

# 16 TON/HOURS LOCOMOTIVE BOILER

## TUGAS AKHIR

Untuk memenuhi sebagai persyaratan  
Mencapai derajat sarjana S-1

Program studi Teknik Mesin  
Jurusan Teknik Mesin



Diajukan Oleh

PETRUS BOYKE PITANG  
995214059

Kepada

FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SANATA DHARMA  
YOGYAKARTA

2004

TUGAS AKHIR

**16 TON/HOURS LOCOMOTIVE BOILER**

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

NAMA : PETRUS BOYKE PITANG

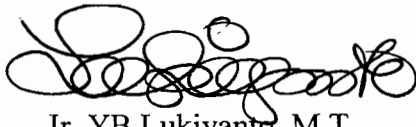
NIM : 995214059

Telah dipertahankan didapan Dewan Penguji

Pada tanggal 19 Oktober 2004

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing utama



Ir. YB. Lukiyanto, M.T

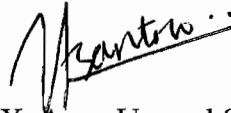
Anggota Dewan Penguji



Ir. PK. Purwadi, M.T



Yosef Agung Cahyanta, ST., MT.



Ir. FX. Agus Unggul Santoso

Tugas Akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan

untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta, ... Oktober 2004

Fakultas Teknik

Universitas Sarata Dharma

Yogyakarta

Dekan



Ir. Gregorius Heliarko, SJ., SS., B.ST. MA., M.Sc.

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta ... Oktober 2004

Petrus Boyke Pitang

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur saya haturkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan rahmat-Nya Sehingga Tugas Akhir dengan Judul *16 Ton/Hours Locomotive Boiler* ini dapat terselesaikan.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu Syarat akademis untuk memperoleh gelar sarjana di jurusan teknik mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu penyusunan tugas Tugas Akhir ini, antara lain :

1. Bapak Ir. Gregorius Heliarko, SJ., SS., B.ST., MA., M.Sc, selaku dekan fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
2. Bapak Yosef Agung Cahyanta, S.T, M.T, selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
3. Bapak Ir. YB. Lukiyanto, M.T selaku dosen pembimbing utama yang telah membimbing dan memberikan saran dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Semua dosen yang telah membimbing selama menuntut ilmu di Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
5. Semua staf dan karyawan Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
6. Kedua orang tuaku, kakak dan adiku yang telah memberikan dorongan, semangat dan doa.

7. Teman-temanku, anak kontrakan interlocal ( Wiwid, Egi, Kristo, Berno, Piere, Bernad, Edi, Parto, John, Erwin, Armin ),tim sepak bola FC. TeknikUSD, FC IKAMASI dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persaru yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tuga Akhir ini masih banyak kekurangan, untuk itu demi kesempurnaan Tugas Akir ini penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun.

Akhir kata, semoga Tuga Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, ..Oktober 2004

Penulis

*Ada saat-saat istimewa dalam hidup kita, dan sebagian besar datang  
melalui  
dorongan orang lain*

*Tugas dihadapan kita tak sebesar kekuatan dibelakang kita.*

*Kebaikan dalam kata-kata menciptakan percaya diri*

*Kebaikan dalam berpikir menciptakan kebijakan*

*Kebaikan dalam memberi menciptakan Cinta*

*Tugas Akhir ini Kupersembahkan buat*

*Tuhan Yesus Kristus yang telah melindungiku sampai saat ini, Bunda Maria yang selalu mendengarkan doa-doaku.*

*Papi dan Mami serta kakak dan adikku yang telah memberi semangat, dorongan dan doa serta semua keperluan demi penyelesaian tugas akhir ini.*

*Semua Teman-temanku yang selalu bersama dan tetap setia bersamaku baik disaat suka dan duka Tuhan akan membalas kebaikan kalian.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	.....	ii
PERNYATAAN	.....	iii
KATA PENGANTAR	.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	.....	v
DAFTAR GAMBAR	.....	x
ABSTRAC	.....	xii
BAB I	PENDAHULUAN	1
I.1	Tinjauan Umum	1
I.2	Uap dan penguapan	2
I.3	Perumusan masalah	3
I.4	Pembatasan Masalah	4
BAB II	KLASIFIKASI GENERATOR UAP	5
II.1	Klasifikasi generator Uap	5
II.2	Klasifikasi generator uap berdasarkan konstruksinya	6
II.2.1	Generator Uap Lorong Api	6
II.2.2	Generator pipa-pipa Api	8
II.2.3	Generator Pipa-pipa air	10
BAB III	PERANCANGAN GENERATOR UAP LOKOMOTIF	15
III.1	Dasar Perancangan	15
III.2	Proses terbentuknya Uap Panas Lanjut	15
III.3	Sirkulasi air ketel	17
III.4	Kebutuhan Kalor generator Uap lokomotif	17





BAB IV	PROSES PEMBAKARAN .....	21
IV.1	Pengertian Pembakaran .....	21
IV.2	Klasifikasi Bahan bakar .....	22
IV.3	Analisa Bahan bakar .....	28
IV.4	Nilai Pembakaran .....	30
IV.5	Kebutuhan Bahan bakar .....	31
IV.6	Kebutuhan Udara Untuk Pembakaran .....	33
IV.7	Perhitungan Temperatur gas Asap Hasil Pembakaran ...	35
BAB V	DIMENSI KETEL. ....	39
V.1	Perpindahan Panas .....	39
V.2	Perhitungan Perpindahan panas pada ruang bakar .....	41
V.3	Pipa-pipa Api .....	45
V.4	Dimensi Pipa-pipa api.....	47
V.5	Pemanas Uap lanjut atau Superheater.....	58
BAB VI	PERANCANGAN SILINDER KETEL .....	68
VI.1	Silinder Ketel pada Pipa api .....	70
VI.2	Perhitungan jarak antar Pipa api .....	71
V.3	Perhitungan rangka Pendukung .....	71
V.4	Perhitungan Sambungan Las .....	73
BAB VII	ISOLASI KETEL .....	74
VII.1	Perancangan Isolasi pada Silinder ketel .....	77
VII.2	Perhitungan Kerugian panas melalui dinding silinder .....	79

	VII.3	Perancangan Isolasi tutup belakang .....	82
BAB	VIII	CEROBONG .....	86
	VIII.1	Perencanaan Cerobong .....	88
	VIII.2	Kerugian aliran gas asap di Cerobong .....	91
	VIII.3	Perhitungan Kerugian aliran gas asap dalam ketel .....	94
BAB	IX	AIR ISIAN KETEL .....	100
	IX.1	Sistem pengolahan air .....	102
	IX.2	Kesadahan air .....	104
	IX.3	Pencegahan Korosi .....	105
	IX.4	Pencegahan Terbentuknya Kerak .....	105
	IX.5	Pencegahan Buih dan Gelombang .....	106
BAB	X.	ALAT-ALAT KEAMANAN KETEL .....	108
	X.1	Katub keamanan .....	108
	X.2	Manometer .....	109
	X.3	Peluit Keamanan .....	110
	X.4	Gelas Penduga.....	111
	X.5	Thermometer .....	111
	X.6	Garis Api .....	113
	X.7	Katub air isian .....	114
	X.8	Katub Uap induk .....	115
	X.9	Katub Penguras .....	115
	X.10	Katub Udara .....	116
	X.11	Pengaturan Otomatis .....	116

X.11	Pengaturan Otomatis .....	117
BAB XI	PENUTUP DAN KESIMPULAN .....	122

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Generator Uap Schots	9
Gambar 2.2 Generator Uap Lokomotif	10
Gambar 3.1 Proses terbentuknya uap lanjut	16
Gambar 5.1 Monogram panas jenis	44
Gambar 5.2 Proses perpindahan kalor	48
Gambar 5.3 Menentukan angka Reynold dengan massa gas dan velocity	52
Gambar 5.4 Diagram Konduktansi panas konveksi panas dasar aliran massa gas	53
Gambar 5.5 Diagram pengaruh temperature gas film pada faktor sifat fisik aliran	54
Gambar 5.6 Diagram factor temperature karena perubahan massa velocity	54
Gambar 7.1 Lapisan Isolasi ketel secara sederhana	78
Gambar 8.2 Aliran panas dari gas asap ke Udara	82
Gambar 8.1 Diameter cerobong yang dianjurkan berdasarkan jumlah gas asap	89
Gambar 8.2 Hubungan antara temperature gas asap dengan dimensi cerobong	89
Gambar 8.3 Hubungan antara tarikan crobong dengan tinggi cerobong	90
Gambar 8.4 Hubungan antara koefisien gesek, diameter dan bilangan Reynold	93
Gambar 8.5 Viskositas absolute untuk beberapa gas ideal pada tekanan atmosfer	95
Gambar 8.6 Kekerasan relative dari berbagai permukaan	96
Gambar 8.7 Diagram untuk mendapatkan factor gesekan	97
Gambar 9.1 Clarifer tank	102
Gambar 9.2 Kolom filtration	103
Gambar 10.1 Katup keamanan dengan pemberat	108
Gambar 10.2 Manometer Bourdon	109
Gambar 10.3 Peluit Bahaya	110

Gambar 10.4 Gelas Penduga .....	111
Gambar 10.5 Thermocoupepel .....	112
Gambar 10.6 Pemasangan Thermocoupei pada pipa .....	113
Gambar 10.7 Katub air Isian .....	114
Gambar 10.8 Katub penutup Uap Induk .....	115
Gambar 10.9 Katup penguras .....	116
Gambar 10.10 Pengaturan otomatis berdasarkan level air .....	118
Gambar 10.11 Silinder Torak berpegas .....	120
Gambar 10.12 Modulating Pressure Control device .....	117

## Abstrac

Steam is one of man's dependable servant's. From various researches, the former experts invent that steam is on effective source to produce the energy needed for the industrial machines and transportasion.

On that phase, the invention was developed by making steam generator ( Boiler ). It was a unit of instrument, which is used to change the water into steam with a certain pressure through a boiling process. The steam produced by the kettle can be used for various function such as heather or power plant.

Her the writer will design a locomotive steam generator ( Locomotive boiler ). This steam generator is a kind of steam generator with the fire pipes. Below are the specification :

Capacity	: 16 ton/hour
Pressure	: 15 barg
Temperature	: Superneated steam
Fuel	: Coal

## Inti sari

Uap merupakan salah satu media pemenuh kebutuhan mendasar manusia akan energi. Dari berbagai penelitian, para ahli terlebih dahulu menemukan uap yang menghasilkan sumber energi efektif yang dibutuhkan untuk mesin industri dan transportasi.

Mulai tahap itu, penemuan dikembangkan dengan membuat generator uap ( *Boiler* ). Generator uap merupakan kesatuan alat, yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap dengan tekanan tertentu melalui proses pendidihan. Uap yang diproduksi oleh ketel dapat digunakan untuk bermacam-macam fungsi seperti pemanas atau tenaga pembangkit.

Disini penulis merencanakan generator uap lokomotif ( *Locomotive Boiler* ). Generator uap ini merupakan jenis generator uap pipa-pipa api dengan spesifikasi :

Kapasitas	: 16 ton/jam
Tekanan	: 15 barg
Temperatur	: Uap panas lanjut.
Bahan bakar	: Batubara

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Tinjauan Umum.**

Dalam perkembangan teknologi saat ini dan segala motivasinya tidak begitu saja diterima oleh seluruh lapisan masyarakat. Teknologi yang menghasilkan barang dan jasa selalu dipertimbangkan dari segi resiko dan manfaat yang diakibatkan. Adanya sarana dan prasarana dari perkembangan teknologi yang bermanfaat bagi masyarakat dan dunia industri dituntut untuk dapat bersaing untuk lebih maju, sehingga dapat tercipta teknologi baru ataupun hasil rekayasanya.

Dalam bidang industri pemakaian teknologi sudah tidak asing lagi, untuk industri yang menghasilkan barang atau alat produksi, dalam suatu produksinya membutuhkan mesin produksi yang memadai sehingga diperoleh efisiensi dan hasil yang maksimum.

Dari berbagai penelitian ditemukan uap sebagai suatu sumber energi yang cukup efektif untuk menghasilkan tenaga bagi daya yang diperlukan oleh mesin-mesin Industri. Selanjutnya penemuan tersebut dikembangkan dengan membuat instalasi pembangkit uap (BOILER) yang kemudian kita kenal dengan sebutan Generator uap atau Ketel uap, yaitu satu kesatuan alat yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap melalui proses mendidih.



Untuk mengubah air menjadi uap dibutuhkan sejumlah kalor yang diperoleh dari gas hasil pembakaran. Sedangkan pembakaran dapat terjadi apabila bahan bakar dicampur dengan udara pada temperatur diatas temperatur nyala. Uap yang dihasilkan ketel dapat digunakan untuk berbagai keperluan baik media pemanas maupun penggerak mula. Untuk keperluan pemanas diperlukan uap jenuh dan untuk penggerak mula pada umumnya diberikan dengan uap yang mempunyai tekanan tinggi dan kondisi uap panas lanjut.

## **I.2. Uap dan Penguapan**

Uap air adalah gas yang timbul dari fase air (air) menjadi uap (gas), bila mengalami pemanasan sampai temperatur air sama dengan titik didih air ( uap jenuh) atau temperatur lebih tinggi dari pada titik didih air (uap panas lanjut) dan pada tekanan tertentu.

Sifat-sifat Uap :

1. Dapat menyimpan sejumlah energi.
2. Diproduksi dari air yang murah dan mudah diperoleh.
3. Dapat digunakan untuk tujuan pemanas sebelum tenaga digunakan sebagai zat kerja.

Keadaan uap tergantung pada tekanannya oleh karena itu pembentukan uap atau penguapan terjadi pada tekanan konstan, yaitu mendekati keadaan yang dialami uap didalam sebuah ketel. Proses penguapan adalah berubahnya molekul-molekul air menjadi uap melalui proses pemanasan, temperatur pada saat ini mencapai temperatur

didih dan apabila api masih ditambah nyalanya maka temperatur didihnya tidak akan berubah.

Berdasarkan penguapannya uap dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

1. Uap basah

Adalah uap yang masih bercampur dengan titik-titik air yang halus dan mempunyai temperatur yang sama.

2. Uap jenuh

Adalah uap yang mempunyai tekanan dan temperatur didih yang sama dengan tekanan pada titik didih air.

3. Uap panas lanjut

Adalah uap jenuh yang dipanasi lebih lanjut.

### **I.3. Perumusan Masalah**

Pada perancangan suatu generator uap ada beberapa hal penting yang perlu diperhatikan, yaitu : tekanan, temperatur, dan aliran uap sehingga dapat disusun perumusan masalah pada suatu generator uap (BOILER), yaitu sebagai berikut :

a) Dari sisi inlet :

Karakteristik dari sumber kalor ( bahan bakar)

Temperatur *Feed Water*

Temperatur udara pembakaran

b) Dari sisi outlet

Catu aliran uap dan tekanannya

Temperatur Uap

Temperatur gas panas.

c) Rancangan termal yang pada intinya adalah perhitungan luas permukaan kalor yang dibutuhkan untuk suatu spesifikasi hasil yang ditentukan.

d) Rancangan mekanikal yang meliputi perhitungan dimensi konstruksi yang aman untuk suatu spesifikasi kondisi kerja yang ditentukan.

e) Perhitungan efisiensi termalnya.

#### **I.4. Pembatasan Masalah**

Untuk pembatasan masalah penekanan pada masalah yang akan dibahas dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini adalah mengenai generator pipa api. Generator pipa api yang dibahas disini adalah generator pipa api dengan jenis generator uap lokomotif (*locomotive Boiler*). Dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini akan dibahas mengenai unjuk kerja (*performance*), *thermal design*, *Mechanical design* dari boiler ini.

## BAB II

### KLASIFIKASI GENERATOR UAP

#### II.1. Klasifikasi Generator Uap

Generator Uap dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam bagian, berdasarkan atas beberapa kriteria, yaitu berdasarkan tekanan kerja, kapasitas uap, posisi dan pemakaiannya.

Pembagian generator uap dapat dituliskan sebagai berikut :

1. Berdasarkan tekanan kerjanya generator uap dapat digolongkan sebagai berikut :
  - a) Generator uap tekanan kerja rendah : < 20 atm
  - b) Generator uap tekanan kerja sedang : 20-50 atm
  - c) Generator uap tekanan kerja tinggi : 50-140 atm
  - d) Generator uap tekanan kerja sangat tinggi : > 140 atm
2. Berdasarkan kapasitasnya, generator uap dapat dibedakan atas :
  - a) Generator uap kapasitas rendah : < 10 ton/jam
  - b) Generator uap kapasitas sedang : 10-100 ton/jam
  - c) Generator uap kapasitas tinggi : 100-500 ton/jam
  - d) Generator uap kapasitas tinggi : > 500 ton/jam
3. Berdasarkan kedudukannya, generator uap dibedakan atas :
  - a) Generator uap horisontal.
  - b) Generator uap vertikal.

- c) Generator uap *inclined* ( miring).
4. Berdasarkan tempat pemakaiannya generator uap dapat dibedakan atas :
- a) Generator uap darat.
  - b) Generator uap laut
5. Berdasarkan faktor kegunaanya generator uap dapat dibedakan atas :
- a) Generator uap stasioner  
Adalah generator uap yang bersifat tetap, tidak dapat dipindah.  
Biasanya digunakan untuk *power plant*.
  - c) Generator uap *transportable*.  
Jenis generator ini dapat dipindah-pindahkan, seperti pada ladang minyak dan penggergajian kayu.
  - c) Generator uap *moveable*.  
Merupakan generator uap yang dapat bekerja sambil bergerak atau berpindah tempat. Digunakan pada alat transportasi yang bertenaga uap, seperti kereta api.

## **II.2. Klasifikasi Generator Uap Berdasarkan Konstruksinya.**

### **II.2.1 Generator Uap Lorong Api.**

Generator uap lorong api adalah generator uap yang konstruksinya terdiri dari satu atau lebih lorong api yang berbentuk silinder kecil, dimana fungsi dari silinder tersebut sebagai ruang bakar dan gas saluran asap hasil reaksi dari pembakaran bahan bakar.

Silinder kecil atau lorong api diletakkan didalam tangki air. Sehingga penyerapan panas secara konveksi atau konduksi oleh air dalam tangki terjadi lewat dinding lorong api dan dinding dari tangki air yang dilewati oleh gas asap hasil dari reaksi pembakaran.

Agar sirkulasinya dapat berjalan dengan baik, maka lorong api diletakkan ditengah agak kebawah atau dibawah agak kesamping. Lorong api biasanya dibuat agak berombak dengan tujuan agar lorong api kaku pada arah radial, sehingga akan lebih kuat untuk menahan tekanan air disekitarnya. Selain itu lorong api dapat lebih elastis pada arah aksial, sehingga apabila ada beda muai antara lorong api dengan silinder tangki ketel uap, tidak akan merusak bagian sambungan pada ujung lorong api tersebut, sehingga akan memberikan bidang pemanasan yang lebih luas pada lorong api tersebut.

Keuntungan-keuntungan generator uap lorong api adalah sebagai berikut :

1. Konstruksinya sederhana sehingga perawatannya mudah dan bisa menghemat biaya operasional.
2. Tidak begitu peka terhadap persyaratan kualitas air isian yang kurang baik.
3. Dapat melayani variasi kapasitas air yang agak besar dikarenakan volume air yang ada dalam generator uap cukup besar. Kapasitas dapat diperbesar dengan menambah bahan bakar.

Kekurangan generator uap lorong api adalah sebagai berikut :

1. Tekanan kerja generator uap rendah yaitu kurang dari 20 atm.
2. Efisiensinya rendah.

3. Kapasitas hasil uap rendah biasanya berkapasitas kurang dari enam ton perjam, hal ini disebabkan karena bidang pemanasan yang relatif lebih kecil. salah satu contoh dari generator uap jenis lorong api yaitu generator uap *Lancashire*.

### **II.2.2. Generator Uap Pipa-pipa api.**

Generator Pipa-pipa api adalah generator uap yang konstruksinya terdiri dari sebuah tangki ketel yang berbentuk silinder dan diisi air, didalamnya terdapat susunan pipa-pipa kecil yang dialiri gas asap bersuhu tinggi.

Pipa-pipa api ini terendam air sehingga kalor dari gas asap yang mengalir dalam pipa-pipa itu dapat diserap oleh air yang berada disekitar pipa-pipa api. Pada umumnya generator uap ini mempunyai satu atau lebih lorong api, yang fungsinya sebagai ruang bakar.

Keuntungan-keuntungan generator uap pipa-pipa api adalah sebagai berikut :

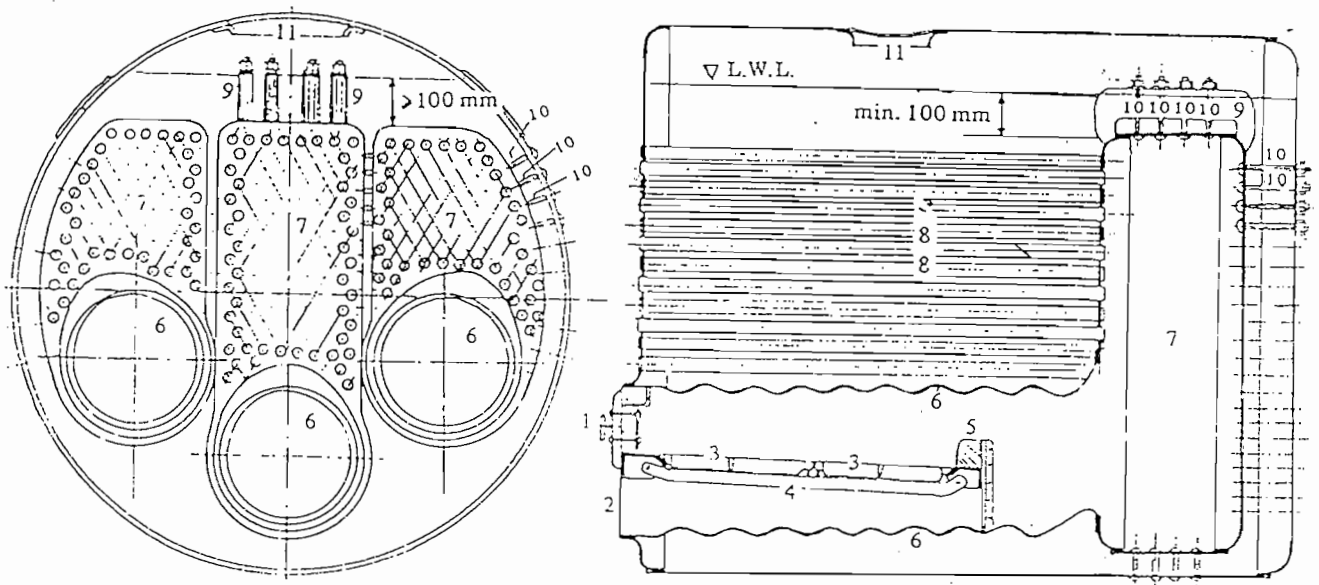
1. Luas bidang penghantar panas ke air lebih besar, sehingga kapasitasnya menjadi lebih besar.
2. Volume air generator uap lebih kecil bila dibandingkan dengan luas bidang pemanas, sehingga pemanasan awalnya lebih cepat dibandingkan generator uap lorong api.

3. Rendemen atau efisiensinya dapat lebih tinggi karena hampir semua bagian yang dialiri gas asap bersuhu tinggi dialiri air, dengan demikian kalor yang terbuang dapat dikurangi.

Kekurangan generator uap pipa-pipa api adalah sebagai berikut :

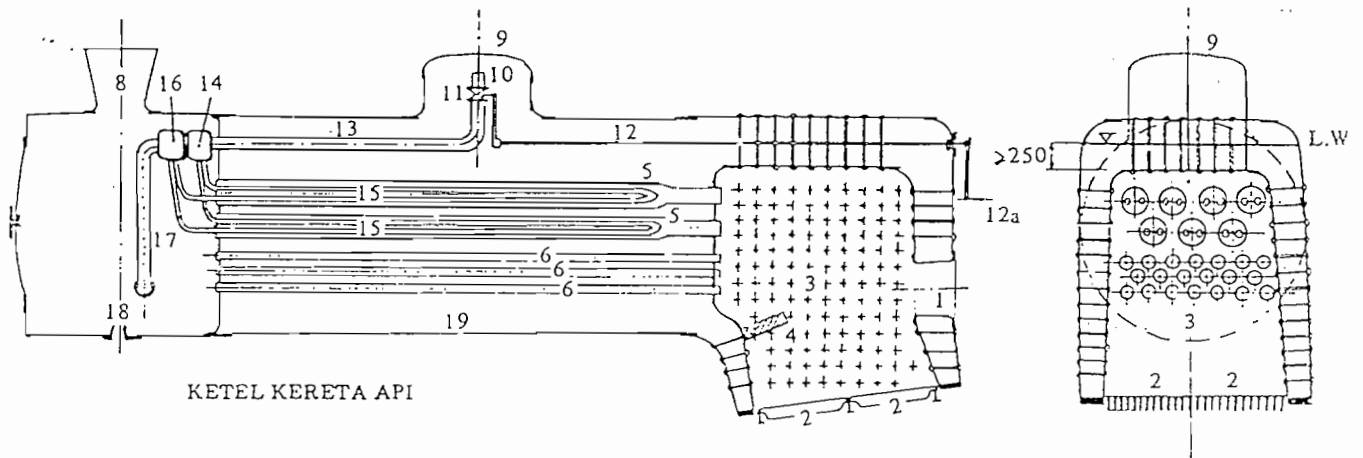
1. Konstruksi generator pipa api lebih rumit sehingga perawatannya lebih mahal.
2. Banyak bagian yang berupa bidang datar, dimana bentuk ini kurang kuat terhadap tekanan sehingga harus diberi penahan yang cukup kuat.

Generator Uap pipa-pipa api ini memiliki tekanan yang jarang melebihi dari 20 atm, dan kapasitas uapnya pun tergolong kapasitas yang rendah yaitu kurang dari 10 ton/jam. Contoh generator uap pipa-pipa api yaitu : Generator uap Schots, Lokomotif, Cochran.



Gambar 2.1. Generator Uap Schots





**KETERANGAN:**

- |  |  |
|--|--|
| 1 = Pintu bahan bakar                      | 11 = Keran uap utama ( <i>Main steam valve</i> ) |
| 2 = Batang-batang rangka bakar             | 12 = Batang pengatur pengambilan uap             |
| 3 = Kotak api                              | 12a = Tuas ( <i>handle</i> ) pengatur            |
| 4 = Jembatan api                           | 13 = Pipa uap kenyang menuju superheater         |
| 5 = Tabung-tabung api ( <i>Fire tube</i> ) | 14 = Header (pembagi) uap kenyang                |
| 6 = Pipa-pipa api ( <i>Fire pipes</i> )    | 15 = Pipa-pipa superheater (pemanas lanjut)      |
| 7 = Kotak asap ( <i>Smoke box</i> )        | 16 = Header (pengumpul) uap dipanaskan           |
| 8 = Cerobong asap                          | 17 = Pipa uap yang dipanaskan - lanjut           |
| 9 = Dom uap ( <i>Steam dome</i> )          | 18 = Penghembus                                  |
| 10 = Pengambilan uap                       | 19 = Tangki ketel ( <i>Boiler vessel</i> )       |

Gambar 2.2. Generator Uap Lokomotif

**II.2.3. Generator Uap Pipa-pipa Air**

Adalah adalah generator uap yang bagian pendidihnya terdiri dari pipa-pipa yang didiamnya dialiri air yang didihkan. Gas asap sebagai pemanas mengalir diluar pipa-pipa itu. Generator uap ini biasanya mempunyai sebuah tangki air yang berfungsi sebagai pemisah antara uap dan air.

Kelebihan generator uap pipa-pipa air adalah sebagai berikut :

1. Dapat digunakan untuk generator uap dengan tekanan kerja tinggi.
2. Efisiensi generator uap dapat lebih tinggi.

3. Dapat digunakan untuk generator uap dengan kapasitas besar.
4. Dapat digunakan untuk generator uap dengan volume air isian kecil, sehingga pemanasan awal relatif lebih cepat.

Kekurangan generator uap pipa-pipa air :

1. Konstruksinya tidak lagi sederhana, sehingga perawatan dan perbaikannya lebih sulit
2. Memerlukan air isian dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan generator uap lainnya.

#### **II.2.3.1 Berdasarkan sirkulasi air, generator pipa-pipa api dibedakan atas :**

- a. Generator uap pipa-pipa air sirkulasi alam (*Natural Circulation Water Tubes Boiler*)

Proses terjadinya sirkulasi alam pada generator uap ini, diakibatkan oleh adanya perbedaan antara berat jenis air yang dipanasi dengan air yang tidak dipanasi.

Pipa-pipa air didalam generator uap dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu :

*Kelompok I* : Kelompok Pipa-pipa air yang tidak dipanasi, atau kalau mendapat pemanasan adalah dari gas asap yang suhunya telah rendah.

*Kelompok II* : Kelompok Pipa-pipa air yang mendapat pemanasan dari gas asap yang bersuhu tinggi.

Kedua ujung dari kelompok tersebut dipasang pada tangki generator uap atau header, begitu juga untuk ujung yang bawah.

Karena berat jenis air lebih berat dari berat jenis campuran air dan uap, menyebabkan sirkulasi air sebagai berikut :

1. Air didalam kelompok pipa II mengalir ke atas, kelompok pipa yang air didalamnya mengalir keatas disebut pipa-pipa naik (*riser tubes*)
2. Air didalam pipa I mengalir kebawah, atau disebut juga dengan Pipa-pipa turun (*down comer tubes*).

