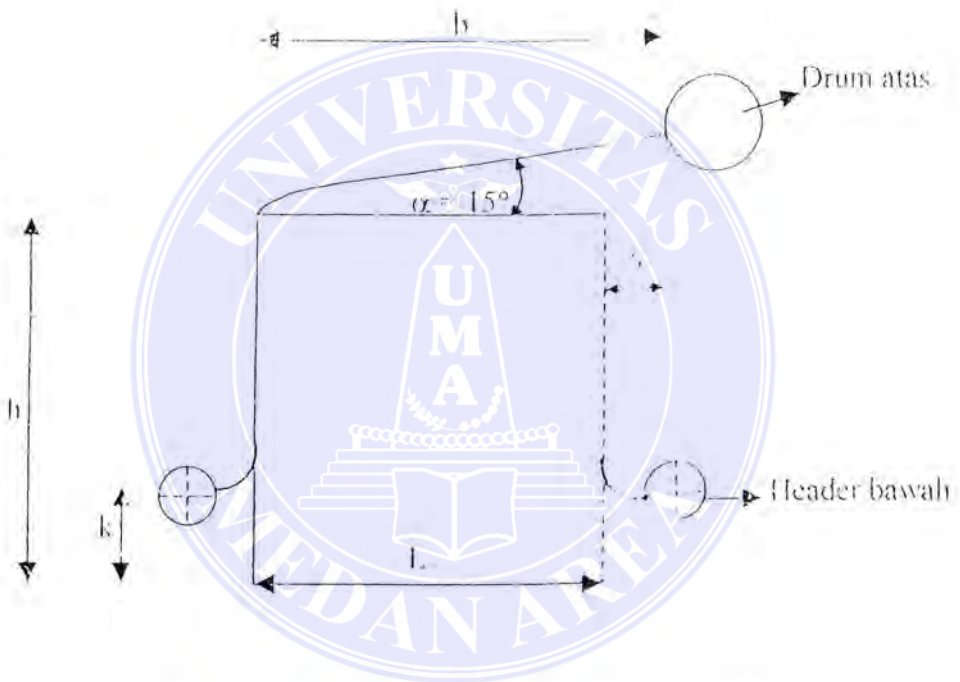
$$= 14374,15 \text{ mm}$$

$$= 14,37 \text{ m}$$

Schubungan jumlah pipa water wall adalah 66 buah pipa, maka panjang keseluruhan pipa water wall samping kiri ruang bakar adalah :

$$\begin{aligned}
 L_{swkr \text{ total}} &= L_{wkr} + n \cdot swkr \\
 &= 14374,13 \text{ mm} \times 66 \\
 &= 948694,0 \text{ mm} \sim 948 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dapat dilihat dari gambar di bawah ini:



Gambar 4. 2. 2 Pipa Water Wall Samping Kiri

4. 2. 2 Pipa Water Wall Bagian Depan Ruang Bakar

Menurut arah memanjang bagian depan ruang bakar adalah merupakan pipa – pipa yang tersusun wajar. Pipa water wall tersusun dengan lebar (L) dan ruang bakar. Susunan pipa – pipa water wall bagian depan sama dengan susunan pipa water wall bagian belakang

Maka:

$$\eta^f = \frac{l}{C/D}$$

Di mana :

η^f = Jumlah pipa water wall bagian depan

l = Lebar ruang bakar

$$= 2,4 \text{ m} \times 210 \text{ cm} = 2400 \text{ mm}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} \eta^f &= \frac{2402}{75,32} \\ &= 31,8 \sim 32 \text{ buah direncanakan} \end{aligned}$$

Untuk mencari pipa memanjang bagian depan dengan sudut $\theta = 35^\circ$

$$L_f = T_a + l$$

Di mana :

