

SCHOTS BOILER

TUGAS AKHIR

Nomor : 353 / FT. USD / TM /2003

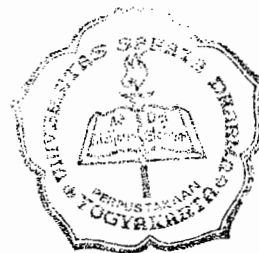
Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S – 1

Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin



Diajukan oleh :

Y. KRISNADI TRI NUGROHO
NIM : 995214030



Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANATA DHARMA
YOGYAKARTA
2004**



TUGAS AKHIR PROGRAM S-1 JURUSAN TEKNIK MESIN

Nomor : 353/ FT_USD / TM / September / 2003

Diberikan kepada :

Nama Mahasiswa : Y. Krisnadi Tri Nugroho

Nomor Mahasiswa : 995214030

NIRN : -

Jurusan : TEKNIK MESIN

Fakultas : TEKNIK

Matakuliah : Generator Uap & Gas

Judul / naskah soal :

Rancang suatu " SCOTTS BOILER " dengan kapasitas 30 ton / jam, Bahan bakar :
batu bara Perancangan disertai gambar yang lengkap ! Tekanan ~~kayu~~ : 16 Barg.
luka

Tanggal dimulai : 10 September 2003

Pembimbing Kedua

(Budi Sugiharto, S.T., M.T.)

Yogyakarta, 10 September 2003
Dosen Pembimbing Utama

(Ir. YB. Lukiyanto, M.T.)

SCHOTS BOILER

Tugas Akhir

Nomor Soal : 353 / FT USD / TM / September /2003

Oleh :

Y. Krisnadi Tri Nugroho

NIM : 995214030

Telah disetujui oleh :


Pembimbing Utama :



(Ir. YB. Lukiyanto, M.T.)

Tanggal :

Pembimbing Kedua :



(Budi Sugiharto, S.T., M.T.)

Tanggal :

TUGAS AKHIR

Nomor : 353 / FT USD / TM / September /2003

SCHOTS BOILER

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

NAMA : Y. Krisnadi Tri Nugroho

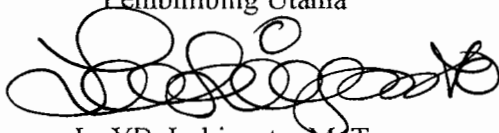
NIM : 995214030

Telah dipersiapkan di depan Dewan Penguji

Pada Tanggal 25,.....Juli.....2004

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing Utama




Ir. YB. Lukiyanto, M. T.

Anggota Dewan penguji




Yosef Agung Cahyanta, ST., MT.

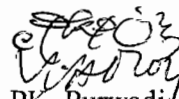
Pembimbing Kedua



Budi Sugiharto, S.T., M.T.



Ir. FA. Rusdi Sambada, MT.



Ir. PK. Purwadi, MT.

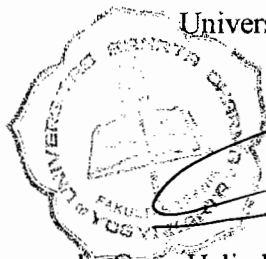
Tugas akhir ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Yogyakarta,.....,2004

Fakultas Teknik

Universitas Sanata Dharma

Yogyakarta



Dekan



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

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

- ☞ Jadilah garam dan terang dunia, karena walaupun kamu kecil tetapi mempunyai nilai guna yang besar.

- ⚡ Perhatikanlah hitungan awalmu, sebelum kamu akan melangkah lebih maju.

- 🎯 Janganlah kamu lupa akan makan dan berolah raga, karena di dalam tubuh yang sehat akan tercipta jiwa yang kuat.

- ☞ Janganlah kamu lupa berdoa dan berterimakasih kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala karunia yang Ia berikan kepada kita.

KUPERSEMBAHKAN BUAT :

1. Ayah dan Ibu yang tercinta
2. Kakak - kakakku
3. Sahabat dan teman - temanku
4. Seseorang yang akan selalu aku sayangi
5. Diriku sendiri

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Allah Bapa di Surga, yang telah melimpahkan rahmat dan berkat – NYA, sehingga penyusun tugas akhir dengan judul “SCHOTS BOILER” dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa dalam tugas akhir ini masih jauh dari sempurna akan tetapi dengan kemampuan yang ada saya mencoba menyelesaikan perancangan ini dengan harapan dapat berguna bagi diri saya sendiri dan bagi teman – teman yang membacanya.

Dalam menyusun perancangan ini, penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak yang berupa bimbingan, dorongan, petunjuk, saran – saran dan lain – lain. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Greg.Heliarko,SJ.,SS.,B.ST.,MA.,M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
2. Ir. YB. Lukiyanto, M. T., selaku dosen pembimbing utama dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Budi Sugiharto, S. T., M. T., selaku dosen pembimbing kedua dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Semua staf dan karyawan Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sanata Dharma.
5. Perpustakaan Universitas Sanata Dharma dengan berbagai macam koleksi buku – bukunya.

6. **Bapak** dan **Ibu** di rumah yang selalu memberikan doa, bantuan dan dukungan baik secara moril dan materiil sampai terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini.
7. Temanku **Wuri** yang telah membantu meminjamkan buku – buku di perpustakaan.
8. Temanku **Justo** yang dapat diajak berdiskusi untuk terselesaikannya tugas akhir ini.
9. Temanku **Gatot** yang telah menemani dalam ujian pendadaran.
10. **“Si Hitam dan Si Putih”** yang selalu membuat aku dapat tertawa.

Akhirnya saya berharap semoga penulisan tentang tugas akhir ini benar – benar dapat bermanfaat dan penulis juga berharap agar mendapatkan saran dan kritik demi tercapai kesempurnaan dalam penulisan tugas akhir ini.

Yogyakarta 17 Mei 2004

Y. Krisnadi Tri Nugroho

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 pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 15 Mei 2004

Y. Krisnadi Tri Nugroho

INTISARI

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 sebagai pemanas atau tenaga pembangkit.

Disini penulis akan merencanakan generator uap Schots (*Schots Boiler*). Generator uap ini merupakan jenis generator uap pipa – pipa api. Dengan spesifikasi di bawah ini :

Kapasitas : 30 ton/jam

Tekanan : 16 Barg

Temperatur : uap jenuh

Bahan bakar : batu bara

ABSTRACT

From various researches, the former experts invent that steam is an effective source to produce the energy needed for the industrial machines and transportation.

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 heater or power plant.

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

Capacity	: 30 ton/hour
Pressure	: 16 barg
Temperature	: Saturated steam
Fuel	: Coal

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
PERNYATAAN	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Tinjauan umum	1
1.2 Klasifikasi generator uap	3
BAB II PERANCANGAN KETEL UAP	26
2.1 Dasar perencanaan	26
2.2 Pemilihan jenis generator uap	26
2.3 Batasan masalah	27
2.4 Kebutuhan kalor dalam generator uap	27
BAB III PROSES PEMBAKARAN BAHAN BAKAR	29
3.1 Bahan bakar	29
3.2 Peralatan proses pembakaran	31
3.3 Analisis bahan bakar	39



	3.4	Nilai pembakaran	41
	3.5	Kebutuhan bahan bakar	42
	3.6	Kebutuhan udara untuk pembakaran	43
	3.7	Perhitungan temperatur pembakaran	45
BAB IV		PERHITUNGAN PERPINDAHAN PANAS PIPA – PIPA API	49
	4.1	Pengertian perpindahan panas	49
	4.2	Perhitungan perpindahan panas pada bagian ruang bakar	51
	4.3	Perhitungan perpindahan panas pada bagian kotak api ...	55
	4.4	Lorong api dan silinder api	57
	4.5	Pipa – pipa api	59
	4.6	Perhitungan perpindahan panas pada pipa – pipa api lalu pertama	61
	4.7	Perhitungan perpindahan panas pada pipa – pipa api lalu kedua	71
BAB V		PERHITUNGAN KEKUATAN	77
	5.1	Silinder generator	77
	5.2	Silinder api	79
	5.3	Pipa – pipa api	80
	5.4	Perhitungan penahan “ Stay”	80
	5.5	Perhitungan sambungan las	82
BAB VI		ISOLASI GENERATOR	87
	6.1	Perancangan isolasi pada silinder generator	88

	6.2	Perancangan isolasi pada tutup belakang silinder generator	92
BAB VII		EFISIENSI GENERATOR	96
	7.1	Efisiensi dengan cara langsung	96
	7.2	Efisiensi tidak langsung	98
BAB VIII		CEROBONG	100
	8.1	Perancangan cerobong	105
	8.2	Perhitungan hambatan gas asap	110
	8.3	Daya fan dan motor penggerak	116
BAB IX		ALAT – ALAT PERTOLONGAN DAN PERLENGKAPAN GENERATOR UAP	120
	9.1	Gelas penduga	120
	9.2	Katup keamanan	121
	9.3	Manometer	126
	9.4	Peluit bahaya	127
	9.5	Garis api	128
	9.6	Pompa air isian	128
	9.7	Katup pengisi dan penutup air isian	132
	9.8	Katup penguras (<i>blow down valve</i>)	133
	9.9	Sumbat leleh	134
	9.10	Alat pengatur otomatis	135
BAB X		AIR ISIAN GENERATOR	140
	10.1	Kesadahan air	142

10.2	Pencegahan terbentuknya kerak.....	143
10.3	Menghilangkan suspensi padat	151
10.4	Pencegahan korosi	152
BAB XI	OPERASI DAN PERAWATAN	155
11.1	Pengoperasian generator	155
11.2	Perawatan	156
BAB XII	KESIMPULAN DAN PENUTUP	160
12.1	Kesimpulan	160
12.2	Penutup	161
DAFTAR PUSTAKA	162

DAFTAR GAMBAR

1.1	Generator Cornwall	5
1.2	Generator Lancashire	6
1.3	Generator Schots tiga lorong	9
1.4	Generator Schots lorong tunggal	10
1.5	Penampang generator lokomotif	12
1.6	Penampang generator lokomotif	13
1.7	Generator Tegak dan Cochran	14
1.8	Generator Kombinasi	15
1.9	Generator Seksi	21
1.10	Beberapa variasi generator Seksi	22
1.11	Generator Yarrow	23
1.12	Generator uap pancaran dengan rangka bakar rantai	25
3.1	Atmospheric gas burner	32
3.2	Reflector gas burner	33
3.3	Fan mix burner	33
3.4	Burner minyak atomisasi	35
3.5	Burner minyak dengan mangkok putar	35
3.6	Kisi pemuatan bawah pembuangan abu sampling, tabung tunggal pemuatan mendatar	36
3.7	Penyerbuk Rol dan pacu tipe MPS B & W	37

3.8	Sistem bantalan udara untuk batu bara	38
3.9	Dapur Siklon	39
4.1	Jenis – jenis profil gelombang pada silinder api	59
4.2	Bagan perpindahan panas pada pipa	61
4.3	Proses perpindahan suhu	62
4.4	Konstanta Reynold berdasarkan diameter dalam pipa dan temperatur gas film	65
4.5	Konduktansi panas konveksi dasar pada aliran memanjang dari hubungan massa velocity udara, gas atau uap dengan berbagai diameter pipa	67
4.6	Pengaruh film temperatur pada faktor fisik untuk gas pada aliran memanjang	67
4.7	Faktor temperatur karena perubahan massa velocity dari keseluruhan lapisan film dasar untuk gas dalam aliran memanjang	68
8.1	Sistem tarikan isap	102
8.2	Sistem tarikan tekan	103
8.3	Sistem tarikan kombinasi isap dan tekan	104
8.4	Diameter cerobong yang disarankan berdasarkan jumlah aliran gas asap	106
8.5	Hubungan antara temperatur gas asap keluar cerobong dengan dimensi cerobong	107

8.6	Tinggi cerobong yang dibutuhkan untuk suatu harga tarikan cerobong dan temperatur rata – rata gas di dalam cerobong	108
8.7	Faktor gesekan berdasarkan hubungan angka reynold dan diameter cerobong	109
8.8	Viskositas absolut beberapa gas pada tekanan atmosfer	111
8.9	Kekerasan relatif dari berbagai permukaan	112
8.10	Diagram faktor gesekan	113
8.11	Diagram Psychometric	117
8.12	Kurva sifat – sifat istimewa fan	118
9.1	Konstruksi gelas penduga	121
9.2	Konstruksi alat keamanan dengan muatan tidak langsung	122
9.3	Konstruksi alat keamanan dengan muatan tidak langsung	123
9.4	Konstruksi alat keamanan muatan pegas tidak langsung	124
9.5	Konstruksi alat keamanan muatan pegas langsung	125
9.6	Manometer Bourdon	126
9.7	Peluit bahaya	127
9.8	Konstruksi injektor	129
9.9	Bagan pompa bekerja ganda	130
9.10	Pompa dupleks	131
9.11	Rumah – rumah keran tingkap pengisi air generator	132
9.12	Rumah – rumah keran tingkap penutup air generator	133
9.13	Katup penguras	134

9.14	Grafik daerah pengaturan	136
9.15	Silinder torak pada pengaturan berdasarkan tekanan	136
9.16	Modulating pressure control	137
9.17	Kontaktor transmitting magnet	138
10.1	Sistem pelunakan air dengan Hidrogen Zeolit	147
10.2	Sistem pelunakan air dengan Kapur Zeolit	148

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Tinjauan umum

Generator uap adalah pesawat yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap melalui proses pemanasan. Untuk memanaskan air menjadi uap diperlukan kalor atau panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar (padat, cair, gas). Proses pembakaran ini memerlukan oksigen yang diambil dari udara luar (lingkungan sekitar).

Tenaga dari generator uap yang berupa uap sering digunakan sebagai penggerak mula, maka uap yang dihasilkan harus mempunyai tekanan yang tinggi dengan kondisi uap panas lanjut (*superheated steam*). Untuk keperluan pemanas biasanya hanya digunakan *saturated steam* dan bila diperlukan uap panas lanjut maka suhunya harus dinaikkan sehingga temperaturnya lebih tinggi dari suhu jenuhnya.

Adapun ketentuan atau syarat – syarat generator uap yang ideal , agar uap yang dihasilkan dapat digunakan sesuai dengan tujuannya adalah sebagai berikut:

- a. Konstruksi sederhana sehingga pelayanan dan perawatannya mudah.
- b. Kapasitas uap yang dihasilkan, air yang digunakan dan kapasitas bahan bakar yang dibakar harus selalu seimbang, agar perubahan permukaan air dan tekanan kerja tidak terlalu besar atau diusahakan tetap.
- c. Uap harus mempunyai kesempatan untuk memisahkan diri dari air agar tidak ada kemungkinan ikutnya butir – butir air dalam uap.

- d. Konstruksi dapur harus memungkinkan bahan bakar terbakar dengan sempurna.
- e. Kemungkinan adanya tegangan akibat pemuaian harus dihindari, sehingga sambungan paku keling didaerah pemanas harus dihindari.
- f. Sirkulasi air harus sempurna yaitu dengan penempatan ruang bakar sebaik mungkin, agar suhunya selalu tetap atau hampir sama agar panas yang merata dapat dicapai diseluruh bagian dari generator uap.
- g. Generator harus dilengkapi dengan alat ukur dan alat keamanan yang baik.
- h. Bagian – bagian generator uap harus semudah mungkin untuk dibersihkan dan diperbaiki.
- i. Perhitungan perpindahan panas harus diperhatikan seefektif mungkin.

Dalam pemilihan dan perancangan generator uap harus diperhatikan beberapa faktor antara lain :

- a. Tekanan dan temperatur uap disesuaikan dengan kebutuhan (pemakaian)
- b. Kapasitas generator disesuaikan dengan pemakaian uap.
- c. Kualitas air yang ada dilingkungan sekitar.
- d. Jenis bahan bakar dan cara pembakaran.
- e. Biaya pembelian, operasi dan perawatannya.
- f. Tipe dan konstruksi generator uap yang sesuai.

1.2 Klasifikasi generator uap

Generator uap berdasarkan konstruksinya diklasifikasikan menjadi tiga golongan utama yaitu :

1. Generator uap lorong api
2. Generator uap pipa api
3. Generator uap pipa air

1. Generator Uap Lorong Api

Generator uap lorong api adalah generator yang memiliki saluran distribusi api dan gas melalui silinder api, dimana lorong – lorong api yang dibagian luarnya terdapat air atau uap. Generator jenis ini mempunyai isi air yang cukup besar sehingga bentuk luarnya seperti tangki dan karena itu sering disebut sebagai generator tangki. Konstruksi generator ini terdiri dari tangki berbentuk silinder, didalam tangki terdapat satu atau lebih silinder yang lebih kecil yang digunakan sebagai ruang bakar dan juga sebagai saluran gas asap hasil pembakaran. Silinder yang lebih kecil tersebut dipasang terendam dalam air. Hal ini dimaksudkan agar kalor yang diterima dari proses pembakaran dan juga dari gas asap dapat diserap dengan baik oleh air disekelilingnya. Silinder api dibuat bergelombang agar luas permukaan lebih besar, sehingga memperbesar perpindahan panasnya. Selain itu agar konstruksi lorong api lebih kaku sehingga lebih kuat menahan desakan dari luar dan tidak mudah berubah bentuk.

Keuntungan – keuntungan dari generator uap lorong api adalah :

- a. Konstruksi begitu sederhana sehingga perawatannya menjadi lebih mudah dan bisa menghemat biaya operasionalnya.
- b. Tidak begitu peka terhadap persyaratan kualitas air isian yang tidak begitu baik.
- c. Dapat melayani variasi kapasitas yang agak besar dikarenakan volume air yang ada didalam generator uap cukup besar dan jika diinginkan kapasitas yang lebih besar dapat diperbesar dengan menambah bahan bakar.

Kerugian – kerugian generator uap lorong api adalah :

- a. Tekanan kerja generator uap jenis ini sangat rendah (< 20 atmosfer)
- b. Efisiensinya rendah
- c. Kapasitas uap rendah (< 6 ton / jam), ini karena luas bidang pemanasnya rendah.

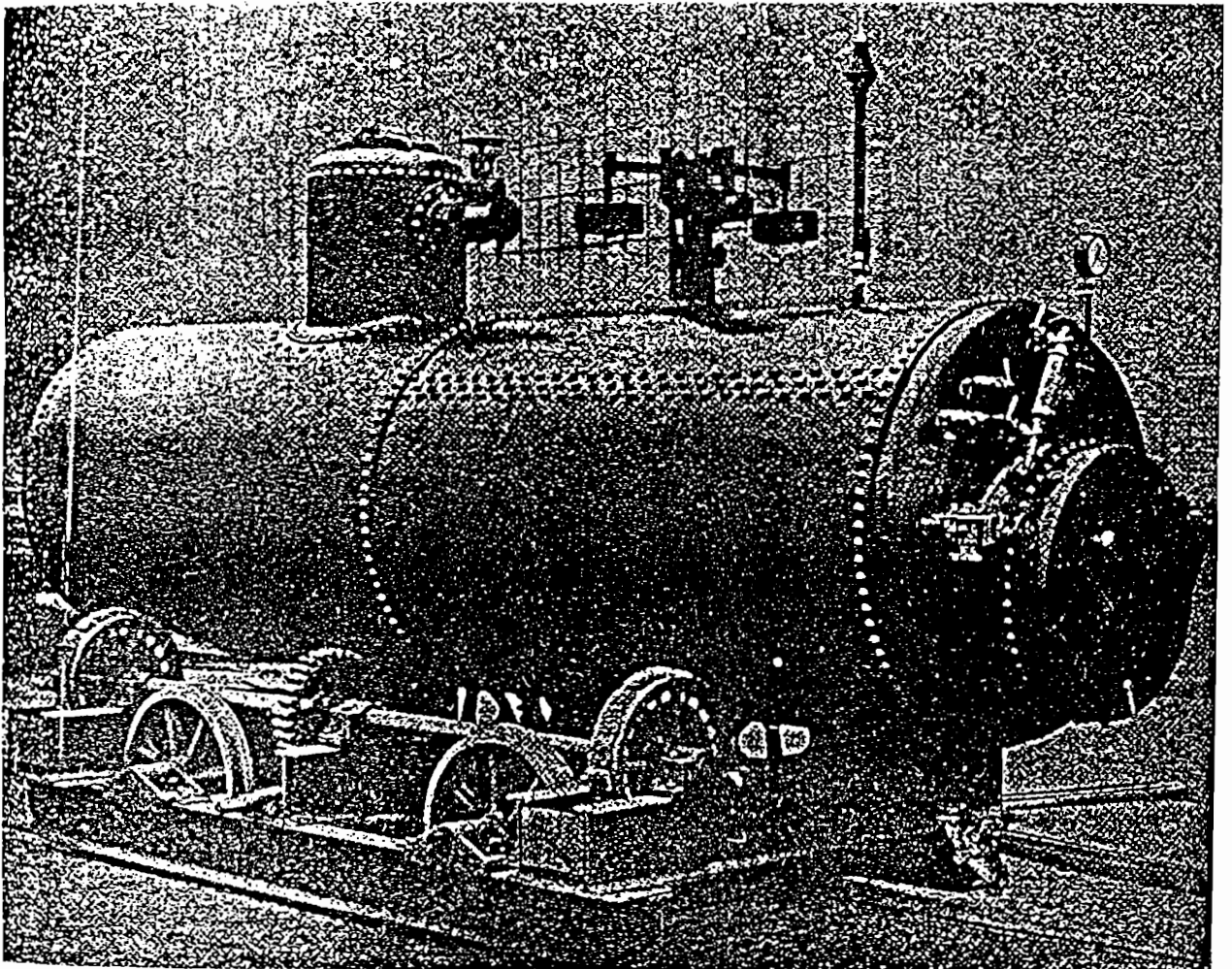
Yang termasuk dalam golongan generator uap jenis ini adalah :

- a. Generator Cornwall
- b. Generator Lancashire

- a. Generator Cornwall

Generator ini memiliki satu lorong api. Cara kerja generator ini ialah api dan gas akan memanasi bagian – bagian generator uap dengan urutan sebagai berikut, mula – mula api dan gas akan memanasi silinder api dari belakang ke depan, kemudian mencapai front depan

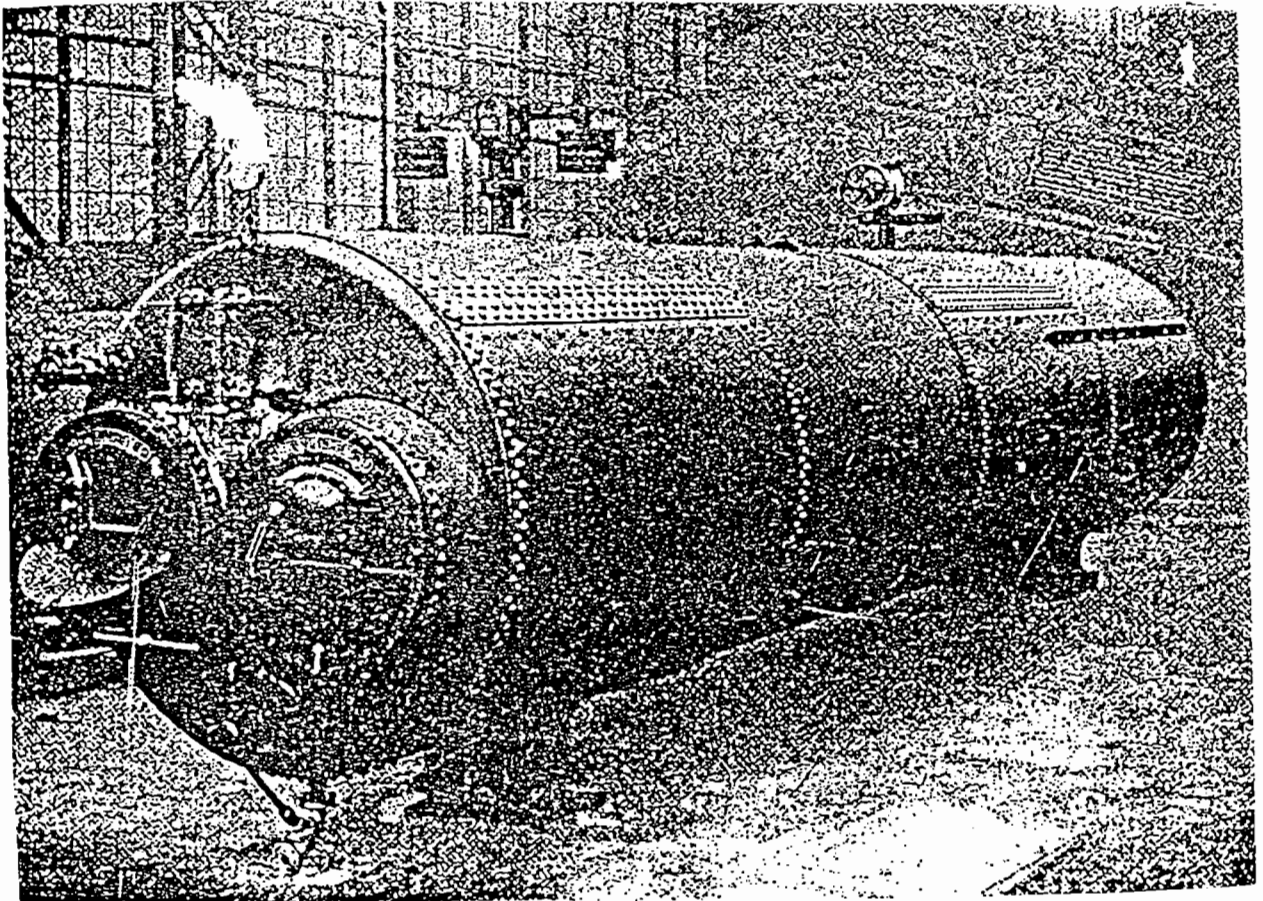
drum generator yang disebut *fire box* (kotak api), selanjutnya memanasi dasar drum generator bagian bawah dari depan kebelakang, kemudian melalui selokan gas asap dan mencapai lorong api disebelah kanan dan kiri drum generaor serta memanasi dinding drum generator sebelah kanan dan kiri dari belakang ke depan.



Gambar 1.1 Ketel Cornwall
Sumber. Chatab, pesawat – pesawat Kalori, hal. 18

b. Generator Lancashire

Pada generator ini proses dan cara kerjanya hampir sama dengan generator Cornwall, hanya generator Lancashire ada dua lorong api sebagai bidang pemanas.