Setelah pemanasan berlangsung beberapa saat, suhu air didalam generator uap mencapai titik didih, suhu air ditangki yaitu di *down corner tubes* dan *riser tubes* menjadi sama besar sama dengan titik didih air. Karena pemanasan didalam riser tubes tetap berlangsung, air mendidih dan sebagian menjadi uap, sehingga campuran air dan uap diriser akan terpisah, lepas keatas permukaan air didalam tangki. Air didalam *down corner tubes* mengalir turun, kemudian masuk ke header bawah sehingga air masuk ke *riser tubes* lagi. Sirkulasi dalam generator pipa-pipa air terus terjadi selama pemanasan berlangsung. Sirkulasi ini dimaksudkan untuk meratakan suhu pada seluruh bagian generator uap, agar dicapai penyerapan panas yang sempurna dan pemuaiian yang merata.

b. Generator uap pipa-pipa air sirkulasi paksa ( *Forced Circulation Water Tubes Boiler*).

Generator uap jenis ini mempunyai tekanan yang tinggi dan perbedaan jenis air dan uap tidak begitu besar, sehingga tidak akan mampu menimbulkan sirkulasi didalam generator uap. Maka sirkulasi didalamnya terpaksa dilakukan dengan bantuan pompa, sehingga disebut dengan generator uap sirkulasi paksa.

Pada generator uap jenis ini sirkulasi air tidak tergantung pada pemanasan, sehingga tangki air dan uap selalu ditempatkan pada bagian atas konstruksi generator uap sehingga dapat lebih fleksibel dalam perencanaanya. Susunan pipa-pipa yang digunakan sebagai bidang pemanas dapat menggunakan pipa-pipa yang berdiameter lebih kecil dan juga laju pembakaran akan lebih tinggi tanpa bahaya overheating.

Beberapa contoh generator uap pipa air yaitu :

1. Generator uap seksi (*Section Boiler*) dan Variannya, yaitu generator uap yang terdapat pipa-pipa turun (*Down Comer,s Pipes*) pada dasar generator yang berdiameter 10 cm. Pipa-pipa tersebut berakhir dibawah pada kotak-kotak seksi, yaitu berupa kotak air yang dibuat berkelok-kelck yang pada setiap lekukan tersebut terdapat pipa-pipa penguat air (*evaporator Pipes*) yang ditempatkan pada daerah pancaran api ataupun dialiran gas asap atau daerah konveksi. Api atau gas asap mengalir diantara pipa-pipa dan memberi panas.

2. Generator uap Yarrow. Yaitu generator uap yang banyak digunakan dikapal laut dan pada pembangkit uap untuk pembangkit tenaga listrik. Generator uap ini mempunyai tekanan kurang dari  $80 \text{ kgf/cm}^2$ , dan berkapasitas antara 30-80 ton/jam

3. Generator uap Pancaran.

Yaitu generator uap yang memiliki pipa-pipa pancaran yang keseluruhannya menerima panas secara radiasi dari api didalam tungku, sehingga pipa-pipa penguap merupakan dinding tungku keseluruhannya. Dengan demikian dinding tungku disebelah dalam akan dilapisi dengan pipa-pipa penguap yang berdiri vertical. Generator uap pancaran dimaksudkan untuk mengusahakan agar panas yang terbentuk didalam tungku sebanyak-banyaknya diserap di daerah pancaran.

## BAB III

### PERANCANGAN GENERATOR UAP LOKOMOTIF

#### III.1 Dasar Perancangan

Dalam perancangan generator uap ini akan direncanakan sebuah generator uap dengan data sebagai berikut :

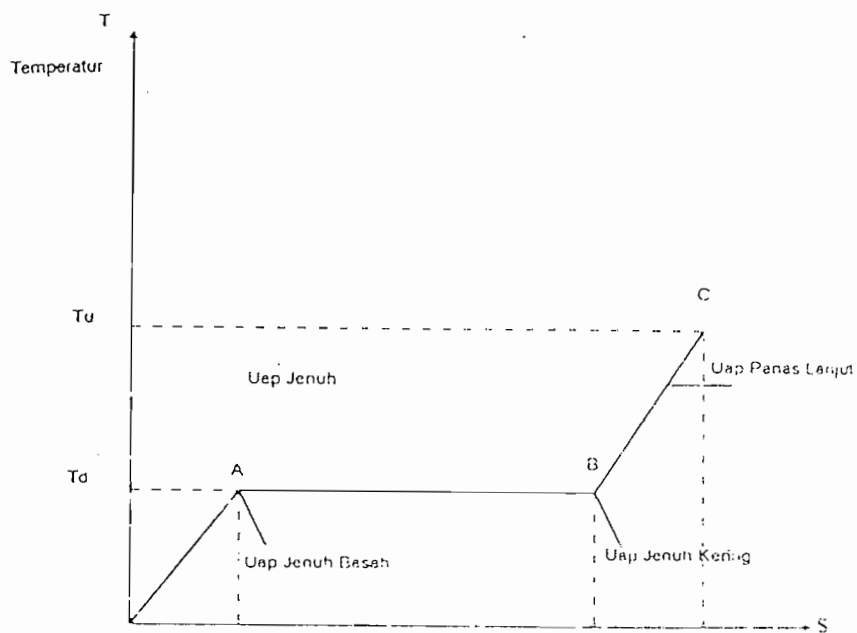
1. Kapasitas Generator uap            16 ton/jam
2. Tekanan kerja                        15 barg (232 psi)
3. Jenis uap                                Lanjut
4. Bahan bakar                            Batu bara.

#### III.2 Proses Terbentuknya Uap Panas Lanjut

Proses pembentukan uap yang terjadi pada generator uap ini dapat diuraikan sebagai berikut :

Mula-mula tangki diisi dengan air pada temperatur  $T_a$  dan tekanan  $P_a$ , kemudian tangki dipanasi sehingga temperatur dalam tangki akan naik mencapai titik didih pada temperatur  $T_d$  dan tekanan  $P_a$  tetap sehingga akan terbentuk uap. Uap yang terbentuk pada temperatur didih ini disebut sebagai uap jenuh atau uap kenyang (*Saturated steam*). Selama tekanan air dan tekanan tangki tetap maka setiap pemberian panasnya hanya berakibat menguapnya air tanpa kenaikan temperatur didihnya. Temperatur  $T$  berbanding lurus dengan tekanan  $P$ , jika bekerja pada suatu volume yang sama/tetap.

Kenaikan temperatur pada air akan menyebabkan terjadinya kenaikan tekanan jika perubahan tersebut terjadi dalam suatu volume yang sama. Bila uap jenuh pada temperatur didih dialirkan pada sebuah pipa atau alat yang disebut pemanas lanjut, uap jenuh tersebut dipanaskan lebih lanjut sampai temperaturnya mencapai  $T_u$  maka uap tersebut disebut uap panas lanjut (*Superheated Steam*). Dengan air isian bersuhu  $30\text{ }^\circ\text{C}$  pada perancangan disini direncanakan suhu uap lanjut atau superheaternya yang dihasilkan adalah sebesar  $230\text{ }^\circ\text{C}$ .



Gambar 3.1 Proses terbentuknya uap lanjut

### III.3 Sirkulasi air Ketel

Pada generator uap lokomotif sirkulasi air terjadi karena adanya perbedaan berat jenis yang diakibatkan perbedaan suhu karena pembakaran. Air yang bersuhu tinggi terjadi pada air yang paling dekat dengan keliling permukaan lorong api dan pipa-pipa api, air tersebut bergerak keatas menuju permukaan air didalam silinder ketel tersebut, sedang air yang lebih dingin bergerak turun ke bagian samping dekat permukaan dalam silinder ketel disepanjang silinder tersebut. Hal ini dapat disimpulkan bahwa air yang bersuhu tinggi berat jenisnya lebih kecil dibandingkan dengan air yang bersuhu rendah. Proses ini berlangsung terus selama pemanasan terus dilakukan.

### III.4 Kebutuhan Kalor Generator Uap Lokomotif

Untuk mengubah air yang masuk kedalam ketel menjadi sampai mendidih dan sebagian uap jenuh, maka diperlukan kalor sebesar :

$$Q = m_s ( h_o - h_c) \dots\dots\dots (3.1).$$

Dengan :

Q : Kalor yang dibutuhkan tiap jam ( kJ/Jam)

h<sub>o</sub> : Entalpi pada awal proses ( kJ/kg)

h<sub>c</sub> : Entalpi pada akhir proses ( kJ/kg)

m<sub>s</sub> : Keluaran uap tiap jam (kg/jam)



Dalam perhitungan ini, dibagi dalam 3 bagian atau proses hingga terbentuknya uap jenuh ( Q total).

Untuk harga Q1 = jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memanaskan air dari 30° C menjadi mendidih

Ms = keluaran uap tiap jam 16000 kg/jam

ho = Entalpi air masuk ketel pada suhu 30° C tekanan 1 atm (0,1 Mpa)

$$= 417,36 \text{ kJ/kg (Thermodynamic Properties of Saturated water and Steam, 872)}$$

hA = Entalpi air pada tekanan kerja 15 barg ( 1,6 Mpa ) suhu 201,29° C

$$= 858,65 \text{ kJ/kg (Thermodynamic Properties of Saturated water and Steam, 873)}$$

Maka :

$$Q1 = Ms ( hA - ho )$$

$$= 16000 ( 858,65 - 417,36 )$$

$$= 7060640 \text{ kJ/jam}$$

Untuk harga Q2 = jumlah kalor yang dibutuhkan untuk mengubah air mendidih menjadi uap jenuh.

hA = Entalpi air pada tekanan 1,6 Mpa suhu 201,29° C

$$= 858,65 \text{ kJ/kg}$$

hB = Entalpi uap jenuh pada tekanan 1,6 Mpa suhu 201,29° C

$$= 2793,88 \text{ kJ/kg (Thermodynamic Properties of Saturated water and Steam, 873)}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Q_2 &= M_s ( h_B - h_A ) \\ &= 16000 ( 2793,88 - 858,65 ) \\ &= 30963680 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Untuk harga  $Q_3$  = jumlah kalor yang dibutuhkan untuk mengubah uap jenuh menjadi uap panas lanjut.

$$\begin{aligned} h_B &= \text{Entalpi uap jenuh pada tekanan 1,6 Mpa suhu } 201,29^\circ \text{ C} \\ &= 2793,88 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_C &= \text{Entalpi uap panas lanjut tekanan 1,6 Mpa suhu } 230^\circ \text{ C} \\ &= 2869,68 \text{ kJ/kg (Thermodynamic Properties of Saturated water and Steam,877)} \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} Q_3 &= M_s ( h_C - h_B ) \\ &= 16000 ( 2829,68 - 2793,88 ) \\ &= 1212800 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Sehingga kalor yang dibutuhkan tiap jam untuk mengubah air menjadi uap lanjut adalah

$$\begin{aligned} Q_{\text{total}} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= 7060640 + 30963680 + 1212800 \\ &= 39237120 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Saat beroperasi kalor yang dibutuhkan hanya Q2 dan Q3 yaitu pada saat air sudah mendidih ( temperatur sama dengan uap jenuh ) menjadi uap panas lanjut.

## **BAB IV**

### **PROSES PEMBAKARAN**

#### **III .1 . Pengertian pembakaran**

Dalam ilmu kimia, yang dimaksud dengan pembakaran adalah oksidasi yang berlangsung pada temperatur tertentu, dengan kecepatan reaksi yang tinggi dan menghasilkan panas. Dalam generator uap, proses pembakaran tidak dapat dihindarkan karena proses ini adalah inti atau dasar dari seluruh proses yang terjadi dalam system kerja generator uap. Tanpa proses pembakaran maka proses yang lain tidak akan dapat berlangsung. Pembakaran dapat diartikan sebagai suatu reaksi kimia yang terjadi antara bahan bakar dengan udara yang menghasilkan panas atau kalor dan berlangsung di dalam ruang bakar. Panas yang dihasilkan dalam proses pembakaran dipergunakan untuk mengubah air menjadi uap yang bertekanan. Panas yang dihasilkan pada proses pembakaran diperoleh dari reaksi yang terjadi antara unsur-unsur penyusun bahan bakar dan oksigen dari udara yang berlangsung secara isothermal.

Berbeda dengan mesin tenaga yang lain seperti mesin diesel dan mesin turbin, generator uap dapat menggunakan bahan bakar dengan kualitas yang rendah sampai bahan bakar berkualitas tinggi.

### III . 2. Klasifikasi Bahan Bakar

Oleh karena generator uap dapat menggunakan bahan bakar dari kelas rendah sampai kelas tinggi, maka pada bab ini akan dibahas macam-macam bahan bakar yang digunakan pada generator uap. Pada umumnya dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Bahan bakar padat yaitu bahan bakar yang berasal dari zat-zat organik. Bahan bakar padat pada umumnya mengandung unsur-unsur C, H, O<sub>2</sub>, N, S, abu dan air yang kesemuanya terikat dalam satu unsur senyawa kimia. Contoh bahan bakar padat, yaitu ; batubara, kayu, ampas tebu, arang, kayu dan lain-lain.
2. Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang berasal dari minyak bumi. Minyak bumi berasal dari dalam tanah diperoleh dengan cara memompanya keatas untuk diolah menjadi berbagai macam minyak bakar. Contoh bahan bakar cair adalah ; kerosin, gasoline, minyak diesel.
3. Bahan bakar gas, yaitu bahan bakar yang berasal dari dalam tanah dimana terkandung minyak bumi. Bahan bakar gas sering disebut dengan gas alam yang timbul pada saat proses pembentukan minyak bumi.

Dalam pemilihan bahan bakar untuk generator uap, ada beberapa persyaratan umum yang harus dipenuhi antara lain :

1. Nilai pembakaran harus tinggi, yaitu banyaknya kalor yang didapat dari pembakaran senyawa setiap kilogram bahan bakar.
2. Prosentase dari bahan bakar yang tidak terbakar harus sekecil mungkin.
3. Murah dan mudah didapat serta dapat mencukupi kebutuhan untuk jangka waktu yang direncanakan.
4. Praktis dan efisien, dalam arti tidak banyak memakan tempat.

Selain menghasilkan kalor, pada proses pembakaran juga menghasilkan gas asap yang bersuhu tinggi. Gas asap ini membawa sebagian kalor yang tidak dipancarkan oleh nyala api kesekitarnya. Gas asap bersuhu tinggi dialirkan keluar dapur dan dilewatkan ke bagian ketel uap, baik melalui pancaran (radiasi) maupun aliran (konveksi). Proses inilah yang menjelaskan bahwa gas asap yang bersuhu tinggi yang dihasilkan pada proses pembakaran berfungsi sebagai pemanas.

Proses pembakaran yang terjadi sebaiknya adalah proses pembakaran yang sempurna, karena dengan proses pembakaran yang sempurna maka akan dihasilkan kalor atau panas yang maksimum. Dan pembakaran yang tidak sempurna sebaiknya dihindari dalam operasi generator uap, karena akan meninggalkan kotoran pada komponen-komponen dalam generator uap. Kemudian kedalam ruang bakar dialirkan udara yang melebihi ketentuan teoritis, agar kontak yang terjadi antara bahan bakar dengan udara menjadi lebih besar. Kelebihan udara dari kebutuhan teoritis disebut juga dengan '*Excess air*'. Besarnya *excess air* dalam proses pembakaran tergantung

dari jenis bahan bakar yang digunakan. Dan berikut ini adalah persentase banyaknya kebutuhan udara berlebih untuk berbagai macam bahan bakar :

Tabel 4.1 Udara Berlebih ( Excess air )

Bahan bakar	Udara berlebih ( % )
Batu bara	10 – 40 udara berlebih
Cocas	20 – 40 udara berlebih
Kayu	25 – 50 udara berlebih
Ampas tebu	25 – 45 udara berlebih
Minyak	8 - 15 udara berlebih
Gas alam	5 – 10 udara berlebih
Refrinari gas	8 – 15 udara berlebih
Furnace gas	15 -25 udara berlebih

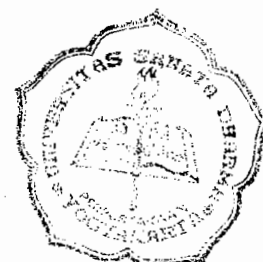
Sumber : Otto de Lorenzi, ME, Combution Engineering, First Edition, hal 24

Pada perancangan generator uap lokomotif ini, bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar padat alami yaitu batubara. Adapun sifat dari bahan bakar padat berupa batubara adalah sebagai berikut :

1. Kandungan zat-zat yang mudah menguap atau volatile meter. Kandungan zat yang mudah menguap atau volatile meter adalah prosentase atau berat dari zat yang mudah menguap bila dilakukan penguapan (*destilasi*) kering

terhadap bahan bakar tersebut tanpa ada hubungan udara pada temperatur 950 °C, dikurangi dengan prosentase berat dari uap air yang menguap. Sedangkan sisanya akan berupa kokas bahan bakar yang dapat terbakar.

2. Temperatur penyalaan atau *Ignition Temperature*. Adalah temperatur pada saat bahan bakar padat atau cair akan terbakar, setelah menguapnya zat-zat penguapnya. Pada umumnya temperatur penyalaan makin tinggi bila susunan bahan bakar makin sederhana.
3. Temperatur pencetus atau *Flasing temperature*. Menyatakan temperatur pada saat panas reaksi yang dihasilkan sama dengan jumlah panas yang dibuang.
4. Kecepatan Pembakaran. Tergantung dari besar kecilnya butiran-butiran bahan bakar dan kadar kandungan zat-zat penguap dalam batubara tersebut. Batubara kurus terbakar lebih perlahan namun temperatur penyalannya lebih tinggi dibandingkan dengan batubara gemuk.
5. Kecenderungan untuk menggumpal. Yang dimaksudkan dengan kecenderungan untuk menggumpal dari suatu batubara adalah sifat untuk melunak dan saling menggumpal antara butiran-butiran kokas yang tertinggal setelah berlangsungnya proses penguapan. Batubara yang mempunyai kecenderungan yang besar untuk menggumpal akan menyebabkan arus udara pembakar dari bawah melalui celah-celah rangka bakar menjadi tersumbat sehingga api mudah padam. Untuk menghindari





kerusakan tersebut, maka sering dilakukan pencampuran batubara yang kecenderungan menggumpalnya sangat besar (biasanya disebut batubara gemuk) dengan batubara yang sangat kecil kemampuan menggumpalnya, atau pecah-pecah pada waktu terbakar (yang biasa disebut batubara kurus)

6. Kadar abu. Untuk memperkecil kadar abu dalam bahan bakar batu bara dapat dilakukan dengan menemukan bongkahan-bongkahan batubara dan mencucinya. Kadar abu yang tinggi pada batubara akan mempengaruhi proses pembakaran batubara itu dan dapat memperbesar kerugian yang disebabkan terdapatnya jumlah bahan bakar yang terbuang bersama abu, serta setelah pembakaran berlangsung akan menimbulkan kerak-kerak abu. Disamping itu kadar abu yang tinggi dalam batu bara akan mempersulit penyalaan batu bara serta kemungkinan mencairnya abu pada temperatur pembakaran yang menutupi celah rangka bakar yang akan dilalui oleh udara primer, sehingga penyaluran udara primer akan terganggu.

7. Kadar air.

Kadar air dalam batu bara bertambah saat proses pencucian batu bara setelah penambangannya. Bertambahnya kadar air dalam batu bara dapat disebabkan karena perimbangan batubara di udara terbuka atau bila butiran-butiran yang semakin halus. Jumlah kadar air dan abu dalam batubara akan menurunkan nilai pembakaran (*Heating value*) dari batubara.

8. Proses membawa sendiri dan merusak sendiri.

Proses merusak dengan sendirinya, berlangsung karena batubara ditumpuk secara terbuka di udara bebas dalam waktu yang cukup lama. Hal ini terjadi karena kandungan zat arang atau karbon (C), dan hydrogen (H) menyusut, sedangkan zat asamnya justru bertambah yang disebabkan proses oksidasi secara perlahan-lahan antara udara bebas disekitarnya dengan tumpukan batubara. Dengan demikian nilai pembakaran batubara menjadi menurun dan pengaruhnya cukup besar terhadap kemampuan menggumpalnya batubara. Proses dimulai dengan absorsi oksigen dari udara bebas oleh batubara yang akan terjadi pada permukaan batubara. Lama kelamaan karena temperatur yang cukup tinggi oksigen akan terikat secara kimia pada batubara. Proses ini akan menghasilkan panas sehingga apabila proses ini berlangsung terus maka dapat menyebabkan panas meningkat dan terjadi proses lebih lanjut yaitu proses membara dengan sendirinya. Kecenderungan untuk merusak dengan sendirinya ataupun terbakar dengan sendirinya akan menurun bila derajat pengarangan (*Charring degree*) dari batubara makin tinggi. Dan untuk menghindari proses merusak dengan sendirinya ataupun terbakar dengan sendirinya, maka timbunan batubara diusahakan agar tidak bersinggungan dengan pipa-pipa yang panas sekalipun pipa-pipa tersebut telah dilapisi dengan isolasi, bahkan sinar matahari langsung ataupun karena pantulan suatu bidang juga harus dihindari.

### III.3. Analisa Bahan Bakar

Untuk menentukan banyaknya energi yang diperlukan untuk mengubah air menjadi uap didalam generator uap, maka terlebih dahulu komposisi bahan bakar yang digunakan untuk generator uap lokomotif yang telah direncanakan.

Tabel 4.2 : Peisentase komposisi batubara Bukit asam

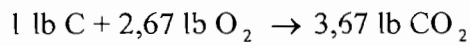
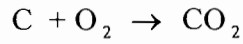
Nama	Rumus	Persentase
Karbon	C	63,5
Hidrogen	H <sub>2</sub>	5,8
Oksigen	O <sub>2</sub>	15,2
Nitrogen	N <sub>2</sub>	1,0
Belerang	S	0,5
Abu	Ash	5,0
Air	H <sub>2</sub> O	9,0

Sumber : Ir.MJ Djokostyarjo, Ketel Uap, PT.Pradnya Paramita, hal 42

Proses pembakaran adalah suatu reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen yang diperoleh dari udara bebas dan menghasilkan unsur atau senyawa baru. Reaksi-reaksi yang terjadi dalam proses pembakaran unsur bahan bakar yaitu proses pembakaran sempurna tiap 1 lb oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran C dan H dalam 1 lb bahan bakar.

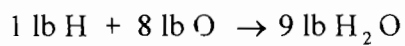
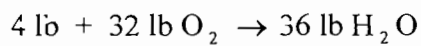
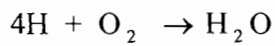
Reaksi yang terjadi dalam pembakaran tersebut adalah sebagai berikut :

Karbon ( C ) terbakar sempurna menjadi  $\text{CO}_2$  menurut persamaan :



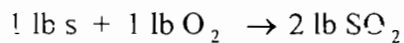
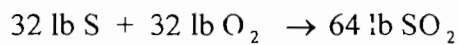
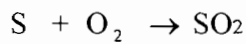
Jadi setiap pembakaran 1 lb karbon ( C ) dibutuhkan Oksigen (  $\text{O}_2$  ) sebesar  
2,67

Hidrogen ( H ) terbakar sempurna menjadi  $\text{H}_2\text{O}$  menurut persamaan :



Jadi setiap pembakaran 1 lb hydrogen ( H ) dibutuhkan oksigen (  $\text{O}_2$  ) sebesar  
8 lb

Belerang ( S ) terbakar sempurna menjadi  $\text{SO}_2$  menurut persamaan :



Jadi setiap pembakaran 1 lb belerang ( S ) dibutuhkan oksigen (  $\text{O}_2$  ) sebesar  
1 lb

#### III.4. Nilai Pembakaran

Yang dimaksud dengan nilai pembakaran bahan bakar adalah jumlah kalor yang dilepas atau dibebaskan dengan cara pembakaran persatuan volume ( Btu / ft<sup>3</sup>) bahan bakar, karena bahan bakar mengandung H<sub>2</sub>O. Oleh karena H<sub>2</sub>O yang terkandung dalam bahan bakar ini dapat berupa air atau uap air, maka nilai pembakaran dapat dibedakan menjadi :

a. Nilai pembakaran atas atau *high heat value* (HHV)

yaitu nilai pembakaran yang terdapat dalam bahan bakar apabila uap air yang terbentuk sebagai reaksi pembakaran antara hydrogen dan oksigen seluruhnya mengembun, sehingga terdapat dalam bentuk cair.

b. Nilai pembakaran bawah atau *low heat value* (LHV )

Yaitu nilai pembakaran yang dimiliki bahan bakar apabila H<sub>2</sub>O yang terbentuk dari reaksi pembakaran seluruhnya masih dalam bentuk uap.

Nilai pembakaran bawah jauh lebih rendah daripada nilai pembakaran atas karena sebagian panas tidak ikut dibebaskan karena panas tersebut diperlukan untuk mempertahankan H<sub>2</sub>O dalam bentuk uap.

Harga HHV dan LHV untuk bahan bakar batubara dengan memperhatikan komposisi kimia (Tabel 4.2) dapat dihitung dengan persamaan : <sup>1)</sup>

$$\text{HHV} = 33915 C + 144033 \left[ H - \frac{O_2}{8} \right] + 10468 \times S \dots\dots\dots (4.1)$$

$$= 33915 \times 0,635 + 14033 \left[ 0,058 - \frac{0,152}{8} \right] + 10468 \times 0,005$$

$$= 27205,625 \text{ Kilojoule/Kg}$$

$$= 11695,486 \text{ Btu/lb bahan bakar}$$

$$\text{LHV} = 33195 C + 121423 \left[ H - \frac{O_2}{8} \right] + 10468 S - 2512 \left[ H_2O - \frac{O_2}{8} \right] \dots (4.2)$$

$$= 33195 \times 0,635 + 121423 \left[ 0,058 - \frac{0,152}{8} \right] + 10468 \times 0,005 - 2512 \left[ 0,09 + \frac{152}{8} \right]$$

$$= 25668 \text{ kj / Kg}$$

$$= 11035,49 \text{ Btu/lb bahan bakar}$$

### III.4. Kebutuhan Bahan Bakar

Kebutuhan bahan bakar dapat diperhitungkan berdasarkan dari jumlah kalor yang dipergunakan dengan nilai pembakaran bawah ( LHV ), yaitu sebagai berikut :

---

1) Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat Konversi Energi I, Rajawali. Jakarta, hal 223

2)

$$W_f = \frac{M_u (h_u - h_a)}{\eta(LHV)} \dots\dots\dots (4.3)$$

Dengan :  $W_f$  = kebutuhan bahan bakar tiap jam ( kg/jam)

$M_u$  = jumlah uap yang dihasilkan tiap jam

$$= 16000 \text{ kg/jam}$$

$h_u$  = entalpi uap panas lanjut tekanan 1,6 Mpa suhu 230 ° C

$$= 2869,68 \text{ kJ/kg}$$

$h_a$  = Entalpi air masuk ketel pada temperature 30 ° C tekanan 1 atm

$$= 417,36 \text{ kJ/kg}$$

LHV = Nilai pembakaran bawah

$$= 25668 \text{ kJ/kg bahan bakar}$$

$\eta$  = Efisiensi ketel uap, untuk jenis ketel uap pipa api efisiensinya antara

: = 75 - 80 % ( *Carl D shield. Boiler Type Characteristic Function, 25* )

Maka

$$W_f = \frac{15000(2829,68 - 417,36)}{0,80(25668)}$$

$$W_f = 1910,79 \text{ kg/jam}$$

---

<sup>2)</sup> Ibid, hal 223

#### IV.5. Kebutuhan Udara Untuk Pembakaran

Untuk membakar bahan bakar didalam dapur ketel diperlukan adanya oksigen yang diambil dari udara. Jumlah udara pembakaran yang diperlukan untuk membakar bahan bakar tersebut secara sempurna, dapat dihitung berdasarkan susunan kimia bahan bakar tersebut.

Kebutuhan oksigen untuk pembakaran diambil dari udara, dimana udara dihembuskan masuk ke dalam ruang bakar kemudian oksigen bereaksi dengan unsure-unsur bahan bakar sehingga terjadilah pembakaran. Di dalam udara terdapat oksigen sebesar 23,15 %.