L_f = Panjang pipa bagian depan

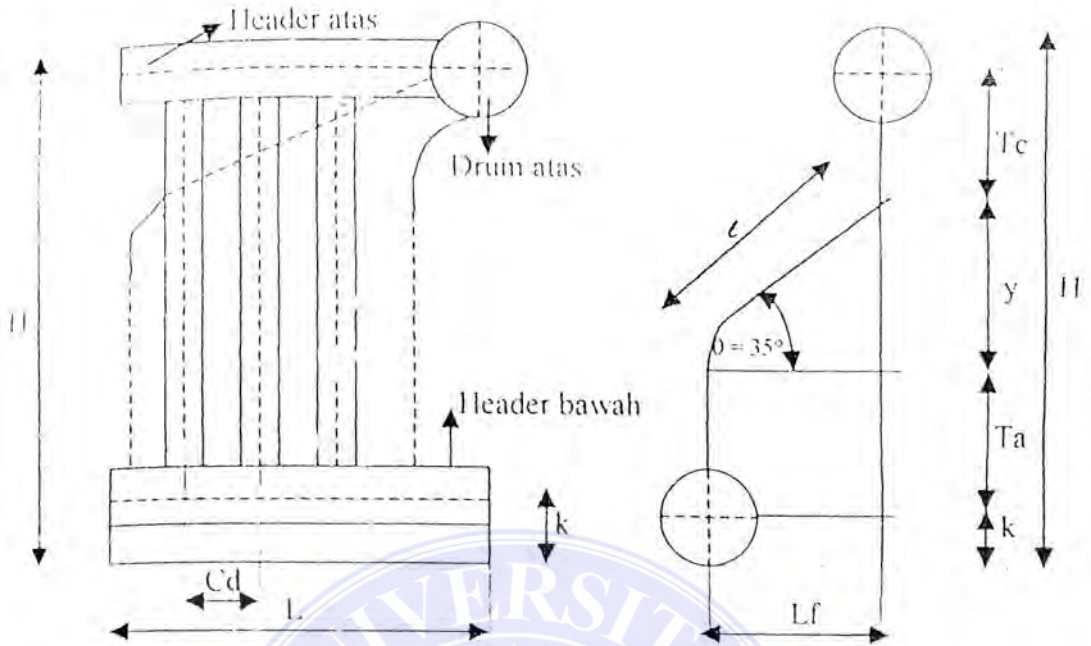
T_a = Panjang pipa water wall bagian depan dari header bawah

l = Panjang pipa dari ($\theta = 35^\circ$) kepembengkokan atas

Untuk menentukan pipa water wall bagian depan dan belakang adalah sama, dikarenakan lebar ruang bakar bagian depan dapur sama dengan lebar ruang bakar bagian belakang serta titik sumbu pipa water wall sama. Letak susunan bagian depan searah lebar ruang bakar maka jumlah pipa water wall bagian depan adalah :

$$\eta^f = \eta^R$$

$$\eta^f = \frac{l}{C/D}$$



Gambar IV.1.3. Susunan Water Wall Bagian Depan

Gambar 4. 2. 2. 1 Susunan Water Wall Bagian Depan

Susunan menentukan pipa water wall wall bagian depan dan belakang adalah sama, dikarenakan ruang bakar bagian depan sama dengan lebar ruang bakar bagian belakang serta titik titik sumbu pipa water wall sama. Letak susunan pipa bagian depan searah lebar ruang bakar maka jumlah pipa water wall bagian depan adalah :

Di mana :

n' = Jumlah pipa water wall bagian depan (buah)

L = Lebar ruang bakar

2,4 m = 2400 mm

Cd = Jarak titik sumbu pipa

Maka :

$$\begin{aligned} n_f &= \frac{2400}{75.32} \\ &= 50,9 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{2} \times 5 \\ &= 2,5 \text{ m} \end{aligned}$$

maka panjang pipa " ℓ " adalah

$$\begin{aligned} \ell &= \frac{X}{\cos \theta} \\ \ell &= \frac{2500 \text{ mm}}{\cos 35^\circ} \\ &= 3051,9 \text{ mm} \\ &= 3,0519 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga untuk pipa memanjang (L_f) = panjang pipa dari header

ke pembengkokkan $\theta = 35^\circ$ (T_a) + panjang pipa dengan sudut 35° :

$$\begin{aligned} L_f &= T_a + \ell \\ &= 450 \text{ mm} + 305,9 \text{ mm} \\ &= 350,9 \text{ mm} \sim 3,5019 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk mencari panjang pipa bagian depan (searah tinggi) adalah

$$T_e = [H - (K + T_a + Y)]$$

Di mana :

H = Tinggi ruang bakar dari dasar ke drum atas

$$8,870 \text{ M} = 8870 \text{ mm}$$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

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)7/12/23

k = Tinggi reader bawah pada bagian depan dari lantai ruang bakar
 = 1500 mm

Ta = Panjang pipa dari header bawah kepembengkokkan pipa dengan sudut
 $\theta = 35^{\circ}$
 = 450 mm (ditentukan)