Gambar 1.2 Generator Lancashire
Sumber: Ir.M.J. Djokosetyardjo, Ketel uap. Hal. 199

2. Generator Pipa – Pipa Api

Konstruksi dari generator pipa api terdiri dari sebuah tangki yang berbentuk silinder dan didalamnya terdapat susunan pipa – pipa kecil yang dialiri gas asap bersuhu tinggi. Pipa – pipa tersebut dikenal dengan nama pipa – pipa api karena didalamnya dialiri gas asap hasil pembakaran yang bersuhu tinggi. Pipa – pipa ini terendam didalam air, dengan demikian kalor dari gas asap yang mengalir dalam pipa – pipa itu akan diserap oleh air yang berada disekitar pipa – pipa tersebut. Pada umumnya generator uap pipa – pipa api mempunyai satu atau lebih lorong api, yang fungsinya sebagai ruang bakar. Generator jenis ini tekanan kerjanya jarang yang melebihi 20 atmosfer dan kapasitasnya tergolong rendah (< 10 ton / jam).

Keuntungan – keuntungan dari generator uap pipa – pipa api adalah :

- a. Luas bidang penghantar panas ke air lebih besar, sehingga kapasitasnya menjadi lebih besar.
- b. Volume air generator lebih kecil jika dibandingkan dengan luas bidang pemanas, sehingga pemanasan awalnya dapat lebih cepat dari generator uap lorong api.
- c. Efisiensi dapat lebih tinggi karena seluruh bagian yang dialiri gas asap bersuhu tinggi selalu bersinggungan dengan air, dengan demikian kalor yang terbuang keluar dapat dikurangi.

Kelemahan – kelemahan dari generator uap pipa - pipa api adalah :

- a. Konstruksi generator uap pipa – pipa api lebih rumit sehingga biaya perawatannya akan menjadi lebih mahal.

- b. Banyak bagian yang berupa bidang datar yang berakibat generator ini kurang kuat terhadap tekanan sehingga harus diberi penahan yang kuat.

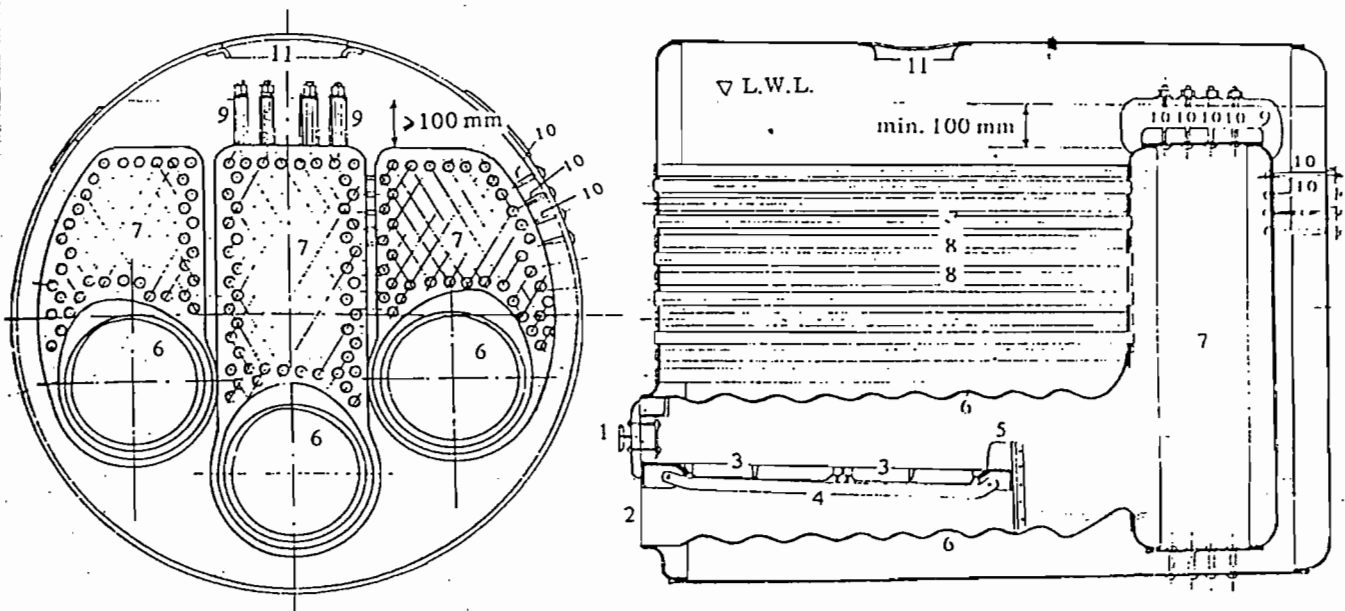
Yang termasuk dalam golongan generator pipa – pipa api antara lain :

- a. Generator Schots
- b. Generator Lokomotip dan Lokomobil
- c. Generator Tegak dan Generator Cochran
- d. Generator Kombinasi

a. Generator Schots

Generator ini mempunyai pipa – pipa api yang bermuara pada kotak api. Variasi generator Schots terletak pada jumlah kotak apinya (satu sampai tiga kotak api). Alat – alat dalam generator ini terdiri dari silinder api, kotak api, pipa – pipa api, dan penumpu. Penumpu terdiri dari batang rangka bakar, penyangga rangka batang bakar, tumpuan jembatan api, serta baut – baut dan mur – mur penunjang. Generator pipa – pipa api konstruksinya terdiri dari suatu tangki yang berisi air, yang didalamnya terdapat susunan pipa – pipa kecil yang dialiri gas asap bersuhu tinggi. Pipa – pipa ini terendam oleh air, sehingga kalor dari gas asap yang mengalir dari pipa – pipa tersebut akan terserap oleh air disekelilingnya. Biasanya generator ini mempunyai lorong api yang berfungsi sebagai ruang bakar. Rangkaian proses pembakaran dimulai dari api dan gas asap yang mengalir dari rangka bakar yang ada pada silinder api, kotak api,

pipa – pipa api dan berakhir keluar melalui cerobong asap. Pada gambar 1.3 ditunjukkan jenis generator Schots tiga lorong, dan gambar 1.4 menunjukkan jenis generator Schots lorong tunggal.

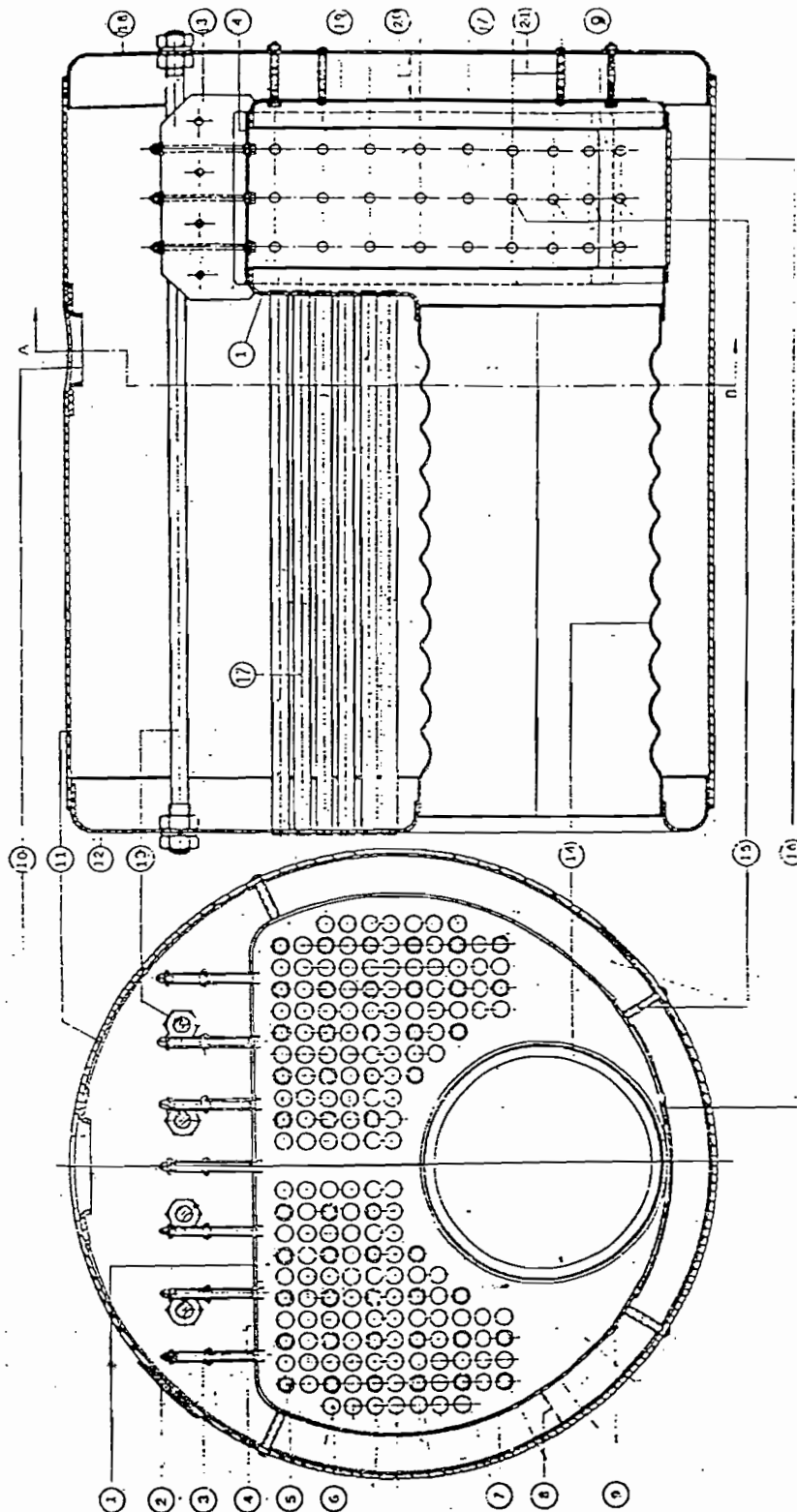


KETEL SCHOTS

KETERANGAN:

- | | |
|-----------------------------------|---|
| 1 = Pintu bahan bakar | 6 = Silinder api |
| 2 = Pintu angin bawah | 7 = Kotak api (<i>Flame case</i>) |
| 3 = Batang-batang rangka bakar | 8 = Pipa-pipa api (<i>Fire pipes</i>) |
| 4 = Penyangga batang rangka bakar | 9 = Jembatan penunjang |
| 5 = Jembatan api | 10 = Baut-baut dan mur-mur penunjang |
| | 11 = Lubang orang (<i>man hole</i>) |

Gambar 1.3 Generator Schots tiga lorong
Sumber: Ir.M.J. Djokosetyardjo, Ketel uap. Hal. 203

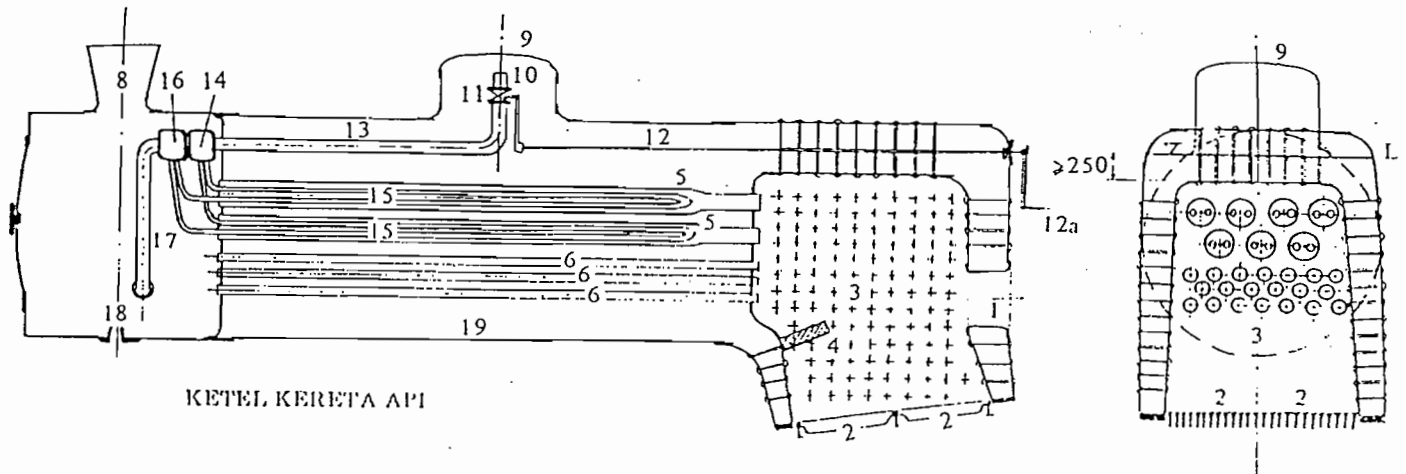


- | | | | |
|--|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1. belat-pipa lemari-nyala 2. kumpuh-memanjang 3. lumpuan-jembatan 4. pelat-puncak lemari-nyala 5. pipa-lumpu 6. pipa-nyala | <ul style="list-style-type: none"> 7. dinding-stal lemari-nyala 8. sepaai-air diantara badan-ketel dan dinding-stal lemari-nyala 9. kumpuh-lumpuk 10. lobang-lalu-rang dengan cincin-pengukuh 11. badan-ketel | <ul style="list-style-type: none"> 12. Iron-huka 13. lumpuan-memanjang 14. Jalan-api berombak 15. bant2-semat diantara pelat-datar berturut2 dinding-stal lemari-nyala dan badan-ketel 16. pelat-dasar lemari-nyala yang ditebakkan | <ul style="list-style-type: none"> 17. berkat pipa2-nyala dan pipa2-lumpu 18. Iron belakang 19. dinding-belakang lemari-nyala 20. sepaai-air diantara dinding-belakang lemari-nyala dan Iron-belakang kelai 21. baut2-semat diantara dinding-belakang lemari-nyala dan Iron-belakang ketel |
|--|--|--|---|

Gambar 1.4 Generator Schots lorong tunggal
 Sumber: Ir.M.J. Djokosetyardjo, Ketel uap. Hal. 263

b. Generator Lokomotif dan Lokomobil

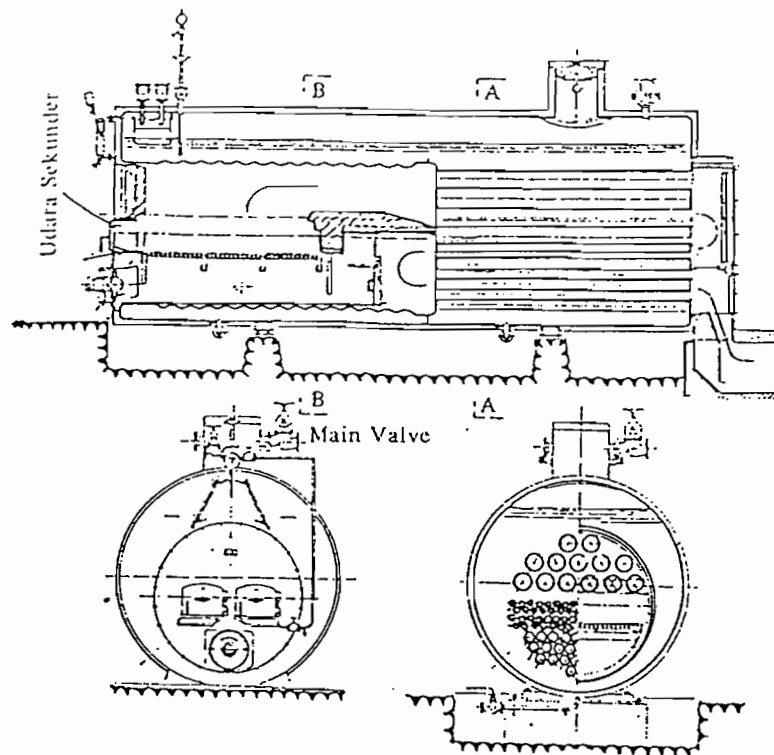
Generator Lokomotif dan Lokomobil adalah generator yang dapat bergerak (dapat dipindahkan). Konstruksi generator Lokomotif pada bagian generator terdapat sebuah tungku sebagai kotak api dan di bagian bawah tungku terdapat rangka bakar yang digunakan untuk membakar bahan bakar padat (kayu, batu bara), tetapi jika menggunakan bahan bakar cair (minyak) dipasang pembakar (*burner*). Pada ujung depan generator terdapat kotak asap (*smoke box*) dimana seluruh pipa api dan tabung api bermuara. Pada bagian atasnya terdapat sebuah tabung yang berfungsi sebagai pambagi uap kenyang (*saturated steam header*) yang menerima uap kenyang dari dom uap (*steam dome*) melalui pipa penyalur uap. Gambar 1.5 adalah contoh gambar penampang generator Lokomotif, dan gambar 1.6 menunjukkan gambar penampang generator Lokomobil.



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 1.5 Penampang generator Lokomotip
 Sumber : Ir. M. J. Djokosetyardjo, Ketel Uap, hal. 210

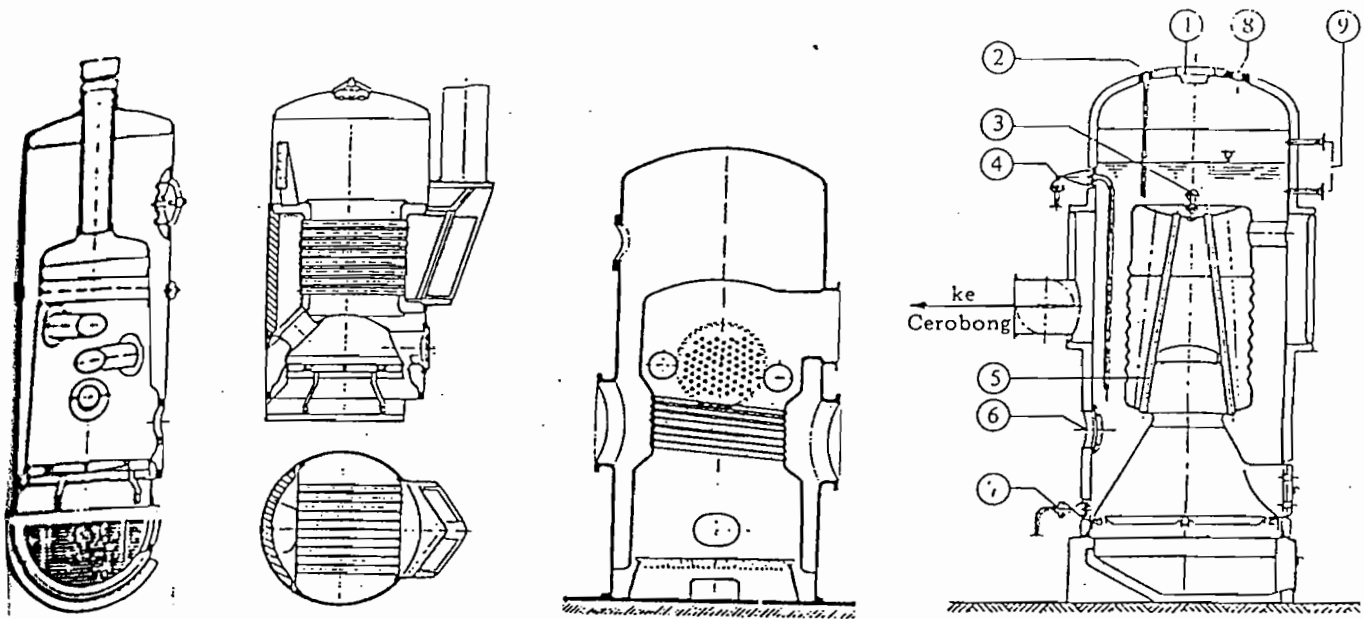


Gambar 1.6 Penampang generator Lokomotif
 Sumber : Ir. M. J. Djokosetyardjo, Ketel Uap, hal. 211

c. Generator Tegak, Generator Cochran dan variasinya

Generator pipa – pipa api tegak ini biasanya dilengkapi dengan pipa – pipa silang yang berfungsi untuk memperluas bidang pemanas sehingga air dapat menerima panas yang lebih besar, untuk penguat lorong api agar tidak mudah berubah bentuk karena mendapat desakan dari air di sekelilingnya, dan berfungsi pula untuk menghemat aliran gas asap agar tidak terlalu cepat mengalir keluar, sehingga panas yang diserap air lebih banyak. Dengan jumlah produksi uap yang kecil (0,2 – 1,0 ton uap per

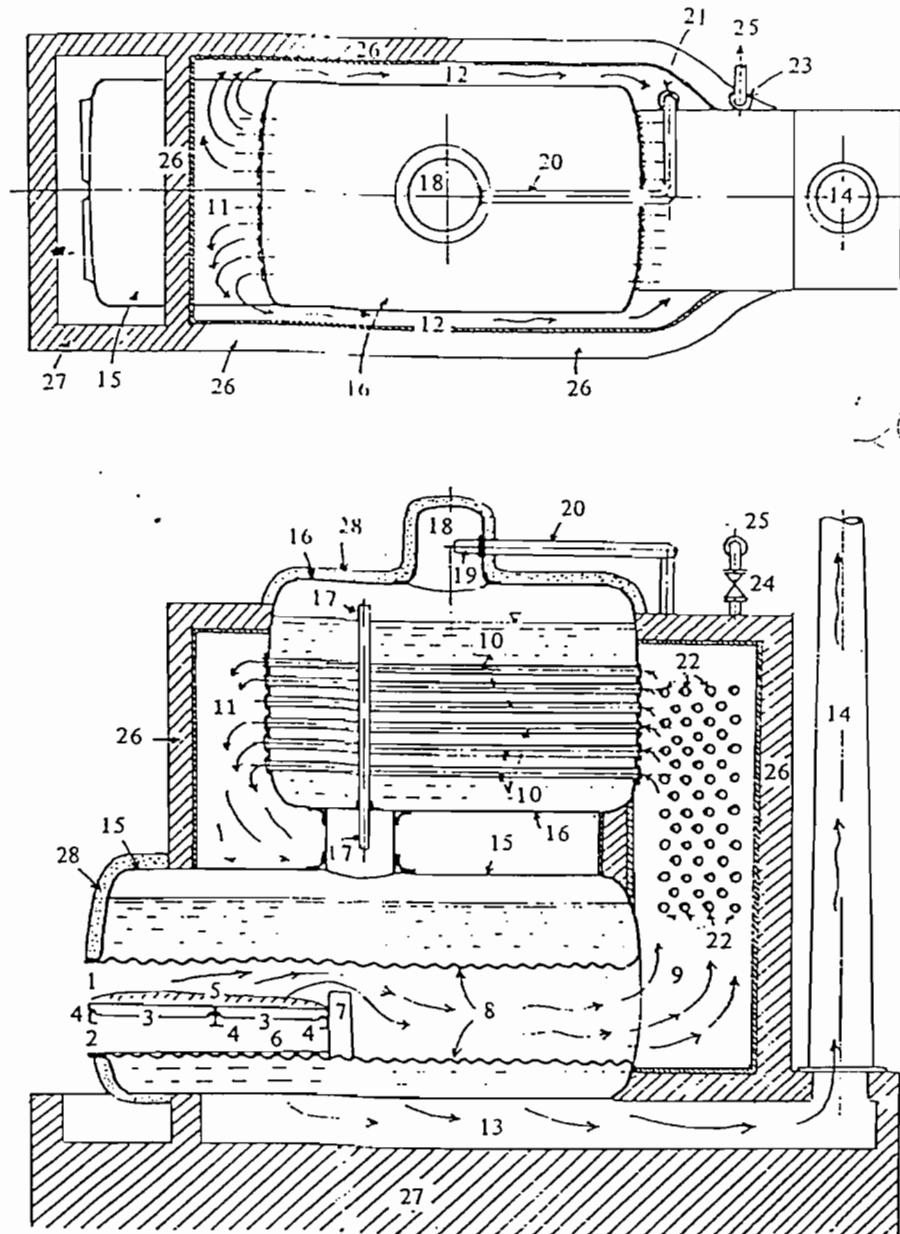
jam) generator Tegak dan Cochran umumnya digunakan untuk melayani mesin – mesin pengangkat atau mesin – mesin pemancang tiang pancang dan dapat dipindah – pindahkan. Gambar 1.7 menunjukkan generator Tegak dan Cochran.



Gambar 1.7 Generator Tegak dan Cochran
Sumber : Ir. M. J. Djokosetyardjo, Ketel Uap, hal: 215

d. Generator Kombinasi

Konstruksi generator ini membutuhkan dua buah drum yang diletakkan atas dan bawah dengan pembagian drum bagian bawah berisi silinder – silinder api sedangkan bagian atas pipa – pipa api. Sebagai penghubung antara drum bagian bawah dan atas terdapat kotak api yang terbuat dari tembok – tembok batu tahan api, dan sekaligus dipasang pemanas lanjut uap atau pemanas air awal (water pre- heater). Gambar 1.8 menunjukkan gambar penampang Generator Kombinasi.



Gambar 1.8 Generator Kombinasi

Sumber : Ir. M. J. Djokosetyardjo, Ketel Uap, hal: 207

3. Generator Pipa Air

Generator pipa air adalah generator uap yang bagian pendidihannya terdiri dari susunan pipa – pipa yang dialiri air yang harus dididihkan, sedangkan gas asap sebagai pemanasnya mengalir di luar pipa. Generator ini biasanya mempunyai sebuah tangki air yang berfungsi sebagai tempat pemisahan antara uap dan air. Dibandingkan dengan generator uap lorong api generator ini mempunyai kelebihan – kelebihan sebagai berikut :

- a. Dapat digunakan sebagai generator dengan tekanan kerja tinggi
- b. Mempunyai kapasitas yang lebih besar
- c. Volume air isian kecil (relatif kecil)
- d. Efisiennya lebih tinggi

Adapun kelemahan -- kelemahannya adalah ;

- a. Konstruksinya tidak sederhana lagi, sehingga perawatan dan perbaikannya lebih mahal.
- b. Memerlukan kualitas air isian yang lebih baik dibandingkan dengan generator uap jenis lainnya.