Sehingga secara umum kebutuhan oksigen secara teoritis untuk pembakaran dapat dihitung dengan menggunakan rumus : <sup>3)</sup>

$$W_{o_2 \text{ th}} = 2,67C + 7,94 H_2 + 0,998 S \dots\dots\dots (4.4)$$

Dengan C, H<sub>2</sub> dan S adalah fraksi berat dari karbon, hidrogen, sulfur dan yang dikandung oleh bahan bakar, dengan menggunakan harga komposisi bahan bakar pada Tabel 4.2 dapat dihitung :

$$\begin{aligned} W_{o_2 \text{ th}} &= 2,67 (0,635) + 7,94 (0,058) + 0,998 (0,005) \\ &= 2,16096 \text{ lb/lb bahan bakar} \end{aligned}$$

Didalam udara terdapat oksigen sebesar 23,15 % sehingga kebutuhan udara teoritis untuk pembakaran setiap 1 lb bahan bakar adalah : <sup>4)</sup>

---

<sup>3)</sup> Ir. M.J. Djokosetyarjo, Ketel Uap, P.T. Pradnya Paramita, hal 72

<sup>4)</sup> Ibid hal 73



$$\begin{aligned}
M_{ut} &= \frac{W_{o_2}th}{23,15\%} \dots\dots\dots (4.5) \\
&= \frac{2,16096lbudara / lbahanbckar}{0,2315} \\
&= 9,3346 \text{ lb udara / lb bahan bakar}
\end{aligned}$$

Untuk menjamin pembakaran bahan bakar dengan sempurna maka perlu digunakan udara tambahan sebesar 40 % ( Tabel 4.1 ), jadi kebutuhan udara untuk pembakaran adalah : <sup>5)</sup>

$$M_u = M_{ut} \times M \dots\dots\dots (4.6)$$

dengan :

Wu = kebutuhan udara untuk pembakaran (lb udara/ lb BB)

M = koefisien kebutuhan udara

Sehingga :

$$\begin{aligned}
Wu &= 9,3346 \text{ lb udara / lb bahan bakar} \times 1,4 \\
&= 13,06844 \text{ lb udara / lb bahan bakar}
\end{aligned}$$

Untuk pemakaian bahan bakar sebesar ( Wf ) = 1910,79 kg/jam = 4212,60 lb/jam, akan didapat kebutuhan udara sebesar :

adalah : <sup>6)</sup>

---

<sup>5)</sup> Ibid hal 74

<sup>6)</sup> Ibid hal 75

$$\begin{aligned}
 Mg &= W_f \times W_u \dots\dots\dots (4.7) \\
 &= 4212,60 \times 13,06844 \\
 &= 55052,11 \text{ lb/jam} = 24971,47 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

### V.6. Perhitungan Temperatur Gas Asap Hasil Pembakaran

Dari hasil pembakaran maka dapat dihitung masa gas asap yang terbentuk tiap jamnya. Komposisi unsur bahan bakar tiap 1 lb bahan bakar dihitung dengan persamaan

Sebagai berikut : <sup>7)</sup>

$$\begin{aligned}
 CO_2 &= 3,67C \\
 &= 3,67 \times 0,635 &= 2,3306 \text{ lb/lb bb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_2O &= 8,94 \times H + H_2O \\
 &= 8,94 \times 0,058 + 0,09 &= 0,6085 \text{ lb/lb bb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SO_2 &= 2S \\
 &= 2 \times 0,005 &= 0,01 \text{ lb/lb bb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_2 &= 8,86 C + 26,41 (H - O_2/8) = 3,2 S + N_2 \\
 &= 8,86 \times 0,635 + 26,41 (0,058 - 0,152/8) + 3,2 \times 0,05 + 0,0 &= 9,5741 \text{ lb/lb bb}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 O_2 &= 0,15 \times \text{kebutuhan udara teoritis} \\
 &= 0,15 \times 9,3346 &= 1,4002 \text{ lb/lb bb}
 \end{aligned}$$

$$\text{Abu} = 0,05 \text{ lb/lb bb} \qquad = 0,05 \text{ lb/lb bb}$$

---

<sup>7)</sup> Babcock and Wilcox, steam/Its Generation and use, hal 6

---

jumlah keseluruhan = 13,9733. lb/ lb bb

Jika dikomposisi tersebut dinyatakan dalam lb mol/lb bahan bakar maka :

$$\text{CO}_2 = \frac{2.3395 \text{ lb / lb bahan bakar}}{44} = 0,05297 \text{ lb mol / lb bb}$$

$$\text{H}_2\text{O} = \frac{0,6085 \text{ lb / lb bahan bakar}}{18} = 0,003381 \text{ lb mol / lb bb}$$

$$\text{SO}_2 = \frac{0,01 \text{ lb / lb bahan bakar}}{64} = 0,00015 \text{ lb mol / lb bb}$$

$$\text{N}_2 = \frac{9,3346 \text{ lb / lb bahan bakar}}{28} = 0,3338 \text{ lb mol / lb bb}$$

$$\text{O}_2 = \frac{1,4002 \text{ lb / lb bahan bakar}}{32} = 0,04376 \text{ lb mol / lb bb}$$

---

Maka jumlah keseluruhan komposisi bahan bakar = 0,46407 lb mol / lb bb

Sehingga untuk pemakaian bahan bakar sebesar ( Wf ) = 4212,60 lb/jam akan

~~dihasilka~~n gas asap sebesar : <sup>8)</sup>

$$W_g = 4212,60 \times 13,9733$$

$$= 58863,92 \text{ lb/jam}$$

$$= 26700,085 \text{ kg/jam}$$

---

<sup>8)</sup> Ir. MJ. Djokosetyarjo, Ketel Uap P.T. Pradnya Paramita, hal 75

Pembakaran berlangsung dengan tekanan konstan, sehingga panas yang timbul dapat dihitung dengan mengalikan volume gas asap dengan harga entalpi dengan unsur-unsurnya dengan menggunakan rumus : <sup>9)</sup>

$$H_{ic} = \text{lb mol CO}_2 \times H(\text{CO}_2) + \text{lb mol H}_2\text{O} \times H(\text{H}_2\text{O}) + \text{lb mol N}_2 \times H(\text{N}_2) + \text{lb mol O}_2 \times H(\text{O}_2) \dots\dots\dots (4.8)$$

$H_{is}$  = Harga entalpi untuk gas pembakaran bawah

Direncanakan temperature pembakaran bahan bakar  $H_{is} = 540 \text{ R}$  yaitu dengan asumsi keadaan ruang bakar berada pada temperature  $27^\circ\text{C}$  atau  $80,6^\circ\text{F}$  dengan menggunakan persamaan diatas dan dengan menggunakan tabel entalpi untuk gas :

$$\begin{aligned} H_{is} &= 0,05297 \text{ lb mol/lb bb} \times 4055 \text{ Btu/lb mol} + 0,003881 \text{ lb mol/lb bb} \\ &\quad \times 4284,79 \text{ Btu/lb mol} + 0,3338 \text{ lb mol/lb bb} \times 3750,57 \text{ Btu/lb mol} + \\ &\quad 0,04376 \text{ lb mol / lb bb} \times 3756,44 \text{ Btu / lb mol} \\ &= 4122,890 \text{ Btu / lb bahan bakar} \end{aligned}$$

Temperatur pembakaran ( $T_c$ ) dapat dicari dengan menggunakan metode try and error :

$$H_{ic} - H_{is} = \text{LHV} = 11035,49 \text{ Btu / lb}$$

$H_{ic}$  = harga untuk entalpi suhu pembakaran atas

Dicoba dahulu dengan temperatur pembakaran bahan bakar ( $T_c$ ) =  $3600 \text{ R}$  ( $1848^\circ\text{C}$ )

---

<sup>9)</sup> MM. EL. Wakil, Instalasi Pembangkit Daya I, Jakarta 1992, hal 119

$H_{ic} = CO_2 = 0,05297 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 43341 \text{ Btu / lb mol}$	= 2295,772
$H_2O = 0,03381 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 31271 \text{ Btu / lb mol}$	= 1202,023
$N_2 = 0,3338 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 27862,6 \text{ Btu / lb mol}$	= 9288,833
$O_2 = 0,04736 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 29173 \text{ Btu / lb mol}$	= 1276,632
Jumlah	
	= 14063,262

$H_{3600} - H_{540} = 12298,8031 > LHV$ , maka :

Dicoba lagi dengan temperature pembakaran ( $T_c$ ) = 2800 R (1403,88 °C) :

$H_{ic} = CO_2 = 0,05297 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 31955,9 \text{ Btu / lb mol}$	= 1692,704
$H_2O = 0,03381 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 26093 \text{ Btu / lb mol}$	= 882,2043
$N_2 = 0,3338 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 21073,9 \text{ Btu / lb mol}$	= 7025,616
$O_2 = 0,04376 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 33718 \text{ Btu / lb mol}$	= 965,3544
Jumlah	
	= 10565,879

$H_{2800} - H_{540} = 8791,4205 < LHV$ , maka

Dengan cara interpolasi dapat dihitung temperature pembakarannya :

$$T_c = 2800 \text{ R} + \frac{3600 \text{ R} - 2800 \text{ R}}{14063,2621 - 1056,879} \times [LHV - 1056,879 \text{ Btu / lb}]$$

$$= 2907,4199^\circ \text{ R}$$

$$= 1468,06^\circ \text{ C}$$

## **BAB V**

### **DIMENSI KETEL**

Dalam Generator uap terjadi hantaran kalor dari sumber panas hasil pembakaran bahan bakar terhadap bidang pemanas secara pancaran dan rambatan. Dari bidang pemanas kemudian dihantarkan kembali kepada air ketel secara konveksi. Hantaran panas secara rambatan dan sebagian panas diabaikan dengan demikian proses perpindahan panas akan terjadi selama masih ada sumber panas sampai panas tersebut diterima oleh air.

#### **V.1 Perpindahan panas**

Panas yang dihasilkan karena pembakaran bahan bakar dan udara yang berupa api dan gas asap dipindahkan kepada air, uap ataupun udara melalui dinding yang dipanaskan. Ada tiga cara dalam perpindahan panas yaitu ;

- a. Dengan cara pancaran atau Radiasi.
  - b. Dengan cara aliran atau Konveksi.
  - c. Dengan cara perambatan atau Konduksi.
- a. Perpindahan panas secara pancaran atau Radiasi.

adalah perpindahan panas antara suatu benda ke benda yang lainnya dengan melalui gelombang-gelombang elektromagnetis tanpa tergantung pada ada atau tidaknya media diantara benda yang menerima pancaran panas tersebut.

Perpindahan panas secara pancaran dapat dibayangkan berlangsung melalui media berupa suatu jenis materi bayangan tanpa bobot yang mengisi seluruh sela-sela ruangan diantara molekul-molekul dari suatu zat tertentu ataupun dalam ruangan hampa sekalipun.

b. Perpindahan panas secara aliran atau konveksi.

Adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida atau apabila suatu panas berpindah dari bagian yang suhunya lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah. Molekul-molekul fluida dalam gerakannya melayang-layang membawa sejumlah panas masing-masing. Pada saat molekul fluida menyentuh dinding ketel maka panasnya dibagikan sebagian kepada dinding ketel. Bila gerakan dari molekul-molekul yang melayang tersebut disebabkan karena perbedaan temperature didalam fluida itu sendiri, maka perpindahan panas disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah. Bila gerakan molekul-molekul tersebut sebagai akibat dari kekuatan mekanis ( karena dipompa atau dihembus dengan fan ) maka perpindahan panasnya disebut konveksi paksa (*Forced convection*).

c. Perpindahan panas secara rambatan atau konduksi

Adalah perpindahan panas dari suatu bagian benda ke bagian lain dari benda yang sama karena terjadi persinggungan fisik tanpa terjadi perpindahan molekul – molekul dari benda padat itu sendiri.

## V.2 Perhitungan perpindahan panas pada bagian ruang bakar

Pada bagian ruang bakar atau lorong api perpindahan panas terjadi dalam beberapa cara, antara lain : radiasi, konveksi dan konduksi. Tetapi yang paling dominan adalah secara radiasi, sedangkan perpindahan panas lainnya dapat diabaikan. Hal ini dikarenakan permukaan yang dipanasi menerima secara langsung dari pancaran api yang bersuhu tinggi dari hasil pembakaran bahan bakar dan oksigen.

Besarnya panas yang diterima secara radiasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus Stefan-Boltzmann, sebagai berikut :

$$Q_r = 0,173 \times A \times e \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]^{10)} \dots\dots\dots (5.1)$$

Keterangan :

$Q_r$  = Total panas yang diserap ( kj/kg)

$A$  = Luas efektif nyala api (  $ft^2$  )

---

<sup>10)</sup> Boiler Type and characteristic 1972, hal,165



$$= (S \times S) \cdot 6$$

S : Sisi kotak api = 4,92 ft = 1,5 m (direncanakan )

Kotak api atau ruang bakar yang direncanakan berbentuk kubus.

Maka :

$$A = (4,92 \times 4,92) \cdot 6$$

$$= 145,23 \text{ ft}^2$$

$$= 13,50 \text{ m}^2$$

e = Emisivitas bahan yang menerima panas radiasi untuk bahan silinder 0,79

$T_1$  = Temperatur rata-rata

$$= \frac{(T_{\text{pembakaran}} + T_{\text{gasapmninggalkanruangbakar}})}{2}$$

T gas meninggalkan ruang bakar direncanakan = 2660 °R

$$= \frac{(2907,41 + 2660)}{2} = 2783,70 \text{ °R} = 2323,70 \text{ °F}$$

$T_2$  = Temperatur permukaan yang menerima radiasi panas

$$= (T \text{ titik didih air} + T_p)$$

$T_p$  = Beda suhu permukaan dan titik didih air < 50 °F <sup>11)</sup>

$T_2 = 394,4 + 40$  ( titik didih air pada tekanan 1,6 Mpa (232 Psi) = 394,4

$$= 434,4 \text{ °F}$$

Maka besarnya panas yang diterima secara radiasi pada ruang bakar adalah :

---

<sup>11)</sup> Ibid, hal 169

$$\begin{aligned}
Q_r &= 0,173 \times 145,23 \times 0,79 \left[ \left( \frac{2323,70}{100} \right)^4 - \left( \frac{434,4}{100} \right)^4 \right] \\
&= 10275966,33 \text{ Btu/jam} \\
&= 10841719,93 \text{ Kj/jam}
\end{aligned}$$

Pemeriksaan temperatur gas meninggalkan ruang bakar dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$Q_r = M_b [LHV - (W_g \times C_{pg} \times T_g)] \dots\dots\dots (5.2)$$

Keterangan :

$Q_r$  = Panas radiasi yang diserap didalam ruang bakar

$M_s$  = Kebutuhan bahan bakar tiap jam

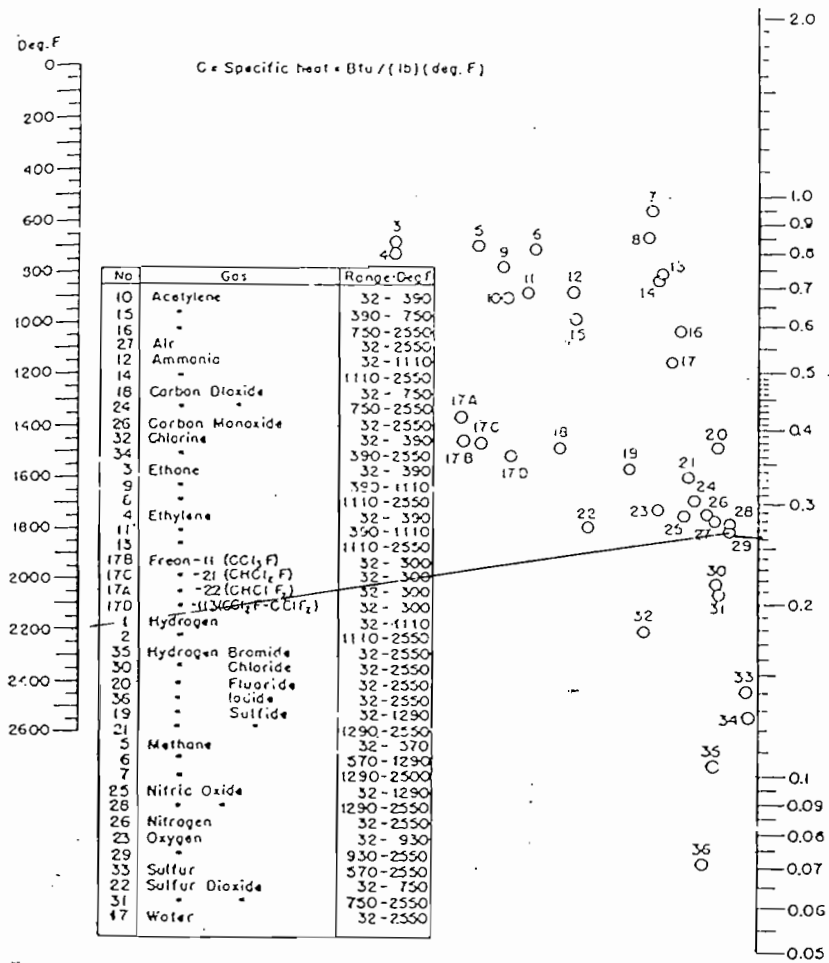
LHV = Nilai pembakaran bawah bahan bakar

$W_g$  = Berat gas asap yang dihasilkan per lb bahan bakar

$T_g$  = Temperatur gas meninggalkan ruang baker

Dengar menggunakan monogram panas jenis gas panas pada tekanan 1 atm dan temperatur 2200 ° F dan dengan komposisi gas asap, maka ;

$$C_p = \frac{\text{masa komposisi gas asap}}{\text{jumlah berat komposisi gas asap}} \times \text{Panas jenis}$$



Gambar 5.1 Monogram Panas jenis

Untuk mendapatkan nilai panas jenis dari gas O<sub>2</sub> ( Oxygen ) pada gambar monogram panas jenis diatas, yaitu dengan menggunakan nomor ( 29 ) berdasarkan gas tersebut pada tabel dan temperatur gas pada tabel Range ( 2200° F ) dari nomor gas tersebut maka didapat nilai panas jenis ( 0,26 ) dengan menarik garis lurus pada harga panas jenis sebelah kanan. Dengan cara yang sama diperoleh nilai panas jenis untuk gas lainnya.

Sehingga diperoleh :

$$C_{pO_2} = \frac{2,3305}{13,9733} \times 0,26 = 0,0517$$

$$C_{pH_2O} = \frac{0,6085}{13,9733} \times 0,53 = 0,0230$$

$$C_{pN_2} = \frac{9,5741}{13,9733} \times 0,29 = 0,198$$

$$C_{pO_2} = \frac{1,4002}{13,9733} \times 0,27 = 0,0270$$

jumlah keseluruhannya (  $C_{pg}$  ) = 0,2997

temperatur gas meninggalkan ruang bakar dapat dihitung, sebagai berikut :

$$10275966,33 = 4216,60 [11035,49 - (13,06844 \times 0,2997 \times T_g)]$$

$$T_g = 2194,79 \text{ } ^\circ F$$

Perkiraan gas asap yang meninggalkan ruang bakar adalah  $2660^\circ R = 2200 \text{ } ^\circ F = 1204,44^\circ C$

### V.3 Pipa-pipa Api

Pada ketel uap pipa-pipa api, panas yang dihantarkan atau panas yang diterima oleh air selain dihantarkan oleh dinding silinder juga dihantarkan melalui dinding pipa-pipa api. Panas yang dihantarkan atau dihasilkan pada pembakaran

bahan bakar dan oksigen dalam ruang bakar, tidak seluruhnya diserap oleh air untuk menjadi uap jenuh, karena sebagiannya terbuang lewat cerobong.

Kerugian ini disebabkan karena adanya perbedaan temperatur bagian dalam ketel dengan udara luar, sehingga kerugian tersebut berupa kerugian panas yang mengalir melalui dinding dan isolasi ke udara luar. Untuk ketel yang dirancang ini diperkirakan mengalami kerugian sebesar 0.9-0,97 % ( Ir, Syamsir A. Muin , 1988: hal, 47) dari keseluruhan panas yang dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar, sehingga :

$$Q_f = \eta_k \cdot LHV \cdot W_f \dots\dots\dots (5.3)$$

Keterangan

$Q_f$  = Kerugian panas melalui dinding ( kJ/kg)

$W_f$  = Kebutuhan bahan baker = 1910,79 kg/jam

LHV = Nilai pembakaran bawah = 25668 kJ/jam

Maka :

$$\begin{aligned} Q_f &= 0.009 \times 25668 \times 1910,79 \\ &= 441415,41 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

sehingga kebutuhan panas :

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_f + Q \\ &= 441415,41 + 39237120 \\ &= 39678535,41 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Dari total panas tersebut sebagian telah diserahkan secara radiasi pada ruang bakar sebesar 10841719,93 Kj/jam, sehingga panas yang memasuki pipa-pipa api adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_{pa} &= Q_t - Q_r \\
 &= 39678535,41 - 10841719,93 \\
 &= 28836815,48 \text{ Kj/jam}
 \end{aligned}$$

### V.5 Dimensi pada pipa-pipa api

Pipa-pipa api menerima panas dari gas asap yang mengalir didalamnya secara konveksi selanjutnya panas tersebut merambat dari permukaan dinding pipa yang bersuhu lebih rendah yaitu permukaan bagian luar yang berbatasan dengan air secara konduksi, panas dari permukaan dinding bagian tersebut dipindahkan ke air secara konveksi.

Dalam perancangan pipa, disini yang digunakan adalah schedule 40 ( tabel ukuran pipa ) dengan perincian sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter luar (Do)} &= 2,376 \text{ inch} \\
 \text{Diameter dalam ( Di)} &= 2,067 \text{ inch} \\
 \text{Panjang pipa (L)} &= 16,40 \text{ ft} = 5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Laju perpindahan panas yang terjadi dari gas ke air adalah secara konveksi dan konduksi ( gabungan) maka dapat dihitung dengan rumus : <sup>12)</sup>

$$Q = U \times A \times \Delta t_m \dots\dots\dots (5.4)$$

---

<sup>12)</sup> Ir. G. Harjanto, Pesawat pendingin pemanas, pusat penerbitan, fak teknik UGM 1988

Keterangan :

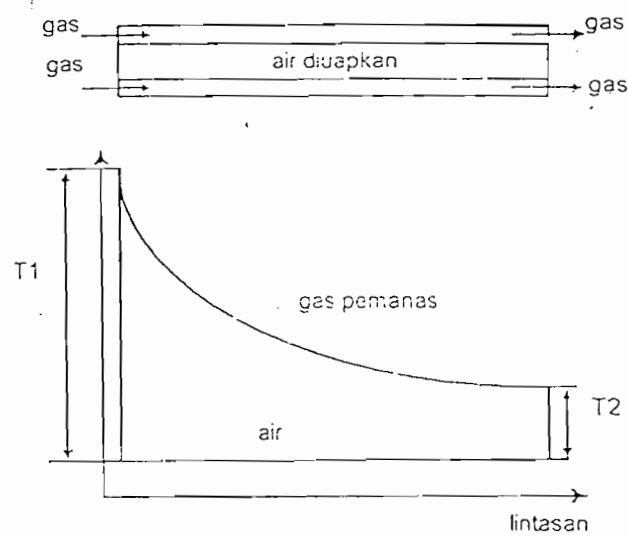
U = koefisien perpindahan panas total

A = luas yang menghantarkan panas

$\Delta t_m$  = Beda suhu antara sumber dan penerima panas

Karena suhu kedua fluida berubah dari inlet ke out let maka  $\Delta t_m$  dapat dihitung sebagai log mean temperatur difference :

$$\Delta t_m = \frac{(T_{g1} - T_{g1'}) - (T_{g2} - T_{g2'})}{\ln \frac{(T_{g1} - T_{g1'})}{(T_{g2} - T_{g2'})}} \dots\dots\dots(5.5)$$



Gambar 5.2 proses perpindahan kalor

Penukar panas pada bidang pemanas air menjadi uap oleh gas-gas pemanas pada ketel, air yang mendidih mengalami fase penguapan mempunyai temperatur tetap, sehingga gas pemanas mengalami penurunan temperature.

Dalam perancangan harga-harganya terdiri dari

$$\begin{aligned} Tg_1 &= \text{temperatur gas meninggalkan ruang bakar / masuk pipa-pipa api} \\ &= 1204,4^\circ \text{ C} \end{aligned}$$

$$Tg_1' = \text{Temperatur air isian} = 30^\circ \text{ C}$$

$$\begin{aligned} Tg_2 &= \text{temperatur gas meninggalkan pipa-pipa api} \\ &= 510^\circ \text{ C ( direncanakan )} \end{aligned}$$

$$Tg_2' = \text{Temperatur titik didih air} = 201,29^\circ \text{ C}$$

Dengan memasukan harga-harga tersebut diatas maka didapat :

$$\begin{aligned} \Delta t_m &= \frac{(1204,4 - 30) - (510 - 201,29)}{\frac{(1204,4 - 30)}{(510 - 201,29)}} \\ &= 650,90^\circ \text{ C ( 1203,62^\circ \text{ F )} \end{aligned}$$

Perhitungan luas permukaan bidang pemanas

$$\begin{aligned} A_c &= \pi \times D_o \times L \\ &= \pi \times \left( \frac{2,376}{12} \right) \times 16,40 \\ &= 10,196 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$



Luas bidang pemanas untuk n jumlah pipa :

$$A = A_o \times n$$

$$n = \text{jumlah pipa-pipa api} = 140$$

Maka :

$$A = 10,196 \times 140$$

$$= 1427,44 \text{ ft}^2$$

**Perhitungan konduktansi panas menyeluruh.**

Konduktansi panas menyeluruh dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$U = \frac{1}{\left[ \frac{1}{U_{cg} \left( \frac{D_o}{D_i} \right)} \right] + \left[ \frac{0,5 \times D_o \times \log e \left( \frac{D_o}{D_i} \right)}{K} \right] + \left[ \frac{1}{U_a} \right]} \dots\dots\dots (5.6)$$

Keterangan :

$U_{cg}$  = Konduktansi panas konveksi film gas

$U_a$  = Konduktansi panas konveksi film air

$K$  = Konduktivitas panas dari bahan pipa

**Perhitungan konduktansi panas film gas ( $U_{cg}$ )**

$$A_{p1} = \frac{\pi}{4} \times D_i^2$$



$$= \frac{\pi}{4} \times \left( \frac{2,067}{12} \right)^2 = 0,02329 \text{ ft}^2$$

Luas penampang dalam, untuk 140 buah pipa :

$$\begin{aligned} A_{pn} &= 140 \times 0,02329 \\ &= 3,26 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Gas massa velocity :

$$\begin{aligned} W_g &= \frac{Mg}{A_{pn}} \dots\dots\dots (5.7) \\ &= \frac{55052,11}{3,26} \\ &= 16887,11 \text{ lb/jam ft}^2 \end{aligned}$$

Gas film temperatur :

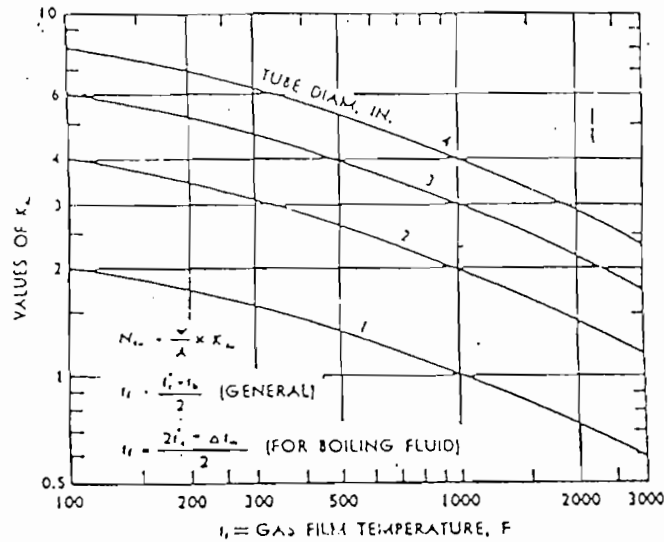
$$\begin{aligned} t_f &= T \text{ titik didih air} + \frac{\Delta t_m}{2} \dots\dots\dots (5.8) \\ &= 419,92 + \frac{1203,62}{2} \\ &= 1021,73 \text{ } ^\circ F \end{aligned}$$

Untuk  $t_f = 1021,73 \text{ } ^\circ F$  dan diameter dalam pipa ( $D_i$ ) = 2,067 inch maka dari gambar

5.3 diperoleh  $K_{re} = 2$

Bilangan Reynolds :

$$\begin{aligned} NRe &= K_{re} \times W_g \dots\dots\dots (5.9) \\ &= 2 \times 16887,11 \\ &= 33774,22 \end{aligned}$$



Gambar 5.3 menentukan angka Reynoldsdengan massa gas dan velocity ( Babcock & Wilcox, Steam/Its generation and use, 1972, hal 14)

Dari angka Reynolds tersebut maka dapat diketahui bahwa aliran gas asap didalam pipa-pipa api adalah aliran turbulen, sehingga perhitungannya menggunakan rumus :

$$U_g = U'_{cl} \times F_{pp} \times F_t \dots\dots\dots (5.10)$$

Keterangan :

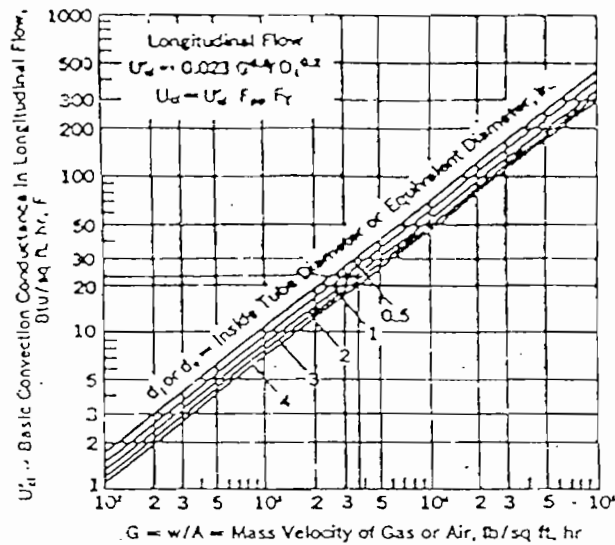
$U_g$  = Konduktansi panas konveksi fiim gas asap

$U'_{cl}$  = Dasar aliran konveksi memanjang

$F_t$  = Faktor temperatur

Untuk  $W_g = 16887,11 \text{ lb/jam ft}^2$  dan  $Di = 2,067 \text{ inch}$ , dari gambar 5.4 didapat harga

$$U'_{cl} = 40 \text{ Btu//ft}^2 \text{ jam}^\circ \text{ F}$$



**Gambar 5.4 Diagram konduktansi panas konveksi panas dasar aliran massa gas**

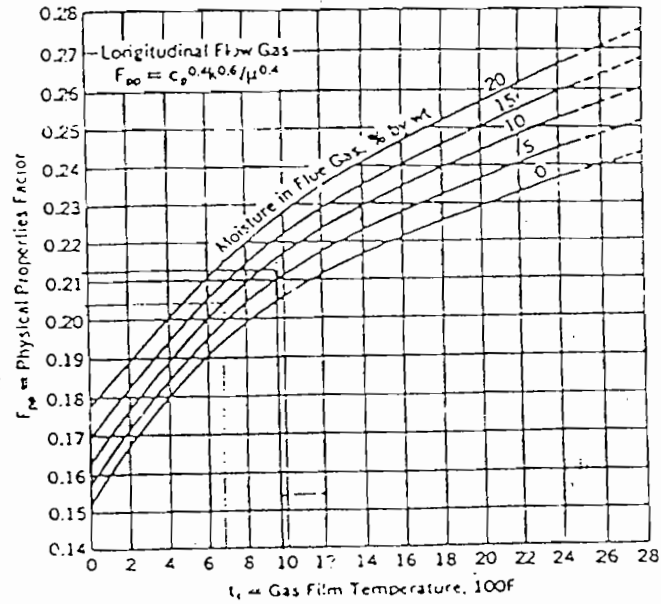
Untuk temperatur film atau  $t_f = 1021,73 \text{ } ^\circ F$  dan 4,35 % berat  $H_2O$  dalam gas asap, maka dari gambar 5.5 didapat  $F_{pp} = 0,216$

Harga  $F_t$  dapat dicari yaitu untuk  $T_f = 1021,73 \text{ } ^\circ F$  dari temperatur borongan ( bulk temperature) dari gas :

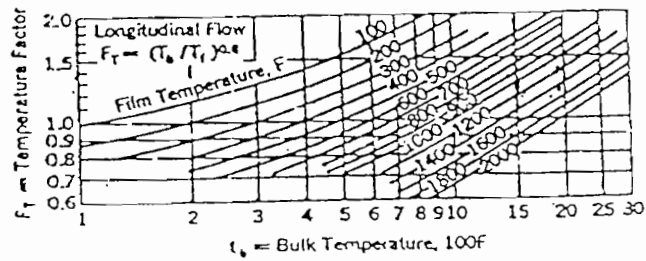
$$= \frac{(2200 + 950)}{2}$$

$$= 1575 \text{ } ^\circ F$$

Maka dari gambar 5.6 didapat harga  $F_t$  sebesar 1,25



Gambar 5.5 Diagram pengaruh temperature gas film pada factor sifat fisik untuk arah aliran gas melintang



Gambar 5.6 Diagram factor temperature karena perubahan massa velocity.