Y = Selisih panjang pipa " C " dengan saluran gas asap " X "

atau :

$$Y = \sqrt{t - X^2}$$

$$= \sqrt{(3051,9)^2 - (2500)^2}$$

$$= 1750,4 \sim 1,7504 \text{ m}$$

Maka panjang pipa dari drum atas kepembengkokkan pipa adalah :

$$Tc = [8870 - (1500 + 450 + 1750,4)]$$

Sehingga untuk mencari pipa memanjang (Lf) = panjang pipa

header ke pembengkokan $\theta = 35^{\circ}$ (Ta) + panjang pipa sudut 35°

$$Lf = Ta + k + Tc$$

$$= 450 + 3051,9 + 5169,6$$

$$= 8671,5 \text{ mm} \sim 8,6715 \text{ m}$$

Untuk mencari panjang bagian depan :

$$Te = [H - (k + Ta + y)]$$

Di mana :

H = Tinggi ruang bakar dari dasar ke drum atas
 8870 mm

k = Tinggi header ke bawah pada bagian depan dari lantai ruang bakar

$$= 1500 \text{ mm}$$

T_a = Panjang pipa dari header bawah ke pembengkokan pipa dengan sudut

$$= \theta = 35^\circ \text{ dan } 43 \text{ cm (direncanakan)}$$

y = Panjang pipa dari pembengkokan $\theta = 35^\circ$

Dengan pendekatan trigonometri

$$Y = \text{Sin } \theta \cdot l$$

$$= \text{Sin } 35^\circ \cdot 366,23 \text{ cm}$$

$$= 210,03 \text{ cm}$$

Maka panjang pipa bagian belakang adalah :

$$T_e = 8870 - (1500 + 430 + 2100,3 \text{ mm})$$

$$= 4839,7 \text{ mm}$$

$$= 483,9 \text{ cm}$$

$$T_e = 4,83 \text{ meter}$$

Sehingga panjang keseluruhan untuk sebuah pipa water wall bagian depan adalah:

$$L_{vf} = T_a + e + T_e$$

$$= 430 + 3662,3 \text{ mm} + 4839,7 \text{ mm}$$

$$= 8932 \text{ mm}$$

$$= 8,932 \text{ m}$$

Sehingga jumlah pipa water wall bagian depan adalah 32 buah pipa

sehingga total untuk 32 buah pipa water wall bagian depan adalah :

Sehingga panjang total bagian depan adalah

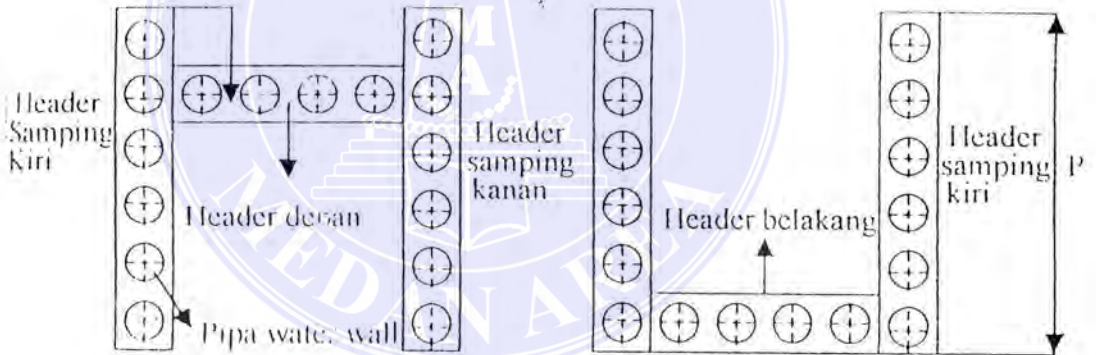
$$L_{wf \text{ tot}} = n \cdot l + L_{wf}$$

$$= 32 \times 8671,5 \text{ mm}$$

$$= 277488 \text{ mm} \sim 277,488 \text{ m}$$

4. 2. 3 **Pipa Water Wall Bagian Belakang Ruang Bakar (Rear Wall Furnace)**

Untuk menentukan jumlah pipa water wall pada belakang ruang bakar sama caranya dengan menentukan jumlah pipa belakang yaitu disesuaikan dengan panjang ruang bakar tetapi untuk menentukan pipa yang memanjang mempunyai perbedaan, karena letak header belakang dan header depan berada jaraknya dari atas untuk nilai x pada pipa water wall depan = $\frac{1}{2} \times P$ (karena header sejajar depan berada pada tengah ruang bakar) sedangkan pipa bagian belakang, header sejajar dengan dinding ruang bakar bagian belakang maka $x = P$ dan $x = 5 \text{ m}$