Generator pipa – pipa air umumnya bertekanan antara 45 kg/cm^2 sampai dengan 140 kg/cm^2 dengan produksi uap mencapai 1000 ton uap per jam. Berdasarkan sirkulasi air didalam generator uap, generator uap pipa – pipa air dibedakan atas :

- a. Generator uap pipa – pipa air sirkulasi alam (Natural circulation water tubes boiler)

- b. Generator uap pipa – pipa air sirkulasi paksa (Forced circulation water tubes boiler)

3.1 Generator uap pipa – pipa air sirkulasi alam (Natural circulation water tubes boiler)

Proses terjadinya sirkulasi alam di dalam generator uap pipa – pipa air disebabkan perbedaan berat jenis air yang dipanasi dengan air yang tidak dipanasi. Pipa – pipa air dalam generator dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu :

Kelompok I : Kelompok pipa – pipa air yang tidak dipanasi, atau bila mendapatkan pemanasan adalah gas asap yang suhunya telah turun.

Kelompok II : Kelompok pipa – pipa air yang mendapatkan pemanasan dari gas asap suhu tinggi.

Pada ujung kedua kelompok pipa tersebut dipasang pada tangki generator atas atau *header* atas, begitu juga dengan ujung yang bawah.

Air yang berada pada susunan pipa – pipa kelompok I yang kurang mendapatkan panas tidak akan sampai mendidih, sehingga pada pipa – pipa ini berisi air yang tidak bercampur dengan uap. Susunan pipa – pipa kelompok II dipanasi, sehingga air yang ada didalamnya akan mendidih, yang berarti di dalam pipa ini berisi air dan uap. Dikarenakan berat jenis air lebih besar dari pada berat jenis campuran antara air dan uap hal ini menyebabkan terjadinya sirkulasi air sebagai berikut :

- a. Air di dalam kelompok pipa II mengalir ke atas, kelompok pipa disebut pipa – pipa naik (*riser tubes*)
- b. Air di dalam kelompok pipa I mengalir kebawah, kelompok pipa ini disebut pipa – pipa turun (*down comer tubes*)

Jika air didalam generator telah mendidih, suhu air di dalam tangki dan pada *down comer tubes* serta pada *riser tubes* menjadi sama besar, yaitu sama dengan titik didih air. Karena pemanasan pada *riser tubes* tetap berlangsung, air dalam *riser tubes* akan mendidih dan lainnya berubah menjadi uap, maka akan terjadi sirkulasi sebagai berikut:

- a. Campuran air dan uap pada *riser tubes* akan mengalir ke atas dan masuk ke *header* atas. Didalam *header* atas tersebut uap air akan terpisah dan lepas ke atas permukaan air didalam tangki.
- b. Air dalam *down comer tubes* mengalir turun, kemudian masuk ke *header* bawah sehingga air masuk ke *riser tubes* lagi.

Sirkulasi air di dalam generator uap pipa – pipa air terus terjadi selama pemanasan berlangsung. Karena air di dalam *riser tubes* mendidih, maka *riser tubes* disebut juga pipa – pipa mendidih. Sirkulasi ini dimaksudkan agar dicapai penyerapan panas yang sempurna dan pemuatan yang merata. Ketika bersirkulasi kecepatan air didalam pipa – pipa didih diusahakan pada kecepatan yang optimum, yang harganya tergantung pada tekanan kerjanya ataupun sedikit lebih cepat. Kecepatan aliran yang terlalu besar akan menyebabkan penyerapan kalor yang terlalu rendah. Sedangkan untuk kecepatan

aliran yang terlalu lambat, selama masih berbentuk air, penyerapan panasnya baik. Apabila kadar uap dalam pipa – pipa didihnya meningkat terlalu banyak akan dapat mengakibatkan uap terpisah dari air lalu melapisi permukaan dalam pipa - pipa didih air, hal ini dapat menyebabkan :

- a. Suhu pipa – pipa didih menjadi lebih tinggi dari suhu air yang mengalir di dalamnya. Jika suhu pipa – pipa ini lebih tinggi dari suhu yang direncanakan, maka pipa – pipa ini akan rusak karena semakin tinggi suhunya walaupun untuk beban yang konstan akan menyebabkan tegangan tarik yang diijinkan menjadi turun.
- b. Penyerapan kalor dari gas asap menjadi turun.

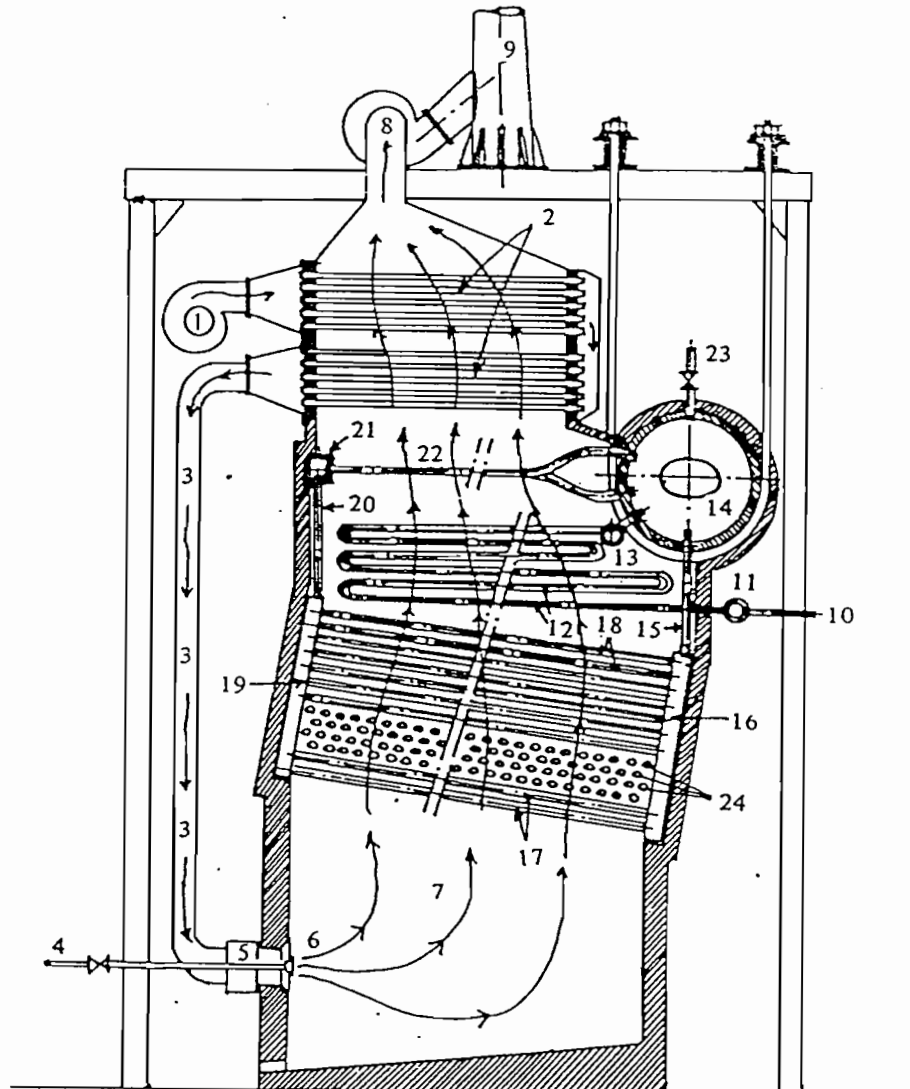
3.2 Generator Uap Pipa – Pipa Air Sirkulasi Paksa

Pada generator uap tekanan kerja yang tinggi, perbedaan berat jenis air dan uap tidak begitu besar, sehingga tidak akan mampu lagi menimbulkan sirkulasi di dalam generator. Maka sirkulasi air di dalam pipa terpaksa dilakukan dengan bantuan pompa. Generator uap seperti ini disebut dengan generator uap pipa – pipa air sirkulasi paksa. Pada generator ini sirkulasi air tidak tergantung pada pemanasan sehingga tangki air dan uap dapat ditempatkan selalu pada bagian atas konstruksi generator uap, sehingga lebih fleksibel dalam perencanaannya. Pipa – pipa yang digunakan biasanya berdiameter kecil dan laju pembakarannya dapat

tinggi tanpa adanya bahaya *overheating*. Kapasitas air yang dipompakan mengalir di dalam pipa - pipa sama besar dengan kapasitas uap yang di hasilkan, sehingga air yang mengalir dalam pipa – pipa didih seluruhnya berubah menjadi uap. Generator ini memerlukan tangki pemisah antara air dan uap, karena saat keluar dari pipa – pipa didih tidak seluruhnya dalam bentuk uap. Beberapa contoh generator uap pipa - pipa air dan variasinya adalah:

- a. Generator Seksi (*Section Boiler*) dan variannya
 - b. Generator Yarrow dan generator berpipa terjal serta beberapa variannya
 - c. Generator Pancaran
-
- a. Generator Seksi (*Section Boiler*) dan Variannya

Dari gambar 1.9 terlihat adanya sebuah drum generator yang berdiameter sekitar 120 – 160 cm. Dari dasar drum generator ini terdapat pipa – pipa turun (*down comer's pipes*) yang berdiameter sekitar 10 cm. Pipa – pipa turun tersebut berakhir di bawah pada kotak – kotak seksi (*water section boxes*), yaitu berupa kotak air yang dibuat berkelok – kelok, pada setiap lekukan tersebut terdapat pipa – pipa penguap air atau *evaporator's pipes*, yang berdiameter 6 sampai 8 cm, pipa – pipa ini ditempatkan di daerah pancaran api ataupun di daerah aliran gas asap atau daerah konveksi. Api atau gas asap mengalir diantara pipa – pipa dan memindahkan panasnya.

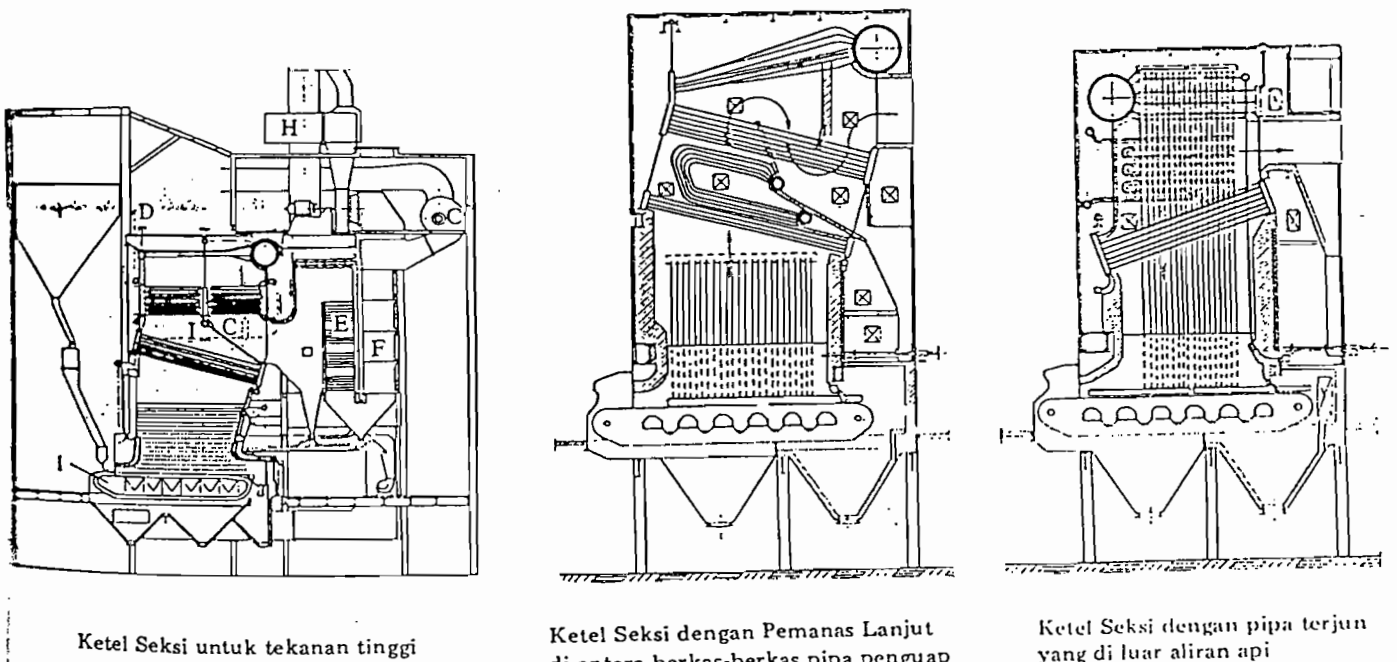


Gambar 1.9 Generator Seksi (*Section Boiler*)
 Sumber Ir. M.J. Djokosetyerdjo, Ketel Uap, Hal. 217

Satu seksi generator yang merupakan satu set seksi yang terdiri dari :

- a. Sebuah pipa turun (*down comer's pipe*)
- b. Sepasang kotak seksi air dan kotak seksi uap
- c. Sejumlah pipa – pipa penguapan air (*evaporator's pipe*)
- d. Sebuah pipa uap naik (*steam up – river pipe*)

Sehingga dengan demikian, satu set seksi tersebut merupakan sebuah generator mini, yang masing – masing terpisah antara satu dengan yang lain, sehingga generator tersebut disebut dengan generator seksi. Gambar 1.10 menunjukkan beberapa variasi generator seksi.

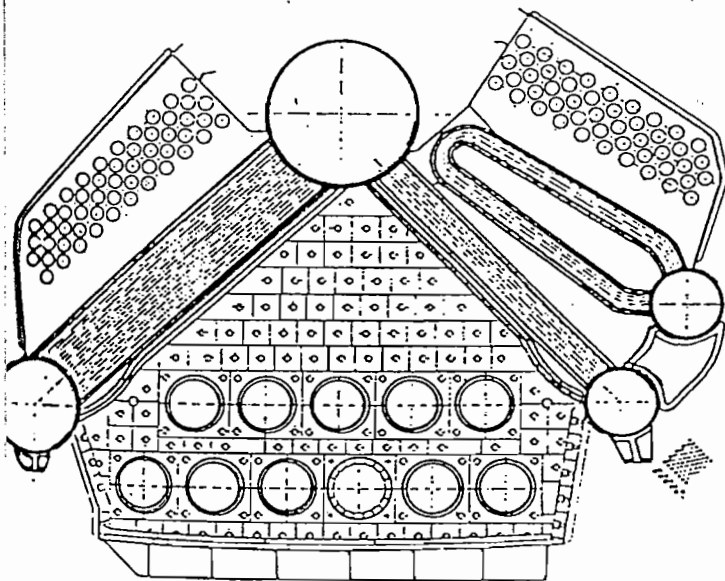


Gambar 1.10 Beberapa variasi Generator Seksi
Sumber Ir. M.J. Djokosetyerdjo, Ketel Uap, Hal. 223

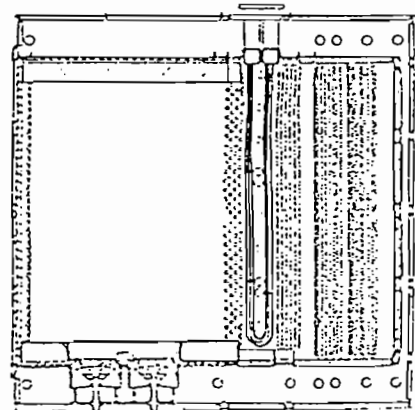
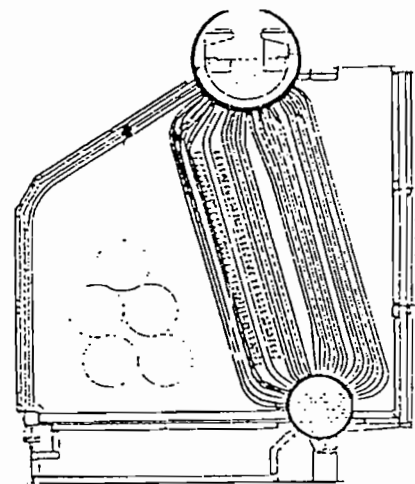
b. Generator Uap Yarrow

Generator uap Yarrow banyak digunakan pada kapal – kapal laut, namun ada juga yang dipasang di darat sebagai generator pembangkit uap untuk pembangkitan tenaga listrik. Tekanan kerja generator ini tidak melebihi 80 kgf/cm^2 , sedang kapasitasnya antara 30 – 80 ton / jam. Pada

generator Yarrow terdapat sebuah drum utama yang dipasang di atas. Drum ini dihubungkan oleh pipa – pipa penguap dengan dua buah drum bawah, dengan sudut kemiringan pipa – pipa penguap air lebih dari 20° . Gambar 1.11 menunjukkan gambar generator Yarrow.



Ketel Yarrow untuk Kapal laut

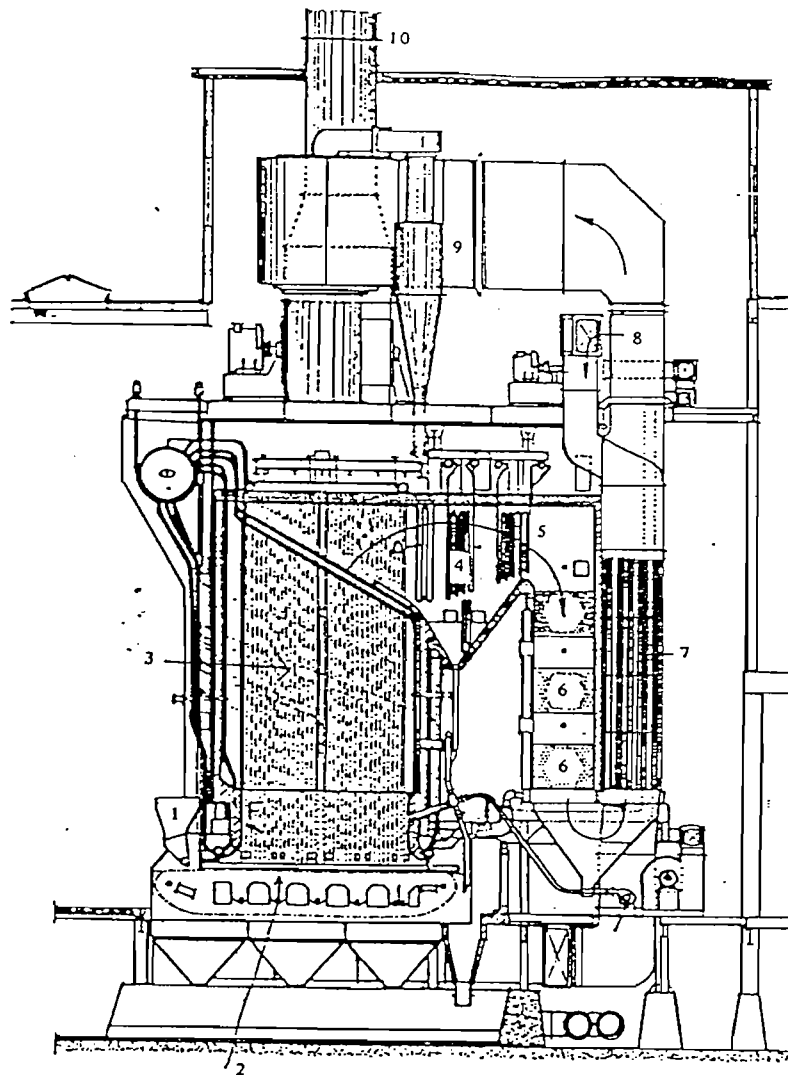


Ketel dua drum untuk Kapal laut

Gambar 1.11 Generator Yarrow
Sumber Ir. M.J. Djokosetyerdjo, Ketel Uap, Hal. 228

c. Generator Uap Pancaran

Pipa – pipa penguap pada generator pancaran ini keseluruhannya menerima panas secara pancaran (radiasi) dari api di dalam tungku, sehingga pipa – pipa penguap generator ini merupakan dinding tungku keseluruhannya. Dengan demikian, dinding tungku disebelah dalam akan dilapisi dengan pipa – pipa penguap yang berdiri vertikal. Adapun jarak antara pipa – pipa penguap tersebut besarnya disesuaikan dengan bahan bakar yang digunakan di dalam tungku. Generator pancaran dimaksudkan untuk mengusahakan agar panas yang terbentuk didalam tungku sebanyak – banyaknya diserap di daerah pancaran. Gambar 1.12 menunjukkan gambar generator uap Pancaran.



Ketel Pancaran dengan Rangka Bakar Rantai

- 1 = Corong batubara = Coal Hopper
- 2 = Rangka bakar rantai = Chain Grate
- 3 = Tungku Penguap = Furnace Evaporator
- 4 = Superheater II = Pemanas Lanjut II
- 5 = Superheater I = Pemanas Lanjut I
- 6 = Pemanas Air Awal = Ekonomiser
- 7 = Pemanas Udara = Air Pre-Heater
- 8 = Fan Tekan = Forced Draught Fan = F.D.F.
- 9 = Pengumpul Debu = Dust Collector

Gambar 1.12 Generator uap Pancaran dengan rangka bakar rantai
 Sumber Ir. M.J. Djokosetyerdjo, Ketel Uap, Hal. 245

BAB II

PERENCANAAN KETEL UAP

2.1 Dasar Perencanaan

Pada perancangan generator ini, akan direncanakan generator uap pipa – pipa api jenis Schots dengan data awal sebagai berikut:

- a. Kapasitas ketel : 30 ton/jam
- b. Temperatur : Jenuh
- c. Tekanan kerja ketel : 16 barg
- d. Bahan bakar : batu bara

2.2 Pemilihan Jenis Generator uap

Dibanding dengan generator uap lorong api, generator uap jenis pipa – pipa api memiliki luas permukaan pemanas lebih besar untuk kapasitas yang sama, sehingga pemanasan awalnya lebih singkat dan efisiensinya lebih tinggi. Air isian dirancang agar suhunya tidak kurang dari 176°F atau 80°C (diatas temperatur titik embun). Maksud dari air isian agar suhunya tidak kurang dari 80°C dikarenakan jika suhu uap dibawah 80°C maka akan terjadi kondensasi pada permukaan saluran gas buang. Hal ini dihindari karena dari cairan tersebut membawa sifat asam dan korosif. Bersifat demikian karena cairan ini mengandung sulfur dioksida dan sulfur trioksida.

2.3 Batasan Masalah

Sebagai batasan masalah dalam perancangan agar tidak terjadi kesalahpahaman maka berikut adalah batasan – batasan dalam perancangan generator uap ini :

1. Uap yang dihasilkan berbentuk uap jenuh jadi tidak mencapai uap panas lanjut sehingga tidak perlu memakai superheater.
2. Generator ini tidak memakai ekonomiser, hal ini di karenakan konstruksi dari generator jenis Schots ini tidak memungkinkan untuk dipasang ekonomiser.
3. Perancangan ini menitik beratkan pada masalah perancangan generator uap pipa – pipa api jenis Schots saja, tidak mencakup jenis generator lain.

2.4 Kebutuhan Kalor Dalam Generator Uap

Dalam perancangan generator uap kebutuhan kalor sangat penting untuk menghitung berapa panas yang dibutuhkan untuk mengubah sejumlah air menjadi uap jenuh.

Untuk menghitung kebutuhan kalor tersebut dihitung berdasarkan persamaan :

$$Q = Ma (h_u - h_a)$$

Dengan, $Q =$ panas yang dibutuhkan (Btu/jam)

$Ma =$ massa air yang dibutuhkan/direncanakan tiap jam

H_u = entalphy uap jenuh (Btu/jam)

H_a = entalphy air masuk generator (Btu/jam)

Sesuai dengan rencana :

$$M_a = 30 \text{ ton/jam} \sim 66079,295 \text{ lb/jam}$$

Berdasarkan Tabel II.1 (lampiran)

$$h_{u,1} = 1198 \text{ Btu/lb} \quad ; \text{ pada tekanan } 195,73 \text{ psia}$$

$$h_{u,2} = 1201 \text{ Btu/lb} \quad ; \text{ pada tekanan } 247,26 \text{ psia}$$

Berdasarkan interpolasi diketahui h_u pada 246,5 psia ialah $h_u = 1200,995 \text{ Btu/lb}$,

$$\text{suhu } (T_u) = 399,705 \text{ } ^\circ\text{F}$$

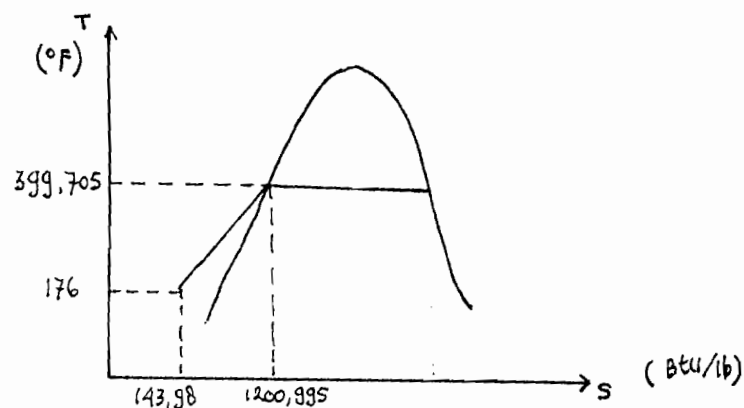
Berdasarkan Tabel II.2 (lampiran)

Berdasarkan interpolasi diketahui h_a pada 176 $^\circ\text{F}$ atau 80 $^\circ\text{C}$ ialah $h_a = 143,98$

Btu/lb

Maka,

$$\begin{aligned} Q &= M_a (h_u - h_a) \\ &= 66079,295 (1200,955 - 143,98) \\ &= 69844162,832 \text{ Btu/jam} \\ &= 73675277,249 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$



Gambar 2.1 Diagram pembentukan uap (T - S)

BAB III

PROSES PEMBAKARAN BAHAN BAKAR

3.1 Bahan Bakar

Pembakaran (oksidasi) adalah proses yang berlangsung pada temperatur tertentu dengan kecepatan reaksi yang tinggi dan menghasilkan panas. Proses pembakaran pada generator uap akan dilakukan pada ruang bakar. Hasil pembakaran pada ruang bakar akan digunakan sebagai pemanas air dalam generator. Bahan bakar (menurut Ir. Syamsir A Muin, hal 153) dibagi menjadi tiga golongan :¹⁾

1. Bahan bakar padat (solid fuel)
2. Bahan bakar cair (liquid fuel)
3. Bahan bakar gas (gaseus fuel)

Ketiga bahan bakar tersebut dapat digolongkan menjadi dua golongan yaitu :

1. a. Bahan bakar padat alami antara lain: kayu, batu bara
b. Bahan bakar padat buatan antara lain: arang kayu, kokas
2. a. Bahan bakar cair alami antara lain: bensin, kerosin, solar
b. Bahan bakar cair buatan antara lain: spirtus
3. a. Bahan bakar gas alami antara lain: methane, ethene, LNG, LPG
b. Bahan bakar gas buatan antara lain: coal gas, water gas

Dari berbagai macam jenis bahan bakar tersebut masing – masing memiliki komposisi unsur pembentuk dan energi potensial bakar yang berbeda – beda.