(sumber Babcock and Wilcox, Steam/its Generation and Use, hal 11-31)

Dari harga-harga yang didapat maka dapat dihitung konduktansi konveksi film gas ( $U_g$ )

$$U_g = 40 \times 0,126 \times 1,25$$

$$= 10,8 \text{ Btu/ft}^2 \text{ } ^\circ F$$

**Perhitungan konduktansi panas konveksi film air ( $U_a$ )**

$$H_p = h_a \times \left( \frac{P}{P_a} \right)^{0.4} \dots\dots\dots (5.11)$$

Keterangan :

$H_p$  = Konduktansi panas film air pada tekanan kerja

$h_a$  = Konduktansi panas konveksi film air pada tekanan atmosfer

$P$  = tekanan kerja didalam ketel = 1,6 Mpa (232 psia)

Untuk :

$$\frac{Q}{A} = \frac{31540182,67}{1427,44} = 22095,62 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ F$$

Berarti nilai  $\frac{Q}{A}$  berada dalam  $5000 < \frac{Q}{A} < 75000$

Maka dihitung dengan menggunakan rumus :

$$h_a = (0,168)(\Delta T)^3 \dots\dots\dots (5.12)$$

dengan :

$$\Delta T = T \text{ surface} - T \text{ saturated}$$

$$= 14^\circ F \text{ ( direncanakan, peninjauan kemudian)}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}ha &= (0,168)(14)^3 \\ &= 460,992 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ F\end{aligned}$$

Dengan memasukkan harga-harga yang didapat dalam rumus :

$$\begin{aligned}U_a = H_p &= 460,662 \left( \frac{232}{14,7} \right)^{0,4} \\ &= 1389,82 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ F\end{aligned}$$

$$\Delta T = T \text{ surface} - T \text{ saturated}$$

dengan  $T \text{ saturated}$  direncanakan  $405 \text{ } ^\circ F$  maka :

$$\begin{aligned}T \text{ surface} &= \Delta T + T \text{ saturated} \\ &= 14 + 405 \\ &= 419 \text{ } ^\circ F\end{aligned}$$

Peninjauan  $\Delta T$ , untuk memeriksa perkiraan tersebut maka digunakan rumus :

$$\begin{aligned}Q &= U_a \times A \times \Delta T \\ 31540182,67 &= 1389,82 \times 1427,44 (T_{\text{sur}} - 405) \\ T_{\text{sur}} &= 420,89 \text{ } ^\circ F\end{aligned}$$

Terhadap perkiraan semula :

$$\begin{aligned}&= \left( \frac{420,89 - 419}{420,89} \right) \times 100\% \\ &= 0,3 \%\end{aligned}$$

Harga perbedaan cukup kecil, sehingga perkiraan  $\Delta T$  sebesar  $14^\circ F$  dapat diterima..

Konduktifitas dari bahan pipa diambil dari tabel konduktivitas bahan sebesar 108, sehingga harga U dapat dicari :

$$U = \frac{1}{\left( \frac{1}{10,8 \left( \frac{2,376}{2,067} \right)} \right) + \left[ \frac{0,5 \times 2,376 \log e \left( \frac{2,376}{2,067} \right)}{108} \right] + \left( \frac{1}{1389,82} \right)}$$

$$= 10,86$$

Shingga laju perpindahan kalornya adalah :

$$Q = U \times A \times \Delta tm$$

$$= 10,86 \times 1427,44 \times 1203,62$$

$$= 18658515,31 \text{ Btu/jam}$$

$$= 19695778,53 \text{ kJ/jam}$$

Jadi jumlah kalor sisa pada pipa-pipa yang akan masuk menuju superheater ( Qsi) :

$$Q_{pa} = \text{Jumlah kalor yang masuk pada pipa api} = 28836815,48 \text{ kJ/jam}$$

$$Q_{pi} = \text{jumlah kalor yang diserap air melalui pipa-pipa api} = 19695778,53 \text{ kJ/jam}$$

Qsi = jumlah kalor sisa menuju superheater

$$= Q_{pa} - Q_{pi}$$

$$= 28836815,48 \text{ kJ/jam} - 19695778,53 \text{ kJ/jam}$$

$$= 9141036,95 \text{ kJ/jam}$$



## V.6 Pemanas uap lanjut atau Superheater

Pemanas uap lanjut atau superheater adalah alat untuk memanaskan uap kenyang atau uap jenuh menjadi uap panas lanjut. Uap yang dipanaskan lanjut, bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi di dalam turbin atau mesin uap tidak akan mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan terjadinya pukulan balik *Back Stroke* yang diakibatkan mengembunnya uap belum pada waktunya sehingga menimbulkan vakum ditempat yang tidak semestinya di daerah ekspansi,.

Direncanakan ukuran dan jumlah superheater :

$d_o$  = diameter lur pipa = 1,315 inch

$d_i$  = diameter dalam pipa = 0,815 inch

$L$  = panjang superheater = 10 ft = 120 inchi

$ST$  = jarak antar pipa = 4 inch

$N_w$  = jumlah pipa yang melebar (tubes/row ) = 12

Perhitungan temperature gas asap keluar superheater :

Rumus : <sup>14</sup>

$$T_2 = T_1 - (Q_{sh}/(M_g \times C_p)) \dots\dots\dots (5.14)$$

---

<sup>14</sup> Steam It's Generation and Use, Babcock and Wilcox, hal 14-7

Dengan :

$$T_1 = \text{Temperatur gas asap masuk Superheater} = 510^\circ \text{C} = 950^\circ \text{F}$$

$$T_2 = \text{Temperatur gas asap keluar superheater.}$$

$$Q_{sh} = \text{Laju perpindahan kalor} = 1212800 \text{ kJ/kg} = 114951,443 \text{ Btu/h}$$

$$M_g = \text{laju aliran massa gas} = 24971 \text{ kg/jam} = 55052,11 \text{ lb/jam}$$

$$C_p = \text{Kalor spesifik gas rata-rata } 950^\circ \text{F} = 0,275 \text{ Btu/lb}^\circ \text{F}$$

Penurunan temperature gas asap sebesar :

$$\begin{aligned} T_{\text{drop}} &= \frac{Q_s}{(M_g \times C_p)} \dots\dots\dots (5.15) \\ &= \frac{114951,443}{(55052,11 \times 0,275)} \\ &= 75,92^\circ \text{F} = 24,4^\circ \text{C} \end{aligned}$$

Jadi temperature gas asap meninggalkan superheater :

$$\begin{aligned} T_2 &= T_1 - T_{\text{drop}} \\ &= 510^\circ \text{C} - 24,4^\circ \text{C} \\ &= 485,6^\circ \text{C} \end{aligned}$$

### Perhitungan temperature film gas

Rumus :<sup>15</sup>

$$T_f = (T_{\text{gas}} + T_{r \text{ uap}}) / 2$$

$$T_{\text{rgas}} = (T_1 + T_2) / 2$$

$$T_{r \text{ uap}} = (T_s + T_{sh}) / 2$$

Dengan :

$T_{\text{rgas}}$  = Temperatur rata-rata gas asap

$T_{r \text{ uap}}$  = Temperatur rata-rata uap

$T_f$  = Temperatur film gas

$T_s$  = Temperatur uap jenuh

$T_{sh}$  = Temperatur uap panas lanjut.

Temperatur rata-rata gas asap :

$$\begin{aligned} T_{\text{rgas}} &= \frac{(510 + 485,5)}{2} \\ &= 497,75^\circ \text{C} \quad (927,95^\circ \text{F}) \end{aligned}$$

Temperatur rata-rata uap :

$$\begin{aligned} T_{r \text{ uap}} &= \frac{(201,29 + 230)}{2} \\ &= 215,64^\circ \text{C} \end{aligned}$$

---

<sup>15</sup> Waste Heat Boiler Desbook, V.Ganapathy, hal, 180

Sehingga temperature film gas :

$$T_f = \frac{(497,75 + 215,64)}{2}$$
$$= 356,69^\circ \text{C} \quad (679,62^\circ \text{F})$$

**Perhitungan fluks massa gas ( G ) :**

Rumus :

$$G = Mg/Ag \dots\dots\dots (5.16)$$

$$G = (Mg \times 12) / (M \times L (ST - do))$$

dengan :

G = Fluks massa gas

Nw = jumlah pipa yang melebar ( Tubes/row )

L = Panjang pipa uap ( ft)

do = diameter luar pipa

Besarnya fluks massa gas asap adalah

$$G = \frac{(55052,11 \times 12)}{(12 \times 10)(4 - 1,315)}$$
$$= 2050,86 \text{ lb/h ft}^2$$

### Perhitungan koefisien perpindahan kalor konveksi (hc)

pada kondisi  $T_f = 679,62^\circ \text{ F}$ , maka harga-harga dibawah ini diperoleh dari table sifat fisis gas :

$$C_p = 0,254, \quad \mu = 0,071 \quad k = 0,025$$

Diketahui :

$$ST/d = 3, \text{ maka } B = 0,286, N = 0,608$$

$$G = 2234,31 \text{ lb/h ft}^2$$

Koefisien perpindahan kalor konveksi :

$$\begin{aligned} \text{Re} &= \frac{G d_o}{12 \mu} \\ &= \frac{2050,86 \times 1,315}{12 \times 0,071} \\ &= 3165,35 \\ \text{Nu} &= B \times \text{Re}^N \\ &= 0,286 \times (3165,35)^{0,608} \\ &= 38,42 \\ \text{hc} &= \frac{12 \text{Nu} k}{d_o} \dots\dots\dots (5.17) \\ &= \frac{(12 \times 38,42 \times 0,0251)}{1,315} \\ &= 8,80 \text{ Btu / ft}^2 \text{ h}^\circ \text{ K} \end{aligned}$$

**Perhitungan koefisien perpindahan panas pada pipa superheater (hi)**

Rumus : <sup>16</sup>

$$h_i = 2,44 W^{0,8} \times C_p / d_i^2 \dots\dots\dots (5.18)$$

dengan :

$h_i$  = Koefisien perpindahan panas pipa superheater ( Btu/ ft<sup>2</sup> h ° F)

W = besarnya aliran uap setiap aliran

Ms = Kapasitas aliran uap total

S = jumlah aliran uap

Cp = kalor spesifik rata-rata gas

T<sub>gas</sub> = 927,95 F dengan harga Cp = 0,270

Dengan jumlah aliran uap = 6 aliran, besarnya aliran ( W ) adalah :

$$\begin{aligned} W &= Ms/s \\ &= 35273 / 6 = 5878,83 \text{ lb/h} \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} H_i &= 2,44 \times ( 5878,83 )^{0,8} \times ( 0,270 / 1,315^{1,8} ) \\ &= 414,63 \text{ Btu/ft}^2 \text{ h } ^\circ \text{ F} \end{aligned}$$

---

<sup>16</sup> Waste heat Boiler Desbook, V. Garapathy, hal 139

**Perhitungan koefisien perpindahan panas non-luminous ( hn )**

Diketahui :

$$\sigma = \text{Konstanta Stefan-Bolzman} = 1,712 \times 10^{-9}$$

Le = Panjang pipa radiasi rata-rata

$$\begin{aligned} Le &= ( 1,08 ( ST \times SL - 0,785do^2 ) / do ) \times 0,0254 \\ &= ( 1,08(3 \times 3 - 0,785 (1,315)^2 ) / 1.315 ) \times 0,0254 \\ &= 0,159 \text{ ft} \end{aligned}$$

F = factor efektifitas gas asap = 0,9

K = Faktor bahan bakar = 0,456

$\epsilon_g$  = Emisifitas gas

$$\begin{aligned} &= 0,9 \times ( 1 - e^{-0,456 \times 0,159} ) \\ &= 0,118 \end{aligned}$$

$$hn = \frac{\sigma \times F \times \epsilon_g ((T1/100)^4 - (Tsh/100)^4)}{(T1 - Tsh)} \dots\dots\dots (5.19)$$

$$= \frac{0,1713 \times 0,9 \times 0,118 \left( \left( \frac{950 + 460}{100} \right)^4 - \left( \frac{471,6 + 460}{100} \right)^4 \right)}{((950 + 460) - (471,6 + 460))}$$

$$= 1,21 \text{ Btu/ft}^2 \text{ h}^\circ \text{F}$$

**Koefisien perpindahan panas menyeluruh :**

Rumus :

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{(hc + hn)} + \left( \left( \frac{1}{hi} \right) \times \left( \frac{do}{di} \right) \right) + ffo + \left( ffo \left( \frac{do}{di} \right) \right) + \left( \frac{do}{24km} \right) \ln \left( \frac{do}{di} \right) \dots\dots(5.21)$$

$$= \frac{1}{(8,80 + 1,21)} + \left( \left( \frac{1}{414,63} \right) \times \left( \frac{1,315}{0,815} \right) \right) + 0,001 + \left( 0,001 \left( \frac{1,315}{0,815} \right) \right) + \left( \frac{1,315}{24 \times 25} \right) \ln$$

$$\left( \frac{1,315}{0,185} \right)$$

$$= 0,107$$

$$U = 9,345$$

**Logmean temperature difference ( LMTD ) :**

$$LMTD = \frac{((T1 - Tsh) - (T2 - Ts))}{\ln \frac{(T1 - Tsh)}{(T2 - Ts)}} \dots\dots\dots(5.21)$$

dengan :

T<sub>1</sub> = Temperatur gas masuk superheater = 510 ° C

T<sub>2</sub> = Temperatur gas keluar superheater = 485,6 ° C

T<sub>s</sub> = Temperatur uap jenuh = 201,29 ° C

T<sub>sh</sub> = Temperatur uap keluar superheater = 230 ° C

<sup>17</sup> Waste heat Boiler Desbook, V.Ganapathy, hal 135



$$LMTD = \frac{((510 - 230) - (485,6 - 201,29))}{\ln\left(\frac{(510 - 230)}{(485,6 - 201,29)}\right)}$$

$$= 279,16^\circ \text{C} \rightarrow 534,48^\circ \text{F}$$

**Perhitungan laju perpindahan kalor pada superheater ( Qsh ) :**

Luas permukaan total :

$$A = \frac{Q_s}{U \times LMTD} \dots\dots\dots (5.22)$$

$$= \frac{1149512,443}{9,345 \times 534,84}$$

$$= 230 \text{ ft}^2$$

Jumlah pipa-pipa superheater :

$$NH = A / ( \pi (do/12) ) \times Nw \times L$$

$$= 230 / (3,14 (1,315)) \times 12 \times 16,40$$

$$= 4 \text{ tubes/row}$$

Jadi laju perpindahan kalor pada superheater

$$Q_{sh} = U \times A \times LMTD \dots\dots\dots (5.23)$$

$$= 9,345 \times 230 \times 534,38$$

$$= 1148569,65 \text{ Btu/lb}$$

$$= 1211805,30 \text{ kj/jam}$$

Pemeriksaan laju perpindahan kalor pada pipa-pipa superheater :

$$\frac{1212800 - 1211805,30}{1212800} \times 100\% = 0,08 \%$$

Dari hasil perhitungan pipa superheater , uap yang dihasilkan bersuhu 230° C maka dihasilkan  $Q_{sh} = 1212800$  kJ/jam sedangkan laju perpindahan kalor yang dibutuhkan pipa superheater untuk jumlah pipa 4 tubes/row dengan ukuran pipa  $d_o = 1,315$  inch dan  $d_i = 0,815$  inch adalah 1211805,30 kJ/jam, dengan demikian jumlah dan ukuran yang direncanakan pada pipa superheater sesuai dengan jumlah kalor yang dibutuhkan.

$Q_s$  = sisa panas yang menuju/masuk superheater

$$= 9141036,95 \text{ kJ/jam}$$

$Q_{sh}$  = jumlah kalor yang dibutuhkan superheater

$$= 1211805,30$$

$Q_{cr}$  = jumlah kalor sisa yang akan keluar melalui cerobong

$$Q_{cr} = Q_s - Q_{sh}$$

$$= 9141036,95 - 1211805,30$$

$$= 7929231,65 \text{ kJ/jam}$$

## BAB VI

### PERANCANGAN SILINDER KETEL

Agar pengoperasian generator uap dapat berjalan lancar dan baik dalam arti cukup aman, maka harus didukung oleh bagian-bagian dari generator uap yang cukup baik dan mampu beroperasi. Sehingga untuk memastikan hal-haltersebut, maka akan diperhitungkan kekuatan dari generator uap itu sendiri, dengan demikian generator uap dapat dijamin dalam hal kekuatannya sehingga cukup aman dalam pengoperasiannya.

Pada perancangan generator uap jenis lokomotif ini silinder ketel berfungsi untuk memisahkan antara uap dan air. Pada generator uap ini yang direncanakan menggunakan bahan dari jenis baja karbon SA 515 65 ( dari table material untuk silinder ketel), dimana bahan ini mempunyai kekuatan tarik yang diijinkan sebesar 16250 pada temperature 600° F, bahan ini mengandung 0,3 % karbon ( C ), dan 0,3 silikon (Si) serta kandungan mangan (Mn), Phospor ( P ), Sulfur ( S ) sehingga bahan tersebut mempunyai sifat yang tahan terhadap korosi dan tahan pada suhu dan tekanan yang tinggi.

Diameter silinder ketel yang direncanakan = 78,72 inch = 2m

Tebal minimum silinder ketel dapat dengan menggunakan rumus :

$$T_m = \frac{P \times r}{\sigma \times E - (1 - y)P} + C \quad ^{18} \dots\dots\dots (6.2)$$

Dengan :

$t_m$  = tebal minimum dinding ketel.

$P$  = tekanan kerja ketel 232 psia

$r$  = jari-jari silinder ketel bagian dalam = 39,36 inch

$\sigma$  = tekanan kerja pada bahan yang diijinkan pada temperature 650° F

$E$  = efisiensi sambungan pada arah memanjang.

$Y$  = Koefisien friksi temperature

$C$  = nilai minimum yang diijinkan karena stabilitas dan pengerjaan.bahan

0,065

Karena diameter pipa lebih dari 1 inch

Sehingga ;

$$t_m = \frac{232 \times 39,36}{16250 \times 0,9 - (1 - 0,7) \times 232} + 0,065$$

$$= 0,62 \text{ inch}$$

Karena nilai tersebut adalah nilai minimal maka untuk menjamin kekuatan dan keamanannya diambil tebal dinding ketel sebesar  $0,62 \times 2 = 1,24$  inchi = 3,14 cm.

---

<sup>18</sup> Steam-plant operation, Evert B. Woodryfr, Hebert B. Lammers, New York, 1977, hal 70

### VI.1. Silinder Ketel pada Pipa-pipa Api

Pada perancangan silinder ketel pada pipa api ini digunakan bahan baja SA-213 T22. Tegangan tarik maksimal dari bahan ini sebesar 15000 psi. Maka ukuran untuk silinder api yaitu sebagai berikut :

$$\text{Diameter dalam silinder ( ID )} = 78,72 \text{ inch}$$

$$\text{Diameter luar silinder ( OD )} = 81,2 \text{ inch}$$

Tebal dari silinder dapat diperiksa kembali dengan menggunakan rumus :

$$t_m = \frac{P \times r}{2\sigma + 2YP} + C \quad ^{19} \dots\dots\dots(6.3)$$

Dengan :

$t_m$  = tebal minimum dinding silinder ketel pipa-pipa api

$P$  = tekanan kerja ketel = 232 psi.

$D$  = diameter luar silinder = 81,35 inch

$\sigma$  = kekuatan tarik maksimum bahan = 15000 psi

$Y$  = koefisien factor temperature = 0,7

Sehingga :

$$T_m = \frac{232 \times 40,6}{2 \times 15000 + 2 \times 0,7 \times 232} + 0,065$$
$$= 0,312 \text{ inchi.}$$

Syarat tebal silinder ketel :  $0,31 \leq t_m \leq 0,81$

---

<sup>19</sup> Industrial Piping, Charles T. Littleton, 2<sup>nd</sup> Edition, New York, 1962, hal 30

Dari syarat diatas maka tebal silinder ketel sebesar 0,312 inchi telah memenuhi syarat.

## **VI.2. Perhitungan jarak antar Pipa-pipa Api**

Untuk dapat menghitung jarak antar pipa-pipa api maka harus disesuaikan dengan tekanan yang bekerja pada pipa-pipa api tersebut dengan diameter nominal dari pipa api tersebut. Sehingga dapat dihitung sebagai berikut :

Berdasarkan tekanan kerja dari pipa yaitu pada 232 psia, maka diambil bahan pipa SA 213 T 22 dengan :

- diameter dalam pipa = 2,067 in
- diameter silinder ketel = 81,35 in

$$n = \text{jumlah pipa api} = 140$$

$$\text{Jarak antar pipa-pipa api} = 0,5 (do) = 0,5 \times 2,067 = 1,0335 \text{ inchi}$$

Jarak sebesar 1,0335 inchi tersebut adalah jarak antara diameter luar pipa-pipa api

## **VI.3. Perhitungan Rangka pendukung**

Pada perancangan generator uap ini akan terjadi suatu gaya yang disebabkan karena pengoperasian pada ketel uap, sehingga untuk menahan gaya dorong dalam ketel uap digunakan penahan atau rangka pendukung ketel uap yang terbuat dari bahan baja tahan karat atau korosi dengan kemampuan menahan beban kurang lebih sebesar 40000 psi. dengan perincian sebagai berikut :

Diameter batang penahan pipa	= 2 in
Diameter silinder ketel	= 78,72 in
Tekanan kerja ketel maksimum	= 232 psi
Jarak dari pipa api yang tertinggi	= 25 in ( rencana)
Tebal lebar tabung	= 11,22/lb in

Jarak dari dinding silinder ketel dengan bagian lebar tabung yang diperhitungkan untuk ditahan dengan batang penahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$d = \frac{5T}{\sqrt{P}} \quad \dots\dots\dots(6.4)$$

$$= \frac{5 \times 11,22}{\sqrt{232}} = 3,683 \text{ in}$$

Luas bagian tube yang harus ditahan oleh batang penahan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$A = (D - 2d)^2 \times \frac{\pi}{8} - (D/2 - h + 2) (2D + 2d) \quad \dots\dots\dots(6.5)$$

$$= (78,72 - 2 \times 3,683)^2 \times \frac{\pi}{8} - (78,72/2 - 25 + 2) (2 \times 78,72 + 2 \times 3,683)$$

$$= 316,2 \text{ in}^2$$

Sehingga jumlah beban secara keseluruhan yang diterima oleh batang penahan, yaitu sebagai berikut :

$$f = P \times A \quad \dots\dots\dots(6.6)$$

---

<sup>20</sup> Steam-plant operation, Evert B. Woodruff, Hebert B. Lammers, New York, 1977, hal 615

$$= 232 \times 316,2$$

$$= 72358,4 \text{ lb}$$

Untuk setiap penampang batang yang mampu menahan beban sebesar :

$$F = \sigma \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \dots\dots\dots (6.7)$$

$$= 40000 \times \frac{\pi}{4} \times 2^2$$

$$= 125600 \text{ lb}$$

Sehingga jumlah penahan ( stay ) yang diperlukan untuk menahan ketel uap ini yaitu

$$N = F / f \dots\dots\dots (6.8)$$

$$= 125600 / 72358,4$$

$$= 1,73 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah}$$

#### VI.4. Perhitungan Sambungan Las

Dalam pembuatan silinder ketel pada perancangan ketel uap ini seluruh pengerjaan pembuatan sambungan dilakukan dengan jalan pengelasan.

Untuk mendapatkan silinder ketel dengan arah memanjang dapat dibuat dengan cara melekukan plat baja dengan menggunakan mesin pelengkung atau dengan mesin pengerul plat. Sedangkan untuk memperoleh sambungan sambungan silinder ketel dengan arah melintang dimana dilakukan sambungan dengan bahan dasar plat baja yaitu plat yang akan ditembus oleh pipa-pipa dan lorong api pada

---

<sup>21</sup> Ibid hal, 615



dinding ketel, hal ini dilakukan setelah pembuatan penyambungan dengan arah memanjang selesai dilakukan, dengan tujuan mempercepat dan mempermudah pengerjaan silinder ketel.

Perhitungan sambungan dengan arah memanjang :

Karena adanya tekanan dalam ketel menyebabkan terjadinya gaya-gaya yang akan diterima oleh silinder sebesar :

$$F_t = D \times L \times P \dots\dots\dots (6.9)$$

Dengan :

$F_t$  = Gaya pada dinding silinder ketel

$D$  = Diameter dalam silinder ketel = 78,72 in

$L$  = Panjang silinder ketel = 260,54 in

$P$  = tekanan kerja ketel = 232 psia

Maka :

$$\begin{aligned} F_t &= 78,72 \times 260,54 \times 232 \\ &= 4758252,44 \text{ lb} \end{aligned}$$

Sedangkan tegangan yang diijinkan pada arah sambungan las memanjang dapat dihitung sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F_t}{a \times b} \dots\dots\dots (6.10)$$

dengan :

$F_t$  = gaya dinding silinder ketel = 4758252,44 lb

$a$  = tebal kampuh =  $\frac{1}{2}(\sqrt{2} \times S)$ , diamana  $S$  = tebal plat = 2,638 in

$$a = \frac{1}{2}(\sqrt{2} \times 2,638) = 1,86 \text{ in}$$

$$b = \text{panjang kampuh} = L - 3a = 260,54 - 3 \times 1,86 = 254,96 \text{ in}$$

sehingga :

$$\sigma = \frac{4758252,44}{1,86 \times 254,96} = 10033,85 \text{ psi}$$

Dari syarat tegangan yang diijinkan sebesar 70000 psi, karena tegangan yang terjadi lebih kecil sehingga sambungan las pada arah memanjang pada silinder ketel tersebut sudah cukup kuat dan memenuhi syarat.

Perhitungan sambungan pada arah melintang

Untuk menghitung gaya yang diterima dinding ketel untuk sambungan las pada arah melintang digunakan rumus :

$$F = \frac{\pi \times D^2 \times P}{4} \dots\dots\dots (6.11)$$

$$= \frac{\pi \times 78,72^2 \times 232}{4} = 1128568,20 \text{ lb}$$

Sehingga tegangan yang diterima oleh sambungan las dengan arah melintang, yaitu sebagai berikut :

$$F_m = \frac{F}{a \times l} \dots\dots\dots (6.12)$$

Dengan :

$$F = \text{gaya pada arah melintang} = 1128568,20 \text{ lb}$$

$$a = \text{tebal kampuh} = 1,86 \text{ in}$$



$$\begin{aligned}
 l &= \text{panjang kampuh} = \pi D \cdot 3\alpha \\
 &= \pi \times 78,72 - 3 \times 1,86 \\
 &= 241,6 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$F_m = \frac{1128568,20}{1,86 \times 241,6} = 2511,44 \text{ psi}$$

Dari syarat tegangan yang diijinkan yaitu sebesar 70000 psi maka tegangan pada arah melintang lebih kecil sehingga sambungan las pada arah melintang sudah cukup kuat dan memenuhi syarat yang ada.