Gambar 4. 2. 3. 1 Header belakang sejajar dinding belakang ruang bakar

Untuk $T_b = T_a$

$$T_b = 450 \text{ mm}$$

Di mana :

$$X = \text{panjang dapur} \\ = 5 \text{ m} = 5000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \text{Sudut kemiringan pipa} \\ &= 35^\circ \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} e &= \frac{x^2}{\cos 35^\circ} \\ &= \frac{5000 \text{ mm}^2}{\cos 35^\circ} \\ &= 6103,8 \text{ mm} \sim 6,1038 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= \sqrt{(e)^2 - (x)^2} \\ &= \sqrt{(6,038)^2 - (5000)^2} \\ &= 3500,9 \text{ mm} \\ &= 3,5009 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka panjang pipa dari pembengkokan kedua, kedrum atas adalah :

$$\begin{aligned} Td &= [8870 \cdot (1500 + 430 + 3500,9)] \\ &= 3439,1 \text{ mm} \\ &= 3,4391 \text{ m} \end{aligned}$$

Sehingga panjang keseluruhan satu buah pipa water wall bagian belakang adalah :

$$\begin{aligned} Lwr &= Tb + e + Td \\ &= 430 + 6103,8 + 343,91 \\ &= 9972,9 \text{ mm} \\ &= 9,972 \text{ m} \end{aligned}$$

Sedangkan jumlah pipa water wall bagian belakang sama dengan jumlah pipa water wall bagian depan adalah 50 sehingga panjang total untuk 50 buah pipa water wall bagian belakang adalah :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 7/12/23

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

$$\begin{aligned}
 L_{\text{AWR tot}} &= nr + L_{\text{WR}} \\
 &= 50 + 9972 \text{ mm} \\
 &= 49860 \text{ mm} \\
 &= 498,6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4. 2. 4 Pipa Water Wall Samping Kanan Ruang Bakar (Devision Wall Furnace)

Untuk menentukan jumlah pipa water wall samping kanan, sama caranya dengan menentukan jumlah pipa samping kiri yaitu disesuaikan dengan panjang dapur :

Maka :

$$n_{\text{swkn}} = \frac{P}{Cd}$$

Di mana :

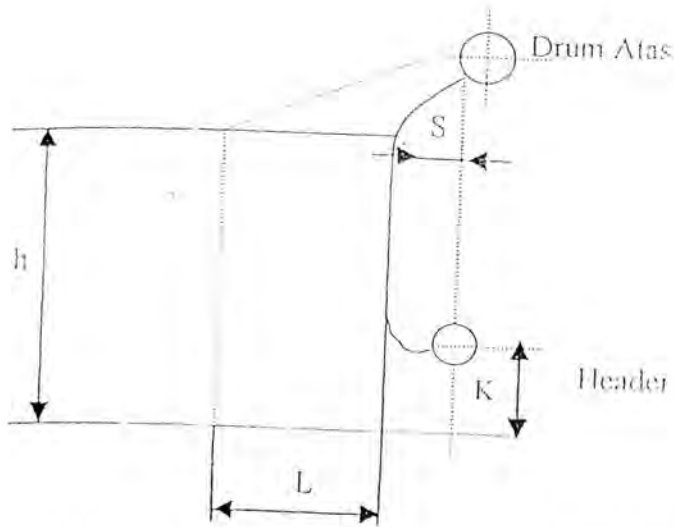
$n_{\text{sw kn}}$ = Jumlah pipa water wall samping kanan

P = Panjang dapur = 5000 mm

Cd = Jarak antara sumbu = 75,32 cm

Maka :

$$\begin{aligned}
 n_{\text{sw kn}} &= \frac{5000}{75,32} \\
 &= 66,38 \sim (66 \text{ buah direncanakan })
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2.4 Pipa Water Wall Samping Kanan (Devison Wall Furnace)

Sedangkan panjang pipa water wall samping kanan adalah :

$$L_{sw\ kn} = \left[h + c + \frac{S}{\cos \beta} \right] - k$$

Di mana :

$L_{sw\ kn}$ = Panjang pipa water wall kanan

h = Tinggi dapur

= 7 m ~ 7000 mm

S = Lebar aluan gas asap

= 1500 mm (direncanakan)