¹⁾ Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, Rajawali Jakarta Hal. 153

Untuk dapat melakukan pembakaran, diperlukan beberapa unsur utama antara lain :

- a. Bahan bakar
- b. Oksigen
- c. Suhu untuk memulai pembakaran
- d. Waktu yang cukup untuk melakukan proses

Jika semua unsur diatas telah terpenuhi maka proses pembakaran dapat berlangsung. Dalam proses pembakaran ada dua kemungkinan yang terjadi yaitu :

- a. Pembakaran sempurna
- b. Pembakaran tak sempurna

Pada pembakaran sempurna semua unsur penyusun bahan bakar bereaksi dengan oksigen, dan menghasilkan panas yang optimum. Unsur penyusun bahan bakar yang terpenting adalah unsur C (karbon). Dalam pembakaran sempurna ini seluruh unsur C yang bereaksi dengan O_2 akan berubah menjadi CO_2 . sedangkan pada pembakaran tak sempurna, senyawa hidrokarbon yang bereaksi dengan O_2 berubah menjadi CO (karbon monoksida). Tanda – tanda pembakaran tak sempurna adalah munculnya jelaga yang terbawa oleh gas asap. Penyebab terjadinya proses pembakaran tak sempurna karena kurangnya pasokan udara dalam hal ini O_2 dan kurang baiknya kontak unsur – unsur penyusun bahan bakar dengan oksigen. Untuk menghindari hal tersebut harus diusahakan agar tersedia udara yang mencukupi untuk proses pembakaran dan memaksimalkan kontak unsur – unsur penyusun bahan bakar dengan udara.

Berikut ini adalah syarat – syarat terjadinya pembakaran yang baik :

- a. Campuran reaktan secara murni
- b. Suplai udara yang cukup
- c. Suhu yang cukup untuk memulai pembakaran
- d. Waktu yang cukup untuk melakukan proses
- e. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api

Untuk melakukan campuran reaktan secara murni diperlukan suplai udara berlebih (*excess air*). Besar kebutuhan *excess air* tiap bahan bakar berbeda - beda tergantung pada sensitifitas bahan bakar itu sendiri untuk dapat terbakar.

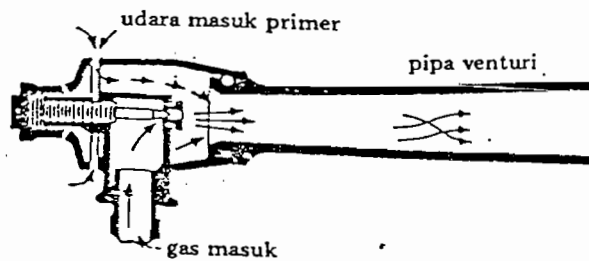
3.2 Peralatan Proses Pembakaran

Peralatan yang digunakan dalam pembakaran sangat beragam tergantung pada jenis bahan bakarnya. Sistem pembakaran dibagi menjadi tiga bagian pokok yaitu :

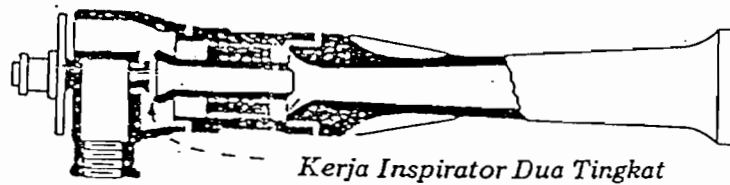
- a. Sistem pembakaran bahan bakar gas
 - b. Sistem pembakaran bahan bakar minyak
 - c. Sistem pembakaran bahan bakar batu bara
- a. Sistem pembakaran bahan bakar gas

Gas merupakan bahan bakar yang mudah terbakar, karena sifatnya yang mudah bercampur dengan udara. Alat pembakar yang umum dipakai adalah alat pembakar gas atmosferik (*atmospheric gas burner*).

a) ekspansi gas dalam pipa venturi menarik udara primer masuk



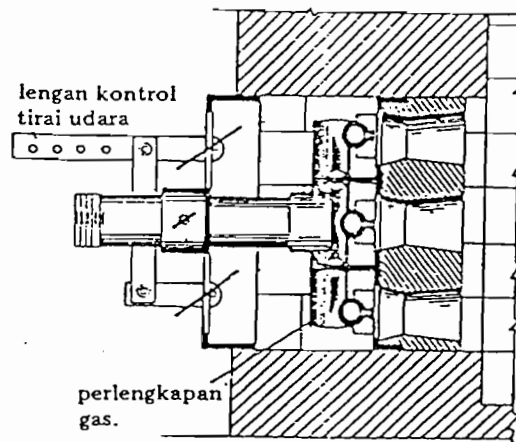
b) burner bertingkat dua beroperasi pada gas tekanan tinggi.



Gambar III. 1 Atmospheric Gas Burner

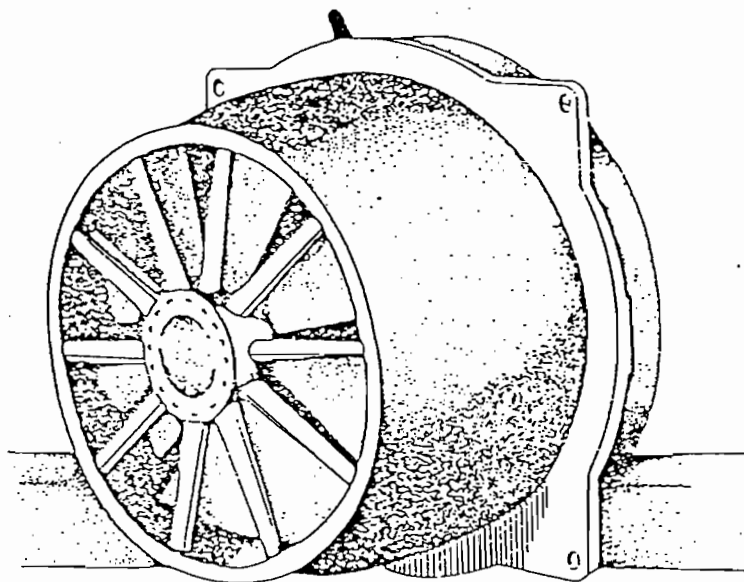
Sumber : Ir. Sysmsir A Muin, Pesawat – pesawat konversi Energi, Hal. 186

Sistem kerja alat pembakar ini adalah dengan memanfaatkan momentum dari gas masuk untuk menarik udara primer masuk ke dalam burner. Proses ini dinamakan *aspirasi*. Jenis – jenis burner yang lain adalah *refractory gas burner* atau pembakar gas tahan api dan *fan mix burner* atau burner percampuran gas dengan kipas.



Gambar III.2 Refractor Gas Burner

Sumber : Ir. Sysmsir A Muin, Pesawat – pesawat konversi Energi, Hal. 167



Gambar III.3 Fan Mix Burner

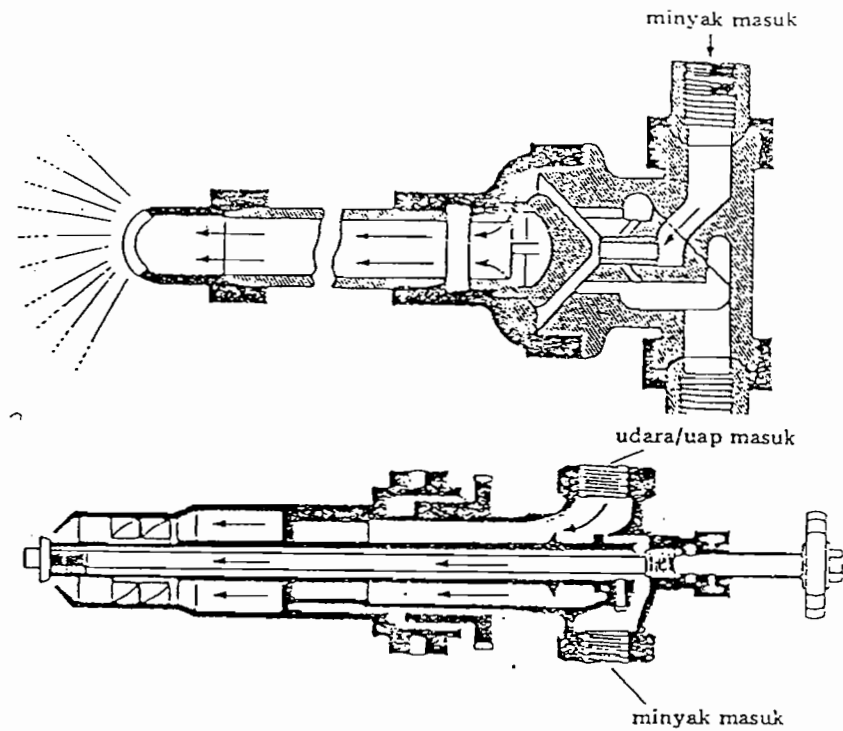
Sumber : Ir. Sysmsir A Muin, Pesawat – pesawat konversi Energi, Hal. 168

b. Sistem Pembakaran Bahan Bakar Minyak

Sistem pembakaran bahan bakar minyak menghendaki agar bahan bakar dibakar dalam bentuk butiran – butiran. Cara pengabutan (penyemprotan) sangat dibutuhkan agar butiran – butiran yang terbentuk lebih homogen. Bila butiran minyak tersebut menempel pada dinding tungku akan berakibat tidak akan menguapnya kokas yang lama kelamaan akan berubah menjadi kerak arang yang menempel pada dinding tungku. Arang merupakan lapisan lengket yang kenyal dan akan membawa kerugian pada daya hantar panas dinding tungku, hal ini disebabkan arang memiliki titik cair yang tinggi.

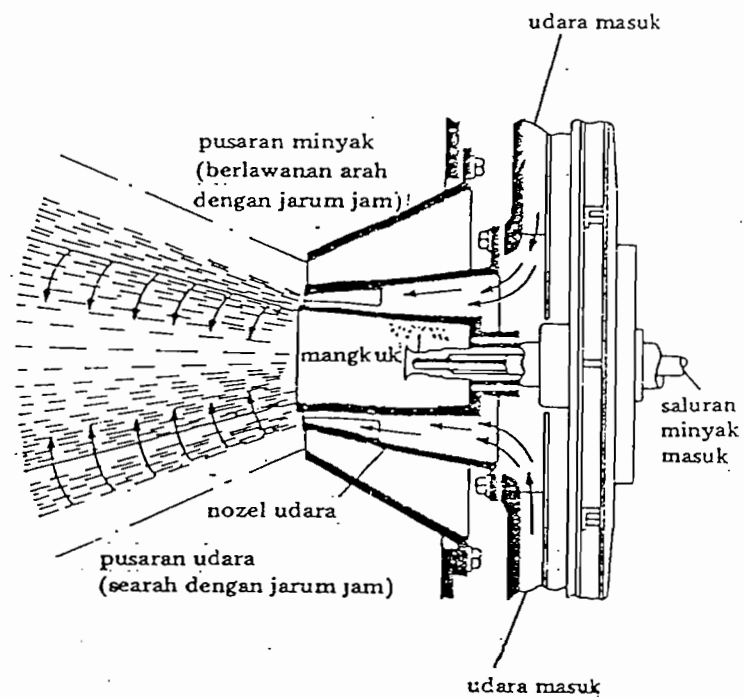
Beberapa cara pengabutan minyak bakar :

1. Pengabutan dengan menggunakan semprotan uap / udara
2. Pengabutan tekan (pada tekanan tertentu bahan bakar minyak akan mengabut dengan sendirinya)
3. Pengabutan putar (*rotating burner*) dengan bantuan hembusan udara.



Gambar III.4 Burner Minyak Atomisasi

Sumber : Ir. Sysmsir A Muin, Pesawat – pesawat konversi Energi, Hal. 169



Gambar III.5 Burner Minyak Dengan Mangkok Putar

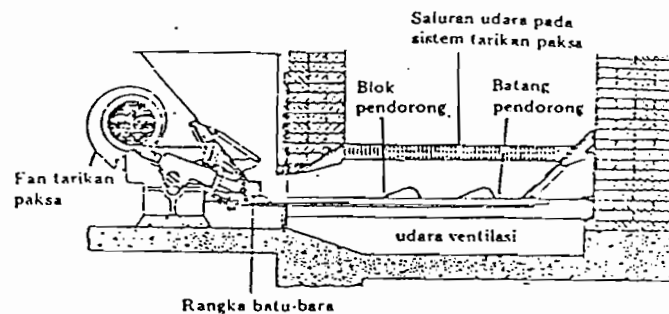
Sumber : Ir. Sysmsir A Muin, Pesawat – pesawat konversi Energi, Hal. 170

c. Sistem Pembakaran Bahan Bakar Batu Bara

Sistem pembakaran bahan bakar batu bara ada empat macam yaitu :

1. Dapur kisi (*Stroker Furnace*)

Cara pembakaran tertua untuk membakar bongkahan batu bara di atas kisi. Untuk dapat mendapatkan pembakaran yang sempurna dibuat sistem udara primer dan skunder.

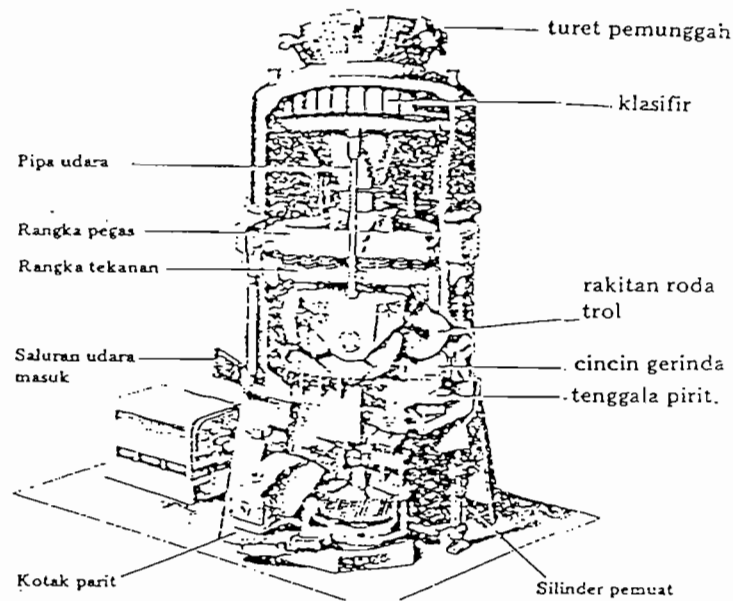


Gambar III.6 Kisi Pemuatan Bawah Pembuangan Abu Sampling, Tabung Tunggal Pemuatan Mendatar

Sumber : Ir. Sysinsir A Muin, Pesawat – pesawat konversi Energi, Hal. 173

2. Dapur Bubuk Batu Bara (*Puilverised – Coal Furnace*)

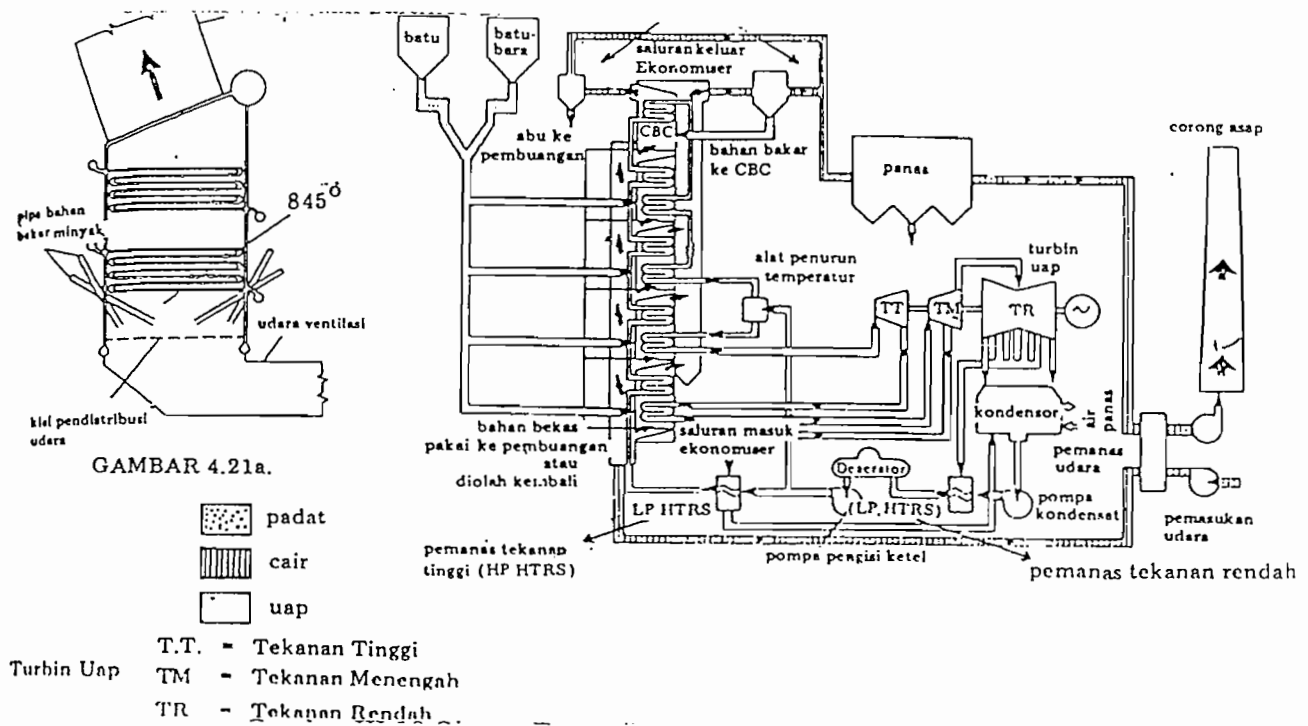
Dapur ini merupakan dapur pembakaran tepung batu bara. Proses pembakaran dapat lebih cepat, karena bubuk batu bara lebih mudah bercampur dengan udara.



Gambar III.7 Penyerbuk Rol dan Pacu Tipe MPS B&W
 Sumber : Ir. Sysmsir A Muin, Pesawat – pesawat konversi Energi, Hal. 175

3. Dapur Bantalan Udara (*Fluidized-bed Combustion System*)

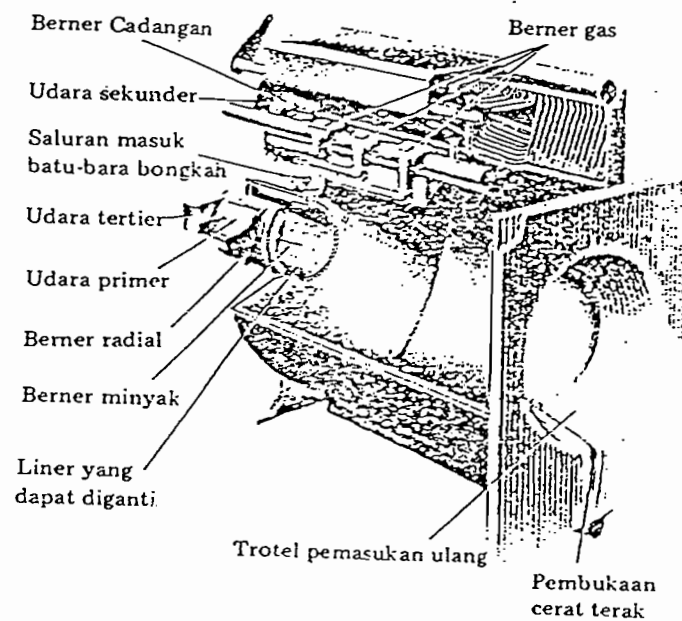
Dapur bantalan udara adalah sistem pembakaran batu bara bongkah, abu dan dolomit (batu kapur bongkah) yang dicampur dalam suatu bantalan yang diambangkan oleh udara pembakaran bertekanan tinggi yang masuk dari bawah dapur (*air Plenum*). Pipa – pipa penguap(*evaporator*) langsung dikurung oleh bantalan udara dan partikel – partikel batu bara yang terbakar.



Gambar III.8 Sistem Dapur Bantalan Udara Untuk Batu Bara
 Sumber : Ir. Sysmsir A Muin, Pesawat – pesawat konversi Energi, Hal. 175

4. Dapur siklon

Dapur siklon adalah suatu sistem yang melayani sejumlah ruang bakar independen (*Independent Combustion Chamber*), untuk station pembangkit yang besar meliputi 10 ruang bakar dan semuanya mensuplai gas panas untuk generator. Batu bara yang sudah dipecah – pecah beserta udara primer masuk secara tangensial ke dalam *combustion chamber* yang kecil dan udara sekunder dimasukkan secara tangensial pula kedalam ruang silinder besar yang diisolasi. Sejumlah udara kecil (*tercier air*) dimasukkan dalam pusaran cyclone untuk mengatasi kevakuman.



Gambar III.9 Dapur Siklon (Cyclone Furnace)

Sumber : Ir. Sysmsir A Muin, Pesawat – pesawat konversi Energi, Hal. 177

3.3 Analisi Bahan Bakar

Untuk menentukan banyaknya energi yang diperlukan untuk mengubah air menjadi uap dalam generator uap, maka perlu diketahui terlebih dahulu komposisi bahan bakarnya. Adapun komposisi bahan bakar batu bara untuk generator uap yang direncanakan :

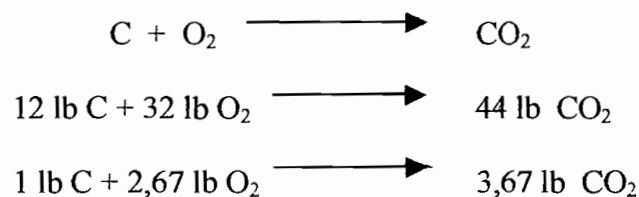
Tabel 3.1 Komposisi Batu Bara Bukit Asam

NAMA	RUMUS	%
Karbon	C	63,5
Hidrogen	H ₂	5,8
Oksigen	O ₂	15,2
Nitrogen	N ₂	1,0
Belerang	S	0,5
Abu	Ash	5,0
Air	H ₂ O	9,0

(Sumber : Ir. M.J Djokosetyarjo, Ketel Uap, PT. Pradya Paramita, Hal.42)

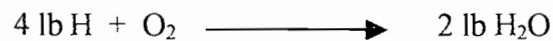
Proses pembakaran adalah suatu reaksi kimia yang menimbulkan panas, dan proses tersebut membutuhkan oksigen (O₂), yang diambil dari udara pembakaran. Berikut dapat dituliskan reaksi pembakaran unsur bahan bakar yaitu proses pembakaran sempurna tiap 1 lb oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran C dan H dalam 1 lb bahan bakar.

Karbon (C) terbakar sempurna menjadi CO₂ menurut persamaan :



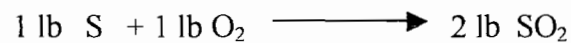
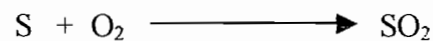
Jadi setiap pembakaran 1 lb karbon (C) dibutuhkan Oksigen (O₂) sebesar 2,67 lb

Hidrogen (H) terbakar sempurna menjadi H₂O menurut persamaan :



Jadi setiap pembakaran 1 lb hidrogen (H) membutuhkan oksigen (O₂) sebesar 8 lb.

Belerang terbakar sempurna menjadi SO₂ menurut persamaan :



Jadi setiap pembakaran 1 lb belerang (S) membutuhkan oksigen (O₂) sebesar 1 lb.

3.4 Nilai Pembakaran

Nilai pembakaran bahan bakar adalah jumlah kalor yang dilepaskan atau dibebaskan dengan cara pembakaran persatuan volume (Btu/ft³) bahan bakar, karena bahan bakar mengandung H₂O. Dalam hal ini H₂O dapat berupa air atau uap air, sehubungan dengan hal ini nilai pembakaran dapat dibedakan menjadi :

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

Nilai pembakaran atas terjadi apabila uap air yang terbentuk sebagai reaksi pembakaran antara oksigen dan hidrogen seluruhnya mengembun, sehingga terdapat dalam bentuk cair.

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

Nilai pembakaran bawah terjadi apabila H₂O yang terbentuk dari reaksi pembakaran seluruhnya masih dalam bentuk uap.

Nilai pembakaran bawah jauh lebih rendah daripada nilai pembakaran atas karena sebagian panas ikut dibebaskan untuk mempertahankan H₂O dalam bentuk uap.