## BAB VII

### ISOLASI KETEL

Untuk mengurangi kerugian panas sebagai akibat perbedaan temperature nyala api dan gas asap hasil pembakaran bahan bakar yang digunakan sebagai pemanas didalam ketel dengan udara luar, maka dinding ketel tersebut harus diisolasi dengan baik .

Isolasi dinding ketel meskipun telah dibuat dengan baik namun hanya dapat memperkecil kerugian saja karena tidak dapat meniadakan kerugian yang terjadi akibat perbedaan temperature tetapi dari segi keamanan menjadi lebih baik, temperature dinding ketel bagian luar setelah diisolasi menjadi lebih rendah.

Dengan demikian, bahaya luka bakar akibat menyentuh atau berhubungan dengan dinding ketel dapat diiadakan. Dari segi keamanan, hal ini dapat menjaga suasana aman didalam ruangan atau tempat dimana ketel tersebut berada.

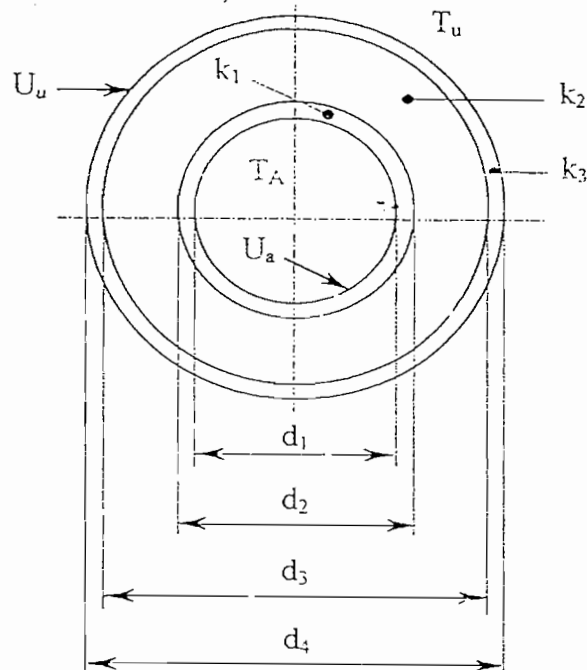
#### **VII.1 Perancangan isolasi pada Silinder ketel**

Pada perancangan isolasi dinding silinder ketel ini akan terdapat jenis bahan dan ketebalan yang berbeda karena disesuaikan kondisi dan fungsinya untuk memperkecil kerugian panas :

Data perencanaan :

- Plat penutup isolasi digunakan alumunium dengan ketebalan = 0,5 in
- Isolasi digunakan dari bahan glasswool dengan ketebalan = 4 in

$d_1$  = diameter dalam silinder ketel = 78,72 in



Gambar 7.1 Lapisan Isolasi ketel secara sederhana

$d_2$  = diameter luar silinder ketel = 81,35 in

$d_3$  = diameter ketel setelah diisolasi

$$= 81,35 + 4$$

$$= 85,35 \text{ in}$$

$d_4$  = diameter ketel setelah diisolasi dan ditutup plat aluminium

$$= 85,35 + 0.5 = 85,85 \text{ in}$$

$K_1$  = konduktifitas panas bahan ketel ( carbon steel)

$$= 26 \text{ Btu/ ft}^2 \text{ jam F/ ft}$$

$$= 312 \text{ Btu/ ft}^2 \text{ jam F/ in}$$

$K_2$  = konduktifitas panas bahan isolasi ( glasswool)

$$= 0,022 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam F/ft}$$

$$= 0,264 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam F/in}$$

$K_3$  = konduktifitas panas bahan plat aluminium

$$= 117 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam F/ft}$$

$$= 1404 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam F/in} \quad (\text{Sumber : JP. Holmar, Daftar A3, hal 584})$$

$T_a$  = Temperatur titik didih air dalam ketel

$$= 201,29^\circ \text{C} = 394,32^\circ \text{F}$$

$T_u$  = temperature udara luar

$$= 27^\circ \text{C} = 80,6^\circ \text{F}$$

$U_u$  = Konduktansi film udara

$$= 3 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr } ^\circ \text{F} \text{ batas kondisi panas film udara antara } 0,2 - 8 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr } ^\circ \text{F}$$

( Sumber Boyler Type band Characteristic, Carl D. Shield )

## VII.2. Perhitungan kerugian panas melalui dinding silinder

Luas permukaan silinder ketel yang diisolasi dihitung dengan rumus

$$\begin{aligned} A &= \pi \times d_2 L + 2 \frac{\pi}{4} (d_2)^2 \\ &= \pi \times \frac{81,35}{12} \times \frac{280,78}{12} + 2 \frac{\pi}{4} \times \left( \frac{81,35}{12} \right)^2 \\ &= 569,88 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan konduktansi panas konveksi film air

$$U_a = h_a \left( \frac{P}{P_a} \right)^{0,4}$$

Keterangan :

$h_a$  = konduktansi panas fil air pada tekanan atmosfer

$P$  = tekanan kerja ( 232 psi)

$P_a$  = tekanan atmosfer ( 14,7 psi)

Untuk mendapatkan nilai  $h_a$  maka digunakan rumus :

$$h_a = 0,168(\Delta T)^3$$

Temperatur permukaan dalam dinding silinder ketel direncanakan = 380,32° F, temperatur tersebut lebih rendah dari titik didih air, karena adanya film air sehingga mempunyai selisih sebesar 14° F, maka

$$\begin{aligned} h_a &= 0,168(14)^3 \\ &= 460,99 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ \text{F} \end{aligned}$$

Sehingga  $U_a$  dapat diperoleh :

$$\begin{aligned} U_a &= 460,99 \left( \frac{232}{14,7} \right)^{0,4} \\ &= 1389,8 \text{ Btu/ ft}^2 \text{ jam } ^\circ \text{F} \end{aligned}$$

Maka kerugian panas melalui dinding ketel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :<sup>22</sup>

$$Q = \frac{A(T_a - T_u)}{\left(\frac{d_4}{d_1} \frac{1}{U_a}\right) + \left(\frac{d_4}{2K_1} \log_e \frac{d_2}{d_1}\right) + \left(\frac{d_4}{2K_2} \log_e \frac{d_3}{d_2}\right) + \left(\frac{d_4}{2K_3} \log_e \frac{d_4}{d_3}\right) + \left(\frac{1}{U_u}\right)}$$

$$= \frac{569,88(394,32 - 80,6)}{\left(\frac{85,85}{78,72} \frac{1}{1389,8}\right) + \left(\frac{85,85}{2 \times 312} \log_e \frac{81,35}{78,72}\right) + \left(\frac{85,85}{2 \times 0,264} \frac{85,35}{81,35}\right) + \left(\frac{85,85}{2 \times 1404} \log_e \frac{85,85}{85,35}\right) + \left(\frac{1}{3}\right)}$$

$$= 1044,27 \text{ Btu/jam}$$

$$= 1101,76 \text{ Kj/jam}$$

Perhitungan temperatur bagian luar plat penutup isolasi silinder ketel

$$Q = \frac{A(T_a - T_4)}{\left(\frac{d_4}{d_1} \frac{1}{U_a}\right) + \left(\frac{d_4}{2K_1} \log_e \frac{d_2}{d_1}\right) + \left(\frac{d_4}{2K_2} \log_e \frac{d_3}{d_2}\right) + \left(\frac{d_4}{2K_3} \log_e \frac{d_4}{d_3}\right)}$$

Dengan  $T_4$  = Temperatur bagian luar plat penutup isolasi

1044,2 =

$$\frac{569,88(394,32 - T_4)}{\left(\frac{85,85}{78,72} \frac{1}{1389,8}\right) + \left(\frac{85,85}{2 \times 312} \log_e \frac{81,35}{78,72}\right) + \left(\frac{85,85}{2 \times 0,264} \frac{85,35}{81,35}\right) + \left(\frac{85,85}{2 \times 1404} \log_e \frac{85,85}{85,35}\right)}$$

$$T_4 = 93,34 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$= 33,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

<sup>22</sup> Steam Generator and Use, Babcock and Wilcox, New York, 1972, hal 4



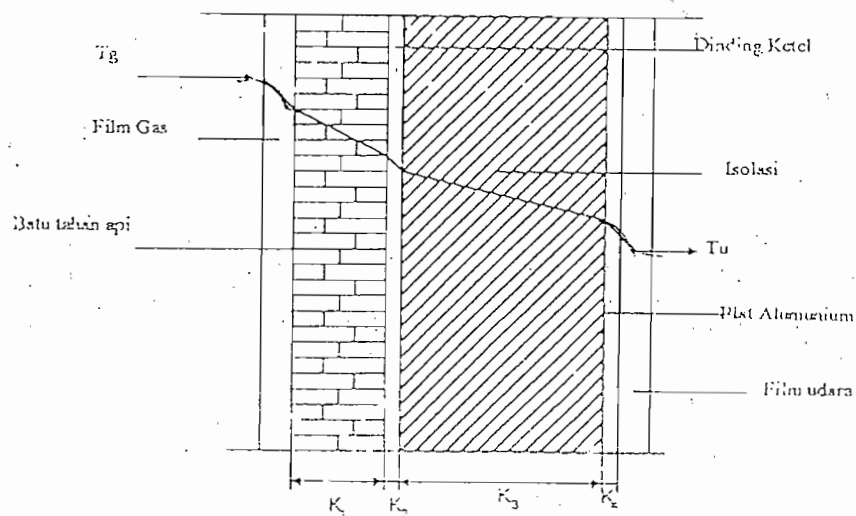
### VII.3. Perencanaan isolasi tutup belakang Silinder Ketel

Pada bagian tutup belakang adalah bagian yang berbatasan langsung dengan kamar api, dimana pada kamar api ini merupakan belokan dari gas asap. Pada belokan gas asap tersebut memiliki temperature yang tinggi, sehingga dibutuhkan batu tahan api sebagai isolasi.

Direncanakan dalam perencanaan ini :

Tebal fire brick/ batu tahan api = 6 in

Tebal Isolasi = 4 in



Gambar 7.2 Aliran panas dari Gas asap ke Udara

Sehingga kerugian kalor pada tutup belakang silinder ketel dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_{tb} = \frac{A_{tb}(T_g - T_u)}{\frac{1}{U_g} + \frac{t_1}{K_1} + \frac{t_2}{K_2} + \frac{t_3}{K_3} + \frac{t_4}{K_4} + \frac{1}{U_u}}$$

Keterangan :

$A_{tb}$  = luas penampang tutup belakang

$$= \frac{\pi}{4} \left( \frac{d_1}{12} \right)^2 = \frac{\pi}{4} \left( \frac{78,72}{12} \right)^2 = 33,78 \text{ ft}^2$$

$T_g$  = temperature gas asap dalam leinari api/ ruang bakar

$$= 1468,06^\circ \text{C} = 2447,41^\circ \text{F}$$

$T_u$  = temperature udara luar =  $27^\circ \text{C} = 80,6^\circ \text{F}$

$U_a$  = Konduktansi panas film gas =  $10,8 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ \text{F}$

$t_1$  = tebal batu tahan api =  $6 \text{ in} = 0,5 \text{ ft}$

$K_1$  = Konduktansi panas batu tahan api

$$= 0,27 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ \text{F} \quad (\text{Sumber : JP. Holman, Daftar A3, hal 584})$$

$t_2$  = tebal silinder ketel =  $1,315 \text{ in} = 0,10 \text{ ft}$

$K_2$  = konduktufitas bahan silinder ketel ( carbon steel)

$$= 26 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ \text{F/ft} \quad (\text{Sumber : JP. Holman, Daftar A3, hal 584})$$

$T_3$  = tebal isolasi =  $4 \text{ in} = 0,33 \text{ ft}$

$K_3$  = Konduktansi panas bahan isolasi ( glasswool)

$$= 0,022 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ \text{F/ft} \quad (\text{Sumber : JP. Holman, Daftar A3, hal 584})$$

$T_4$  = tebal plat alumunium =  $0,5 \text{ in} = 0,041 \text{ ft}$

$K_4$  = konduktufitas panas bahan plat alumunium

$$= 117 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ \text{F/ft} \quad (\text{Sumber : JP. Holman, Daftar A3, hal 584})$$

Ua = konduktansi panas film udara

$$= 3 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ \text{F}$$

$$= \text{Batas konditensi fim udara antara } 0,2 - 8 \text{ Btu/ft}^2 \text{ jam } ^\circ \text{F}$$

( Sumber : Boiler Type and Characteristic and function, Carl D, Shield )

Sehingga kerugian kalor pada tutup belakang ketel :

$$Q_{tb} = \frac{33,78(2447,41 - 80,6)}{\frac{1}{10,8} + \frac{0,5}{0,27} + \frac{0,10}{26} + \frac{0,33}{0,022} + \frac{0,041}{117} + \frac{1}{3}}$$

$$= 4635,86 \text{ Btu/jam}$$

$$= 4891,09 \text{ kj/jam}$$

Dengan demikian , temperatur pada permukaan luar plat penutup isolasi ( Ts) adalah :

$$Q_{tb} = \frac{Atb(Tg - Tu)}{\frac{1}{Ug} + \frac{t1}{K1} + \frac{t2}{K2} + \frac{t3}{K3} + \frac{t4}{K4} + \frac{1}{Uu}}$$

$$4635,86 = \frac{135,12(2447,41 - Ts)}{\frac{1}{10,8} + \frac{0,5}{0,27} + \frac{0,10}{26} + \frac{0,33}{0,022} + \frac{0,041}{117} + \frac{1}{3}}$$

$$= 96,3^\circ \text{F} = 35,5^\circ \text{C}$$

Jadi total kerugian panas melalui dinding silinder ketel

$$\begin{aligned} Q_{\text{rugi}} &= Q_s + Q_{\text{tb}} \\ &= 1101,76 + 4891,09 \\ &= 5993,85 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

## BAB VIII

### C E R O B O N G

Cerobong digunakan untuk menghisap gas asap hasil reaksi pembakaran bahan bakar dari ruang bakar dan membuang gas asap tersebut keluar, ke udara bebas pada kecepatan dan ketinggian tertentu. Oleh karena gas asap tersebut mengandung debu dan dapat mencemari lingkungan yang berbahaya bagi kesehatan manusia ataupun kehidupan lainnya, oleh karena itu cerobong harus dibuat atau dibangun cukup tinggi agar gas asap tersebut dapat tersebar merata di udara bebas dalam ambang batas yang diijinkan.

Adapun tinggi rendahnya cerobong tersebut dipengaruhi oleh kondisi daerah setempat. Cerobong dapat dibangun agak rendah pada daerah yang banyak hembusan angin, karena hembusan angin tersebut akan mempercepat penyebaran gas asap, sedangkan daerah perkotaan dengan penduduk yang cukup padat harus dibangun relative tinggi. Konstruksi cerobong ini dapat dibuat dari bahan plat baja, dibandingkan dengan batu bata mempunyai beberapa keuntungan diantaranya :

1. Mudah dan cepat dalam pembuatannya.
2. lebih ringan untuk diameter dan tinggi yang sama.
3. Harga lebih murah
4. Membutuhkan ruangan yang lebih kecil

Sedangkan kelemahannya adalah sulit dilindungi terhadap pengaruh korosi sulfur yang terdapat dalam bahan bakar.

Cara untuk mengalirkan atau menghisap gas asap dari ruang bakar hingga masuk ke cerobong serta keluar ke udara bebas digunakan dua cara yaitu :

1. Sistem tarikan alam (*natural draft*)

Bila tarikan cerobong dapat lebih besar dari tahanan-tahanan aliran gas asap didalam Ketel, maka aliran gas asap cukup diusahakan oleh tarikan cerobong saja.

2. Sistem tarikan paksa (*forced draft*)

Bila tarikan cerobong lebih kecil dari hambatan gas asap di dalam ketel, maka untuk mengeluarkan gas asap tersebut dari dalam ketel, disamping adanya tarikan cerobong harus dibantu dengan fan atau blower.

Pada sistem tarikan paksa ini dapat digunakan tiga cara yaitu :

a. Tarikan isap (*IDF = Induced Draft Fan*)

Bila gas asap dihisap oleh fan atau blower yang dipasang sebelum cerobong, sehingga tungku atau ruang bakar akan bertekanan lebih rendah dari tekanan udara luar atau disebut dengan *under pressure furnace*.

b. Tarikan tekan (*FDF = Forced Draft Fan*)

Bila gas asap dihembus dari ruang bakar oleh fan yang dipasang pada dinding ruang bakar, sehingga ruang bakar bertekanan lebih besar dari tekanan udara luar, yang disebut tungku bertekanan.

c. Tarikan kombinasi antara isap dan tekan.

Bila dipasang baik IDF maupun FDF secara bersamaan maka tekanan didalam ruang bakar sama dengan tekanan udara luar yang disebut *balanced draft*

Perencanaan cerobong tergantung pada beberapa hal antar lain :

1. Jumlah kerugian tekanan aliran total gas asap mulai dari dapur sampai cerobong.
2. Temperatur rata-rata gas asap lewat cerobong dan temperature udara sekeliling.
3. Jumlah aliran gas asap.
4. Tekanan udara luar.

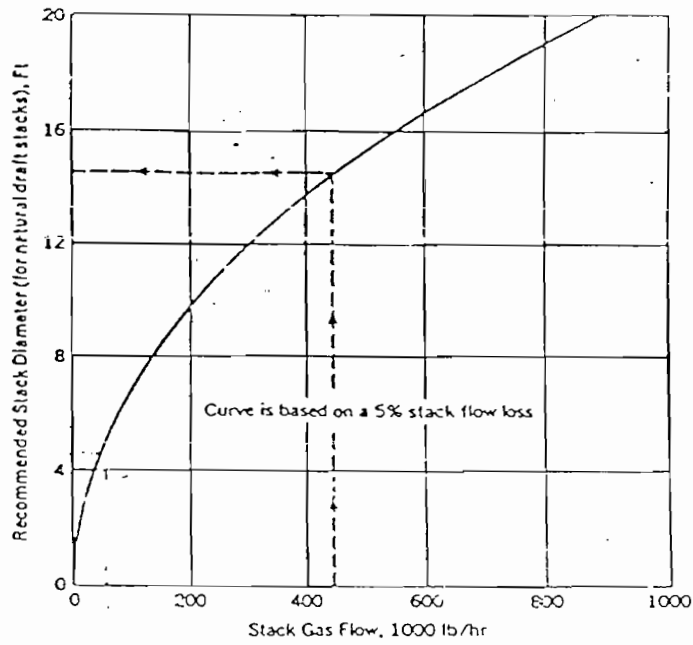
### VIII.1. Perencanaan Cerobong

Dalam perencanaan ketel ini, cerobong dibuat dari plat baja dengan data-data perencanaan sebagai berikut :

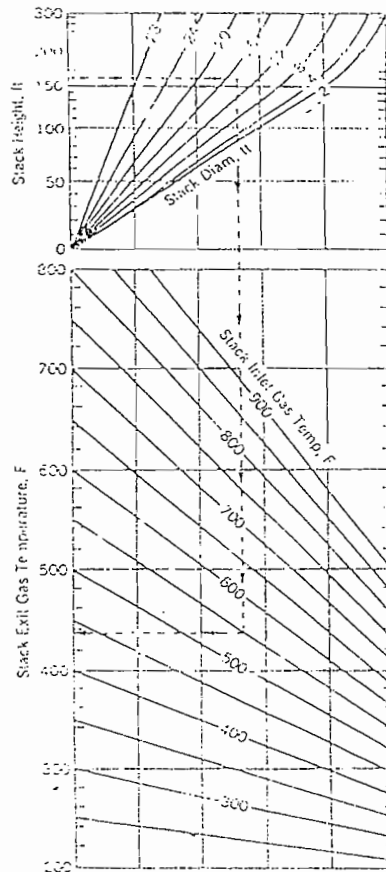
Tinggi cerobong ( H )	= 6,56 ft = 2 m
Temperatur gas asap masuk cerobong ( Tgi )	= 906 ° F = 485,6 ° C
Tekanan udara luar ( B )	= 30 inHg.
Temperatur udara luar ( Ta )	= 80,6 ° F = 27 ° C
Jumlah gas asap yang dialirkan (Wg)	= 58863,92 lb/h

Dengan menggunakan gambar 8.1 diperoleh diameter cerobong  $D = 4,5$  ft (1,37 m).

Temperature keluar cerobong dapat diketahui pada melalui gambar 8.2 untuk tinggi cerobong  $H = 4,5$  ft dan diameter cerobong = 4,5 ft, maka temperatur gas asap keluar cerobong  $T_{go} = 800$  ° F = 426,66 ° C.



Gambar : 8.1 Diameter cerobong yang dianjurkan berdasarkan Jumlah gas asap yang dialirkan perjam.  
(Sumber : Babcock & Wilcox, Steam it's Generation and use. hal 17-4)



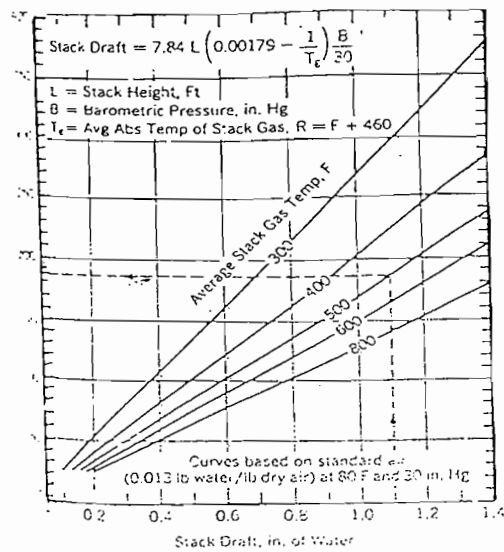
Gambar : 8.2 Hubungan antara temperature gas asap keluar dan Masuk cerobong dengan dimensi cerobong  
(Sumber : Babcock & Wilcox, Steam It's Generation and use, hal 17-4)



Temperatur rata-rata gas asap didalam cerobong ( $T_{gr}$ ) adalah :

$$\begin{aligned}
 T_{gr} &= \frac{T_{gi} + T_{go}}{2} \\
 &= \frac{906 + 800}{2} \\
 &= 853^{\circ} \text{ F} \\
 &= 1313^{\circ} \text{ R}
 \end{aligned}$$

Untuk temperature gas asap rata-rata  $T_{gr} = 853^{\circ} \text{ F}$  didalam cerobong dan untuk tinggi cerobong  $H = 6 \text{ ft}$  dan dengan menggunakan gambar 8.3 dapat diperoleh besarnya tarikan cerobong teoritis yaitu  $P_{ct} = 0,052 \text{ in H}_2\text{O}$ .



Gambar : 8.3 Hubungan antara tarikan cerobong dengan Temperature dan tinggi cerobong  
 ( Sumber : Babcock and Wilcox, Steam it's generation and use, hal 17-4 )

Besarnya tarikan cerobong teoritis dapat juga diketahui melalui rumus sebagai berikut: <sup>23</sup>

$$P_{ct} = 7,84 \times L \left( 0,0079 - \frac{1}{T_{gr}} \right) \times \frac{B}{30}$$

Dengan :

L = tinggi cerobong

= 6,56 ft

B = Tekanan udara luar

= 30 in Hg

T<sub>gr</sub> = Temperatur absolute gas asap rata-rata didalam cerobong

= 1313 °R

Sehingga besarnya tarikan cerobong teoritis

$$P_{ct} = 7,84 \times 6,56 \left( 0,0079 - \frac{1}{1313} \right) \times \frac{30}{30} \dots\dots\dots ( 8.1 )$$

= 0,052 in H<sub>2</sub>O

## XII.2. Kerugian tekanan aliran gas asap di cerobong

Untuk menghitung kerugian tekanan aliran gas asap di cerobong digunakan rumus :<sup>24</sup>

$$SFL = \left( \frac{2,76}{B} \right) \times \left( \frac{T_{gr}}{Di^4} \right) \times \left( \frac{Wg}{10^5} \right) \times \left( \frac{f \times L}{Di} + 1 \right) \dots\dots\dots ( 8.2 )$$

<sup>23</sup> Babcock & Wilcox, Steam It's generation and use. Ed 38, 1972, hal 17-5

<sup>24</sup> Ibid, hal 17-4

Dengan :

$W_g$  = jumlah gas asap yang mengalir dalam cerobong tiap jam

$$= 58863,92 \text{ lb/jam}$$

$B$  = tekanan udara luar

$$= 30 \text{ in Hg}$$

$T_{gr}$  = temperature rata-rata gas asap didalam cerobong

$$= 1313^\circ \text{ R}$$

$D_i$  = diameter dalam cerobong

$$= 4,5 \text{ ft} = 54 \text{ in}$$

$L$  = tinggi cerobong

$$= 6,56 \text{ ft} = 78,72 \text{ in}$$

$f$  = factor gesekan dari gambar 8.4

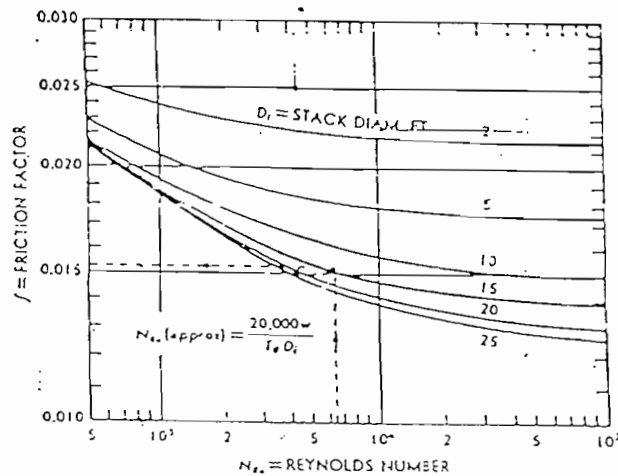
Untuk mengetahui besarnya factor gesekan, terlebih dahulu dihitung bilangan

Reynold untuk aliran gas asap didalam cerobong : <sup>25</sup>

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{20000 \times W_g}{T_{gr} \times D_i} \\ &= \frac{20000 \times 58863,92}{1313 \times 4,5} \\ &= 199251,65 \end{aligned}$$

---

<sup>25</sup> Babcock & Wilcox, Steam it's generation and Use, hal 17-5



Gambar : 8.4 Hubungan antara koefisien gesek dengan diameter Cerobong dan bilangan Reynold  
( Sumber : Babcock and Wilcox, Steam it's generation and use, hal 17-4 )

Dengan menggunakan gambar 8.4 untuk bilangan Reynold  $N_{Re} = 199251,65$  dan diameter dalam cerobong  $D_i = 4,5$  ft maka besarnya factor gesekan  $f = 0,0195$

Sehingga kerugian tekanan aliran gas asap didalam cerobong :

$$SFL = \left( \frac{2,76}{30} \right) \times \left( \frac{1313}{(54)^4} \right) \times \left( \frac{58863,92}{10^5} \right)^2 \times \left( \frac{0,0195 \times 78,72}{10^5} + 1 \right)$$

$$= 0,00042 \text{ in H}_2\text{O}$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat ditentukan prosentase perbandingan kerugian tekanan aliran gas asap didalam cerobong dengan tarikan cerobong teoritis adalah :

$$\frac{SFL}{P_c} = \frac{0,00042}{0,052} \times 100\% = 0,80\%$$

Ternyata prosentase perbandingan kerugian tarikan cerobong ( SFL ) dengan kerugian tarikan cerobong teoritis ( Pc ) > 5% jadi cerobong yang direncanakan tidak memenuhi syarat untuk dijadikan tarikan alam. Untuk dapat mengatasi tarikan alam digunakan nosel yang akan ditempatkan dalam cerobong. Dalam nosel dialiri uap jenuh yang diambil dari pipa uap jenuh sebelum masuk pipa *superheater* yang nantinya akan mengeluarkan uap secara cepat melalui cerobong sehingga gas asap panas ikut cepat terbawa keluar melalui cerobong.