β = Sudut kemiringan pipa

= 15⁰ (ditentukan)

L = Lebar rangka bakar

= 2400 mm (ditentukan)

k = Tinggi header ke lantai dengan pembakaran

= 1500 mm (direncanakan)

c = Jarak header ke pembengkokan

= 350 mm (ditentukan)

Maka

$$\begin{aligned}
 L_{sw\ kn} &= \left[(l-k) + \left(\frac{L+S}{\cos \beta} \right) \right] \\
 &= \left[(7000 - 1500) + \left(\frac{2400 + 1500}{\cos 15^\circ} \right) \right] \\
 &= 9537,5 \text{ mm} \\
 &= 9,5375 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jumlah pipa water wall = 66 buah maka panjang total pipa water wall samping kanan :

$$\begin{aligned}
 L_{sw\ kn\ total} &= n_{sw} \times L_{swkn} \\
 &= 66 \times 9537,5 \text{ mm} \\
 &= 629475 \text{ mm} \\
 &= 629,475 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.3 Luas Bidang Pemanas pada Ruang Bakar

4.3.1 Luas Bidang Pemanas Pada Pipa

luas bidang pemanas pada ruang bakar adalah bidang yang menerima panas pada ruang bakar yaitu pipa water wall dan sirip , dimana sirip terdapat pada sebelah kanan dan kiri pipa water wall bentuk sirip persegi panjang maka untuk mencari luas bidang yang menerima panas (AP) pada ruang bakar adalah :

$$\text{Arad} = S. Ap. \delta A \text{ (meter}^2 \text{)} \dots\dots\dots^{14)}$$

.....(14).....E. T. Morse. Me. EE, Power Plant Engineering, hal 285

Di mana :

A_{rad} = luas bidang pemanas pada ruang bakar karena radias

K = Stogging faktor (faktor tegak)

= 0,9 (untuk pipa kurang bersih)

= 1,0 (untuk pipa bersih)

= 0,9 (ditentukan)

δA = Faktor luasan

= $\frac{1}{2} \pi$ (luasan susunan menerima panas)

A_p = Luasan pipa yang menerima panas

Di mana :

A_{psw} = Luas pipa Water Wall Samping kiri

$$= L_{swkr} \times \pi \times D_o \times n_{swkr}$$

$$= 14,374 \times 3,14 \times 0,06032 \times 66$$

$$= 179,68 \text{ m}^2$$

A_{pf} = Luas pipa Water Wall bagian depan

$$= L_{wf} \times \pi \times D_o \times n_wf$$

$$= 8,932 \text{ m} \times 3,14 \times 0,06032 \times 50$$

$$= 84,58 \text{ m}^2$$

A_{pr} = $L_{wr} \times \pi \times D_o \times n_{wr}$

$$= 9,972 \text{ m} \times 3,14 \times 0,06032 \times 50$$

$$= 90,44 \text{ m}^2$$

Maka luas Pipa Water Wall bagian Samping kanan adalah :

$$\begin{aligned} A_{pswkn} &= L_{swkn} \times \pi \times n_{swkn} \\ &= 9,537 \text{ m} \times 3,14 \times 0,06032 \times 50 \\ &= 90,317 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka luas bidang pemanas total pada Pipa Water Wall adalah :

$$\begin{aligned} A_{p\text{ tot}} &= A_{pswkn} \times A_{pf} \times A_{ps} \times A_{pwkr} \\ &= 179,68 \text{ m}^2 + 84,58 \text{ m}^2 + 90,44 \text{ m}^2 + 90,317 \text{ m}^2 \\ &= 445,017 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

4.3.2 Luas Bidang Pemanas (Untuk sirip)

Sirip adalah susunan plat yang terdapat pada samping kanan dan kiri pipa water wall berbentuk segi panjang . Fungsi sirip adalah sebagai dinding yang berbentuk menyerap / mengisolasi panas yang akan keluar dari ruang bakar dan mengalirkannya secara konduksi pada pipa water wall sebagai pembentuk uap uap saturasi.