Nilai HHV dan LHV dapat dihitung menggunakan komposisi kimia sebagai berikut :²⁾

$$\text{HHV} = 33915 C + 144033 \left[H - \frac{O_2}{8} \right] + 10468 x S \quad (3.1)$$

$$= 33915 x 0,635 + 144033 \left[0,058 - \frac{0,152}{8} \right] + 10468 x 0,005$$

$$= 11696,29 \text{ Btu/lb bahan bakar}$$

$$= 27205 \text{ kJ/kg bahan bakar}$$

$$\text{LHV} = 33915 C + 121423 \left[H - \frac{O_2}{8} \right] + 10468 S - 2512 \left[H_2O + \frac{O_2}{8} \right] \quad (3.2)$$

$$= 33915 x 0,635 + 121423 \left[0,058 - \frac{0,152}{8} \right] + 10468 x 0,005 - 2512 \left[0,09 + \frac{0,152}{8} \right]$$

$$= 11035,490 \text{ Btu/lb bahan bakar}$$

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

3.5 Kebutuhan bahan bakar

Kebutuhan bahan bakar diperhitungkan berdasarkan dari jumlah kalor yang dipergunakan dengan nilai pembakaran bawah (LHV), yaitu sebagai berikut:³⁾

²⁾ Ir. M.J Djokosetyardjo, Ketel Uap, PT Pradnya Paramita, Hal. 41

³⁾ Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, Rajawali Jakarta Hal. 223

$$M_b = \frac{M_u(h_u - h_a)}{\eta(LHV)} \text{ lb/jam} \quad (3.3)$$

Dengan: M_b = kebutuhan bahan bakar tiap jam (lb/jam)

M_u = jumlah uap yang dihasilkan tiap jam (lb/jam)

$$= 66079,295 \text{ lb/jam}$$

h_u = entalpy uap hasil (Btu/lb)

$$= 1200,955 \text{ Btu/lb pada tekanan } 246,5 \text{ psia}$$

h_a = entalpy air masuk generator (Btu/lb)

$$= 143,980 \text{ pada temperatur } 176 \text{ }^\circ\text{F atau } 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

LHV = nilai pembakaran bawah

η = efisiensi generator uap

$$= 80 \% \text{ (dari Carl D. Shield, Boiler Type Characteristik Function hal. 25)}$$

Efisiensi generator uap untuk jenis generator uap

Schots berkisar 75 – 80 %

$$\text{Maka : } M_b = \frac{66079,295 \times (1200,955 - 143,980)}{0,80 \times 11035,490}$$

$$= 7911,312 \text{ lb/jam}$$

$$= 3591,735 \text{ kg/jam}$$

3.6 Kebutuhan Udara Untuk Pembakaran

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

Pada dasarnya bahan bakar terdiri atas unsur – unsur kimia : karbon (C), zat air (H), zat pembakar (O), belerang (S), air dan abu. Sedangkan zat yang akan terbakar dan memerlukan udara atau oksigen adalah C, H, dan S. sedangkan udara tersusun atas dua unsur utama yaitu nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂). Dalam prosentse volume udara tersusun dari 21 % O₂, 79 % N₂ sedangkan dalam perse berat tersusun dari 23,15 % O₂, 77 % N₂.

Sehingga secara umum kebutuhan oksigen secara teoritis untuk pembakaran dapat dihitung menggunakan rumus :

$$W_{o_2 th} = 2,67 C + 7,94 H_2 + 0,998 S$$

Dimana C, H₂ dan O₂ adalah fraksi berat dari karbon, hidrogen, sulfur dan yang dikandung oleh bahan bakar, dengan harga komposisi bahan bakar maka dapat dihitung :⁴⁾

$$\begin{aligned} W_{o_2 th} &= 2,67 (0,635) + 7,94 (0,058) + 0,998 (0,005) & (3.4) \\ &= 2,1610 \text{ lb / lb bahan bakar} \end{aligned}$$

Didalam udara terdapat oksigen sebesar 23,15 % sehingga kebutuhan udara teoritis untuk pembakaran setiap 1 lb bahan bakar adalah :⁵⁾

$$\begin{aligned} M_{ut} &= \frac{W_{o_2 th}}{23,15\%} = \frac{2,1610 \text{ lb udara / lb bahan bakar}}{0,2315} & (3.5) \\ &= 9,3348 \text{ lb udara / lb bahan bakar} \end{aligned}$$

⁴⁾ Ir. M.J Djokosetyardjo, Ketel Uap, PT Pradnya Paramita, Hal. 72

⁵⁾ Ibid Hal. 73

Untuk menjamin pembakaran bahan bakar dengan sempurna maka diperlukan udara tambahan sebesar 40% dari tabel *excess air*, jadi kebutuhan udara untuk pembakaran adalah :⁶⁾

$$\begin{aligned} M_u &= M_{ut} \times \text{kelebihan udara} & (3.6) \\ &= 9,3348 \text{ lb udara/ lb bahan bakar} \times 1,4 \\ &= 13,4420 \text{ lb udara/ lb bahan bakar} \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan udara untuk pembakaran bahan bakar yang digunakan (W_u) adalah:

$$\begin{aligned} W_u &= M_b \times M_u \\ &= 7911,312 \times 13,4420 \\ &= 106343,855 \text{ lb /jam} \\ &= 48280,110 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

3.7 Perhitungan Temperatur 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 menggunakan persamaan sebagai berikut :⁷⁾

$$CO_2 = 3,67 C = 3,67 \times 0,635 = 2,336 \text{ lb/lb bahan bakar}$$

$$H_2O = 8,94 H + H_2O = 8,94 \times 0,058 + 0,09 = 0,6085 \text{ lb/lb bahan bakar}$$

$$SO_2 = 2 S = 2 \times 0,05 = 0,01 \text{ lb/lb bahan bakar}$$

$$\begin{aligned} N_2 &= 8,86 C + 26,41 (H - O_2/8) + 3,2 S + N_2 \\ &= 8,86 \times 0,935 + 26,41 (0,058 - 0,152 / 8) + 3,2 \times 0,005 + 0,1 \\ &= 9,5741 \text{ lb / lb bahan bakar} \end{aligned}$$

⁶⁾ Ibid Hal. 74

⁷⁾ Babcock and Wilcox, *Steam / Its Generation and Use*, Hal. 6

$$O_2 = 0,15 \times \text{kubutuhan udaraa teoritis}$$

$$= 0,15 \times 9,3348$$

$$= 1,4002 \text{ lb / lb bahan bakar}$$

$$\text{Abu} = 0,05 \text{ lb / lb bahan bakar}$$

Maka jumlah keseluruhanya (Mg) adalah 13,9734 lb / lb bahan bakar. Jika

komposisi tersebut dinyatakan dalam lb mol / lb bahan bakar maka :

$$CO_2 = \frac{2,3306 \text{ lb / lb bahan bakar}}{44} = 0,05297 \text{ lb / lb bahan bakar}$$

$$H_2O = \frac{0,0685 \text{ lb / lb bahan bakar}}{18} = 0,03380 \text{ lb / lb bahan bakar}$$

$$SO_2 = \frac{0,01 \text{ lb / lb bahan bakar}}{64} = 0,00015 \text{ lb / lb bahan bakar}$$

$$N_2 = \frac{9,5741 \text{ lb / lb bahan bakar}}{28} = 0,34193 \text{ lb / lb bahan bakar}$$

$$O_2 = \frac{1,4002 \text{ lb / lb bahan bakar}}{32} = 0,04375 \text{ lb / lb bahan bakar}$$

Maka jumlah keseluruhan komposisi bahan bakar adalah 0,4726 lb mol / lb bahan

bakar. Sehingga untuk pemakaian bahan bakar sebesar (M_b) = 7911,312 lb/jam

akan dihasilkan gas sebesar :

$$W_g = M_b \times M_g$$

$$= 7911,312 \times 13,9734$$

$$= 110547,927 \text{ lb / jam}$$

$$= 50188,758 \text{ kg/jam}$$

Pembakaran berlangsung dengan tekanan konstan, sehingga panas yang timbul dapat dihitung dengan mengalikan volume gas asap dengan harga entalpy dengan unsur – unsurnya menggunakan rumus :

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

Direncanakan temperatur pembakaran bahan bakar $H_{ts} = 550$ °R yaitu dengan asumsi keadaan ruang bakar berada pada temperatur 27 °C atau 80,6 °F dengan menggunakan persamaan diatas dan dengan menggunakan tabel entalpy :

$$\begin{aligned} H_{ts} &= 0,05297 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 4146,55 \text{ Btu / lb mol} + 0,03380 \text{ lb mol/lb} \\ &\quad \text{bahan bakar} \times 4364,974 \text{ Btu / lb mol} + 0,34193 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times \\ &\quad 3819,947 \text{ Btu / lb mol} + 0,04375 \text{ lb mol/ lb bahan bakar} \times 3826,618 \text{ Btu/lb} \\ &\quad \text{mol} \\ &= 1840,748 \text{ Btu / lb bahan bakar.} \end{aligned}$$

Temperatur pembakaran (T_c) dapat dicari dengan menggunakan *metode tyr and error*.

$$H_{tc} - H_{ts} = \text{LHV} \text{ atau } H_{tc} - H_{ts} = 11035,762 \text{ Btu / lb}$$

Dicoba dengan temperatur pembakaran bahan bakar $T_c = 4000$ R

$$\begin{aligned} H_{tc} = \text{CO}_2 &= 0,05297 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 49131,4 \text{ Btu/ lb mol} = 2602,490 \\ \text{H}_2\text{O} &= 0,0338 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 40509 \text{ Btu/ lb mol} = 1369,204 \\ \text{N}_2 &= 0,34133 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 31314,5 \text{ Btu/ lb mol} = 10707,366 \\ \text{O}_2 &= 0,04375 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 32802,7 \text{ Btu/ lb mol} = 1435,118 \\ &\quad \hline &\quad 16114,178 \end{aligned}$$

$H_{4000} - H_{550} = 16114,178$; hasilnya lebih besar daripada harga LHV

Dicoba dengan temperatur pembakaran $T_c = 2800$ R

$$H_{tc} = \text{Co}_2 = 0,05297 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 31955,9 \text{ Btu/ lb mol} = 1692,704$$

$$\text{H}_2\text{O} = 0,0338 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 26093 \text{ Btu/ lb mol} = 881,943$$

$$\text{N}_2 = 0,34133 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 21073,9 \text{ Btu/ lb mol} = 7205,798$$

$$\text{O}_2 = 0,04375 \text{ lb mol / lb bahan bakar} \times 22060,2 \text{ Btu/ lb mol} = 965,133$$

$$10745,578$$

$H_{2800} - H_{550} = 10745,578$; harganya lebih kecil daripada harga LHV

Sehingga dengan cara interpolasi dapat dihitung besar temperatur pembakaran :

$$\begin{aligned} T_c &= 2800 \text{ R} + \left[\frac{4000 - 2800}{16114,178 - 10745,578} \right] x (LHV - 10745,574) \\ &= 2800 \text{ R} + \left[\frac{4000 - 2800}{16114,178 - 10745,578} \right] x (11035,49 - 10745,574) \\ &= 2864,795 \text{ R} \\ &= 1318,402 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

BAB IV
PERHITUNGAN PERPINDAHAN PANAS
PIPA - PIPA API

Panas dari hasil pembakaran akan didistribusikan pada bidang pemanas (*heating surface*) yang langsung bersinggungan dengan air. Proses penghantaran panas tersebut dilakukan secara pancaran (radiasi) dan hantaran (konduksi). Dari bidang pemanas panas akan dihantarkan secara radiasi selanjutnya dari bidang pemanas dihantarkan lagi ke air ketel secara konveksi. Hantaran panas secara konduksi dari sebagian panas dapat diabaikan, oleh karena itu perhitungan perpindahan panas secara konduksi dapat diabaikan.

4.1 Pengertian Perpindahan Panas

Perpindahan panas pada generator ialah proses pemindahan panas dari pembakaran bahan bakar dan udara, yang berupa api dan gas asap melalui bidang pemanas dan terus dilanjutkan ke air, uap atau udara. Pada instalasi generator uap perpindahan panas tersebut melalui beberapa proses yaitu :

1. Pancaran atau radiasi
 2. Aliran atau konveksi
 3. Rambatan atau konduksi
1. Perpindahan panas pancaran atau radiasi

Perpindahan panas pancaran atau radiasi adalah perpindahan panas antara suatu benda ke benda lain dengan jalan melalui gelombang

– gelombang elektromagnetik tanpa tergantung pada ada atau tidaknya media atau zat diantara sumber panas dan bidang yang terkena panas.

Perpindahan panas radiasi dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. Secara langsung (*direct*)
- b. Secara tak langsung (*indirect*)

Perpindahan panas radiasi secara langsung terjadi pada nyala api yang bercahaya, panggangan (kisi) bahan yang terbakar, sedangkan perpindahan panas secara tak langsung terjadi dari lapis dinding dapur.

2. Perpindahan panas aliran atau konveksi

Perpindahan panas secara aliran atau konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul – molekul suatu fluida (cair atau gas) dari suhu yang tinggi ke suhu yang lebih rendah. Molekul – molekul fluida tersebut dalam gerakannya melayang – layang membawa sejumlah panas sebesar (q). Pada saat molekul – molekul menyentuh dinding generator, panasnya akan diberikan sebagian (q_1) dan panas yang lain (q_2) akan dibawa pergi. Adapun panas yang dibawa pergi tersebut besarnya $q_2 = q - q_1$. Dalam gerakannya molekul – molekul api tersebut perlu melalui lintasan yang lurus untuk sampai bisa pada dinding generator, jika gerakan molekul – molekul tersebut sebagai akibat dari kekuatan mekanis (karena di pompa atau dihembus paksa) maka perpindahan panasnya disebut konveksi paksa (*forced convection*).



3. Perpindahan panas secara rambatan atau konduksi

Perpindahan panas secara rambatan atau konduksi adalah perpindahan panas dari satu bagian benda ke bagian benda padat lainnya yang sama atau berlainan karena terjadi persinggungan fisik tanpa terjadi perpindahan molekul dari zat itu sendiri. Didalam dinding generator, panas akan dirambatkan oleh dinding generator bagian dalam yang berbatasan dengan api pembakaran melalui molekul – molekul dalam dinding dan diteruskan menuju dinding luar yang berbatasan langsung dengan air.

4.2 Perhitungan Perpindahan Panas Pada Bagian Ruang Bakar

Pada bagian ini api yang tersembur keluar akan langsung mengenai dinding ruang bakar yang berbatasan langsung dengan air. Perpindahan panas terjadi secara radiasi, karena dinding langsung menerima panas dari pancaran api. Perpindahan panas secara konveksi dan konduksi dapat diabaikan dalam perhitungan ini. Banyaknya panas yang diterima secara radiasi dapat dihitung berdasarkan rumus dari Stephan – Boltzman sebagai berikut :⁸⁾

$$Q_{rb} = 0,173 \cdot A \cdot e \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ Btu/jam} \quad (4.1)$$

Dengan : Q_{rb} = total panas yang diserap

A = luas efektif nyala api (ft²)

$$= \pi \cdot D_r \cdot L \cdot 2/3$$

⁸⁾ Carl . D . Shield, Boiler Type Characteristic and Funcion, MC. Graw – Hill Book Company. New York, 1972. Hal. 165

D_r = diameter rata – rata silinder api = 3,281 ft (1 m)

L = panjang silinder api rata – rata = 10 ft (3,047 m)

$2/3$ = harga *beam length for gas radiation* (Tabel pada lampiran)

$$A = \pi \cdot 3,281 \cdot 10 \cdot 2/3$$

$$= 68,661 \text{ ft}^2$$

e = emisivitas bahan yang menerima panas, lorong api = 0,79

(Tabel pad lampiran)

T_1 = temperatur rata – rata

$$= (T_{\text{pembakaran}} + T_{\text{gas asap meninggalkan ruang bakar}})/2$$

T_2 = temperatur permukaan yang menerima radiasi panas

$$= T_{\text{didih air}} + T$$

Berdasarkan persamaan di atas maka nilai temperatur adalah :

$$T_{\text{pembakaran}} = 2405,123 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (1318,402 } ^\circ\text{C) (nanti diperiksa)}$$

$$T_{\text{gas asap mrb}} = 2400 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (1315,556 } ^\circ\text{C) (asumsi)}$$

$$\text{Maka, } T_1 = (2405,123 + 2400)/2$$

$$= 2402,5615 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{didih air}} = 399,705 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (204,280 } ^\circ\text{C) (pada tekanan 246,5 Psia)}$$

$$T_{\text{Beda suhu permukaan pemanas dan titik didih air}} = 50 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (10 } ^\circ\text{C) (asumsi)}$$

$$\text{Maka, } T_2 = (399,705 + 50)$$

$$= 449,705 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (232,058 } ^\circ\text{C)}$$

Temperatur asumsi saat gas asap meninggalkan ruang bakar diambil harga 2400 °F (1315,556 °C) karena gas asap tersebut belum jauh meninggalkan pusat pembakaran. Jadi penurunan suhunya belum besar. Sedangkan asumsi $T = 50$ °F

atau 10 °C adalah perkiraan bahwa sirkulasi didalam generator baik. Carl D Shield dalam bukunya “Boiler Type Characteristic and Function” halaman 169 menyatakan bahwa untuk permukaan silinder yang bersih dan menerima panas secara radiasi mempunyai perbedaan temperatur kurang dari 50 °F (10 ° C). Perbedaan suhu yang kecil tersebut disebabkan adanya film air yang terdapat di permukaan dinding silinder yang berbatasan dengan air. Selanjutnya dengan memasukkan nilai – nilai yang telah tercantum di atas ke dalam persamaan, akan di dapat nilai panas yang diserap dari radiasi di dalam ruang bakar adalah :

$$\begin{aligned}
 Q_{rb} &= 0,173 \cdot 68,661 \cdot 0,79 \cdot \left[\left(\frac{2402,5615}{100} \right)^4 - \left(\frac{449,705}{100} \right)^4 \right] \text{ Btu/jam} \\
 &= 3122827,241 \text{ Btu/jam} \\
 &= 3294121,562 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

Pemeriksaan temperatur gas asap meninggalkan ruang bakar yang diasumsikan sebesar 2400 °F adalah dengan menggunakan persamaan di bawah ini :⁹⁾

$$Q_{rb} = M_b \cdot [\text{LHV} \cdot \eta - (W_g \cdot C_{pg} \cdot T_g)] \text{ Btu/jam} \quad (4.2)$$

Dengan : Q_{rb} = panas radiasi yang diserap secara radiasi dalam ruang bakar

M_b = kebutuhan bakar tiap jam (lb/jam)

LHV = nilai pembakaran bawah bahan bakar (Btu/jam)

η = efisiensi dapur 0,9 – 0,97 (Ir. Syamsir A Muin, Pesawat – pesawat Konversi Energi)

W_g = berat gas asap yang dihasilkan per lb bahan bakar

C_{pg} = panas jenis gas asap (Btu/lb°F)

⁹⁾ Ir. Syamsir A Muin, Pesawat – pesawat Konversi Energi, Rajawali Jakarta, Hal.48

T_g = temperatur gas asap yang meninggalkan ruang bakar

Komposisi gas dari monogram adalah :

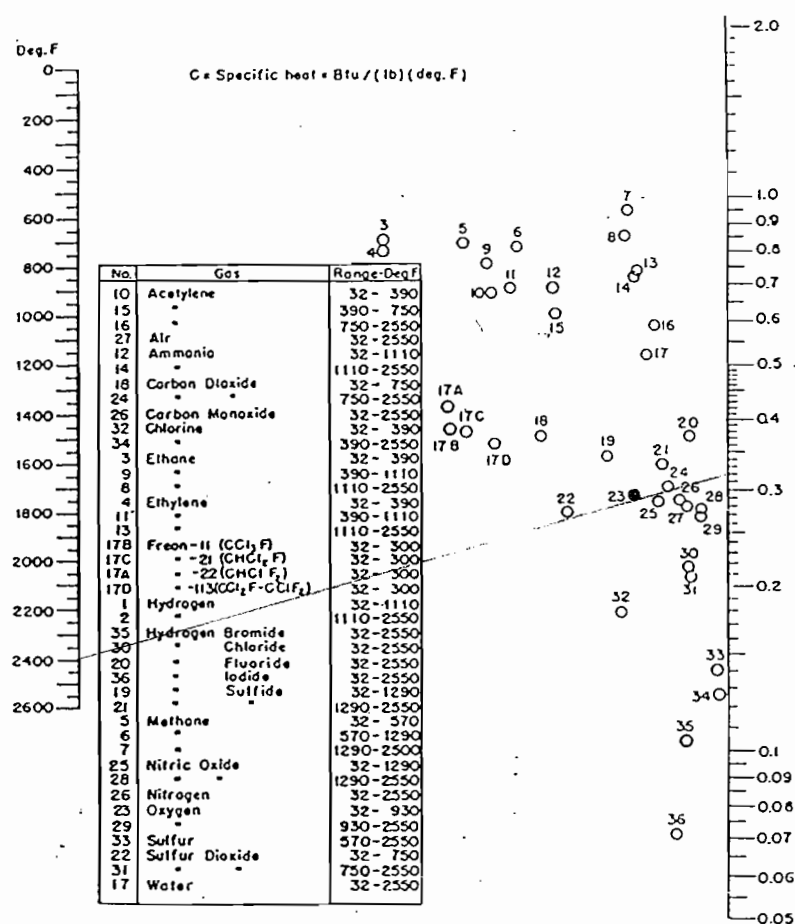
$$C_{pCO_2} = \frac{2,3306}{13,9734} \times 0,31 = 0,05170 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

$$C_{pH_2O} = \frac{0,6085}{13,9734} \times 0,53 = 0,02308 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

$$C_{pN_2} = \frac{9,5741}{13,9734} \times 0,29 = 0,19869 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

$$C_{pSO_2} = \frac{0,01}{13,9734} \times 0,21 = 0,00015028 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$

$$C_{pg} = 0,05170 + 0,02308 + 0,19869 + 0,00015028 \\ = 0,273620 \text{ Btu/lb } ^\circ\text{F}$$



Tabel 4.1. Monogram untuk mencari panas jenis

Sumber : Jhon H. Perry, Chemical Engineers and Function 3rd Edition Mc. Graw Hill, New York, 1950

Dimasukkan dalam persamaan 4.2 maka :

$$3122827,293 = 7911,312 [11035 \cdot 0,97 - (13,9734 \times 0,273620 \cdot T_g)]$$

$$T_g = 2494,315 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (1367,953 } ^\circ\text{C)}$$

Dicek terhadap *error point* :

$$= \frac{2494,315 - 2400}{2494,315} \times 100\%$$

$$= 3,78\%$$

Harga *error point* kecil yaitu 3,78 %, jadi perkiraan suhu gas asap yang meninggalkan ruang bakar dapat diterima.

4.3 Perhitungan Perpindahan Panas Pada Bagian Kotak Api

Perpindahan panas terjadi secara radiasi, perpindahan panas secara konveksi dan konduksi dapat diabaikan dalam perhitungan ini. Banyaknya panas yang diterima secara radiasi dapat dihitung berdasarkan rumus dari Stephan - Boltzman sebagai berikut :¹⁰⁾

$$Q_{ka} = 0,173 \cdot A \cdot e \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \text{ Btu/jam} \quad (4.3)$$

Dengan : Q_{ka} = total panas yang diserap

A = luas efektif nyala api (ft^2)

$$A = 1(2,59 \times 8,53) + 1(8,53 \times 6,485) + 2(6,485 \times 2,59)$$

$$= 111,09375 \text{ ft}^2$$

¹⁰⁾ Carl . D . Shield, Boiler Type Characteristic and Funcion, MC. Graw – Hill Book Company. New York, 1972. Hal. 165

T_1 = temperatur rata – rata

$$= (T_{\text{pembakaran}} + T_{\text{gas asap meninggalkan ruang bakar}})/2$$

T_2 = temperatur permukaan yang menerima radiasi panas

$$= T_{\text{didih air}} + T$$

Berdasarkan persamaan diatas maka nilai temperatur adalah :

$$T_{\text{pada kotak api}} = 2400 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (1315,556 } ^\circ\text{C) (nanti diperiksa)}$$

$$T_{\text{gas asap mka}} = 2300 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (1260 } ^\circ\text{C) (asumsi)}$$

$$\text{Maka, } T_1 = (2400 + 2300)/2$$

$$= 2350 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_{\text{didih air}} = 399,705 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (204,280 } ^\circ\text{C) (pada tekanan 246,5 Psia)}$$

$$T = 50 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (10 } ^\circ\text{C) (asumsi)}$$

$$\text{Maka, } T_2 = (399,705 + 50)$$

$$= 449,705 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ (232,058 } ^\circ\text{C)}$$

Temperatur asumsi saat gas asap meninggalkan kotak api diambil harga 2300 °F (1260 °C). Selanjutnya dengan memasukkan nilai – nilai yang telah tercantum di atas ke dalam persamaan(4.3), akan di dapat nilai panas yang diserap dari radiasi di dalam kotak api adalah :

$$Q_{ka} = 0,173 \cdot 111,09375 \cdot 0,79 \cdot \left[\left(\frac{2350}{100} \right)^4 - \left(\frac{449,705}{100} \right)^4 \right] \text{ Btu/jam}$$

$$= 5853618,100 \text{ Btu/jam}$$

$$= 6174702,637 \text{ kJ/jam}$$

Pemeriksaan temperatur gas asap meninggalkan kotak api yang diasumsikan sebesar 2300 °F adalah dengan menggunakan persamaan di bawah ini :¹⁰⁾

$$Q_{\text{kotak api}} = M_b \cdot [\text{LHV} \cdot \eta - (W_g \cdot C_{pg} \cdot T_g)] \text{ Btu/jam} \quad (4.4)$$

Dengan : Q_{ka} = panas radiasi yang diserap secara radiasi dalam kotak api

M_b = kebutuhan bakar tiap jam (lb/jam)

LHV = nilai pembakaran bawah bahan bakar (Btu/jam)

η = efisiensi kotak api 0,9 – 0,97

W_g = berat gas asap yang dihasilkan per lb bahan bakar

C_{pg} = panas jenis gas asap (Btu/lb°F)

T_g = temperatur gas asap yang meninggalkan kotak api

Komposisi gas dari monogram adalah $C_{pg} = 0,273620 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$

Dimasukkan dalam persamaan 4.4 maka :

$$5853618,100 = 7911,312 [11035 \cdot 0,97 - (13,9734 \times 0,273620 \cdot T_g)]$$

$$T_g = 2403,659 \text{ }^\circ\text{F} \text{ (1317,588 }^\circ\text{C)}$$

Dicek terhadap *error point* :

$$= \frac{2403,659 - 2300}{2403,659} \times 100\%$$

$$= 4,31\%$$

Harga *error point* kecil yaitu 4,31 %, jadi perkiraan suhu gas asap yang meninggalkan kotak api $T_g = 2400 \text{ }^\circ\text{F}$ (1315,556 °F) dapat diterima.