### VIII.3. Perhitungan kerugian gas asap dalam ketel

Hambatan aliran gas asap pada saat melewati lorong silinder api dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\Delta P_1 = F \left( \frac{L}{Dr} \right) \left( 460 + \left( \frac{T_1 + 2T_2}{3} \right) \right) \left( \frac{\left( \frac{Wg}{10^3} \right)^2}{14400} \right) \dots\dots\dots ( 8.3 )$$

Dengan :

f = faktor gesekan

L = panjang silinder lorong api

Wg = gas massa velocity

T<sub>1</sub> = temperatur udara masuk lorong api = 27 ° C = 80,6 ° F

T<sub>2</sub> = temperatur gas asap keluar lorong api = 2200 ° F

Temperatur rata-rata gas asap didalam lorong api adalah :

$$\frac{80,6 + 2200}{2} = 1140,3 \text{ } ^\circ \text{ F}$$

Harga f dapat dicari dengan cara :

$$N_{Re} = \frac{Wg \times Dr}{12 \times \mu}$$

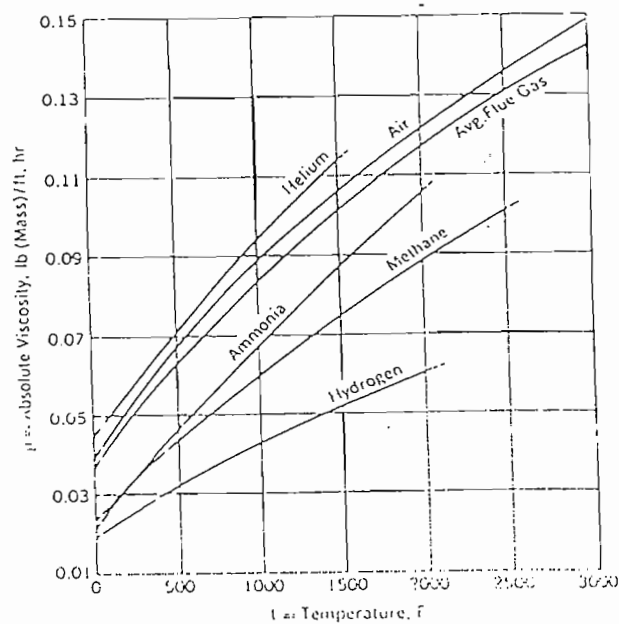
Sehingga dari gambar 8.5 didapat harga  $\mu$  sebesar 0,085 maka :

$$N_{Re} = \frac{16887,11 \times 78,72}{12 \times 0,085}$$

$$= 1303483,61$$

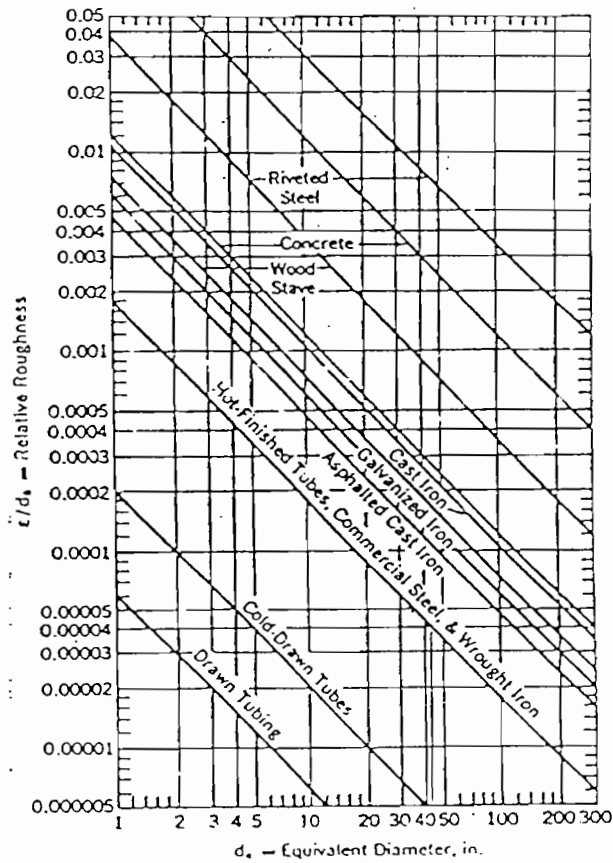
Untuk  $Dr = 78,72$  in dan diasumsikan untuk hot finished tubes, maka dari gambar 8.6

didapat harga Relative Roughness = 0,000025



Gambar 8.5 Viskositas absolute untuk beberapa gas ideal pada tekanan atmosfer

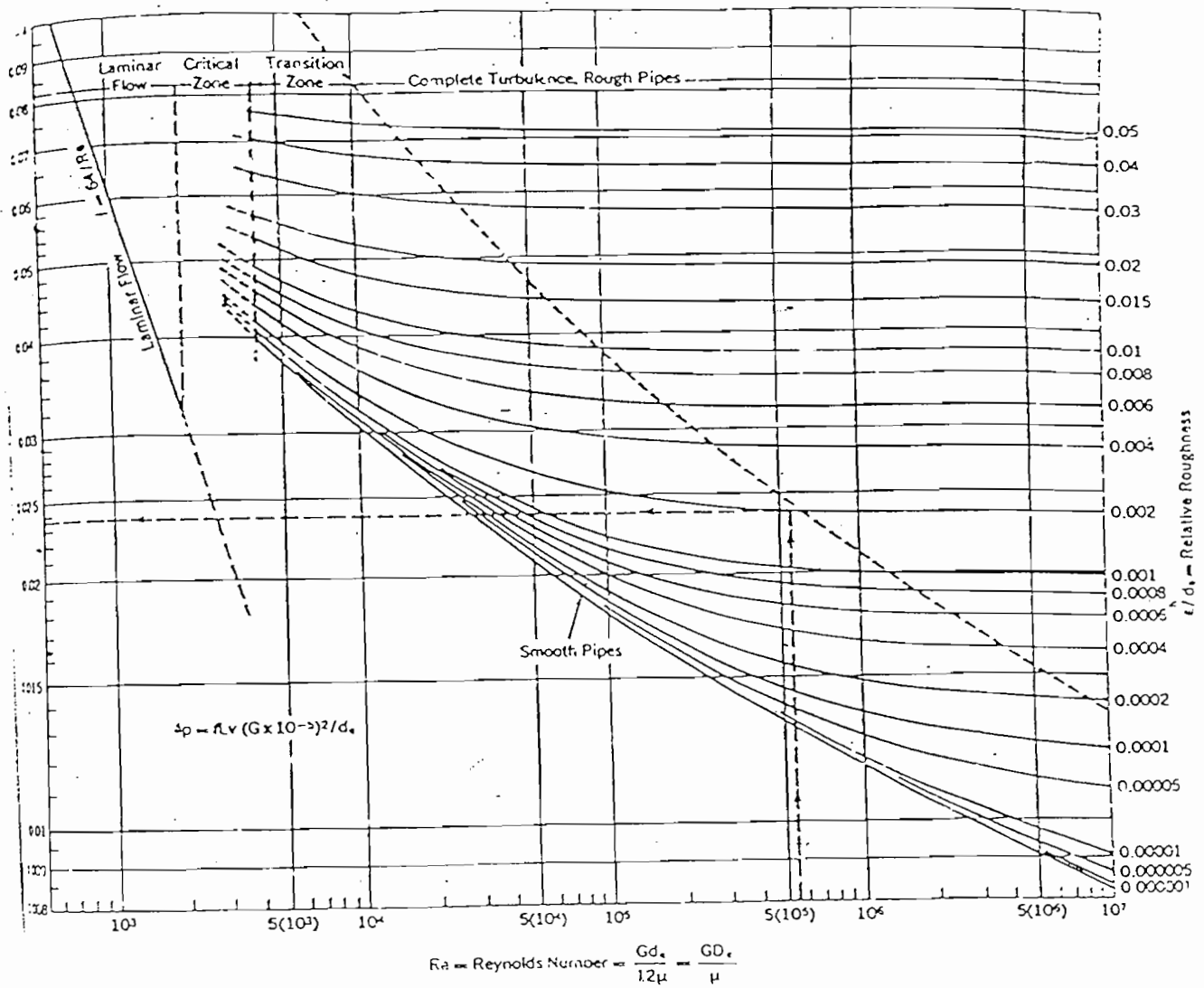
( Sumber : Babcock and Wilcox, Steam it's generation and use, hal 17-4 )



Gambar 8.6 Kekerasan relative dari berbagai permukaan

( Sumber : Babcock and Wilcox, Steam it's generation and use, hal 17-4 )

Untuk  $N_{Re} = 1303483,61$  maka dari gambar 8.7 didapat harga koefisien gesek  $f = 0,0107$



Gambar 8.7 Diagram untukmendapatkan factor gesekan

( Sumber : Babcock and Wilcox, Steam it's generation and use, hal 17-4)



Dengan memasukan harga-harga tersebut kedalam persamaan hambatan aliran gas asap diatas maka didapat hambatan aliran gas asap didalam silinder lorong api :

$$\Delta p_1 = 0,0107 \left( \frac{6,56}{78,72} \right) \left( 460 + \left( \frac{80,6 + 2 \times 2200}{3} \right) \right) \left( \frac{\left( \frac{16887}{10^3} \right)^2}{14400} \right)$$

$$= 0,026 \text{ in H}_2\text{O}$$

Perhitungan Hambatan aliran gas asap melewati pipa-pipa api (  $\Delta p_2$  )

Hambatan aliran gas asap saat melewati pipa-pipa api dapat dihitung dengan rumus :

$$\Delta p_2 = F \left( \frac{L}{Dr} \right) \left( 460 + \left( \frac{T_1 + 2T_2}{3} \right) \right) \left( \frac{\left( \frac{Wg}{10^3} \right)^2}{14400} \right)$$

Dengan :

f = factor gesekan

L = panjang pipa-pipa api = 16,40 ft = 196 in

Dr = diameter ekivalen pipa-pipa api = 2,067 x 140 = 289,38 in

Wg = gas massa velocity = 16887 lb/ jam ft<sup>2</sup>

T<sub>1</sub> = temperature gas masuk pipa-pipa api = 2200 ° F

T<sub>2</sub> = temperature gas keluar pipa api = 950 ° F

Temperature rata-rata gas dalam pipa-pipa api :

$$T_r = \frac{950 + 2200}{2} = 1575^\circ \text{F}$$

Sehingga dari gambar 8.5 didapat harga  $\mu$  sebesar = 0,10

Harga bilangan Reynold ( $N_{Re}$ )

$$N_{Re} = \frac{16871 \times 289,38}{12 \times 0,10} = 4068441,65$$

Untuk  $d_e = 2,067$  in dan diasumsikan untuk jenis pipa hot finished tubes, maka dari gambar 8.6 diperoleh harga relative roughness = 0,00045

sehingga untuk  $N_{Re} = 4068441,65$  berdasarkan gambar 8.7 diperoleh koefisien gesek  $f = 0,017$ , maka ;

$$\Delta p_2 = 0,017 \left( \frac{196}{283,38} \right) \left( 460 + \left( \frac{2200 + 2 \times 950}{3} \right) \right) \left( \frac{\left( \frac{16887}{10^3} \right)^2}{14400} \right)$$

$$= 0,018 \text{ in H}_2\text{O}$$

Jadi jumlah hambatan total yang terjadi dalam ketel ( $\Delta$ ) adalah :

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$$

$$= 0,026 + 0,018$$

$$= 0,044 \text{ in H}_2\text{O}$$

Tarikan cerobong secara teoritis ( $P_c$ ) adalah 0,052 in  $\text{H}_2\text{O}$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa tarikan cerobong teoritis lebih besar dari aliran hambatan gas asap dalam ketel ( $\Delta$ ). Sehingga dalam perancangan cerobong ini, tidak menggunakan kipas atau fan untuk mengeluarkan gas asap dari cerobong.

## BAB IX

### AIR ISIAN KETEL

Air isian ketel harus mempunyai kualitas agar diperoleh hasil yang optimal. Karena jika menggunakan sembarang air akan menimbulkan kesulitan dalam pengoperasian ketel, yaitu dapat menyebabkan korosi atau pengkaratan yang akan terbentuk kerak yang akan mengurangi hantaran panas ke air. Sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mendapatkan jumlah panas tertentu yang dibutuhkan, dengan mendapatkan pembakaran bahan bakar yang lebih banyak. Hal ini akan dapat menurunkan efisiensi ketel.

Sumber air untuk mengisi ketel diambil dari danau, sungai, sumur. Dari sumber air tersebut kemungkinan masih mengandung kotoran yang berbentuk zat terlarut atau padatan yang akan mengendap atau berbentuk suspensi. Air dapat pula datang dari kondensor, yang mengembunkan uap bekas setelah digunakan untuk menggerakkan turbin uap. Air dari kondensor tersebut masih mengandung minyak, minyak ini menimbulkan kerak pada dinding ketel uap.

Macam – macam kandungan dalam air dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Garam-garam keras (*harness salt*)

Yaitu garam-garam magnesium dan kalsium seperti  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Ca}(\text{SO}_4)$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Mg}(\text{SO}_4)$ , jenis-jenis ini dapat menyebabkan terbentuknya kerak



## 2. Silika

Jenis ini dapat menyebabkan kerak yang sangat keras dan sangat sulit untuk dihilangkan dari permukaan yang dilapisi kerak tersebut.

## 3. Garam-garam tidak keras (*Non hardness salt*)

Yaitu garam-garam sulfat ( $\text{SO}_4$ ) dan klorida ( $\text{Cl}_2$ ), jenis ini dapat menyebabkan buih.

## 4. Zat-zat organik (*Organic matter*)

Yaitu berupa minyak yang dihasilkan akibat tumbuh-tumbuhan dan binatang. Jenis ini dapat menyebabkan air bersifat masam dan korosif

## 5. Benda-benda melayang (*Suspended matter*)

Dapat ditemukan apabila dilakukan penyaringan terhadap air tersebut, jenis ini dapat membantu terbentuknya buih.

## 6. Gas-gas terlarut (*Dissolved gases*)

Seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ , dan  $\text{N}_2$  jenis ini dapat menyebabkan korosi.

Tujuan utama pengolahan air pada air pengisi ketel

- a. Mencegah terbentuknya kerak
- b. Mencegah terbentuknya korosi
- c. Mencegah terbentuknya buih.

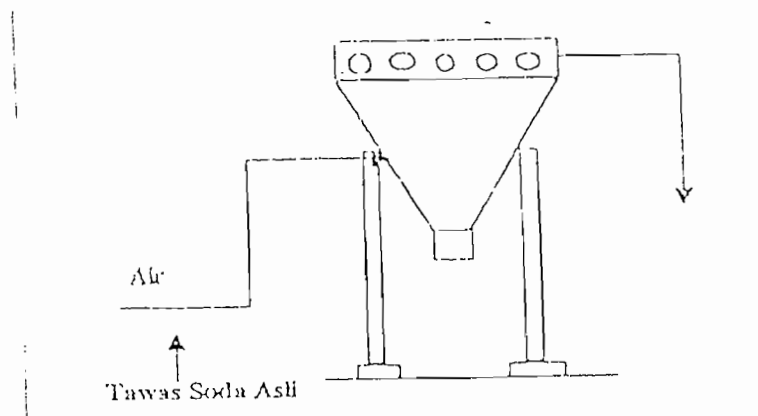
## IX.1. Sistem pengolahan air

Dalam pengolahan air yang dimaksudkan untuk mendapatkan mutu air yang bersih dan murni, dikenal dengan istilah *External Water Treatment* dan *Internal Water Treatment*.

Dalam system *External Water Treatment* ini meliputi :

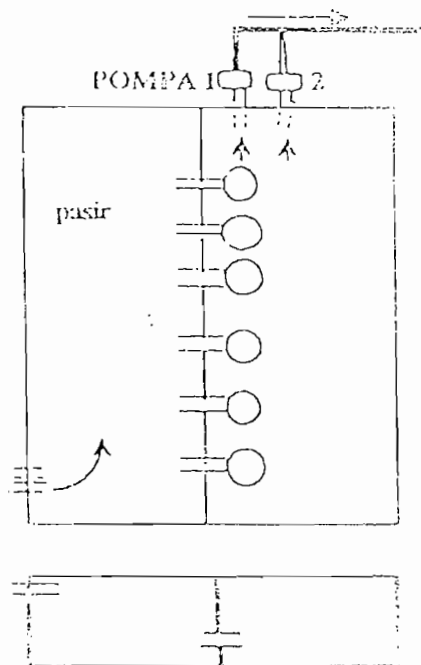
- Penjernihan/pengendapan ( *Clarification* )
- Penyaringan ( *Filtration* )
- Pertukaran ion ( *Ion Exchange* )
- Danasi ( *Daeratio* )

Sedangkan untuk *Internal Water Treatment* adalah pemberian obat-obatan, didalam metode ini dapat bersamaan diinjeksi bahan kimia tawas dan soda asli. Gram-garam magnesium bikarbonat dan kalsium akam mengendap berupa gumpalan ( Fluo ) dan mengikat zat-zat padatan yang tidak terlarut dalam air ( tanah, pasir, lumpur, kotoran lain), sehingga air yang agak jernih naik kepermukaan dan akan keluar.



Gambar 9.1 Clarifer tank

Metode filtration digunakan untuk menyaring benda-benda yang masih dapat lolos dari clarifer tank. Dalam konstruksi filtration dapat digunakan bak atau kolom yang mana didalamnya berisi pasir. Tujuan adanya pasir ini adalah untuk menyaring benda yang lolos yang dapat berupa gumpalan. Air hasil penyaringan harus bersih tidak berwarna dan tidak berbau.



Gambar 9.2 Kolom Filtration.

## IX.2. Kesadahan air

Air yang terdapat di alam masih banyak mengandung garam-garam terlarut, berupa garam magnesium dan kalsium. Maka air alam dikatakan mempunyai kesadahan yang tinggi. Untuk menurunkan tingkat kesadahan dilakukan proses pelunakan ( *Water treatment* ) yaitu menurunkan garam-garam yang terkandung didalamnya sekecil mungkin atau dihilangkan sama sekali agar air mempunyai tingkat kesadahan yang rendah.

Kesadahan air berdasarkan sifatnya dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Kesadahan yang bersifat sementara.

Kesadahan yang disebabkan oleh garam-garam karbonat seperti  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

2. Kesadahan yang bersifat tetap

Kesadahan yang disebabkan oleh garam-garam non karbonat seperti :  $\text{Ca}(\text{SO}_4)$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Mg}(\text{SO}_4)$

Kesadahan yang bersifat sementara dapat dihilangkan dengan pemanasan, karena karbonat-karbonat tersebut akan mengendap sebagai karbonat normal yang merupakan lumpur yang dapat larut.

### IX.3. Pencegahan Korosi

Korosi dalam ketel disebabkan oleh zat-zat terlarut dalam air isian ketel antara lain  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{Fe}_2$ ,  $\text{Fe}(\text{SO}_4)$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Oksigen merupakan zat yang paling agresif yang dapat menimbulkan korosi pada bahan ketel, oleh sebab itu oksigen harus dihilangkan atau dikurangi sampai batas-batas tertentu.

Proses korosi pada bahan ketel pada dasarnya tidak dapat dihilangkan akan tetapi dapat diperlambat. Proses korosi dapat terjadi pada bahan ketel bertekanan kerja dan bertemperatur tinggi, dimana pada bahan ketel bertemperatur tinggi uap beroksidasi dengan baja hingga timbul korosi. Untuk menghambat korosi dapat ditempuh dengan tiga cara; perlindungan katodis, alkalisasi air ketel, dan pengusiran oksigen.

### IX.4. Pencegahan Terbentuknya Kerak

Pencegahan terbentuknya kerak dapat dilakukan dengan perlakuan air diluar ketel, (*external feed water treatment*), yaitu dengan cara pengolahan air isian sebelum masuk ketel dipanaskan didalam ketel yaitu meliputi :

1. Proses pemanasan
2. Proses kapur soda.
- 3 Proses Phospat
4. Proses pertukaran Ion.
5. Proses pemisahan silikat
6. Menghilangkan minyak



Pencegahan terbentuknya kerak dilakukan setelah air berada didalam ketel ( *internal feed water treatment* ), yaitu proses penyempurnaan dari pelunakan air diluar ketel. Dengan cara memasukkan sebuah zat kedalam ketel bersama-sama dengan air isian yang kemudian bereaksi dengan senyawa-senyawa pembentuk kerak dan akan membentuk endapan berupa Lumpur yang dapat dikeluarkan dari dalam ketel Blow down valve.

Bahan-bahan kimia yang banyak digunakan untuk pelunakan air isian didalam ketel adalah sodium carbonat (  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ) dan sodium phospat. Dimana sodium carbonat akan bereaksi dengan kalsium sulfat dan membentuk endapan kalsium carbonat. Perbandingan antara kalsium karbonat terhadap kalsium sulfat berkisar antara 1,0-1,2 ( dalam batas tidak terjadi kerak selain lumpur). Semakin tinggi tekanan ketel semakin besar pula karbonat yang digunakan.

Untuk menghindari terbentuknya korosi kalsium atau magnesium phospat tidak ditambahkan pada air isian ketel sebelum masuk ketel, akan tetapi dimasukan secara terpisah lewat larutan tertentu didalam ketel.

#### **9.5. Pencegahan Buih dan Gelombang**

Buih dan gelombang yang terjadi dalam ketel uap, dapat menyebabkan timbulnya bintik-bintik air ikut dalam aliran uap, sehingga kualitas uap menurun. Adanya buih dan gelombang ini terjadi akibat adanya zat-zat padat yang melayang-layang, bahan-bahan organik, kadar garam terlalu tinggi, minyak dan zat-zat yang mudah menguap dalam ketel.

Adanya bintik-bintik air juga dipengaruhi oleh konstruksi ketel. Semakin besar ruangan uap dalam ketel akan semakin kecil kemungkinan bintik-bintik air ikut aliran uap.

Untuk mencegah buih dan gelombang, selain dengan cara penyulingan digunakan garam Barium karbonat. Garam barium karbonat dapat menyebabkan terbentuknya endapan sulfat tanpa adanya kenaikan kadar soda dalam ketel.

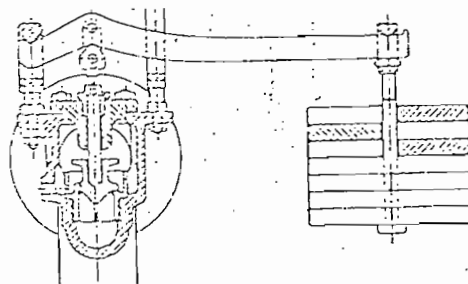
## BAB X

### ALAT-ALAT KEAMANAN KETEL

Alat-alat keamanan dan Bantu ketel adalah alat yang diperlukan supaya ketel dapat bekerja secara aman dan berkesinambungan. Jika terjadi suatu keadaan diluar pengawasan operasi ketel, maka alat keamanan dan Bantu ketel akan memberikan indikasi untuk tindakan pengamanan ataupun dapat mengamankan secara otomatis. Alat-alat keamanan dan Bantu ketel uap yang dipakai atau direncanakan adalah :

#### X.1. Katup Keamanan (*Safety Valve*)

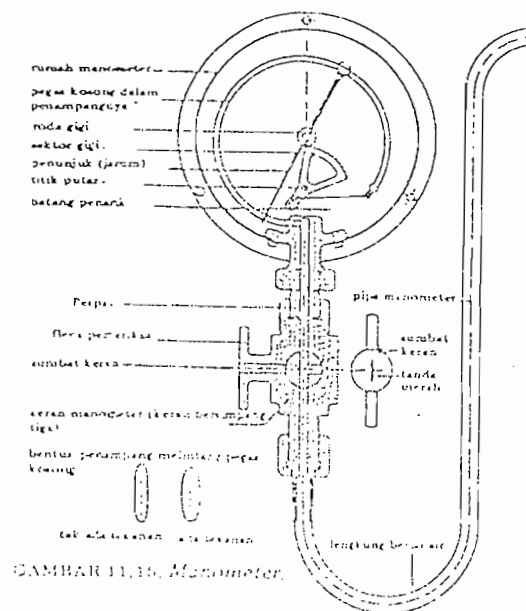
Katup keamanan merupakan alat yang memungkinkan ketel uap membuang uap keluar bila tekanan uap didalam ketel melampaui tekanan kerja maksimum. Sebuah ketel uap paling sedikit harus mempunyai dua buah katup keamanan. Pada ketel uap ini ketel uap ini direncanakan memakai katup keamanan dengan pemberat, hal ini disebabkan karena ketel uap bekerja pada tekanan kerja yang rendah. Katup keamanan ini dipasang pada drum uap dan diatur pada tekanan kerja ketel.



Gambar 10.1 Katup keamanan dengan pemberat  
Sumber : Babcock & Wilcox, Steam It's Generation and Use, hal 3-6

## X.2. Manometer

Manometer adalah alat penunjuk tekanan, dimana manometer ini digunakan untuk mengukur tekanan uap yang ada didalam ketel. Pemasangan manometer diletakan pada daerah dimana uap tidak mengalir yaitu pada tangki sebelah atas. Manometer diletakan ditempat yang mudah terbaca dan selalu kelihatan oleh operator. Manometer yang digunakan adalah manometer logam jenis Bourdon. Manometer Bourdon ini terdiri dari pipa-pipa kecil yang bebentuk lingkaran dengan penampang bulat panjang yang pada salah satu ujungnya tertutup. Ujung yang terbuka dihubungkan dengan ruang uap ketel melalui saluran. Oleh karena tekanan uap yang tinggi, maka pipa-pipa bebentuk lingkaran akan berubah bentuk, perubahan bentuk ini akan memutar jarum manometer. Minimal harus ada satu manometer dipasang pada setiap ketel.

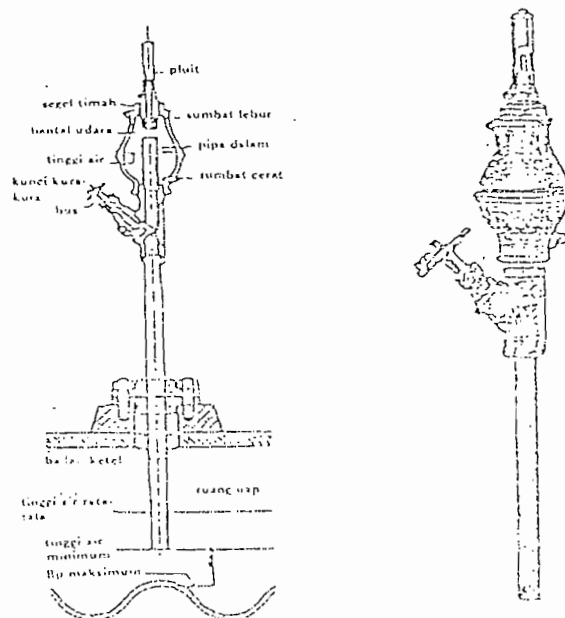


Gambar 10.2 Manometer Bourdon

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat Konversi Energi ( Ketel Uap ). 1986, hal 362

### X.3. Peluit Keamanan

Peluit keamanan ini akan berbunyi bila air didalam ketel turun melampaui batas minimumnya. Bila tinggi air normal, uap didalam pipa suhunya rendah, sehingga tidak bisa melelehkan timah pada peluit. Bila air didalam drum uap turun melampaui batas minimumnya maka uap didalam pipa akan berhubungan langsung dengan uap yang bersuhu tinggi dengan uap yang bersuhu tinggi dari drum uap. Sehingga timah akan mencair karena suhu uap cukup tinggi dan oleh sebab itu akan mengakibatkan uap dari drum uap akan keluar melalui peluit ini dan akan menimbulkan bunyi. Untuk mengganti timah maka kran ditutup agar tidak keluar, dengan jalan melepas cincin keamanan. Cincin keamanan ini dipakai untuk mengecek kran itu tertutup atau terbuka pada waktu ketel bekerja.

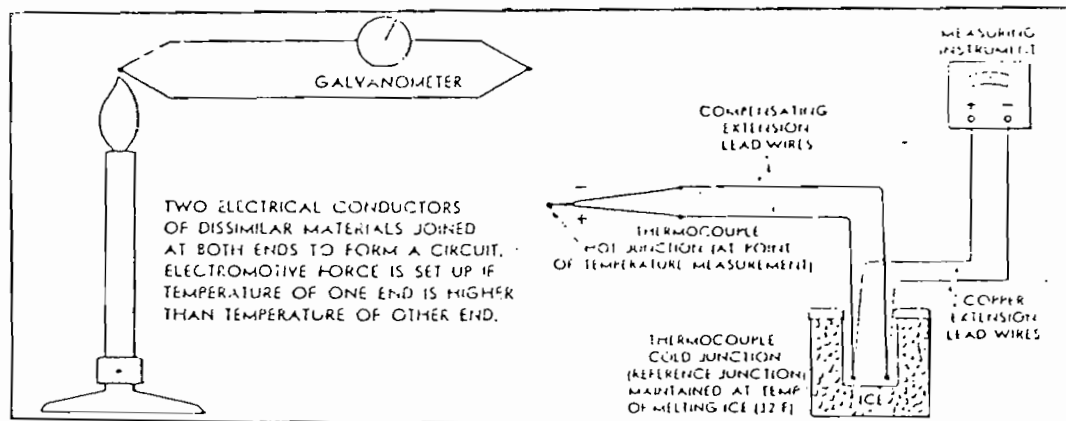


Gambar 10.3 peluit Bahaya

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat Konversi Energi ( Ketel Uap ), 1986, hal 358



terkena panas pada ujungnya maka akan timbul daya *electromotor force* yang akan membangkitkan arus. Beda arus tergantung pada beda suhu antara kedua ujung dan jenis material. Apabila salah satu ujungnya dapat dijaga konstan maka temperature ujung yang lain dapat dideteksi dari arus yang mengalir.



Gambar 10.5 ThermocoupeI

Sumber : Babcock & Wilcox, Steam It's Generation and Use, hal 6-6

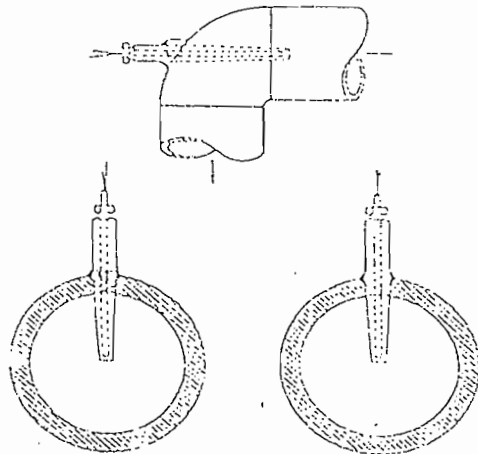
Keuntungan menggunakan thermocoupeI antara lain :

1. ketepatan pengukuran tinggi
2. Respon cepat dan tepat
3. dapat dipakai untuk berbagai keperluan
4. Tak mudah rusak dan harganya murah.
5. Membutuhkan peralatan yang sederhana untuk control dan pengaturan otomatis.
6. Dapat dihubungkan ke panel sentral untuk pembacaan dan signal dapat dicatat untuk berbagai alat catat.