Di mana sirip pada water wall ini berbentuk persegi panjang dengan lebar 7,5 mm (direncanakan), dan panjang pipa water wall sesuai pada panjang penerima panas dapat dihitung sebagai berikut yaitu luas sirip pada water wall bagian samping kiri :

$$\begin{aligned} A_{skr} &= 2 L_{swkr} \times n_{swkr} \times L \\ &= 2 \times 14,374 \times 66 \times 0,0075 \\ &= 14,5 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas sirip pada pipa water wall bagian depan :

$$\begin{aligned} A_{sf} &= 2 \times L_{wf} \times n_f \times f \\ &= 2 \times 8,932 \text{ m} \times 50 \times 0,0075 \\ &= 6,699 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas sirip pada pipa water wall bagian belakang :

$$\begin{aligned} A_{sr} &= 2 \times L_{wr} \times n_r \times L \\ &= 2 \times 9,972 \text{ m} \times 50 \times 0,0075 \\ &= 7,479 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Luas sirip pada water wall bagian samping kanan :

$$\begin{aligned} A_{skn} &= 2 \times L_{swkn} \times n_{wkn} \times L \\ &= 2 \times 9,537 \text{ m} \times 66 \times 0,0075 \\ &= 9,44166 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Maka luas total bidang pemanas pada sirip adalah :

$$\begin{aligned} A_{stot} &= A_{skr} + A_{skr} + A_{sr} + A_{skn} \\ &= 14,5 \text{ m}^2 + 6,699 \text{ m}^2 + 7,479 \text{ m}^2 + 9,4463 \text{ m}^2 \\ &= 38,11963 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Untuk luas total pada bidang pemanas diruang bakar adalah luas bidang pemanas pada water wall luas total bidang pemanas pada sirip :

$$\begin{aligned} A_{ptot} &= A_{ptot} \text{ (pada pipa water wall)} + A_{stot} \text{ (sirip)} \\ &= 445,017 \text{ m}^2 + 38,11963 \text{ m}^2 \\ &= 483,13663 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sehingga luas bidang pemanas ruang bakar seluruhnya akibat radiasi pada ruang bakar adalah :

$$A_{rad tot} = S \cdot A_{ptot} \cdot \delta A \text{ (m}^2 \text{)}$$

$$= 0,9 \times 483.13663 \times 0,314$$

$$= 682,6 \text{ m}^2$$

4.4 Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran teoritis merupakan temperatur yang ditimbulkan oleh bahan – bakar yang terbakar dalam hal ini cangkang dan serabut di dalam ruang bakar adalah ;

$$T_p = \frac{Qf \cdot nf}{W_{gtot} \cdot C_p} + 273 \dots\dots\dots (15)$$

Di mana :

Qf = Jumlah kalor bahan bakar

$$= 14.546.972,6 \text{ Kkal / jam}$$

nf = Efisiensi dapur

$$= (0,90 : 0,97)$$

$$= 0,95 \text{ (diambil)}$$

Wgtot = Massa berat gas asap

$$= 28.293,121 \text{ Kg / jam}$$

Cp = Panas jenis gas asap (Kkal / kg °C)

Dalam merentukan panas jenis gas asap harus diketahui besarnya temperatur nyala api (Tf) :

$$T_p = 100 \left\{ \frac{Qf}{cf \cdot sr \cdot Ar \cdot Bo} + \left[\frac{T_r}{100} \right]^4 \right\} \dots\dots\dots (16)$$

.....(15).....

Di mana :

$$Q_r = Q_{bb} = \text{Kalor pembakaran}$$

$$= 14.546.972,6 \text{ Kkal} \cdot \text{jam}$$

ϵ_f = Emisivitas nyala bersinar dari bahan bakar yang berbentuk bengkok

$$= \text{Emisivitas radiasi} \sim 0,9$$

B_0 = Konstanta Boltzman

$$= 4,90 : 4,97 \text{ (Kkal / m}^2 \cdot \text{jam } ^\circ\text{K)}$$

$$= 4,95 \text{ (Kkal / m}^2 \cdot \text{jam } ^\circ\text{K) (diambil)}$$

T_r = Temperatur permukaan yang mengalami radiasi ($T_{sat} + 27$) + 273

$$= (300 + 27) + 273 = 600 \text{ } ^\circ\text{K}$$

A_r = Luas bidang pemanas = 587,2 m²

Maka :

$$T_p = 100 \left\{ \frac{14.546.972,6}{0,7(0,9) \cdot 587,2(4,95) \left[\frac{600}{100} \right]^4} \right\}$$

$$= 980,4 \text{ } ^\circ\text{K} \sim 707,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Panas jenis gas asap (C_p) pada temperatur 980,4 ^oK (707,4 ^oC)

diperoleh dengan cara interpolasi adalah $C_p = 0,285 \text{ Kkal / } ^\circ\text{C}$.