4.4 Lorong api atau silinder api

Silinder api adalah bidang pemanas yang mempunyai kecepatan penguapan yang besar. Silinder api berhubungan langsung dengan suhu yang

¹⁰⁾ Ir. Syamsir A Muin, Pesawat – pesawat Konversi Energi, Rajawali Jakarta, Hal.48

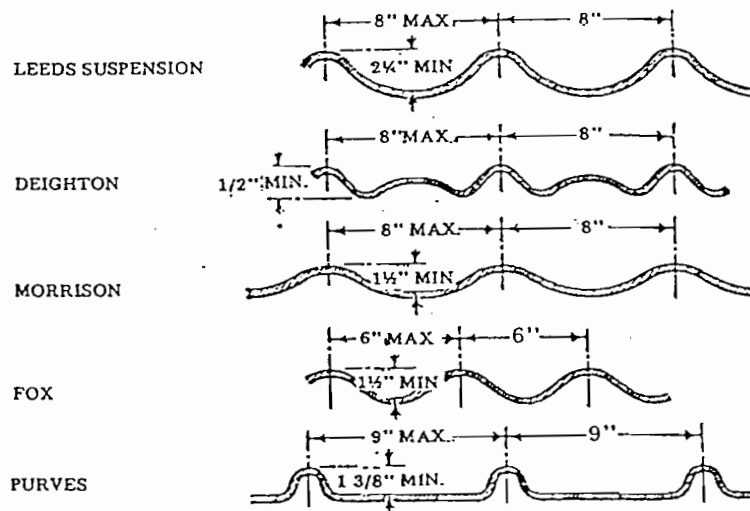
tinggi (inti nyala) dengan jalan pancaran (radiasi) panas berpindah ke dinding silinder api.

Silinder api dibuat dari satu lembar lempengan plat yang dicanai (membentuk alur berombak) dan dilas untuk menyambunginya. Pembuatan silinder berombak dimaksudkan untuk memperluas bidang pemanas, untuk mendapatkan gaya pegas silinder yang sewaktu dipanaskan akan memuai, sekaligus sebagai perlawanan dari tekanan luarnya (karena bidang bergelombang maka ada perbedaan tekanan permukaan pada silinder dibanding permukaan lurus). Untuk menambah kekuatan silinder api adalah dengan mempertebal dindingnya, tetapi dinding yang tebal akan menghambat penyerahan panas. Jika hal ini dilakukan maka perbedaan suhu antara dinding yang berbatasan dengan api dan dinding lain yang berbatasan dengan air akan besar nilainya dan hal ini akan menyebabkan timbulnya tegangan – tegangan panas (*thermal stress*).

Thermal stress tersebut menyebabkan silinder akan mengalami rengas pada arah horisontal. Dalam penempatannya, silinder api yang sudah jadi harus diusahakan agar sambungan las silinder api diletakkan dibawah. Jika diinginkan silinder yang lurus dan licin sehingga mudah dalam pembuatannya dapat dilakukan asalkan tekanan kerjanya tidak terlalu tinggi. Kekurangan dari silinder profil rata adalah silinder tersebut tidak mampu untuk memegas sehingga dapat menuruti perubahan panjang akibat pemuaian. Profil bergelombang silinder api ada beberapa jenis yaitu :

- a. Profil penggantungan Leeds.
- b. Profil Deighton.

- c. Profil Morison
- d. Prifil Fox.
- e. Profil Purves.



Gambar 4.1 Jenis – jenis Profil gelombang pada Silinder Api
 Sumber : Ir. Syamsir A Muin, pesawat – pesawat Konversi Energi, Hal.414

4.5 Pipa – Pipa Api

Panas yang diterima selain oleh silinder api juga dihantarkan oleh pipa – pipa api. Panas yang dihantarkan atau dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan oksigen di dalam ruang bakar tidak seluruhnya dapat diserap oleh air untuk diubah menjadi uap jenuh, karena sebagian panas akan terbang lewat cerobong. Keluarnya panas tersebut merupakan nilai kerugian dalam operasi generator. Kerugian tersebut disebabkan adanya perbedaan temperatur bagian dalam generator dengan udara luar, sehingga ada aliran panas yang menuju keluar melalui dinding dan isolasi generator. Pada perancangan ini diperkirakan akan mengalami kerugian sebesar 9 % dari seluruh panas yang dihasilkan dari

pembakaran bahan bakar, sehingga kerugian panas yang melalui dinding generator adalah :¹¹⁾

$$Q_f = \eta_f \times \text{LHV} \times M_b \quad (4.5)$$

Dengan : Q_f = kerugian panas melalui dinding generator (Btu/jam)

η_f = persentase kerugian (%) = 9 %

LHV = nilai pembakaran bawah (Btu/jam)

M_b = kebutuhan bahan bakar/jam (lb/jam)

$$\begin{aligned} Q_f &= 0,09 \times 11035,490 \times 7911,312 \\ &= 7857468,406 \text{ Btu/jam} \end{aligned}$$

Besarnya kalor yang diterima pipa – pipa api adalah :

$$Q_{\text{pipa – pipa api}} = Q_{\text{kebutuhan}} - Q_{\text{rb}} - Q_{\text{kotak api}} - Q_{\text{cerobong}} \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{rb}} = 3122827,241 \text{ Btu/jam}$$

$$Q_{\text{kotak api}} = 5853618,100 \text{ Btu/jam}$$

$$Q_{\text{Cerobong}} = 9056288,261 \text{ Btu/jam} \rightarrow \text{pada temperatur gas asap yang keluar lewat cerobong } 380^\circ\text{F} (193,33^\circ\text{C})$$

$$Q_{\text{kebutuhan}} = 69844162,832 \text{ Btu/jam}$$

Rencana rancangan generator uap ini menggunakan 2 buah silinder api, 1 buah kotak api, satu buah cerobong asap dan dua rangkaian pipa – pipa api dengan dimensi yang sama pada bagian atau komponen yang sama (kembar).

$$\begin{aligned} Q_{\text{pipa – pipa api}} &= 69844162,832 - 2(3122827,241) - 5853618,100 - 9056288,261 \\ &= 48688601,989 \text{ Btu/jam} \\ &= 51359284,798 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

¹¹⁾ Ibid. hal 47

Selanjutnya pada perancangan ini akan digunakan pipa dengan ukuran (Tabel 4.1) pada lampiran.

Schedule 40

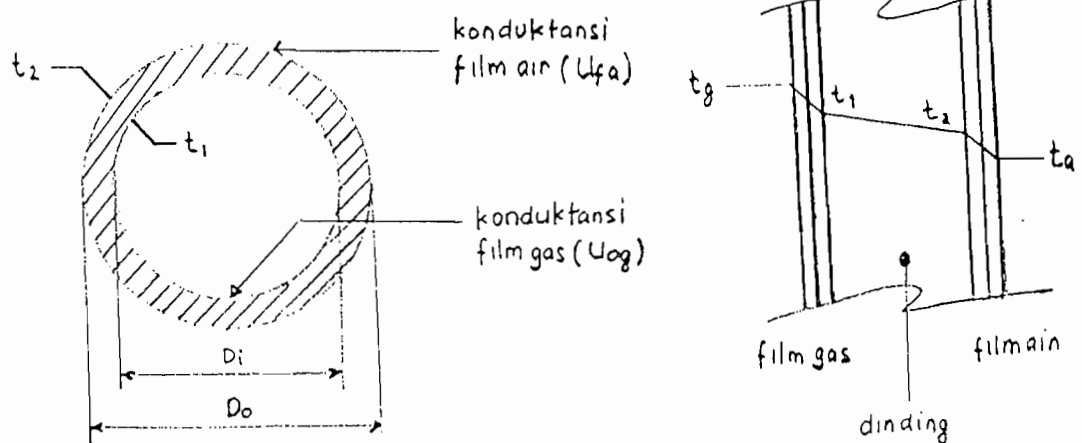
Diameter dalam (D_i) = 4,026 in = 0,3355 ft (0,1022 m)

Diameter luar (D_o) = 4,5 in = 0,375 ft (0,1142m)

Panjang pipa (L) = 12 ft (direncanakan) (3,6574m)

4.6 Perhitungan Perpindahan Panas Pada Pipa – Pipa Api Luluang I

Perpindahan panas dari gas asap ke air melalui dinding pipa dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 4.2. Bagan Perpindahan Panas Pada pipa

Pipa api menerima panas dari gas asap yang mengalir secara konveksi, selanjutnya panas tersebut merambat dari permukaan dinding pipa dalam (t_1) menuju dinding pipa luar (t_2) yang berbatasan dengan air

secara konduksi. Kemudian panas akan dialirkan pada air secara konveksi (aliran).

Laju perpindahan panas yang terjadi dari gas asap ke air adalah :¹²⁾

$$Q_{ip} = U \times A \times \Delta t_m \quad (4.7)$$

Dengan, Q_{ip} = laju perpindahan panas (Btu/jam)

U = konduktifitas panas menyeluruh (Btu/ft². jam. °F)

A = luas permukaan yang menghantar panas (ft²)

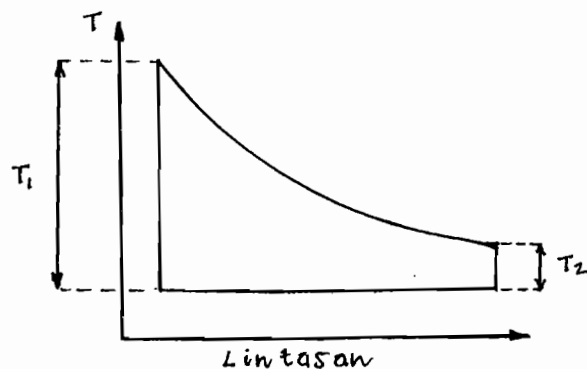
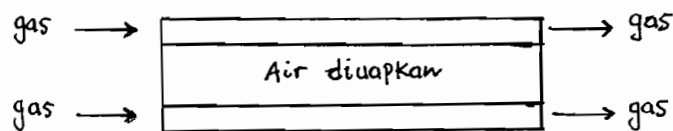
Δt_m = perbedaan temperatur rata – rata (°F)

$$= \frac{Tg_1 - Tg_2}{\log_e \frac{Tg_1 - Ta}{Tg_2 - Ta}} \quad (4.8)$$

$Tg_1 = Tg$ = temperatur gas asap meninggalkan kotak api = 2300 °F

Tg_2 = temperatur gas asap meninggalkan pipa api laluan I (asumsi) = 800 °F

Ta = temperatur air didih pada tekanan kerja = 399,705 °F



Gambar 4.3. Proses Perpindahan Suhu

¹²⁾ Ir. G. Harjanto, Pesawat pendingin pemanas, Pusat penerbitan Fakultas Teknik UGM, 1980

Kemudian harga – harga tersebut dimasukkan ke dalam persamaan (4.8) maka diperoleh perbedaan temperatur rata – rata $\Delta t_m = 727,719^\circ\text{F}$

Perhitungan luas permukaan bidang pemanas

Perhitungan luas permukaan bidang pemanas (*heating surface*) dapat dihitung dengan persamaan :

$$A_o = \pi \times D \times L \quad (4.9)$$

Dengan, A_o = luas permukaan tiap pipa (ft^2)

D = diameter luar pipa (ft)

L = panjang pipa (ft)

Maka, $A_o = \pi \times 0,375 \times 12$

$$= 14,13716 \text{ ft}^2$$

untuk mendapatkan luas permukaan seluruh pipa digunakan persamaan :

$$A = n \times A_o \quad (4.10)$$

Pada pengambilan pipa dilakukan dengan cara coba – coba (*try and error*).

Adapun jumlah pipa yang diasumsikan adalah $n = 118$ pipa, maka :

$$A = 118 \times 14,13716$$

$$= 1668,184 \text{ ft}^2$$

Perhitungan konduktansi panas menyeluruh

Konduktansi panas menyeluruh dihitung dengan persamaan :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_g \cdot \frac{D_o}{D_i}} + \frac{0,5 \times \log e \cdot \frac{D_o}{D_i}}{k} + \frac{1}{U_a}} \text{ Btu/ft. jam.}^\circ\text{F} \quad (4.11)$$

Dengan, U_g = konduktansi panas konveksi film gas ($\text{Btu/ft}^2 \cdot \text{jam.}^\circ\text{F}$)

K = konduktansi panas bahan pipa (Btu/ft². jam. °F)

U_a = konduktansi panas konveksi film air (Btu/ft². jam. °F)

Konduktansi panas konveksi film gas dihitung dengan cara sebagai berikut :

Luas penampang dalam :

$$A_{p_1} = \frac{\pi}{4} \times D_i^2 \quad (4.12)$$

$$= \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{4,026}{12} \right)^2$$

$$= 0,0884 \text{ ft}^2$$

luas penampang dalam untuk 118 pipa :

$$\begin{aligned} A_{P_n} &= 118 \times 0,0884 \\ &= 10,4312 \text{ ft}^2 \text{ (0,9689 m}^2\text{)} \end{aligned}$$

Gas massa velocity (Vg)

$$V_g = \frac{W_g}{A_{p_n}} \quad (4.13)$$

$$= \frac{110547,927}{10,4312}$$

$$= 10597,8149 \text{ lb/jam ft}^2$$

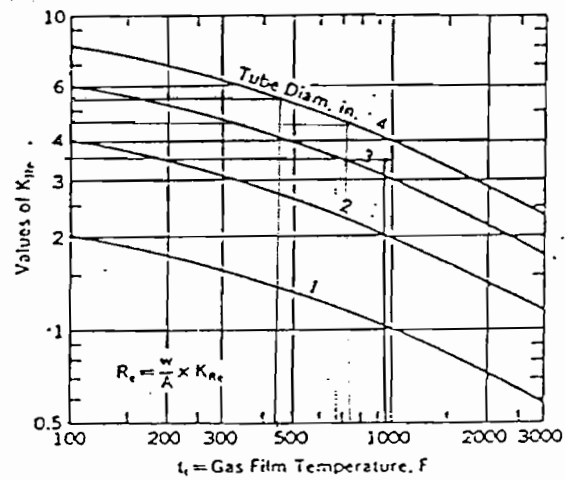
Gas film temperature (Tf) :

$$T_f = \text{temperatur didih pada tekanan kerja} + \left(\frac{\Delta t_m}{2} \right)$$

$$= 399,705 + \left(\frac{727,719}{2} \right)$$

$$= 763,5645 \text{ °F (406,424 °C)}$$

Dari gambar 4.4 untuk $D_i = 4,026$ in dan $T_f = 763,5645$ °F, didapatkan harga konstanta Reynold $K_{re} = 4,6$



Gambar 4.4 Konstanta Reynold berdasarkan diameter dalam pipa dan temperatur film gas

Sumber : Babcock & Wilcox, steam/It's Generation and Use, 1972, Hal. 4-6

$$\begin{aligned}
 Re &= K_{re} \times Vg \\
 &= 4,6 \times 10597,8149 \\
 &= 48749,948
 \end{aligned}$$

Perhitungan konduktifitas panas konveksi film gas asap menggunakan persamaan:¹³⁾

$$U_g = U'_{cl} \times F_{pp} \times F_t \quad (4.14)$$

Dengan,

U_g = konduktansi panas konveksi film gas asap (Btu/ft². jam °F)

U'_{cl} = dasar penghantar aliran konveksi memanjang (Btu/ft². jam °F)

F_{pp} = faktor sifat – sifat fisik, efek, dalam film gas

F_t = faktor temperatur

Dari gambar 4.5 untuk $V_g = 10597,8149$ lb/ft², dan $D_i = 4,026$ in didapat harga dasar penghantar aliran konveksi memanjang $U_{cl} = 54$.

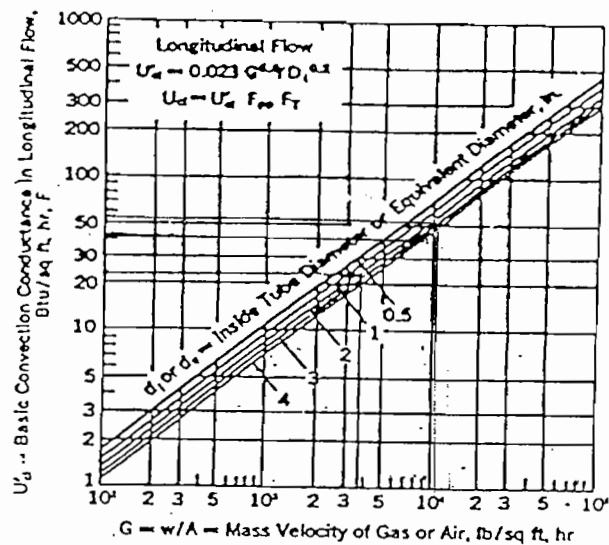
Dari gambar 4.6 untuk $T_f = 763,5645$ dan % H₂O dalam gas asap sisa pembakaran ($0,6085/13,9734 \times 100\% = 4,354\%$) didapatkan harga $F_{pp} = 0,198$

Dari gambar 4.7 untuk $T_f = 763,5645$ °F dan bulk temperature :

$$\left(\frac{2300 + 763,5645}{2} = 1531,782 \text{ } ^\circ F \right) \text{ didapatkan harga } F_t = 1,55$$

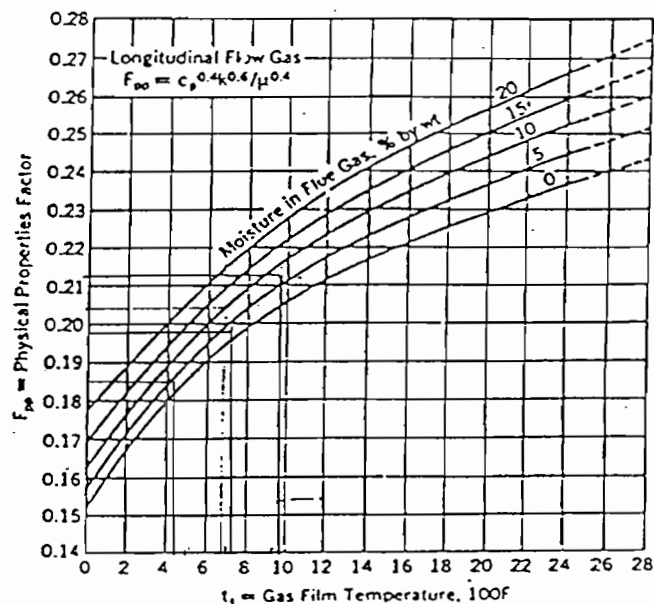
Kemudian harga – harga dari hasil di atas dimasukkan dalam persamaan 4.14 akan mendapatkan konduktansi panas konveksi film gas asap sebesar $U_g = 16,5726$ Btu/ft².jam °F.

¹³⁾ Babcock & Wilcox, steam/It's Generation and Use, 1972, Hal. 14-6



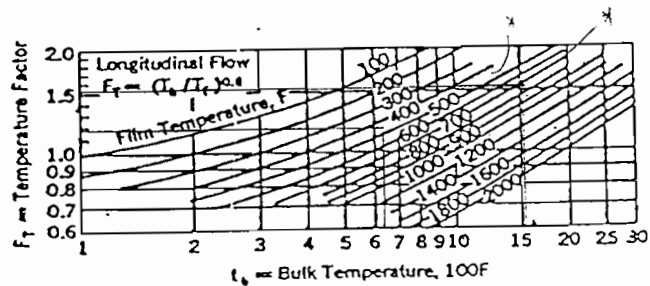
Gambar 4.5 Konduktansi panas konveksi dasar pada aliran memanjang dari hubungan massa velocity udara, gas atau uap dengan berbagai diameter pipa.

Sumber : Babcock & Wilcox, steam/It's Generation and Use, 1972, Hal. 4-8



Gambar 4.6 Pengaruh film temperatur pada faktor sifat fisik untuk gas pada aliran memanjang

Sumber : Babcock & Wilcox, steam/It's Generation and Use, 1972, Hal. 4-8



Gambar 4.7 Faktor temperatur karena perubahan massa velocity dari keseluruhan lapisan film dasar untuk gas dalam aliran memanjang
 Sumber : Babcock & Wilcox, steam/It's Generation and Use, 1972, Hal. 4-9

Perhitungan konduktansi panas konveksi film air sebagai berikut :¹⁴⁾

$$H_p = h_a \left[\frac{p}{p_a} \right]^{0,4} \text{ Btu/ ft}^2 \cdot \text{jam } ^\circ\text{F} \quad (4.15)$$

Dengan,

H_p = konduktansi panas konveksi film air pada tekanan kerja (Btu/ ft² . jam °F)

h_a = konduktansi panas konveksi film air pada tekanan atmosfer (Btu/ ft² . jam °F)

p = tekanan kerja generator (246,5 psia)

p_a = tekanan atmosfer (14,7 psia)

$$\text{Untuk } \frac{Q}{A} = \frac{48688601,989}{1668,184} = 29186,589 \text{ Btu/ ft}^2 \cdot \text{jam } ^\circ\text{F}$$

Didapat dari Tabel 4.2 Pada lampiran : $5000 < 29186,589 < 75000$ maka :

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

¹⁴⁾ Teori dan Soal Perpindahan Kalor, Alih bahasa, E. Jasfir, Erlangga, 1987, hal. 215

Configuration	h_c , Btu/hr-ft ² -°F	q/A , Btu/hr-ft ²
Horizontal surface (in wide vessel)	$h_c = 151(\Delta T)^{0.75}$ $h_c = (0.168)(\Delta T)^3$	$q/A < 5000$ $5000 < q/A < 75.000$
Vertical surface (in wide vessel)	$h_c = 87(\Delta T)^{0.75}$ $h_c = (0.24)(\Delta T)^3$	$q/A < 10000$ $1000 < q/A < 20.000$
Vertical tube (interior)	$h_c = 189(\Delta T)^{0.75}$ $h_c = (0.21)(\Delta T)^3$	$q/A < 5000$ $5000 < q/A < 75.000$

Tabel 4.2. Harga Q/A

Dengan, $\Delta T = T_{\text{surface}} - T_{\text{saturated}}$

$$= 17 \text{ }^\circ\text{F (direncanakan } \Rightarrow \text{ cek kemudian)}$$

sehingga, $h_a = 0,168 (17)^3$

$$= 825,384 \text{ Btu/ jam}$$

Kemudian dengan memasukkan harga – harga di atas pada persamaan (4.15)

didapatkan konduktansi panas konveksi film air pada tekanan kerja $H_p =$

2549,5050 Btu/ jam

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

dengan, $T_{\text{saturated}} = 399,705 \text{ }^\circ\text{F}$

$$T_{\text{surface}} = 399,705 + 17$$

$$= 416,705 \text{ }^\circ\text{F}$$

Peninjauan ΔT , untuk memeriksa perkiraan tersebut maka digunakan persamaan

berikut :

$$Q = U_a \times A \times \Delta T$$

$$48688601,989 = 2549,5050 \times 1668,184 \times (T_{\text{surface}} - 399,705)$$

$$T_{\text{surface}} = 411,152 \text{ }^\circ\text{F}$$

Cek terhadap perkiraan semula :

$$= \left(\frac{416,705 - 411,152}{416,705} \right) \times 100 \%$$

$$= 1,33 \%$$

Harga persentase hasil pengecekan sangat kecil, dengan demikian perkiraan tersebut dapat diterima.

Konduktansi bahan pipa diambil dari Tabel 4.3 untuk Carbon Steel berharga $K = 350$, dengan memasukkan harga – harga perhitungan di atas pada persamaan (4.11), maka diperoleh konduktansi panas menyeluruh $U = 17,960$ Btu/ jam

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.

Tabel 4.3. Konduktifitas Bahan

Sehingga laju perpindahan panas yang terjadi dari gas asap ke air adalah :

$$Q_p = 17,960 \times 1668,184 \times 727,719$$

$$= 21803390,788 \text{ Btu/ jam}$$

$$= 22999357,371 \text{ kJ/jam}$$

4.7 Perhitungan Perpindahan Panas Pada Pipa – Pipa Api Laluan II

Laju perpindahan panas yang terjadi dari gas asap ke air adalah :¹⁵⁾

$$Q_{tp} = U \times A \times \Delta t_m \quad (4.16)$$

Dengan, Q_{tp} = laju perpindahan panas (Btu/jam)

U = konduktifitas panas menyeluruh (Btu/ft². jam. °F)

A = luas permukaan yang menghantar panas (ft²)

Δt_m = perbedaan temperatur rata – rata (°F)

$$= \frac{T_{g_1} - T_{g_2}}{\log_e \frac{T_{g_1} - T_a}{T_{g_2} - T_a}} \quad (4.17)$$

T_{g_1} = T_g = temperatur gas asap meninggalkan pipa api laluan I = 800 °F

T_{g_2} = temperatur gas asap meninggalkan pipa api laluan II (asumsi) = 450 °F

T_a = temperatur air didih pada tekanan kerja = 399,705 °F

Kemudian harga – harga tersebut dimasukkan ke dalam persamaan (4.17)

maka diperoleh perbedaan temperatur rata – rata $\Delta t_m = 101,338$ °F

Perhitungan luas permukaan bidang pemanas

Perhitungan luas permukaan bidang pemanas (*heating surface*) dapat dihitung dengan persamaan :

$$A_o = \pi \times D \times L \quad (4.18)$$

Dengan, A_o = luas permukaan tiap pipa (ft²)

D = diameter luar pipa (ft)

L = panjang pipa (ft)

¹⁵⁾ Ir. G. Harjanto. Pesawat pendingin pemanas, Pusat penerbitan Fakultas Teknik UGM, 1980

Maka,

$$A_o = \pi \times 0,375 \times 12$$

$$= 14,13716 \text{ ft}^2$$

untuk mendapatkan luas permukaan seluruh pipa digunakan persamaan :

$$A = n \times A_o \quad (4.19)$$

Pada pengambilan pipa dilakukan dengan cara coba – coba (*try and error*).