Pada perancangan ketel uap ini thermocoupe! digunakan untuk mrngukur :

1. Suhu uap keluar drum
2. Suhu udara pembakaran masuk ruang bakar.

Gambar berikut ini memperlihatkan cara pemasangan thermocoupe! pada pipa untuk mengukur uap yang sedang mengalir didalam pipa.



Gambar 10.6 Pemasangan Thermocoupe! pada pipa  
Sumber : Babcock & Wilcox, Steam It's Generation and Use, hal 6-13

## X.6. Garis Api

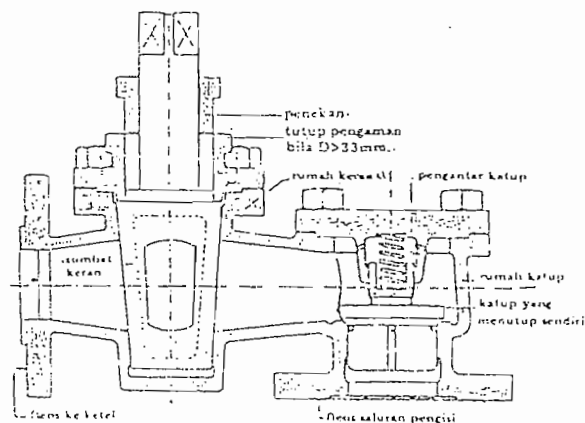
Merupakan lempengan logam bergaris yang diletakan pada dinding luar ketel uap sebagai penunjuk batas tertinggi permukaan ketel yang dipanasi oleh gas panas. Garis api ini perlu ditunjuk untuk mempertimbangkan kondisi permukaan air didalam ketel. Garis pada logam tersebut menunjukan tepat pada batas tertinggi permukaan ketel yang dipanasi oleh gas panas.



## X.7. Katup Air Isian.

Katub air isian ini dipasang antara pompa pengisi dan ketel uap. Katub air isian ini berfungsi untuk mengatur kapasitas air masuk ke dalam ketel sebagai pengganti air yang telah menjadi uap selama beroperasi, maupun saat tidak beroperasi, untuk mengisi ketel guna melakukan pembersihan ketel. Katub air isian juga berfungsi untuk mencegah terjadinya arus balik pada saluran pengisi air ketel. Katub air isian ini terdiri dari :

1. Katub yang dapat berfungsi untuk mencegah terjadinya aliran balik.
2. Katub yang dapat dibuka dan ditutup yang berfungsi sebagai pengatur aliran.

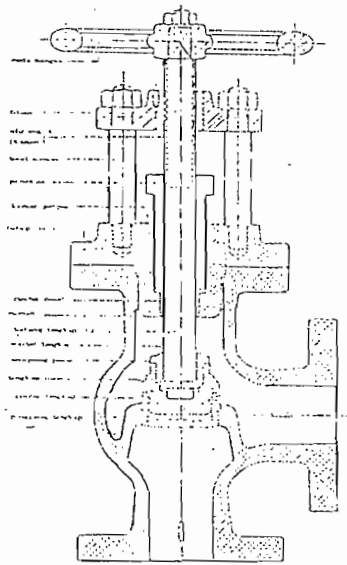


Gambar 10.7 Katup Air Isian.

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat Konversi Energi ( Ketel Uap ), 1986, hal 348

### **X.8. Katub penutup Uap Induk.**

Katub penutup uap induk dipasang pada bagian atas tangki ketel, dan berfungsi untuk mengalirkan keluar uap dari drum bagian atas melalui pipa-pipa pembawa uap menuju tempat penggunaan uap. Katup penutup uap ini saat ketel beroperasi harus dibuka.



**Gambar 10.8 Katup Penutup Uap Induk.**

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat Konversi Energi ( Ketel Uap ), 1986, hal 371.

### **X.9. Katub Penguras.**

Katub ini berfungsi untuk mengosongkan atau membuang seluruh maupun sebagian air ketel. Pembuangan sebagian air ketel dilakukan pada saat ketel beroperasi untuk membuang endapan Lumpur atau kotoran yang terbawa oleh air ketel, sekaligus untuk menjaga kesadahan air dalam ketel. Pembukaan katub saat beroperasi ini biasanya dilakukan tiap dua jam dengan membuka katub selama 3 – 4

detik untuk setiap kali pembukaan. Pada perencanaan ketel uap ini digunakan dua buah katub penguras yang ditempatkan pada bagian bawah drum.



Gambar 10.9 Katub Penguras.

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat Konversi Energi ( Ketel Uap ), 1986, hal 344

#### X.10. Katub Udara.

Katub udara digunakan untuk membuang gas  $O_2$  dan  $CO_2$  yang terkondensasi dalam air ketel. Ketika  $O_2$  dan  $CO_2$  menjadi gas setelah pendidihan air kedua gas tersebut akan keluar melalui katub udara. Katub udara dipasang pada permukaan bagian atas drum, dan direncanakan dipasang sebanyak dua buah katub udara.

#### X.11. Pengaturan Otomatis.

Produksi uap yang tidak merata akan berpengaruh secara langsung terhadap pemasukan bahan bakar, udara dan air isian ketel serta temperatur dan tekanan uap yang dihasilkan oleh ketel. Bila kebutuhan uap naik, maka produksi uap meningkat sehingga tinggi permukaan air di dalam ketel dan tekanannya akan turun, sedangkan

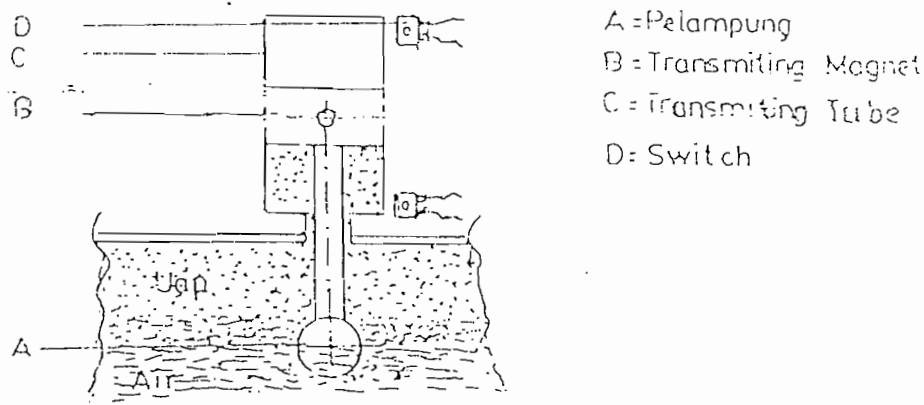
temperatur uap naik. Agar ketel beroperasi dengan aman dan tinggi permukaan air tidak terlalu rendah, maka perlu penambahan air isian ketel agar produksi uap tetap stabil baik tekanan maupun temperatur. Diperlukan juga penambahan panas yang berarti diperlukan penambahan bahan bakar dan udara pembakaran. Agar ketel beroperasi dengan aman dan sesuai dengan kebutuhan, maka setiap perubahan yang terjadi perlu dikontrol dan disesuaikan dengan kondisi baru yang diinginkan, oleh karena itu diperlukan system pengaturan dan keamanan otomatis yang sensitif dan peka terhadap perubahan yang terjadi.

Prinsip kerja pengaturan terhadap setiap perubahan yang terjadi dalam ketel akan diubah, dan diteruskan instrument menjadi sinyal kearah pengatur. Elemen alat pengaturan akan mengatur setiap perubahan yang terjadi serta mengirim sinyal pengaturan ke instrumen operasi serta valve, damper dan lain-lain, dengan sinyal yang dikirim berupa tekanan, temperature ataupun dalam bentuk sinyal lain. Sistem keadaan otomatis akan menyebabkan ketel berhenti beroperasi bila kondisi atau prosedur operasi ketel tidak memenuhi keamanan operasi. Dalam perencanaan ketel uap ini, digunakan dua macam alat pengatur otomatis, yaitu :

1. Alat pengaturan otomatis berdasarkan level air .
2. Alat pengaturan otomatis berdasarkan perubahan tekanan.

#### **X.11.1 Alat pengaturan otomatis berdasarkan level air**

Untuk menghidupkan dan mematikan pompa air, lampu tanda bahaya dan alarm secara otomatis berdasarkan tinggi rendahnya permukaan air di dalam ketel digunakan sebuah '*Contractortransmiting magnet*' .



Gambar 10.10 Alat Pengaturan Otomatis berdasarkan level air.

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat-pesawat Konversi Energi ( Ketel Uap ), 1986, hal 347

Gambar disamping memperlihatkan skema instalasi transmitting magnet. Alat ini terdiri magnet permanent yang dihubungkan dengan pelampung dan sebuah batang penghubung, sehingga dapat bergerak naik turun mengikuti perubahan permukaan air didalam ketel. Gerakan naik dan turunnya magnet akan menggerakkan kontak ( switch ) yang dipasang disekeliling transmitting tube dan dihubungkan ke pompa air isian, lampu-lampu tanda bahaya, dan alarm. Pada kondisi permukaan berada dalam batas normal, kedudukan transmitting magnet pada keadaan normal pula. Bila kondisi air turun diatas permukaan normal, maka magnet ikut bergerak turun dan menggerakkan saklar untuk menghidupkan pompa air isian, pompa air isian dipompa masuk kedalam ketel sehingga permukaan air didalam ketel juga akan terus

naik. Naiknya permukaan air ini menyebabkan magnet ikut naik, dan setelah permukaan air kembali pada batas normal, magnet akan menyentuh saklar untuk mematikan pompa, sehingga pompa berhenti. Namun bila terjadi gangguan yang menyebabkan pompa tidak berhenti, sehingga air didalam ketel terus bertambah ( permukaan air naik ), maka magnet akan menghubungkan saklar lampu tanda bahaya dan membunyikan alarm, pada keadaan ini operator harus segera mematikan lampu secara manual.

Sebaliknya pada waktu permukaan air turun dibawah normal, yaitu pada saat magnet menyentuh saklar yang menghidupkan pompa, tetapi karena adanya gangguan dan pompa tidak dapat hidup, sehingga permukaan air terus turun, maka keadaan magnet akan menghubungkan saklar tanda bahaya dan membunyikan alarm , sehingga pompa dapat langsung dimatikan secara manual oleh operator.

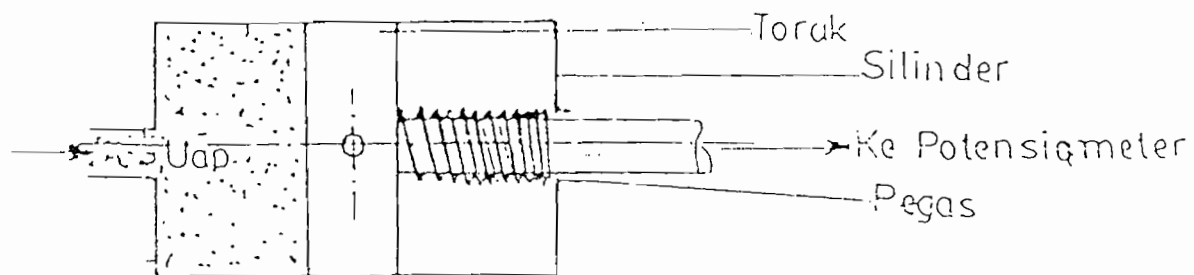
#### **X.11.2. Alat pengaturan otomatis berdasarkan perubahan tekanan.**

Pada pengaturan ini yang diatur adalah pembakaran yang dilakukan oleh burner, yaitu dengan mengatur jumlah penambahan batubara yang akan dibakar. Prinsip kerja alat pengaturan otomatis berdasarkan perubahan tekanan adalah sebagai berikut :

Apabila kondisi beban ketel naik maka tekanan uap didalam ketel akan turun, sebaliknya bila beban ketel turun, maka tekanan ketel akan naik. Dari pengertian dasar ini, maka diatur agar jumlah bahan bakar yang dibakar dapat

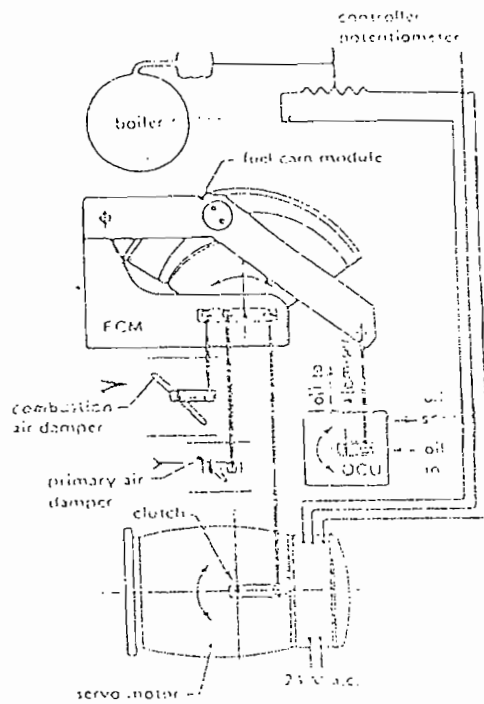
disesuaikan dengan kondisi ini. Untuk melakukan pengaturan ini digunakan silinder dan batang torak berpegas ( gambar 10.11).

Bila tekanan didalam ketel naik, maka torak akan bergerak kekanan, maka torak akan bergerak kekanan, sebaliknya bil tekanan didalam ketel turun, maka torak akan bergerak kekiri. Gerakan torak ini akan menyebabkan perubahan pada potensiometer dan selanjutnya akan mengatur putaran dari motor servo, kemudian oleh motor servo diteruskan lagi untuk mengatur pembukaan dumper udara ( *air dumper* ) dan mengatur penambahan bahan baker batu bara. Gambar 10.12 memperlihatkan diagram perlengkapan dan cara kerja alat yang digunakan yaitu *modulating pressure control*.



Gambar 10.11 Silinder torak berpegas.

Sumber : Babcock & Wilcox, Steam It's Generation and Use, ed 38, 1972, hal 6-15



Gambar 10.12. Modulating pressure control device.

Sumber : Babcock & Wilcox, Steam It's Generation and Use, ed 38, 1972, hal 6-15



## **BAB XI**

### **PENUTUP DAN KESIMPULAN**

Dari seluruh analisa dan perhitungan yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya, maka didapat kesimpulan :

Generator uap yang dirancang adalah generator uap pipa-pipa api jenis lokomotif dengan superheater dan tanpa ekonomiser dengan data-data sebagai berikut:

Kapasitas generator Uap	: 16 ton/jam
Tekanan Uap	: 15 barg ( 232 psi )
Bahan bakar	: Batubara
Temperatur air isian	: 30 ° C
Temperatur uap hasil ( uap panas lanjut )	: 230 ° C
Bahan plat silinder	: Baja karbon
Diameter luar silinder ketel	: 2180,59 mm
Diameter dalam silinder ketel	: 2000 mm
Panjang total ketel	: 6300 mm
Effisiensi ketel	: 80%
Bahan Isolasi	: Glasswool
Pengaturan	: Otomatis
Pengerjaan	: Pengelasan

## Bagian-bagian utama ketel uap lokomotif

### 1. Kotak api, data-data :

Bahan plat kotak api	: Baja karbon
Lebar kotak api	: 1500 mm
Panjang kotak api	: 1500 mm
Tinggi kotak api	: 1500 mm

### 2. Pipa-pipa api, data-data :

Bahan pipa-pipa api	: Baja karbon
Diameter luar pipa api	: 60,35 mm
Diameter dalam pipa api	: 52,50 mm
Tebal pipa api	: 7,84 mm
Panjang pipa api	: 5000 mm
Jumlah pipa api	: 140

### 3. Pipa Superheater

Panjang pipa superheater	: 3048 mm
Diameter dalam pipa	: 20,70 mm
Diameter	: 33,40 mm
Tebal	: 12,7 mm
Jumlah pipa superheater	: 6
Bahan pipa	: Baja karbon

#### 4. Cerobong

Tinggi Cerobong : 2000 mm

Diameter Cerobong : 1300 mm

Bahan cerobong : Baja

## DAFTAR PUSTAKA

- Babcock and Wilcox. ( 1972 ). *Steam It's Generation and Use*. Babcock and Wilcox Company. New York.
- Carl D Shield ( 1972 ). *Boiler Type Characteristic And Function*. Mc Grawhill Book Company. Newyork.
- Charles T Littleton. ( 1961 ). *Industrial Piping*. Mc Grawhill Book Company. New York.
- DjokoSetyardjo M.J. ( 1987 ). *Ketel Uap*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Evert B Woodruff, Hebert B Lanmers. ( 1977 ) *Steam-Plant Operation*. Mc Grawhill Book Company. New York
- Holman. J.P. ( 1984 ). *Pepindahan Panas*. Alih bahasa E. Jasfi. Erlangga. Jakarta.
- Nainggolan W.s. (1987). *Teori dan Soal Penyelesaian thermodinamika*. Amriko. Bandung.
- Otto de Lorenzi ME. ( 1949 ). *Combustion Engineering*. Combustion Engineering Superheater Inc. New York.
- Syamsir A Muin. ( 1988 ). *Pesawat-pesawat Konversi Energi I*. Rajawali. Jakarta



# LAMPIRAN

Tabel 1 Thermodynamic of Saturated Water And Steam – Pressure table

$p$ (kPa)	$T$ (°C)	Specific Volume ( $m^3/kg$ )		Internal Energy (kJ/kg)			Enthalpy (kJ/kg)			Entropy (kJ/kg K)		
		$v_f$	$v_g$	$u_f$	$u_{fg}$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_{fg}$	$s_g$
0.6113	0.01	0.001000	206.14	.00	2375.3	2375.3	.01	2501.3	2501.4	.0000	9.1562	9.1562
1.0	6.98	0.001000	129.21	29.30	2355.7	2385.0	29.30	2484.9	2514.2	.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	0.001001	87.98	54.71	2338.6	2393.3	54.71	2470.6	2525.3	.1957	8.6322	8.8279
2.0	17.50	0.001001	67.00	73.48	2326.0	2399.5	73.48	2460.0	2533.5	.2607	8.4629	8.7237
2.5	21.08	0.001002	54.25	88.48	2315.9	2404.4	88.49	2451.6	2540.0	.3120	8.3311	8.6432
3.0	24.08	0.001003	45.67	101.04	2307.5	2408.5	101.05	2444.5	2545.5	.3545	8.2231	8.5776
4.0	28.96	0.001004	34.80	121.45	2293.7	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	0.001005	28.19	137.81	2282.7	2420.5	137.82	2423.7	2561.5	.4764	7.9187	8.3951
7.5	40.29	0.001008	19.24	168.78	2261.7	2430.5	168.79	2406.0	2574.8	.5764	7.6750	8.2515
10	45.81	0.001010	14.67	191.82	2246.1	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	.6493	7.5009	8.1502
15	53.97	0.001014	10.02	225.92	2222.8	2448.7	225.94	2373.1	2599.1	.7549	7.2536	8.0085
20	60.06	0.001017	7.649	251.38	2205.4	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	.8320	7.0766	7.9085
25	64.97	0.001020	6.204	271.90	2191.2	2463.1	271.93	2346.3	2618.2	.8931	6.9393	7.8314
30	69.10	0.001022	5.229	289.20	2179.2	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	0.001027	3.993	317.53	2159.5	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	6.6441	7.6700
50	81.33	0.001030	3.240	340.44	2143.4	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	6.5029	7.5939
75	91.78	0.001037	2.217	384.31	2112.4	2496.7	384.39	2278.6	2663.0	1.2130	6.2434	7.4564
<i>MPa</i>												
1.00	99.63	0.001043	1.6940	417.36	2088.7	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	6.0568	7.3594
1.125	105.99	0.001048	1.3749	444.19	2069.3	2513.5	444.32	2241.0	2685.4	1.3740	5.9104	7.2844
1.150	111.37	0.001053	1.1593	466.94	2052.7	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	5.7897	7.2233
1.175	116.06	0.001057	1.0036	486.80	2038.1	2524.9	486.99	2213.6	2700.6	1.4849	5.6868	7.1717
1.200	120.23	0.001061	0.8857	504.49	2025.0	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	5.5970	7.1271
1.225	124.00	0.001064	0.7933	520.47	2013.1	2533.6	520.77	2191.3	2712.1	1.5706	5.5173	7.0878
1.250	127.44	0.001067	0.7187	535.10	2002.1	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	5.4455	7.0527
1.275	130.60	0.001070	0.6573	548.59	1991.9	2540.5	548.89	2172.4	2721.3	1.6408	5.3801	7.0209
1.300	133.55	0.001073	0.6058	561.15	1982.4	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	5.3201	6.9919
1.325	136.30	0.001076	0.5620	572.90	1973.5	2546.4	573.25	2155.8	2729.0	1.7006	5.2646	6.9652
1.350	138.88	0.001079	0.5243	583.95	1965.0	2548.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	5.2130	6.9405
1.375	141.32	0.001081	0.4914	594.40	1956.9	2551.3	594.81	2140.8	2735.6	1.7528	5.1647	6.9175
1.40	143.63	0.001084	0.4625	604.31	1949.3	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	5.1193	6.8959
1.45	147.93	0.001088	0.4140	622.77	1934.9	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	5.0359	6.8565
1.50	151.86	0.001093	0.3749	639.68	1921.6	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	4.9606	6.8213

Tabel 2. Thermodynamic of Superheater Steam

$T$ (°C)	$p = 1.60 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 201.41^\circ\text{C})$				$p = 1.80 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 207.15^\circ\text{C})$			
	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$u$ (kJ/kg)	$h$ (kJ/kg)	$s$ (kJ/kg K)	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$u$ (kJ/kg)	$h$ (kJ/kg)	$s$ (kJ/kg K)
Sat.	.12380	2596.0	2794.0	6.4218	.11042	2598.4	2797.1	6.3794
225	.13287	2644.7	2857.3	6.5518	.11673	2636.6	2846.7	6.4808
250	.14184	2692.3	2919.2	6.6732	.12497	2686.0	2911.0	6.6066
300	.15862	2781.1	3034.8	6.8844	.14021	2776.9	3029.2	6.8226
350	.17456	2866.1	3145.4	7.0694	.15457	2863.0	3141.2	7.0100
400	.19005	2950.1	3254.2	7.2374	.16847	2947.7	3250.9	7.1794
500	.2203	3119.5	3472.0	7.5390	.19550	3117.9	3469.8	7.4825
600	.2500	3293.3	3693.2	7.8080	.2220	3292.1	3691.7	7.7523
700	.2794	3472.7	3919.7	8.0535	.2482	3471.8	3918.5	7.9933
800	.3086	3658.3	4152.1	8.2808	.2742	3657.6	4151.2	8.2258
900	.3377	3850.5	4390.8	8.4935	.3001	3849.9	4390.1	8.4386
1000	.3668	4049.0	4635.8	8.6938	.3260	4048.5	4635.2	8.6391
1100	.3958	4253.7	4887.0	8.8837	.3518	4253.2	4886.4	8.8290
1200	.4248	4464.2	5143.9	9.0643	.3776	4463.7	5143.4	9.0096
1300	.4538	4679.9	5405.0	9.2354	.4034	4679.5	5405.6	9.1818

$T$ (°C)	$p = 2.00 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 212.42^\circ\text{C})$				$p = 2.50 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = 223.99^\circ\text{C})$			
	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$u$ (kJ/kg)	$h$ (kJ/kg)	$s$ (kJ/kg K)	$v$ (m <sup>3</sup> /kg)	$u$ (kJ/kg)	$h$ (kJ/kg)	$s$ (kJ/kg K)
Sat.	.09963	2600.3	2799.5	6.3409	.07998	2603.1	2803.1	6.2575
225	.10377	2628.3	2835.8	6.4147	.08027	2605.6	2806.3	6.2639
250	.11144	2679.6	2902.5	6.5453	.08700	2662.6	2880.1	6.4085
300	.12547	2772.6	3023.5	6.7664	.09890	2761.6	3008.8	6.6438
350	.13857	2859.8	3137.0	6.9563	.10976	2851.9	3126.3	6.8403
400	.15120	2945.2	3247.6	7.1271	.12010	2939.1	3239.3	7.0148
500	.17568	3116.2	3467.6	7.4317	.13998	3112.1	3462.1	7.3234
600	.19960	3290.9	3690.1	7.7024	.15930	3288.0	3686.3	7.5960
700	.2232	3470.9	3917.4	7.9487	.17832	3468.7	3914.5	7.8435
800	.2467	3657.0	4150.3	8.1765	.19716	3655.3	4148.2	8.0720
900	.2700	3849.3	4389.4	8.3895	.21590	3847.9	4387.6	8.2853
1000	.2933	4048.0	4634.6	8.5901	.2346	4046.7	4633.1	8.4861
1100	.3166	4252.7	4885.9	8.7800	.2532	4251.5	4884.6	8.6762
1200	.3398	4463.3	5142.9	8.9607	.2718	4462.1	5141.7	8.8569
1300	.3631	4679.0	5405.1	9.1329	.2905	4677.3	5404.0	9.0291