Maka temperatur pada ketel adalah :

$$T_p = \frac{14.546.972,6(0,95)}{28.293.121(0,285)} + 273$$

$$= 1987 \text{ } ^\circ\text{K} \sim 1713 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.5 Pindahan Panas Efektif Pada Ruang Bakar

Untuk mengetahui berapa besar panas yang diserap pipa water wall dan sirip dicari dengan persamaan berikut ini :

$$\frac{QW}{Ar} = \frac{\lambda_{eff}}{\delta} (Tp - Tw) \dots\dots\dots (17)$$

Di mana :

$\frac{QW}{Ar}$ = Kompleks heat exchanger (Kkal / m² . Jam)

λ_{eff} = Konduktivitas efektif (Kkal / m C⁰ . Jam)

Tp = Temperatur pembakaran (⁰ K)

= 1713 ⁰ C

= 1987 ⁰ K

Tw = Temperatur pipa water wall

= 843 ⁰ C

= 1116 ⁰ K

λ = Diameter ekuivalen lapisan gas asap (m)

Konduktivitas efektif :

$$\lambda_{eff} = \epsilon \cdot \lambda + \alpha \cdot \delta \dots\dots\dots (18)$$

Emissivitas Konveksi (ϵ)

$$\epsilon = 0,18 (Gr \cdot Pr)^{0,25} \dots\dots\dots (19)$$

.....(17).....

.....(18).....

.....(19).....

$$t_{ir} = \frac{\beta \cdot \delta^3 \cdot \Delta t}{\gamma^2} \dots\dots\dots (20)$$

Koefisien ekspansi Volume (β)

$$\beta = \frac{1}{T_m} \dots\dots\dots (21)$$

Diameter equivalen lapisan gas asap

$$\delta = \frac{2}{3} \sqrt[3]{V_{r.B}} \text{ (m) } \dots\dots\dots (22)$$

Koefisien radiasi (δ_r)

$$\delta_r = 0,04 \cdot \sum Bo (T_m/100)^3 \dots\dots\dots (23)$$

Temperatur rata – rata disekeliling ruang bakar (T_m)

$$\begin{aligned} T_m &= \frac{t_p - t_w}{2} \dots\dots\dots (24) \\ &= \frac{1987 - 1116}{2} \\ &= 435,5 \text{ } ^\circ\text{K} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{1}{T_m} \\ &= \frac{1}{435,5} \\ &= 2,2 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

-(20).....
-(21).....
-(22).....
-(23).....
-(24).....

Untuk sesilih temperatur pembesaran dan temperatur sebelah water wall pipa. adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta T_m &= T_p - T_w \dots\dots\dots (25) \\ &= 1987 - 1116 \\ &= 871 \text{ } ^\circ \text{K} \\ \delta &= \frac{2}{3} \sqrt{85} \\ &= 2,93 \text{ m}\end{aligned}$$

Temperatur rata – rata pipa water wall 300 ^oC (573 ^oK)

Maka sifat – sifat udara pada temperatur 573 ^oK

ν = Viskositas kinematik udara

$$= 44,34 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0680$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Maka :

$$Gr = \frac{(2,2 \times 10^{-4})(9,8)(2,93)^3(871)}{(25,90 \times 10^{-6})^2}$$

$$= 2,8 \times 10^8$$

$$Gr \cdot Pr = (2,8 \times 10^8)$$

Maka :

$$\alpha^* = 0,18 (1,9 \times 10^8)^{0,25}$$

$$= 37,6$$

Untuk faktor konduktivitas panas (λ) :

$$\lambda = 4,9 \times 10^{-2} \text{ Kkal / m jam } ^{\circ} \text{K} \dots\dots\dots (26)$$

$$\begin{aligned} \Sigma &= \text{Emisivitas nyala api} \\ &= 0,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_0 &= \text{Konstanta Bolzman} \\ &= 4,95 \text{ Kkal / m}^2 \text{ jam } ^{\circ} \text{K} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \delta r &= 0,04 \cdot 0,85 \cdot 4,95 \cdot \frac{435,5}{100} \\ &= 13,9 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{eff}} &= \alpha \cdot \lambda + \delta r \cdot \delta \\ &= 37,6 (4,9 \times 10^{-2}) + 13,9 \times 2,93 \\ &= 42,6 \text{ Kkal / m } ^{\circ} \text{C jam} \end{aligned}$$

Dengan demikian pindahan panas terjadi diruang bakar adalah :

$$\begin{aligned} \frac{Q_w}{A_r} &= \frac{42,6}{2,93} \cdot (1987 - 1116) \\ &= 12663,7 \text{ Kkal / m}^2 \text{ jam} \end{aligned}$$

.....(26).....