Adapun jumlah pipa yang diasumsikan adalah $n = 118$ pipa, maka :

$$A = 118 \times 14,13716$$

$$= 1668,184 \text{ ft}^2$$

Perhitungan konduktansi panas menyeluruh

Konduktansi panas menyeluruh dihitung dengan persamaan :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{U_g \cdot \frac{D_o}{D_i}} + \frac{0,5 \times \log e \cdot \frac{D_o}{D_i}}{k} + \frac{1}{U_a}} \text{ Btu/ft. jam.}^\circ\text{F} \quad (4.20)$$

Dengan, U_g = konduktansi panas konveksi film gas (Btu/ft². jam.°F)

K = konduktansi panas bahan pipa (Btu/ft². jam.°F)

U_a = konduktansi panas konveksi film air (Btu/ft². jam.°F)

Konduktansi panas konveksi film gas dihitung dengan cara sebagai berikut :

Luas penampang dalam :

$$A_{p1} = \frac{\pi}{4} \times D_i^2 \quad (4.21)$$

$$= \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{4,026}{12} \right)^2$$

$$= 0,0884 \text{ ft}^2$$

luas penampang dalam untuk 118 pipa :

$$\begin{aligned} AP_n &= 118 \times 0,0884 \\ &= 10,4312 \text{ ft}^2 (0,9689 \text{ m}^2) \end{aligned}$$

Gas massa velocity (V_g)

$$\begin{aligned} V_g &= \frac{W_g}{Ap_n} && (4.22) \\ &= \frac{110547,927}{10,4312} \\ &= 10597,8149 \text{ lb/jam ft}^2 \end{aligned}$$

Gas film temperature (T_f) :

$$\begin{aligned} T_f &= \text{temperatur didih pada tekanan kerja} + \left(\frac{\Delta t_m}{2} \right) \\ &= 399,705 + \left(\frac{101,338}{2} \right) \\ &= 450,374 \text{ }^\circ\text{F} (232,222 \text{ }^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

Dari gambar 4.4 untuk $Di = 4,026 \text{ in}$ dan $T_f = 450,374^\circ\text{F}$, didapatkan harga konstanta Reynold $K_{re} = 5,5$

$$\begin{aligned} Re &= K_{re} \times V_g \\ &= 5,5 \times 10597,8149 \\ &= 58287,982 \end{aligned}$$

Perhitungan konduktifitas panas konveksi film gas asap menggunakan persamaan:¹⁶⁾

$$U_g = U'_{cl} \times F_{pp} \times F_t \quad (4.23)$$

Dengan,

U_g = konduktansi panas konveksi film gas asap (Btu/ft². jam °F)

U'_{cl} = dasar penghantar aliran konveksi memanjang (Btu/ft². jam °F)

F_{pp} = faktor sifat – sifat fisik, efek, dalam film gas

F_t = faktor temperatur

Dari gambar 4.5 untuk $V_g = 10597,8149$ lb/ft², dan $Di = 4,026$ in didapat harga dasar penghantar aliran konveksi memanjang $U_{cl} = 54$.

Dari gambar 4.6 untuk $T_f = 450,374$ °F dan % H₂O dalam gas asap sisa pembakaran ($0,6085/13,9734 \times 100\% = 4,354$ %) didapatkan harga $F_{pp} = 0,185$

Dari gambar 4.7 untuk $T_f = 450,374$ °F dan bulk temperature :

$$\left(\frac{800 + 450,374}{2} = 625,187 \text{ } ^\circ F \right) \text{ didapatkan harga } F_t = 1,2$$

Kemudian harga – harga dari hasil di atas dimasukkan dalam persamaan 4.23 akan mendapatkan konduktansi panas konveksi film gas asap sebesar $U_g = 11,988$ Btu/ft².jam °F.

Perhitungan konduktansi panas konveksi film air sebagai berikut :¹⁷⁾⁾

$$H_p = h_a \left[\frac{P}{P_a} \right]^{0,4} \text{ Btu/ ft}^2 \cdot \text{jam } ^\circ F \quad (4.24)$$

Dengan,

¹⁶⁾ Babcock & Wilcox, steam/It's Generation and Use, 1972, Hal. 14-6

¹⁷⁾⁾ Teori dan Soal Perpindahan Kalor, Alih bahasa, E. Jasfir, Erlangga, 1987, hal. 215

H_p = konduktansi panas konveksi film air pada tekanan kerja (Btu/ ft². jam °F)

h_a = konduktansi panas konveksi film air pada tekanan atmosfer (Btu/ ft². jam °F)

p = tekanan kerja generator (246,5 psia)

p_a = tekanan atmosfer (14,7 psia)

$$\text{Untuk } \frac{Q}{A} = \frac{48688601,989}{1668,184} = 29186,589 \text{ Btu/ ft}^2 \cdot \text{jam } ^\circ\text{F}$$

Didapat dari Tabel 4.2 Pada lampiran : $5000 < 29186,589 < 75000$ maka :

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

Dengan, $\Delta T = T_{\text{surface}} - T_{\text{saturated}}$

$$= 17 \text{ } ^\circ\text{F (direncanakan } \Rightarrow \text{cek kemudian)}$$

sehingga, $h_a = 0,168 (17)^3$

$$= 825,384 \text{ Btu/ jam}$$

Kemudian dengan memasukkan harga – harga di atas pada persamaan (4.24)

didapatkan konduktansi panas konveksi film air pada tekanan kerja $H_p =$

$$2549,5050 \text{ Btu/ jam}$$

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

dengan, $T_{\text{saturated}} = 399,705 \text{ } ^\circ\text{F}$

$$T_{\text{surface}} = 399,705 + 17$$

$$= 416,705 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Peninjauan ΔT , untuk memeriksa perkiraan tersebut maka digunakan persamaan

berikut :

$$Q = U_a \times A \times \Delta T$$

$$48688601,989 = 2549,5050 \times 1668,184 \times (T_{\text{surface}} - 399,705)$$

$$T_{\text{surface}} = 411,152 \text{ } ^\circ\text{F}$$



Cek terhadap perkiraan semula :

$$= \left(\frac{416,705 - 411,152}{416,705} \right) \times 100 \%$$

$$= 1,33 \%$$

Harga persentase hasil pengecekan sangat kecil, dengan demikian perkiraan tersebut dapat diterima.

Konduktansi bahan pipa diambil dari Tabel 4.3 untuk Carbon Steel berharga $K = 350$, dengan memasukkan harga – harga perhitungan di atas pada persamaan (4.20), maka diperoleh konduktansi panas menyeluruh $U = 13,0927$ Btu/ jam. Sehingga laju perpindahan panas yang terjadi dari gas asap ke air adalah :

$$Q_{lp} = 13,0927 \times 1668,184 \times 101,338$$

$$= 2213339,314 \text{ Btu/ jam}$$

$$= 2334746,112 \text{ kJ/jam}$$

Pemeriksaan laju perpindahan panas pada pipa api.

Dengan 1 buah rangkaian pipa – pipa api yang berjumlah 236 buah dihasilkan kalor $Q = 21803390,788 + 2213339,314$ Btu/ jam = 24016730,103 Btu/jam, dalam perancangan ini menggunakan 2 buah rangkaian pipa – pipa api sehingga kalor yang dihasilkan sebesar :

$$Q = 2 \times 24016730,103 \text{ Btu/ jam} = 48033460,204 \text{ Btu/ ft}^2 \cdot \text{jam } ^\circ\text{F} = 50668206,966 \text{ kJ/jam}$$

Dengan demikian terdapat perbedaan perkiraan harga Q semula sebesar :

$$= \left(\frac{48688601,989 - 48033460,204}{48688601,989} \right) \times 100 \%$$

$$= 1,34 \%$$

BAB V

PERHITUNGAN KEKUATAN

5.1 Silinder Generator

Sebagai bahan untuk pembuatan silinder generator digunakan baja karbon dengan spesifikasi SA 302 A dengan kekuatan yang diijinkan sebesar 18.750 psi pada 650° F. Kandungan karbon 0,23 %, fosfor 0,035 %, sulfur 0,04% (dari Tabel material untuk silinder generator). Sedangkan kandungan unsur lain seperti mangan, silikon, molybden berpengaruh pada torsi titik lebur bahan dan penguat ikatan antar atom pembentuk materi tersebut. Diameter silinder dapat dihitung dengan persamaan :¹⁸⁾

$$D = 2d + 0,98 \quad (5.1)$$

Dengan, D = diameter silinder generator

d = diameter lorong api = 4,5 ft

maka : $D = 2 \times 4,5 + 0,98$

$$= 9,98 \text{ ft}$$

$$= 119,76 \text{ in}$$

$$= 3,042 \text{ m}$$

Untuk ukuran tebal minimum dinding silinder generator dapat dihitung dengan rumus :¹⁹⁾

$$t_m = \frac{P \times r}{\sigma \times E - (1 - Y)P} + C \quad (5.2)$$

¹⁸⁾ Ir Syamsir A. Muin hal.334

¹⁹⁾ Even B. Woodruff, Herbert B. Lamers, hal.70

Dengan, t_m = tebal minimum dinding generator (in)
 r = jari – jari silinder bagian dalam
 P = tekanan kerja generator (psi)
 σ = tegangan yang diijinkan pada material/bahan
 E = efisiensi pada arah memanjang
 Y = koefisien faktor temperatur
 C = nilai minimum yang diijinkan karena stabilitas dan pengerjaan bahan

Data – data yang sesuai dengan perhitungan diatas adalah :

$$P = 246,5 \text{ psi}$$

$$D = 119,76 \text{ in}$$

$$r = 59,88 \text{ in}$$

$$\sigma = 18750 \text{ psi (dari Tabel tegangan maksimum silinder generator)}$$

$$E = 90 \% \text{ (untuk konstruksi dengan sambungan las)}$$

$$Y = 0,7 \rightarrow \text{diatas } 1150 \text{ } ^\circ\text{F (dari Tabel harga koefisien Y)}$$

$$C = 0,065 \rightarrow \text{untuk diameter pipa } > 1,5 \text{ in (dari Tabel nilai C)}$$

Setelah memasukkan data – data diatas pada persamaan (5.2) maka dapat diketahui tebal minimum dinding generator $t_m = 0,943 \text{ in (2,395 cm)}$

Harga diatas adalah harga minimum tebal dinding generator. Untuk menjamin kekuatan diambil harga 1 in sebagai nilai tebal dinding generator.

5.2 Silinder Api

Bahan silinder api pada perancangan ini diambil carbon seamlees dengan tingkat bilangan spesifik SA – 210 C, dan kekuatan tariknya sebesar 17500 psi. (dari Tabel material untuk silinder generator)

Besar dimensi silinder api :

$$D_o = 4,8 \text{ ft} = 57,60 \text{ in}$$

$$D_i = 4,2 \text{ ft} = 50,4 \text{ in}$$

Untuk pemeriksaan tebal silinder digunakan persamaan :²⁰⁾

$$t_m = \frac{P \times D}{2\sigma + 2YP} + C \quad (5.3)$$

dengan, t_m = tebal minimum silinder api (in)

P = tekanan kerja generator (psi) = 246,5 psi

D = diameter luar silinder (in) = 57,60 in

σ = kekuatan tarik bahan (psi) = 17500 psi

Y = koefisien faktor temperatur = 0,7

C = nilai minimum yang diijinkan karena stabilitas dan pengerjaan bahan = 0,065

Kemudian setelah memasukkan data – data diatas pada persamaan (5.3) diketahui tebal minimum silinder api $t_m = 0,465$ in

Syarat tebal silinder api menurut Carl D Shield, hal.375 menyatakan bahwa tebal silinder api tidak kurang dari 0,21 in dan tidak lebih dari 0,81 in. jadi harga 0,465 in adalah harga yang bisa diterima dan diijinkan.

²⁰⁾ Charles T. Littleton 1962, hal.70

5.3 Pipa – Pipa Api

Pipa – pipa api pada generator ini dirancang menggunakan bahan baja karbon seamless dengan bilangan spesifik SA 106 C.

Dimensi pipa – pipa api :

$$d_o = 4,5 \text{ in}$$

$$d_i = 4,026 \text{ in}$$

$$t = 0,237 \text{ in (0,6019 cm)} \rightarrow \text{rancangan}$$

$$\sigma = 16600 \text{ untuk temperatur } 700 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$P = 246,5 \text{ psi}$$

$$Y = 0,7$$

$$C = 0,065$$

Dari data – data diatas kemudian dimasukkan pada persamaan (5.3), maka diperoleh tebal pipa minimum yang diijinkan sebesar $t_m = 0,098 \text{ in (0,2489 cm)}$

Tebal pipa hasil rancangan lebih besar daripada tebal pipa yang diijinkan. Dengan demikian tebal pipa rancangan dapat dipilih dan cukup kuat untuk rancangan.

5.4 Perhitungan Penahan “Stay”

Pada generator terjadi suatu gaya dorong, dan untuk menahan gaya dorong didalam generator diperlukan penahan yang dihubungkan antara tutup depan dengan tutup belakang pada silinder generator.

Dimensi generator adalah sebagai berikut :

$$D = 119,76 \text{ in}$$

$$P = 246,5 \text{ psi}$$

Bahan yang dipakai sebagai penahan adalah :²¹⁾

Baja tahan korosi untuk palang (bolt) dan Screw dengan kemampuan menahan beban 40.000

Jarak panahan dari pipa api (h = 20 in ; direncanakan)

Tebal tube/tebal lebar tabung (T) = 11,22 in

Diameter penahan dapat dihitung dengan persamaan :²²⁾

$$d = \frac{5T}{\sqrt{P}} \text{ in} \quad (5.4)$$

$$\begin{aligned} d &= \frac{5 \times 11,22}{\sqrt{246,5}} \\ &= 3,573 \text{ in} \end{aligned}$$

Luas bagian dari tube yang harus ditahan oleh batang penahan (*Stay*) adalah :²³⁾

$$A = (D - 2d)^2 \frac{\pi}{8} - \left(\frac{D}{2} - h + 2 \right) (D - 2d) \quad (5.5)$$

Setelah memasukkan data – data dari hasil perhitungan diatas diperoleh luas bagian dari tube sebesar $A = 711,831 \text{ in}^2$

Beban keseluruhan yang diteroma *stay* :²⁴⁾

$$\begin{aligned} F &= P \times A \\ &= 246,5 \times 711,831 \\ &= 175466,3415 \text{ lb} \end{aligned} \quad (5.6)$$

²¹⁾ Aarow D. Deutchman, Walter J. Mitchels Charles F, 1950 hal.315

²²⁾ Even B. Woodruf, hal.615

²³⁾ Ibid hal. 616

²⁴⁾ Ibid hal. 616

Setiap *stay* mampu menahan beban :

$$\begin{aligned}
 f &= \sigma \frac{\pi}{4} d^2 & (5.7) \\
 &= 40000 \times \frac{\pi}{4} \times (3)^2 \\
 &= 282600 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

Jumlah *stay* yang diperlukan :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{f}{F} & (5.8) \\
 &= \frac{282600}{175466,3415} \\
 &= 1,6 \rightarrow \text{maka diambil jumlah stay} = 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

5.5 Perhitungan Sambungan Las

Seluruh pengerjaan pembuatan silinder dilakukan dengan cara pengelasan. Pada arah memanjang penyambungan dilakukan setelah plat dilengkungkan dengan mesin pelengkung atau pengerol plat. Penyambungan pada arah melintang yaitu pembuatan sambungan antara dasar (plat yang akan ditembus dengan pipa – pipa api), dengan dinding generator dilakukan setelah menyambung pada arah memanjang.

Perhitungan sambungan pada arah memanjang.

Tekanan kerja dalam generator menyebabkan dinding silinder generator menerima gaya sebesar :²⁵⁾

$$F_t = D \times L \times P \quad (5.9)$$

²⁵⁾ Ir. M. J. Djokosetyardjo, Ketel Uap, 1993, hal. 173

dengan, F_t = gaya dinding silinder arah memanjang (lb)

D = diameter silinder dalam silinder generator = 119,76in

L = panjang silinder generator = 236,22 in

P = tekanan kerja generator = 246,5 psi

Setelah memasukkan data – data tersebut diatas pada persamaan (5.9) maka diketahui gaya dinding silinder $F_t = 6973412,825$ lb (3165929,422 kg)

Sehingga sambungan las arah memanjang mendapat tegangan :

$$\sigma = \frac{F_t}{a \times b} \quad (5.10)$$

dengan, σ = tegangan yang terjadi pada sambungan arah memanjang (psi)

F_t = gaya dinding silinder arah memanjang (lb)

a = tebal kampuh

$$= \frac{1}{2} \sqrt{2 \times s} \rightarrow s = \text{tebal plat} = 0,943 \text{ in}$$

$$= 0,686 \text{ in}$$

b = panjang kampuh

$$= L - 3a$$

$$= 236,22 - 3(0,686)$$

$$= 234,162 \text{ in}$$

$$\text{Sehingga, } \sigma = \frac{6973412,825}{0,686 \times 234,162}$$

$$= 43411,505 \text{ Psi}$$

Tegangan yang terjadi pada sambungan arah memanjang sebesar 43411,505 Psi dengan demikian tegangan yang terjadi pada sambungan lebih kecil dari tegangan

yang diijinkan sebesar 75000 Psi. Jadi sambungan pada arah memanjang pada silinder generator cukup kuat.

Perhitungan sambungan pada arah melintang.²⁶⁾

$$F_m = \frac{\pi x D^2 x P}{4} \quad (5.11)$$

Dengan, F_m = gaya dinding silinder arah melintang (lb)

D = diameter silinder dalam silinder generator = 119,76 in

P = tekanan kerja generator = 246,5 psia

Setelah memasukkan data – data diatas maka diketahui gaya dinding silinder arah melintang $F_m = 2775301,402$ lb

Tegangan yang diterima sambungan arah melintang :

$$\sigma = \frac{F_m}{a x L} \quad (5.12)$$

dengan, σ = tegangan yang terjadi pada sambungan arah melintang (psi)

F_m = gaya dinding silinder arah melintang(lb)

a = tebal kampuh = 0,686 in

L = panjang kampuh

$$= \pi x b - 3 x a$$

$$= \pi x 234,162 - 3 x 0,686$$

$$= 733,210 \text{ in}$$

sehingga :

$$\sigma = \frac{2775301,402}{0,686 x 733,210} = 5517,695 \text{ Psi}$$

²⁶⁾ Ibid hal. 174

Tegangan yang terjadi pada sambungan arah melintang sebesar 5517,695 Psi dengan demikian tegangan yang terjadi pada sambungan lebih kecil dari tegangan yang diijinkan sebesar 75000 Psi. Jadi sambungan pada arah melintang pada silinder generator cukup kuat.

BAB VI

ISOLASI GENERATOR

Perbedaan temperatur yang terjadi antara ruang kerja generator dan udara luar akan mengakibatkan panas dari generator lebih cepat terbang ke udara bebas. Untuk mengurangi kerugian panas yang terbang maka generator perlu untuk diisolasi.

Pada umumnya walaupun isolasi dinding generator telah dibuat dengan baik tetapi isolasi tersebut hanya berfungsi untuk memperkecil kerugian dan bukan meniadakan kerugian akibat perbedaan temperatur. Kegunaan lain dari isolasi dinding generator adalah demi menjaga keamanan, karena suhu dari generator akan terserap isolasi yang akhirnya pada dinding isolasi terluar suhu akan lebih rendah dari sekitar dan sedikit lebih tinggi dari suhu luar, sebagai resiko luka bakar akibat menyentuh dinding yang panas ditiadakan.

Syarat isolasi adalah sebagai berikut :

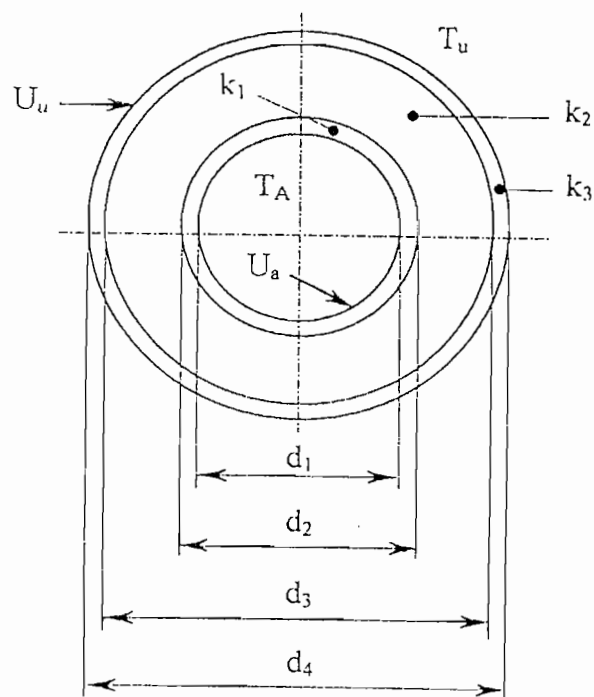
- a. Tahan terhadap temperatur tinggi
- b. Tahan terhadap korosi dari debu dan gas asap yang terjadi
- c. Konstruksi harus kuat terhadap pemuaian tekanan
- d. Mengurangi panas yang keluar lewat dinding generator
- e. Pemasangan dan perawatan harus ekonomis
- f. Dinding luar harus tahan terhadap perubahan cuaca
- g. Dapat menahan jika ada kebocoran dinding generator

6.1 Perancangan isolasi pada silinder generator

Data -- data perancangan :

- Plat penutup isolasi digunakan aluminium dengan tebal 0,5 in (1,27 cm)
- Isolasi digunakan bahan glaaswooll dengan ketebalan 4 in (10,16 cm)

Gambar perancangan isolasi adalah sebagai berikut :



Keterangan :

d_1 = diameter dalam silinder generator

d_2 = diameter luar silinder generator

= diameter dalam isolasi

d_3 = diameter luar isolasi

= diameter dalam plat penutup

d_1 = diameter luar plat penutup

k_1 = konduktansi bahan silinder generator

k_2 = konduktansi bahan isolasi

k_3 = konduktansi plat penutup

U_a = konduktansi film air

U_u = konduktansi film udara

Harga – harga dari koefisien tersebut adalah :

$$d_1 = 119,76 \text{ in (3,04 m)}$$

$$U_a = 2549,5050 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{jam } ^\circ\text{F}$$

$$T_a = 399,705 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_u = 80 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Luas permukaan silinder generator (A_k)

$$A_k = \pi \cdot d_2 \cdot L + 2 \frac{\pi}{4} \cdot (d_2)^2 \quad (6.1)$$

Diameter luar generator sebelum diisolasi

$$d_2 = d_1 + 2t \quad (6.2)$$

$$= 119,76 + 2 \cdot 1$$

$$= 121,76 \text{ in(3,09 m)}$$

Panjang silinder generator sebelum diisolasi

$$L = 236,22 + 2t \quad (6.3)$$

$$= 236,22 + 2 \cdot 1$$

$$= 238,22 \text{ in (6,05 m)}$$

Luas permukaan silinder generator

$$A_k = \pi \times \left(\frac{121,76}{12}\right) \times \left(\frac{238,22}{12}\right) + 2 \times \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{121,76}{12}\right)^2$$

$$= 794,039 \text{ ft}^2$$

Perhitungan konduktivitas panas

$$U_{ca} = H_p = h_a \left(\frac{P}{P_a}\right)^{0,4} \quad (6.4)$$

h_a = konduktivitas panas film

$$= 825,384 \text{ Btu/hr. ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

P = tekanan kerja = 246,5 psi

P_a = tekanan atmosfer = 14,7 psi

$$U_{ca} = 825,384 \times \left(\frac{246,5}{14,7}\right)^{0,4}$$

$$= 2549,5050 \text{ Btu/ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Perhitungan konduktivitas panas film udara

Konduktivitas panas film udara dihitung dengan menggunakan persamaan ²⁷⁾

$$U_u = 1,6 + 1,3 V \quad (6.5)$$

Dengan V = kecepatan angin (ft/jam)

= asumsi kecepatan angin 0,568 ft/jam

sehingga,

$$U_u = 1,6 + 1,3 \times 0,568$$

$$= 1,77 \text{ Btu/f t}^2 \cdot \text{hr.} \cdot ^\circ\text{F}$$

²⁷⁾ Ir. G. Harjanto, Pesawat Pendingin Pemanas. Pusat penerbitan, Fakultas Teknik UGM. 1980
hal 156.

Berdasarkan ketentuan Carl D. Shield dalam bukunya “Boiler Type Characteristics And Function” batas konduktivitas panas film udara adalah $0,2 - 8 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{F}$.