Sumber : Thermodynamic Properties of Saturated water and Steam,877

Tabel 3. Nilai Entalpi Gas

Temp. °F	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Ar	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	CO	4.773 H <sub>2</sub>	O	N	II	C	C <sub>2</sub>	NO	O <sub>11</sub>
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	1.377	1.387	1.381	2.588	687	655	702	1.566	1.421	1.386	1.093	904	497	743	700
200	2.973	2.982	2.975	5.215	1.781	1.745	1.866	3.220	2.981	2.937	2.540	1.984	1.087	1.433	1.417
300	5.203	5.208	5.202	8.581	2.981	2.945	3.066	4.600	4.341	4.297	3.800	3.243	2.087	2.213	2.197
400	8.188	8.188	8.182	12.014	4.181	4.145	4.266	6.000	5.741	5.697	5.200	4.643	3.087	3.303	3.287
500	11.491	11.491	11.485	15.445	5.381	5.345	5.466	7.400	7.141	7.097	6.600	6.043	4.287	4.503	4.487
600	18.971	18.971	18.965	21.979	6.581	6.545	6.666	8.800	8.541	8.497	8.000	7.443	5.487	5.703	5.687
700	27.971	27.971	27.965	30.517	7.781	7.745	7.866	10.200	9.941	9.897	9.400	8.843	6.587	6.803	6.787
800	38.971	38.971	38.965	40.055	8.981	8.945	9.066	11.600	11.341	11.297	10.800	10.243	7.687	7.903	7.887
900	50.971	50.971	50.965	50.593	10.181	10.145	10.266	13.000	12.741	12.697	12.200	11.643	8.787	9.003	8.987
1000	62.971	62.971	62.965	61.131	11.381	11.345	11.466	14.400	14.141	14.097	13.600	13.043	9.887	10.103	10.087
1100	74.971	74.971	74.965	71.669	12.581	12.545	12.666	15.800	15.541	15.497	15.000	14.443	10.987	11.203	11.187
1200	86.971	86.971	86.965	82.207	13.781	13.745	13.866	17.200	16.941	16.897	16.400	15.843	12.087	12.303	12.287
1300	98.971	98.971	98.965	92.745	14.981	14.945	15.066	18.600	18.341	18.297	17.800	17.243	13.187	13.403	13.387
1400	110.971	110.971	110.965	103.283	16.181	16.145	16.266	20.000	19.741	19.697	19.200	18.643	14.287	14.503	14.487
1500	122.971	122.971	122.965	113.821	17.381	17.345	17.466	21.400	21.141	21.097	20.600	20.043	15.387	15.603	15.587
1600	134.971	134.971	134.965	124.359	18.581	18.545	18.666	22.800	22.541	22.497	22.000	21.443	16.487	16.703	16.687
1700	146.971	146.971	146.965	134.897	19.781	19.745	19.866	24.200	23.941	23.897	23.400	22.843	17.587	17.803	17.787
1800	158.971	158.971	158.965	145.435	20.981	20.945	21.066	25.600	25.341	25.297	24.800	24.243	18.687	18.903	18.887
1900	170.971	170.971	170.965	155.973	22.181	22.145	22.266	27.000	26.741	26.697	26.200	25.643	19.787	20.003	19.987
2000	182.971	182.971	182.965	166.511	23.381	23.345	23.466	28.400	28.141	28.097	27.600	27.043	20.887	21.103	21.087
2100	194.971	194.971	194.965	177.049	24.581	24.545	24.666	29.800	29.541	29.497	29.000	28.443	21.987	22.203	22.187
2200	206.971	206.971	206.965	187.587	25.781	25.745	25.866	31.200	30.941	30.897	30.400	29.843	23.087	23.303	23.287
2300	218.971	218.971	218.965	198.125	26.981	26.945	27.066	32.600	32.341	32.297	31.800	31.243	24.187	24.403	24.387
2400	230.971	230.971	230.965	208.663	28.181	28.145	28.266	34.000	33.741	33.697	33.200	32.643	25.287	25.503	25.487
2500	242.971	242.971	242.965	219.201	29.381	29.345	29.466	35.400	35.141	35.097	34.600	34.043	26.387	26.603	26.587
2600	254.971	254.971	254.965	229.739	30.581	30.545	30.666	36.800	36.541	36.497	36.000	35.443	27.487	27.703	27.687
2700	266.971	266.971	266.965	240.277	31.781	31.745	31.866	38.200	37.941	37.897	37.400	36.843	28.587	28.803	28.787
2800	278.971	278.971	278.965	250.815	32.981	32.945	33.066	39.600	39.341	39.297	38.800	38.243	29.687	29.903	29.887
2900	290.971	290.971	290.965	261.353	34.181	34.145	34.266	41.000	40.741	40.697	40.200	39.643	30.787	31.003	30.987
3000	302.971	302.971	302.965	271.891	35.381	35.345	35.466	42.400	42.141	42.097	41.600	41.043	31.887	32.103	32.087
3100	314.971	314.971	314.965	282.429	36.581	36.545	36.666	43.800	43.541	43.497	43.000	42.443	32.987	33.203	33.187
3200	326.971	326.971	326.965	292.967	37.781	37.745	37.866	45.200	44.941	44.897	44.400	43.843	34.087	34.303	34.287
3300	338.971	338.971	338.965	303.505	38.981	38.945	39.066	46.600	46.341	46.297	45.800	45.243	35.187	35.403	35.387
3400	350.971	350.971	350.965	314.043	40.181	40.145	40.266	48.000	47.741	47.697	47.200	46.643	36.287	36.503	36.487
3500	362.971	362.971	362.965	324.581	41.381	41.345	41.466	49.400	49.141	49.097	48.600	48.043	37.387	37.603	37.587
3600	374.971	374.971	374.965	335.119	42.581	42.545	42.666	50.800	50.541	50.497	50.000	49.443	38.487	38.703	38.687
3700	386.971	386.971	386.965	345.657	43.781	43.745	43.866	52.200	51.941	51.897	51.400	50.843	39.587	39.803	39.787
3800	398.971	398.971	398.965	356.195	44.981	44.945	45.066	53.600	53.341	53.297	52.800	52.243	40.687	40.903	40.887
3900	410.971	410.971	410.965	366.733	46.181	46.145	46.266	55.000	54.741	54.697	54.200	53.643	41.787	42.003	41.987
4000	422.971	422.971	422.965	377.271	47.381	47.345	47.466	56.400	56.141	56.097	55.600	55.043	42.887	43.103	43.087
4100	434.971	434.971	434.965	387.809	48.581	48.545	48.666	57.800	57.541	57.497	57.000	56.443	43.987	44.203	44.187
4200	446.971	446.971	446.965	398.347	49.781	49.745	49.866	59.200	58.941	58.897	58.400	57.843	45.087	45.303	45.287
4300	458.971	458.971	458.965	408.885	50.981	50.945	51.066	60.600	60.341	60.297	59.800	59.243	46.187	46.403	46.387
4400	470.971	470.971	470.965	419.423	52.181	52.145	52.266	62.000	61.741	61.697	61.200	60.643	47.287	47.503	47.487
4500	482.971	482.971	482.965	429.961	53.381	53.345	53.466	63.400	63.141	63.097	62.600	62.043	48.387	48.603	48.587
4600	494.971	494.971	494.965	440.499	54.581	54.545	54.666	64.800	64.541	64.497	64.000	63.443	49.487	49.703	49.687
4700	506.971	506.971	506.965	451.037	55.781	55.745	55.866	66.200	65.941	65.897	65.400	64.843	50.587	50.803	50.787
4800	518.971	518.971	518.965	461.575	56.981	56.945	57.066	67.600	67.341	67.297	66.800	66.243	51.687	51.903	51.887
4900	530.971	530.971	530.965	472.113	58.181	58.145	58.266	69.000	68.741	68.697	68.200	67.643	52.787	53.003	52.987
5000	542.971	542.971	542.965	482.651	59.381	59.345	59.466	70.400	70.141	70.097	69.600	69.043	53.887	54.103	54.087
5100	554.971	554.971	554.965	493.189	60.581	60.545	60.666	71.800	71.541	71.497	71.000	70.443	54.987	55.203	55.187
5200	566.971	566.971	566.965	503.727	61.781	61.745	61.866	73.200	72.941	72.897	72.400	71.843	56.087	56.303	56.287
5300	578.971	578.971	578.965	514.265	62.981	62.945	63.066	74.600	74.341	74.297	73.800	73.243	57.187	57.403	57.387
5400	590.971	590.971	590.965	524.803	64.181	64.145	64.266	76.000	75.741	75.697	75.200	74.643	58.287	58.503	58.487
5500	602.971	602.971	602.965	535.341	65.381	65.345	65.466	77.400	77.141	77.097	76.600	76.043	59.387	59.603	59.587
5600	614.971	614.971	614.965	545.879	66.581	66.545	66.666	78.800	78.541	78.497	78.000	77.443	60.487	60.703	60.687
5700	626.971	626.971	626.965	556.417	67.781	67.745	67.866	80.200	79.941	79.897	79.400	78.843	61.587	61.803	61.787
5800	638.971	638.971	638.965	566.955	68.981	68.945	69.066	81.600	81.341	81.297	80.800	80.243	62.687	62.903	62.887
5900	650.971	650.971	650.965	577.493	70.181	70.145	70.266	83.000	82.741	82.697	82.200	81.643	63.787	64.003	63.987
6000	662.971	662.971	662.965	588.031	71.381	71.345	71.466	84.400	84.141	84.097	83.600	83.043	64.887	65.103	65.087
6100	674.971	674.971	674.965	598.569	72.581	72.545	72.666	85.800	85.541	85.497	85.000	84.443	65.987	66.203	66.187
6200	686.971	686.971	686.965	609.107	73.781	73.745	73.866	87.200	86.941	86.897	86.400	85.843	67.087	67.303	67.287
6300	698.971	698.971	698.965	619.645	74.981	74.945	75.066	88.600	88.341	88.297	87.800	87.243	68.187	68.403	68.387
6400	710.971	710.971	710.965	630.183	76.181	76.145	76.266	90.000	89.741	89.697	89.200	88.643	69.287	69.503	69.487
6500	722.971	722.971	722.965	640.721	77.381	77.345	77.466	91.400	91.141	91.097	90.600	90.043	70.387	70.603	70.587
6600	734.971	734.971	734.965	651.259	78.581	78.545	78.666	92.800	92.541	92.497	92.000	91.443	71.487	71.703	71.687
6700	746.971	746.971	746.965	661.797	79.781	79.745	79.866	94.200	93.941	93.89					



Tabel 4. Dimensi Pipa-pipa Baja

Nominal pipe size, in	OD, in	Schedule no.	Wall Thickness, in	ID, in	Metal sectional area in <sup>2</sup>	Inside cross-sectional area, ft <sup>2</sup>
$\frac{1}{8}$	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025
$\frac{1}{4}$	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050
$\frac{3}{8}$	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098
$\frac{1}{2}$	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163
$\frac{3}{4}$	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
$1\frac{1}{2}$	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
4	4.500	40	0.237	4.026	3.173	0.08840
		80	0.337	3.826	4.407	0.7986
		120	0.500	4.563	7.953	0.1136
5	5.563	40	0.258	5.047	4.304	0.1390
		80	0.375	4.813	6.122	0.1263
		160	0.625	4.313	9.696	0.1015
6	6.625	40	0.280	6.065	5.584	0.2006
		80	0.432	5.761	8.405	0.1810
10	10.75	40	0.365	10.020	11.90	0.5475
		80	0.500	9.750	16.10	0.5185

Sumber : J.P. Holman, Heat Transfer, ed 8, hal 653

Tabel 5. Harga  $\frac{Q}{A}$

Configuration	$h_c$ , Btu/hr-ft <sup>2</sup> -°F	$q/A$ , Btu/hr-ft <sup>2</sup>
Horizontal surface (in wide vessel)	$h_c = 151(\Delta T)^{0.75}$	$q/A < 5000$
	$h_c = (0.168)(\Delta T)^2$	$5000 < q/A < 75,000$
Vertical surface (in wide vessel)	$h_c = 87(\Delta T)^{0.75}$	$q/A < 1000$
	$h_c = (0.24)(\Delta T)^2$	$1000 < q/A < 20,000$
Vertical tube (interior)	$h_c = 189(\Delta T)^{0.75}$	$q/A < 5000$
	$h_c = (0.21)(\Delta T)^2$	$5000 < q/A < 75,000$

Sumber : Babcock and Wilcox, Steam It's Generation and use, hal 14-2

Tabel 6. Emisifitas Bahan

Surface	t, deg F*	Emissivity	Reference number
<b>Oxidized surfaces</b>			
Iron plate, pickled, then rusted red .....	68	0.61	25
Iron plate, completely rusted.....	67	0.69	25
Iron, dark gray surface.....	212	0.31	1
Rolled sheet steel.....	70	0.66	25
Oxidized iron.....	212	0.74	28
Cast iron, oxidized at 1100°F.....	390-1110	0.64-0.78	23
Steel, oxidized at 1100°F.....	390-1110	0.79	23
Smooth oxidized electrolytic iron.....	260-980	0.78-0.82	26
Iron oxide.....	930-2190	0.85-0.89	6
Rough ingot iron.....	1700-2040	0.87-0.95	22
<b>Sheet steel</b>			
Strong, rough oxide layer.....	75	0.80	25
Dense, shiny oxide layer.....	75	0.82	25
Cast plate, smooth.....	73	0.80	25
Cast plate, rough.....	73	0.82	25
Cast iron, rough, strongly oxidized.....	100-480	0.95	32
Wrought iron, dull oxidized.....	70-680	0.94	32
Steel plate, rough.....	100-700	0.91-0.97	15
<b>Molten surfaces</b>			
Cast iron.....	2370-2550	0.29	31
Mild steel.....	2910-3270	0.28	31
Steel, several different kinds with 0.25-1.2% C (slightly oxidized surface).....	2840-3110	0.27-0.30	3
Steel.....	2730-3000	0.42-0.63	14
Steel.....	2770-3000	0.43-0.40	18
Pure iron.....	2760-3220	0.42-0.46	8
Armco iron.....	2770-3070	0.40-0.41	18
<b>Lead:</b>			
Pure (99.99%), unoxidized.....	260-440	0.057-0.075	26
Gray oxidized.....	76	0.23	25
Oxidized at 300°F.....	390	0.63	23
<b>Magnesium:</b>			
Magnesium oxide.....	530-1520	0.65-0.20	21
Magnesium oxide.....	1650-3100	0.20	10
Mercury.....	32-212	0.09-0.12	11
<b>Molybdenum:</b>			
Filament.....	1340-4700	0.006-0.202	37
Massive, polished.....	212	0.071	1
<b>Monel metal:</b>			
Oxidized at 1110°F.....	390-1110	0.41-0.46	23
K Monel 5700; A, B, C.....	75	0.23, 0.17, 0.14	36
K Monel 5700; A'.....	450-1610	0.46-0.65	36
K Monel 5700; B'.....	450-1760	0.64-0.77	36
K Monel 5700; C'.....	450-1765	0.35-0.63	36

Sumber : J.P. Holman, Heat transfer, ed 8, hal 640

Tabel 7. Konduktisifitas Panas Bahan Logam dan Paduan

Thermal conductivity,  $k$ , of selected materials  
(Btu/sq ft. hr, F/in. thickness)

Material	$k^*$
Silver	2880
Copper	2640
Carbon steel	350
Alloy steel, 18% Cr-8% Ni	108
First-quality firebrick	4.5
Insulating firebrick	0.8
85% Magnesia block	0.5

\* Approximate values at room temperature.

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat konversi energi, hal 160

Tabel 8. Konduktisifitas Panas Bahan Non Logam

BAHAN	Suhu Rata-rata (F)	$k$ (Btu/hr ft F)	$c$ (Btu/lb <sub>m</sub> F)	$\rho$ (lb <sub>m</sub> /ft <sup>3</sup> )	$\alpha$ (ft <sup>2</sup> /h)
Bahan isolasi					
Asbes	32	0,087	0,25	36	~ 0,01
	392	0,12	.....	36	~ 0,01
Gabus	86	0,025	0,04	10	~ 0,006
Kapas, kain (katun)	200	0,046	.....	.....	.....
Tanah diatome, serbuk	100	0,030	0,21	14	~ 0,01
	300	0,036	.....	.....	.....
	600	0,046	.....	.....	.....
Penutup pipa-cetakan	400	0,051	.....	26	.....
	1600	0,088	.....	.....	.....
Wol kaca					
Halus	20	0,022	.....	.....	.....
	100	0,031	.....	1,5	.....
	200	0,043	.....	.....	.....
Dipak	20	0,016	.....	.....	.....
	100	0,022	.....	6,0	.....
	200	0,029	.....	.....	.....
Bulu kempa (vilt)	100	0,027	.....	8,2	.....
Isolasi kaolin					
bata	932	0,15	.....	27	.....
	2102	0,26	.....	.....	.....
Isolasi kaolin bata tahan api	392	0,05	.....	19	.....
	1400	0,11	.....	.....	.....
Magnesia 85%	32	0,032	.....	17	.....
	200	0,037	.....	17	.....
Wol batu	20	0,017	.....	8	.....
	200	0,030	.....	.....	.....
Karet	32	0,087	0,48	75	0,0024
Bahan bangunan					
Bata					
Tanah liat bakar	392	0,58	0,20	144	0,02
	1832	0,95	.....	.....	.....
Semen "masonry"	70	0,38	0,20	106	0,018
Zirconia	392	0,84	.....	304	.....
	1832	1,13	.....	.....	.....
Bata khrom	392	0,82	.....	246	.....
	1832	0,96	.....	.....	.....
Beton					
Batu	70	0,54	0,20	144	0,019
Kelembaban 10%	70	0,70	.....	140	~ 0,025
Kaca jendela	70	0,45	0,2	170	0,013
Kapur, kering	70	0,40	0,22	105	0,017
Pasir					
Kering	68	0,20	.....	95	.....
10% H <sub>2</sub> O	68	0,60	.....	100	.....
Tanah					
Kering	70	~ 0,20	0,44	.....	~ 0,01
Basah	70	~ 1,5	.....	.....	~ 0,03
Kayu					
Oak tiserat	70	0,12	0,57	51	0,0041
liserat	70	0,20	0,57	51	0,0039
Pinus liserat	70	0,06	0,67	31	0,0029
liserat	70	0,14	0,67	31	0,0067
Es	32	1,28	0,46	57	0,048

Sumber : J.P. Holman, Heat transfer, ed 8, hal 640

Tabel 9. Gas Propertis

Carbon dioxide				Water vapor			
temp	C <sub>p</sub>	μ	k	temp	C <sub>p</sub>	μ	k
200	.2162	.0438	.0125	200	.4532	.0315	.0134
400	.2369	.0544	.0177	400	.4663	.0411	.0197
600	.2543	.0545	.0227	600	.4812	.0506	.0261
800	.2668	.0749	.0274	800	.4975	.0597	.0326
1000	.2807	.0829	.0319	1000	.5147	.0687	.0393
1200	.2903	.0913	.0360	1200	.5325	.0773	.0462
1400	.2980	.0991	.0400	1400	.5506	.0858	.0532
1600	.3041	.1064	.0435	1600	.5684	.0939	.0604
1800	.3090	.1130	.0468	1800	.5857	.0119	.0678
2000	.3129	.1191	.0500	2000	.6019	.1095	.0753

Nitrogen				Oxygen			
temp	C <sub>p</sub>	μ	k	temp	C <sub>p</sub>	μ	k
200	.2495	.0518	.0189	200	.2250	.0604	.0186
400	.2530	.0635	.0212	400	.2332	.0716	.0229
600	.2574	.0694	.0249	600	.2404	.0823	.0272
800	.2624	.0776	.0279	800	.2468	.0924	.0313
1000	.2678	.0854	.0309	1000	.2523	.1021	.0352
1200	.2734	.0927	.0339	1200	.2570	.1111	.0389
1400	.2791	.0996	.0369	1400	.2611	.1197	.0425
1600	.2846	.1061	.0399	1600	.2647	.1278	.0460
1800	.2897	.1122	.0429	1800	.2678	.1353	.0492
2000	.2942	.1178	.0459	2000	.2705	.1423	.0523

Air (dry)				Flue gas (% vol CO <sub>2</sub> = 12, H <sub>2</sub> O = 12, N <sub>2</sub> = 72, O <sub>2</sub> = 6)			
temp	C <sub>p</sub>	μ	k	temp	C <sub>p</sub>	μ	k
200	.2439	.0537	.0188	200	.2570	.0492	.0174
400	.2485	.0632	.0221	400	.2647	.0587	.0211
800	.2587	.0809	.0287	800	.2800	.0763	.0286
1200	.2695	.0968	.0350	1200	.2947	.0922	.0358
1600	.2800	.1109	.0412	1600	.3080	.1063	.0429
2000	.2887	.1232	.0473	2000	.3190	.1188	.0499

Tabel 10. Grimson's Value of B and N

<i>S<sub>1</sub>/d</i>	1.25		1.5		2		3	
<i>S<sub>1</sub>/d</i>	B	N	B	N	B	N	B	N
Staggered								
1.25	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
1.50	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
2.0	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
3.0	0.310	0.592	0.356	0.580	0.44	0.562	0.421	0.574
In-line								
1.25	0.348	0.592	0.275	0.508	0.100	0.704	0.0633	0.752
1.50	0.367	0.586	0.250	0.520	0.101	0.702	0.0678	0.744
2.0	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.198	0.644
3.0	0.290	0.601	0.357	0.584	0.374	0.581	0.286	0.602

Sumber : Babcock and Wilcox, Steam It's Generation and use, hal 3-7

Tabel 11. Harga Beam legh of Gas Radiation

Shape	Characterising dimension $X$	Factor by which $X$ is multiplied to obtain mean beam length $L$	
		When $P_0 L = 0$	For average values of $P_0 L$
Sphere.....	Diameter	$\frac{3}{2}$	0.60
Infinite cylinder.....	Diameter	1	0.90
Semi-infinite cylinder, radiating to center of base.....	Diameter	....	0.90
Right-circular cylinder, height = diameter, radiating to center of base.....	Diameter	....	0.77
Same, radiating to whole surface.....	Diameter	$\frac{3}{2}$	0.60
Infinite cylinder of half-circular cross section. Radiating to spot on middle of flat side.....	Radius	....	1.26
Rectangular parallelepipeds:			
1:1:1 (cube).....	Edge	$\frac{3}{2}$	} See Table 4-3
1:1:4, radiating to $1 \times 4$ face.....	Shortest edge	0.90	
radiating to $1 \times 1$ face.....		0.85	
radiating to all faces.....		0.87	
1:2:6, radiating to $2 \times 6$ face.....	Shortest edge	1.18	
radiating to $1 \times 6$ face.....		1.24	
radiating to $1 \times 2$ face.....		1.18	
1: $\infty$ : $\infty$ (infinite parallel planes).....	Distance between planes	2	1.20
Space outside infinite bank of tubes with centers on equilateral triangles; tube diameter = clearance.....	Clearance	3.4	2.8
Same as preceding, except tube diameter = one-half clearance.....	Clearance	4.45	3.8
Same, except tube centers on squares; diameter = clearance.....	Clearance	4.1	3.5

Sumber : Babcock and Wilcox, Steam It's Generation and use, hal 29-14

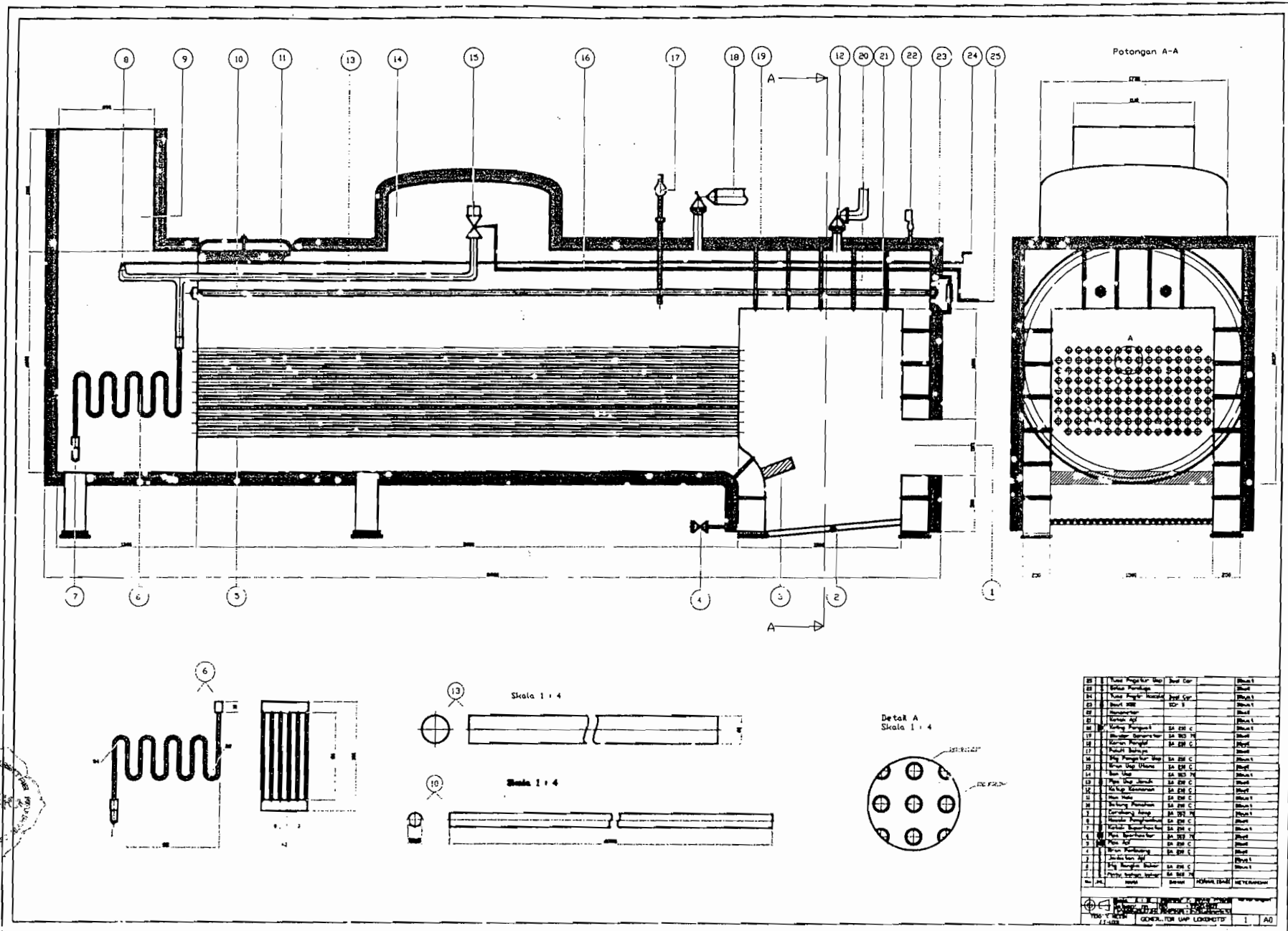


Tabel 12. Harga Tegangan Tarik Maksimum Pipa Api

Spec Number	Grade	Nominal Composition	Spec Min Tensile	Notes	For metal temperatures, F, not exceeding																
					20 to 100	300	400	20 to 400	500	600	650	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	
Seamless carbon steel																					
SA-106	B	—	60,000	(1)	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	14,350	10,800	5,000	1,500	—	—	—	—	—	
SA-106	C	—	70,000	—	—	—	—	17,500	17,500	17,500	17,500	16,600	12,000	—	—	—	—	—	—	—	
Seamless alloy steel																					
SA-335	P2	½ Cr-½ Mo	55,000	—	—	—	—	13,750	13,750	13,750	13,750	13,750	13,450	12,500	6,250	—	—	—	—	—	
SA-335	P5	5 Cr-½ Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	14,500	14,000	13,700	13,400	12,800	10,350	5,600	3,050	1,300	—	—	—	
SA-335	P11	1½ Cr-½ Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	13,100	6,550	3,000	1,200	—	—	—	
SA-335	P12	1 Cr-½ Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	14,750	13,100	6,550	2,800	1,000	—	—	—	
SA-335	P9	9 Cr-1 Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	14,500	14,000	13,700	13,400	12,800	12,000	8,500	3,300	1,500	—	—	—	
SA-335	P22	2¼ Cr-1 Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	13,100	7,800	4,200	2,000	—	—	—	
SA-376	TP304H	18Cr-8Ni	75,000	(2)	18,750	16,600	16,150	—	15,900	15,500	15,900	15,900	15,150	14,650	13,750	9,750	6,050	3,700	2,300	1,400	
SA-376	TP304H	18Cr-8Ni	75,000	—	18,750	14,050	12,950	—	12,150	11,400	11,250	11,050	10,550	10,150	9,750	8,850	6,050	3,700	2,300	1,400	
SA-376	TP316H	16Cr-12Ni-2Mo	75,000	(2)	18,750	18,350	18,050	—	17,950	17,000	16,650	16,300	15,850	15,550	15,300	12,400	7,400	4,100	2,250	1,250	
SA-376	TP316H	16Cr-12Ni-2Mo	75,000	—	18,750	14,600	13,350	—	12,450	11,800	11,550	11,300	11,000	10,800	10,600	10,300	7,400	4,100	2,250	1,250	
Forged and bored austenitic steel																					
SA-430	FP304H	18Cr-8Ni	70,000	(2)	17,500	15,500	15,050	—	14,800	14,800	14,800	14,800	14,600	14,150	13,350	9,750	6,050	3,700	2,300	1,400	
SA-430	FP304H	18Cr-8Ni	70,000	—	17,500	14,050	12,950	—	12,150	11,400	11,250	11,050	10,550	10,150	9,750	8,850	6,050	3,700	2,300	1,400	
SA-430	FP316H	16Cr-12Ni-2Mo	70,000	(2)	17,500	17,100	16,800	—	16,800	16,800	16,650	16,300	15,850	15,550	14,950	12,400	7,400	4,100	2,250	1,250	
SA-430	FP316H	16Cr-12Ni-2Mo	70,000	—	17,500	14,600	13,350	—	12,450	11,800	11,550	11,300	11,000	10,800	10,600	10,300	7,400	4,100	2,250	1,250	
Carbon steel forgings																					
SA-266	B	—	70,000	(1)	—	—	—	17,500	17,500	17,500	17,500	16,600	12,000	5,000	1,500	—	—	—	—	—	

Tabel 1.3. Harga Tegangan Tarik Maksimum Silinder Api

Spec Number	Grade	Nominal Composition	Spec Min Tensile	Notes	For metal temperatures, F, not exceeding																
					-20 to 100	300	400	-20 to 400	500	600	650	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	
Seamless carbon steel																					
SA-192	—	—	(47,000)	(1)(6)	—	—	—	11,750	11,750	11,750	11,750	11,500	9,000	5,000	1,500	—	—	—	—	—	
SA-210	A-1	—	60,000	(1)	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	14,350	10,800	5,000	1,500	—	—	—	—	—	
SA-210	C	—	70,000	—	17,500	17,500	17,500	—	17,500	17,500	17,500	16,600	12,000	5,000	1,500	—	—	—	—	—	
Seamless alloy steel																					
SA-209	T1a	C-½ Mo	60,000	(2)	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	14,400	12,500	5,500	—	—	—	—	—	
SA-213	T5	5 Cr-½ Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	14,500	14,000	13,700	13,400	12,800	10,350	5,600	3,050	1,300	—	—	—	
SA-213	T9	9 Cr-1 Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	14,500	14,000	13,700	13,400	12,800	12,000	8,500	3,300	1,500	—	—	—	
SA-213	T11	1¼ Cr-½ Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	13,100	6,550	3,000	1,200	—	—	—	
SA-213	T3b	2 Cr-½ Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	14,700	12,500	6,200	2,750	1,200	—	—	—	
SA-213	T22	2¼ Cr-1 Mo	60,000	—	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	13,100	7,800	4,200	2,000	—	—	—	
SA-213	TP304H	18Cr-8Ni	75,000	(4)	18,750	16,600	16,150	—	15,900	15,900	15,900	15,900	15,150	14,650	13,750	9,750	6,050	3,700	2,300	1,400	
SA-213	TP304H	18Cr-8Ni	75,000	—	18,750	14,050	12,950	—	12,150	11,400	11,250	11,050	10,550	10,150	9,750	8,850	6,050	3,700	2,300	1,400	
SA-213	TP321H	18Cr-10Ni-Ti	75,000	(4)	18,750	17,300	17,100	—	17,100	16,350	16,050	15,800	15,450	15,250	14,000	9,050	5,350	3,150	1,850	1,100	
SA-213	TP321H	18Cr-10Ni-Ti	75,000	—	18,750	14,150	12,900	—	12,000	11,350	11,150	10,950	10,750	10,600	10,450	8,800	5,350	3,150	1,850	1,100	
Seamless low-alloy steel																					
SA-213	T2	½ Cr-½ Mo	60,000	—	15,000	15,000	15,000	—	15,000	15,000	15,000	15,000	14,400	12,500	6,250	—	—	—	—	—	
Electric-resistance-welded carbon steel																					
SA-178	A	—	(47,000)	(1)(3)(5)(6)	—	—	—	11,750	11,750	11,750	11,750	11,500	7,650	4,250	1,300	—	—	—	—	—	
SA-178	C	—	60,000	(1)(3)(5)	—	—	—	15,000	15,000	15,000	15,000	14,350	9,200	4,250	1,300	—	—	—	—	—	



No	Nama Peralatan	Spesifikasi	Unit	QTY	Material
1	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
2	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
3	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
4	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
5	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
6	Spring	1/2"	1	1	Stainless Steel
7	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
8	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
9	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
10	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
11	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
12	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
13	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
14	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
15	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
16	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
17	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
18	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
19	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
20	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
21	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
22	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
23	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
24	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel
25	Valve Pengatur	1/2"	1	1	Stainless Steel