BAB VI

KESIMPULAN

1. Dalam rancangan ini dapur berbentuk trapesium jenis tungku bawah dengan water wall bersirip kanan dan kiri dengan dimensi sebagai berikut :
 - Panjang dapur = 6 m
 - Lebar dapur = 2,4 m
 - Tinggi dapur = 7 m
 - Volume dapur = 85 m³
2. Dari perhitungan bahan – bakar dalam hal ini menggunakan bahan – bakar cangkang dan serabut dengan angka perbandingan (3 : 1) diperoleh :
 - Nilai kalor pembakaran (LHV) diambil = 3531,26 Kkal / kg.bb
 - Kebutuhan bahan – bakar yang dipergunakan = 4336,3 kg bb / jam
 - Konsumsi udara pembakaran = 5,27 kg udara / kg bb
 - Berat udara yang dibutuhkan = 29170,03 kg udara/jam
3. Perhitungan produksi gas asap untuk angka perbandingan (3 : 1) pada bahan – bakar
 - Berat gas asap = 6,67 kg / kg bb
 - Berat gas asap total = 28923,121 kg / jam
 - Volume gas asap = 4,95 m³ / kg bb
4. Dari konstruksi dinding dapur dapat disimpulkan bahwa :
 - Jarak sumbu = 75,32 mm
 - Bahan pipa A53, A105 A (Seamless Steel Carbon)
 - Tegangan izin = 12000 psi

- Nomor Schedul' = 40
 - Diameter dalam (Di) = 2,067 inc = 2,50 mm
 - Tebal pipa max (t) = 0,154 inc = 3,91 mm
 - Diameter luar (Do) = 2,375 inc = 60,32 mm
 - Tebal pipa min (t_{min}) = 0,09 inc = 2,443 mm
5. Dari perhitungan menentukan jumlah pipa water wall diperoleh :
- Jumlah pipa water wall kiri = 66 buah
 - Jumlah pipa water wall depan = 32 buah
 - Jumlah pipa water wall kanan = 66 buah
 - Jumlah pipa water wall belakang = 32 buah
6. Dari pindahan panas dalam dapur disimpulkan :
- Pindahan panas efektif $\frac{(Q_u)}{Ar} = 12663,7 \text{ Kkal} / \text{m}^2 \text{ jam}$
 - Panas pembakaran (Q_r) = 14546972, 6 Kkal / jam
7. Dari analisa temperatur diperoleh :
- Temperatur pembakaran = 1677 °K
 - Temperatur pipa water wall = 843 °C
 - Temperatur air masuk pipa water wall = 105 °C
 - Temperatur air keluar pipa water wal = 300 °C
8. Dari isolasi pada dinding dapur diperoleh :
- Luas permukaan yang isolasi = 127,6 m²
 - Panas yang hilang dari dinding dapur dengan menggunakan islasi = 0,001 %
9. Rangka kabur berbentuk batang – batang yang terbuat dari pelat – pelat dengan ukurur 4 persegi panjang :

- Panjang batang rangka bakar = (0,7 – 1,0)
- Tebal batang rangka bakar = 10 mm
- Jarak celah – celah batang = (5 – 7)
- Bahan – bahan rangka bakar = Cas Iron (besi tuang)



DAFTAR PUSTAKA

1. B.G.A Skrotxky, "Power Station Engineering and Economic".
2. J. P. Holman "Perpindahan Kalor", Edisi ke IV, Erlangga, 1991.
3. Jhon Willy Kenneth Salibury, "Mechanical Engineering Hand Book", 12 Tahun 1973.
4. Charles T. Litenton, "Industrial Piping", 2th Edition.
5. FT. Morse "Power Plant Engineering" New Dehli 1974.
6. Ir. Syamsir. A. Muin "Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)" Rajawali Press Jakarta.
7. M. Mikhiyeu "Fundamental Of Heat Transfer" Place Public Moskow.
8. R.S. Khurmi "Heat Engineering" S. Chank Dan Co. LTD Ran Nagar, New Delhi, India, 1977.
9. P. Shylyakin " Steam Turbines" Teori and Design.