Konduktivitas panas menyeluruh pada dinding dan isolasi silinder generator dapat dicari dengan persamaan :²⁸⁾

$$U = \frac{1}{\left(\frac{d_4}{d_1} \times \frac{1}{Uca}\right) + \left(\frac{d_4}{2k_1} \times \log \frac{d_2}{d_1}\right) + \left(\frac{d_4}{2k_2} \times \log \frac{d_3}{d_2}\right) + \left(\frac{d_4}{2k_3} \times \log \frac{d_4}{d_3}\right) + \frac{1}{Uu}} \quad (6.6)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} d_4 &= d_2 + 2 \cdot t_{\text{isolasi}} + 2 \cdot t_{\text{aluminium}} \\ &= 121,76 + 2 \cdot 4 + 2 \cdot 0,5 \\ &= 130,76 \text{ in (3,32 m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3 &= d_4 - 2 \cdot t_{\text{aluminium}} \\ &= 130,76 - 2 \cdot 0,5 \\ &= 129,76 \text{ in (3,29 m)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= d_3 - 2 \cdot t_{\text{isolasi}} \\ &= 129,76 - 2 \cdot 4 \\ &= 121,76 \text{ in (3,09 m)} \end{aligned}$$

$$d_1 = 119,76 \text{ in (3,04 m)}$$

Berdasarkan Tabel VI.1 :

$$\begin{aligned} k_1 &= \text{konduktivitas bahan generator (carbon steel) } = 350 \text{ Btu/hr.ft}^2, \text{ F/in} \\ &= 29,1667 \text{ Btu/hr.ft}^2, \text{ F/ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k_2 &= \text{konduktivitas bahan isolasi (glasswool halus) } = 0,264 \text{ Btu/hr.ft}^2, \text{ F/in} \\ &= 0,022 \text{ Btu/hr.ft}^2, \text{ F/ft} \end{aligned}$$

²⁸⁾ Ibid hal.156

$$k_3 = \text{konduktivitas bahan plat penutup (aluminium) } = 1404 \text{ Btu/hr.ft}^2, \text{ F/in}$$

$$= 177 \text{ Btu/hr.ft}^2, \text{ F/ft}$$

Setelah memasukkan harga – harga tersebut diatas pada persamaan (6.6) maka diketahui harga konduktansi panas menyeluruh pada dinding dan isolasi silinder generator adalah :

$$U = 0,135 \text{ Btu/hr.ft}^2.$$

Perhitungan temperatur bagian luar plat penutup isolasi .²⁹⁾

$$Qd = U \times A \times \Delta T'$$

$$= 0,135 \times 794,039 \times (399,705 - 80)$$

$$= 34270,862$$

$$Qd = \frac{A(T_{sat} - T_4)}{\left(\frac{d_4}{d_1} \times \frac{1}{Uca}\right) + \left(\frac{d_4}{2k_1} \times \log \frac{d_2}{d_1}\right) + \left(\frac{d_4}{2k_2} \times \log \frac{d_3}{d_2}\right) + \left(\frac{d_4}{2k_3} \times \log \frac{d_4}{d_3}\right) + \frac{1}{Uu}} \quad (6.7)$$

$$34270,862 = \frac{794,039(399,705 - T_4)}{7,41}$$

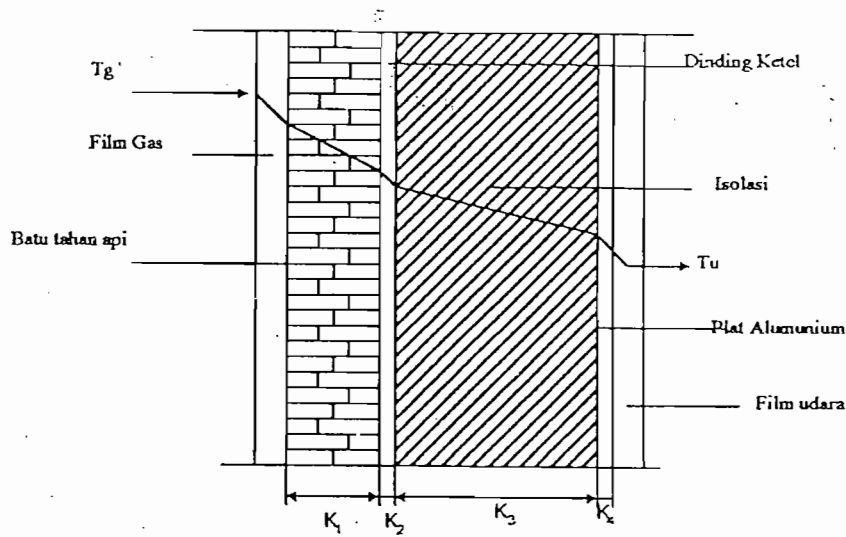
$$T_4 = 79,89 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$= 26,60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6.2 Perencanaan isolasi tutup belakang silinder generator

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 temperatur yang tinggi. Sehingga dibutuhkan batu tahan api sebagai isolasi (lihat skema gambar)

²⁹⁾ Babcock & Wilcox, Steam /It's Generation And Use, 1972.4 - 3



Pada perancangan ini direncanakan :

Tebal fire brick = 8 in (20,32 cm)

Tebal isolasi = 4 in (10,16 cm)

$$Q_{tb} = \frac{A_{tb}(T_g - T_u)}{\left(\frac{1}{U_{ca}}\right) + \left(\frac{t_1}{k_1}\right) + \left(\frac{t_2}{k_2}\right) + \left(\frac{t_3}{k_3}\right) + \left(\frac{t_4}{k_4}\right) + \left(\frac{1}{U_u}\right)} \quad (6.8)$$

Dengan,

A_{tb} = luas penampang tutup belakang

$$\begin{aligned} &= \frac{\pi \left(\frac{130,76}{12}\right)^2}{4} \\ &= 93,20 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

T_g = temperatur gas asap = 2400 °F

T_u = temperatur udara luar = 80 °F

U_{ca} = konduktansi panas film air = 2549,5050 Btu/ft² . °F

$$t_1 = \text{tebal batu tahan api} = 8 \text{ in } (2,03 \text{ cm })$$

$$t_2 = \text{tebal silinder generator} = 1 \text{ in } = (2,54 \text{ cm })$$

$$t_3 = \text{tebal isolasi} = 4 \text{ in } (10,16 \text{ cm })$$

$$t_4 = \text{tebal plat aluminium} = 0,5 \text{ in } (1,27 \text{ cm })$$

$$k_1 = \text{konduktivitas batu tahan api (tanah diatome dicetak dan dibakar)}$$

$$= 0,138672 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F/ft}$$

$$k_2 = \text{konduktivitas bahan generator} = 29,1667 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F}$$

$$k_3 = \text{konduktivitas bahan isolasi (glass wool)} = 0,022 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F}$$

$$k_4 = \text{konduktivitas plat aluminium} = 117 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{F/ft}$$

$$Uu = \text{konduktivitas panas film udara} = 1,77 \text{ Btu/ft}^2 \cdot \text{hr. }^\circ\text{F}$$

Setelah memasukkan harga – harga tersebut pada persamaan (6.8) didapatkan

$$\text{harga } Q_{tb} = 10495,292$$

Perhitungan temperatur luar tutup belakang :

$$Q_{tb} = \frac{A_{tb}(T_g - T_5)}{\left(\frac{1}{Uca}\right) + \left(\frac{t_1}{k_1}\right) + \left(\frac{t_2}{k_2}\right) + \left(\frac{t_3}{k_3}\right) + \left(\frac{t_4}{k_4}\right) + \left(\frac{1}{Uu}\right)}$$

$$10495,295 \times 20,602 = 93,20 (2400 - T_5)$$

$$T_5 = 79,99 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$= 26,667 \text{ }^\circ\text{C}$$

Pemeriksaan kerugian panas melalui dinding dan isolasi generator :

$$Q_{di} = Q_d + Q_{tb}$$

$$= 34270,862 + 10495,292$$

$$= 44766,154$$

Perentase dari panas yang dihasilkan bahan bakar :

$$\begin{aligned} &= \frac{Q_{di}}{LHV.Mb} \times 100\% \\ &= \frac{44766,154}{11035,490 \times 7911,312} \times 100\% \\ &= 0,051 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan asumsi rugi – rugi generator pada bab IV diambil harga 9 %, maka dengan hasil tersebut diatas rancangan ini adalah baik.

BAB VII

EFISIENSI GENERATOR

Efisiensi atau daya guna generator adalah perbandingan konsumsi panas yang digunakan dengan suplai panas yang ada. Untuk menghitung efisiensi generator, digunakan dengan 2 cara yaitu :

- a. Efisiensi dengan cara langsung
- b. Efisiensi dengan cara tidak langsung

7.1 Efisiensi dengan cara langsung

Efisiensi dengan cara langsung adalah perhitungan efisiensi generator yang didasarkan pada panas yang digunakan dengan energi panas yang tersedia. Dalam hal ini efisiensi merupakan hasil perhitungan dari energi uap yang dihasilkan dibagi dengan nilai pembakaran dari bahan bakar, atau secara matematis dapat ditulis :³⁰⁾

$$\mu_k = \frac{Ma (hu - ha)}{Mb \times LHV} \times 100\% \quad (7.1)$$

dengan,

μ_k = efisiensi generator (%)

Ma = massa uap yang dihasilkan / jam (lb/jam) = 66079,295 lb/jam

hu = enthalpi uap hasil (Btu/lb) = 1200,995 Btu/lb

ha = enthalpi air masuk generator (Btu/lb) = 143,980 Btu/lb

³⁰⁾ Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 223

$$M_b = \text{kebutuhan bahan bakar/jam (lb/jam)} = 7911,312 \text{ lb/jam}$$

$$\text{LHV} = \text{nilai pembakaran bahan bakar (Btu/lb)} = 11035,490 \text{ Btu/lb}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} \mu_k &= \frac{66079,225 (1200,995 - 143,98)}{7911,312 \times 11035,490} \times 100\% \\ &= 80\% \end{aligned}$$

7.2 Efisiensi tidak langsung

Efisiensi tidak langsung merupakan pemeriksaan terhadap efisiensi yang telah didapat dari hasil perhitungan secara langsung. Untuk menghitung efisiensi secara tidak langsung harus dihitung kerugian – kerugian panas yang terjadi, kerugian panas tersebut antara lain :

- a. Kerugian panas yang terbawa oleh gas asap keluar cerobong

Gas asap yang dibuang keluar melalui cerobong masih bersuhu cukup dan masih ada panas yang terkandung didalamnya. Panas yang terbawa oleh gas asap tersebut dapat dihitung dengan persamaan ³¹⁾

$$Q_g = 0,24 M_g (T_{gc} - T_{um}) \quad (7.2)$$

Dengan,

M_g = gas asap yang dihasilkan / lb bahan bakar

T_{gc} = temperatur gas asap masuk cerobong = 450 °F

T_{um} = temperatur udara masuk ruang bakar = 80 °F

$$\begin{aligned} Q_g &= 0,24 \cdot 13,9734 \cdot (450 - 80) \\ &= 1240,838 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

³¹⁾ James Jackson 1980, hal.52

b. Besar kerugian panas yang melalui dinding generator

$$\begin{aligned}
 Q_{dk} &= \frac{Q_{di}}{M_b} & (7.3) \\
 &= \frac{44766,154}{7911,312} \\
 &= 5,658 \text{ Btu/lb. Bahan bakar/ jam}
 \end{aligned}$$

c. Kerugian panas karena terbentuknya uap air yang disebabkan adanya Hidrogen dalam bahan bakar. Hidrogen merupakan salah satu unsur penyusun bahan bakar dan akan bereaksi dengan oksigen dalam proses pembakaran dan membentuk uap air. Kerugian ini dihitung berdasarkan rumus :

$$Q_{LH} = 9 \cdot H_2O \cdot (1089 - T_f + 0,46 \cdot T_c) \quad (7.4)$$

Dimana, T_c = temperatur gas asap masuk cerobong = 450 °F

T_f = temperatur udara masuk ruang bakar = 80 °F

Dalam kandungan bahan bakar yang digunakan generator terdapat Hidrogen sebanyak 5,8 % tiap lb bahan bakar, sehingga :

$$\begin{aligned}
 Q_{LH} &= 9 \cdot (0,058) \cdot (1089 - 80 + 0,46 \cdot 450) \\
 &= 634,752 \text{ Btu/lb}
 \end{aligned}$$

Sehingga jumlah kerugian total $Q_{losses} = 1240,838 + 5,658 + 634,752$
 $= 1881,248$

$$\begin{aligned}
 \mu_k &= \frac{11035,490 - 1881,248}{11035,490} \\
 &= 82,9 \%
 \end{aligned}$$

Efisiensi generator dengan nilai 80 % - 82,9 % adalah masuk akal untuk generator jenis SCHOTCH. Suhu dari gas asap yang keluar dari cerobong masih agak tinggi. Jadi dengan demikian gas – gas asap ini akan hilang sebagian dari jumlah panasnya. Kerugian ini disebut kerugian corong dan biasanya berkisar antara 20% dari jumlah bahan bakar yang diperoleh dari bahan bakar.

BAB VIII

CEROBONG

Cerobong berfungsi untuk mengalirkan gas asap keluar dari generator uap dengan kecepatan tertentu, dan digunakan untuk mengatasi gesekan – gesekan yang terjadi terhadap aliran gas asap, mulai dari rangka bakar/ pembakar, hingga keluar dari cerobong (untuk menimbulkan isapan cerobong / *stack draught*). Cerobong biasanya berbentuk menjulang keatas hal tersebut berfungsi untuk membuang gas asap setinggi mungkin sehingga tidak mengganggu lingkungan sekitarnya. Tinggi cerobong tersebut dipengaruhi oleh keadaan setempat. Cerobong boleh dibangun agak rendah pada daerah yang banyak hembusan anginnya, karena hembusan angin tersebut akan mempercepat penyebaran gas asap keudara. Untuk daerah perkotaan cerobong dibangun relatif tinggi, sedang penempatan cerobong disekitar lapangan pesawat terbang cerobong tidak boleh terlalu tinggi karena mengganggu lalu lantan udara. Cerobong dapat dibangun dari batu bata, beton bertulang atau plat baja. Konstruksi yang paling ringan adalah dengan memakai plat baja, tetapi mempunyai kerugian terjadinya pengkaratan/korosi. Sedangkan kelebihanannya dibanding dengan batu bata adalah mudah dan cepat dalam pembuatannya. Untuk mengalirkan atau menyalurkan gas asap sisa dari ruang bakar menuju cerobong sampai keluar ke udara bebas digunakan 2 sistem yaitu :



1. Sistem tarikan alam (*Natural draft*)

Pada sistem ini proses keluarnya gas asap yang berasal dari udara dalam ruang bakar menuju bagian – bagian generator hingga keluar dari badan generator, akibat adanya perbedaan berat jenis gas asap dan udara luar, sehingga gas asap keluar karena tarikan dari cerobong itu sendiri.

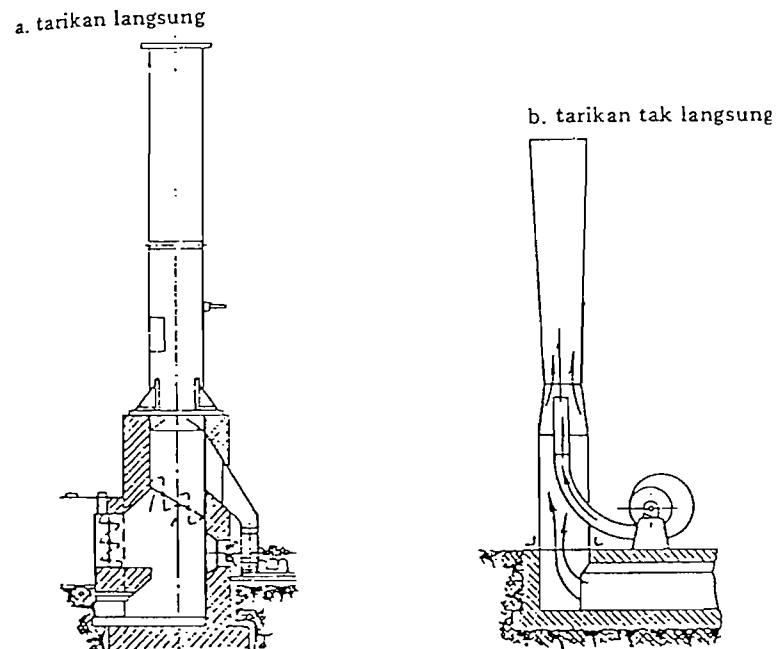
2. Sistem tarikan paksa (*Forced draft*)

Pada sistem ini tarikan yang ditimbulkan oleh cerobong tidak mampu menimbulkan aliran udara masuk ruang bakar dan gas asap melewati bagian – bagian generator tersebut untuk dibuang keluar melalui cerobong. Maka perlu dibantu dengan fan/blower.

Pada sistem tarikan paksa digunakan 3 macam cara yaitu :

- a. Tarikan isap (*IDF : Induced Draft Fan*)

Fan digunakan untuk menghisap gas asap dari dalam generator dan membuang keluar lewat cerobong, sehingga ruang bakar bertekanan sedikit lebih rendah dari tekanan udara luar. Sistem ini juga disebut *Under pressure furnace*

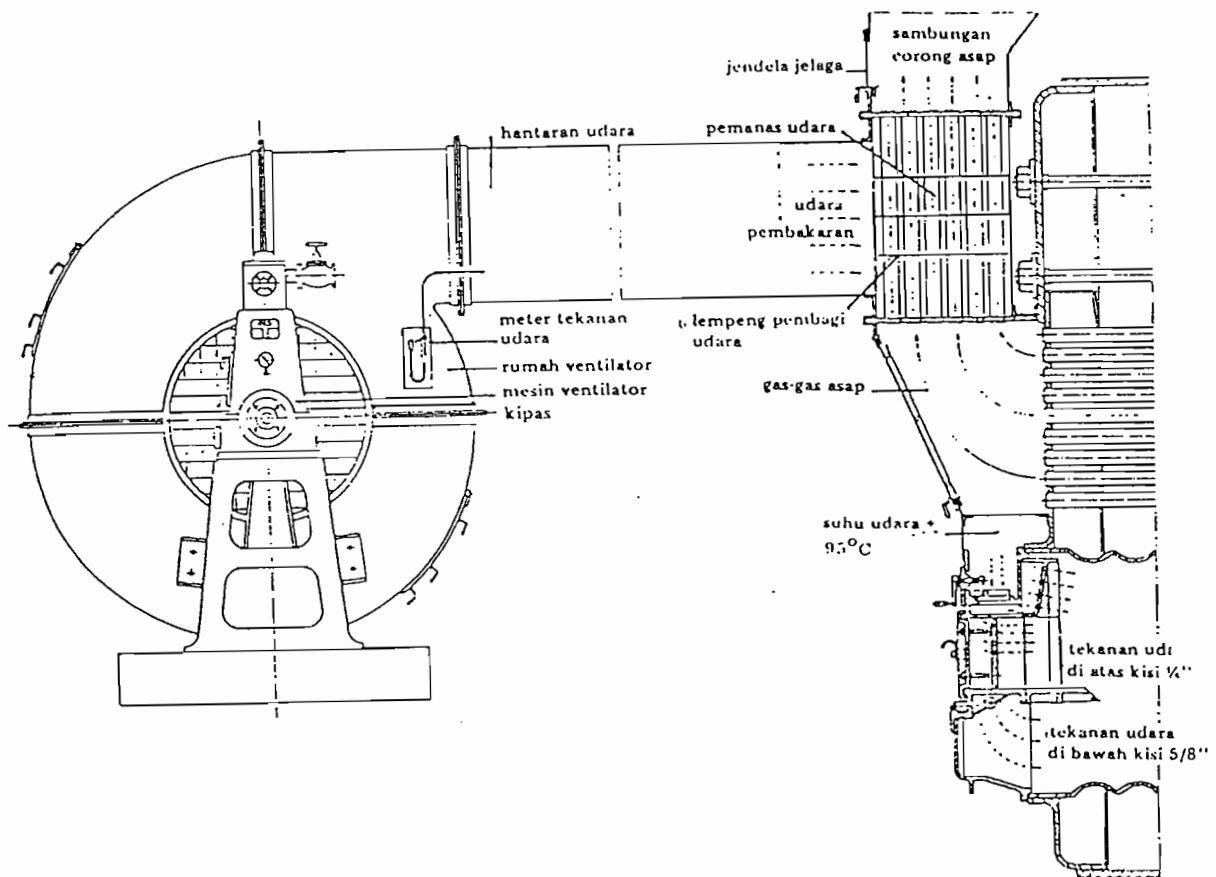


Gambar VIII.1 Sistem tarikan isap

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, hal.252

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

Bila gas asap dihembuskan keluar dari ruang bakar oleh fan yang dipasang pada dinding ruang bakar sehingga ruang bakar bertekanan lebih besar dari tekanan udara luar. Sistem ini juga disebut *Pressurised furnace*.



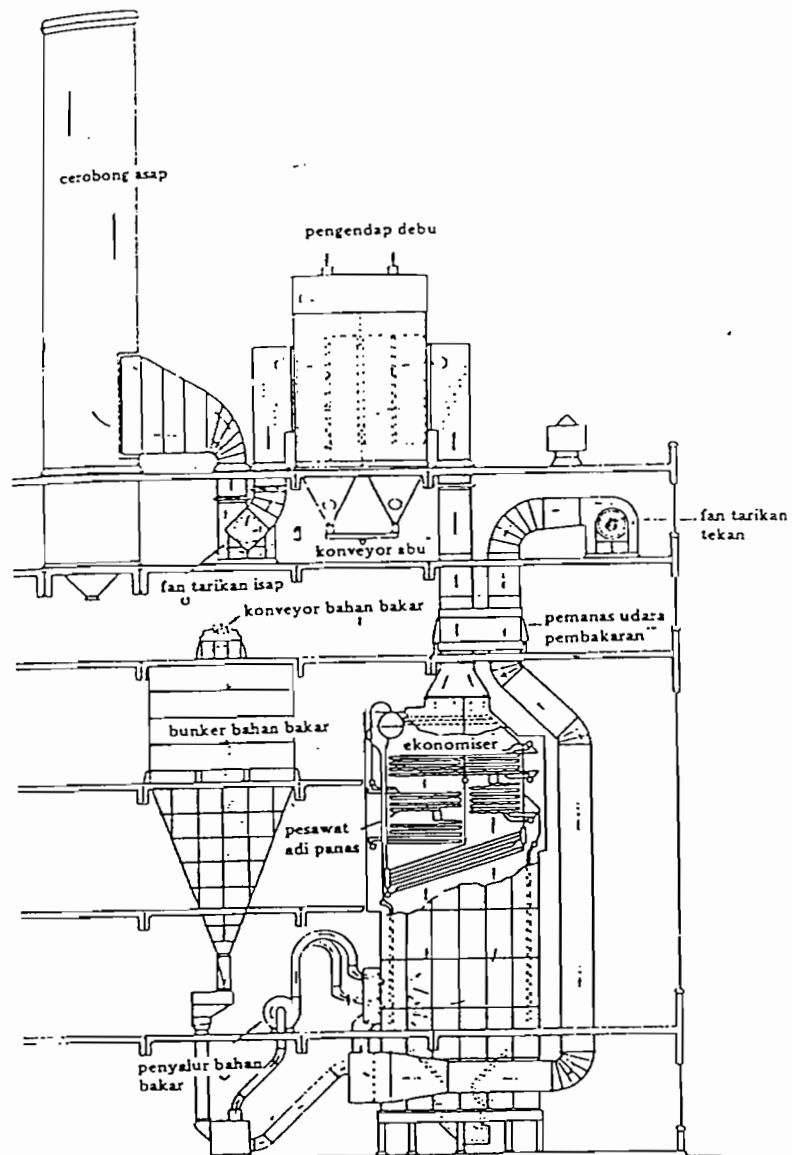
Gambar VIII.2 Sistem tarikan tekan

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, hal.251

c. Tarikan kombinasi antara isap dan tekan (IDF dan FDF)

Pada sistem ini dipasang baik IDF atau FDF secara bersamaan sedemikian sehingga tekanan di dalam ruang bakar sama dengan tekanan udara luar.

Sistem ini juga disebut *balance draft*.



Gambar VIII.3 Sistem tarikan kombinasi antara isap dan tekan

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, hal.254

8.1 Perancangan Cerobong

Perancangan cerobong tergantung dari beberapa hal antara lain :

- a. Jumlah kerugian tahanan aliran total gas asap mulai dapur sampai cerobong.
- b. Temperatur rata – rata gas asap lewat cerobong dan temperatur udara sekelilingnya.
- c. Jumlah aliran gas asap.
- d. Tekanan udara luar.

Cerobong pada perancangan ini direncanakan :

Tinggi cerobong = 62 ft (18,89 m)

Temperatur udara luar = 80 °F (26,667 °C)

Jumlah gas asap yang dialirkan = 110547,927 lb/jam (50188,759 kg/jam)

Temperatur gas asap masuk cerobong = 450°F (232,222°C)

Menentukan diameter cerobong digunakan gambar VIII.4 untuk aliran gas asap didalam cerobong (Stack gas flow) sebesar 110547,927 lb/jam dengan kerugian tarikan 5 % diperoleh diameter cerobong adalah 6 ft.

Karena pada diameter cerobong yang disarankan akan mengalami kerugian tarikan cerobong sebesar 5% maka tinggi cerobong yang sebenarnya:

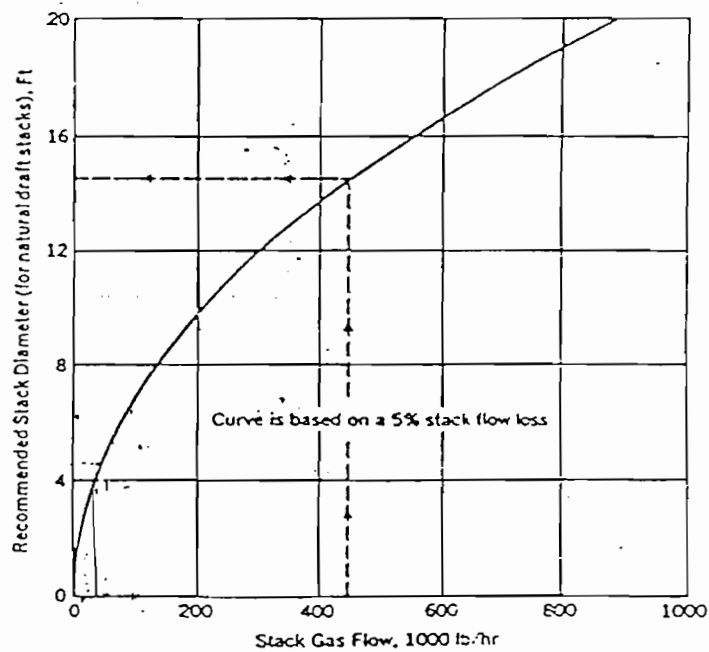
$$\begin{aligned} L_h &= 62 \times 0,95 \\ &= 58,9 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan gambar VIII.5, untuk diameter cerobong 6 ft (1,83 m) dan tinggi cerobong 58,9 ft (17,95 m) serta temperatur gas asap masuk

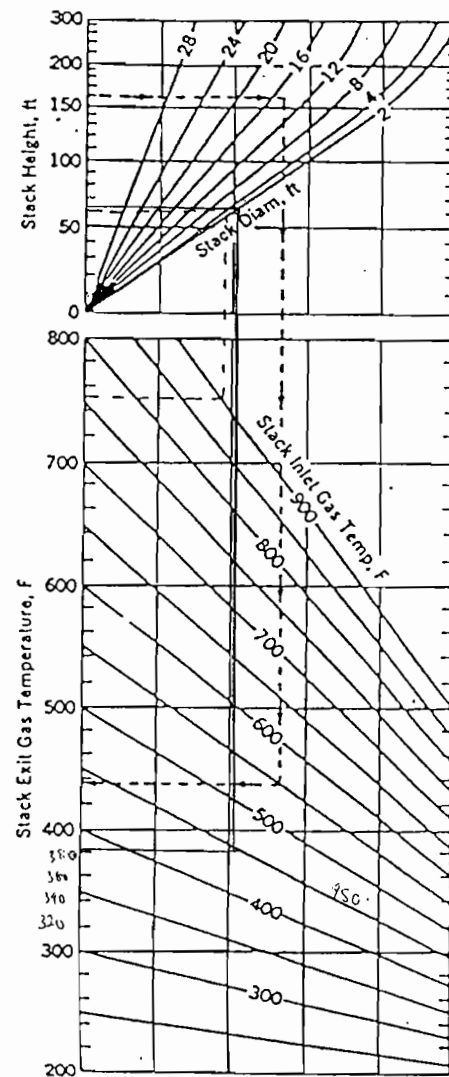
cerobong 450 °F (232,222 °C) maka akan didapat temperatur keluar cerobong 360°F (182,222°C).

Temperatur rata – rata dalam cerobong :

$$T_g = \frac{450 + 360}{2} = 405^\circ \text{F}$$



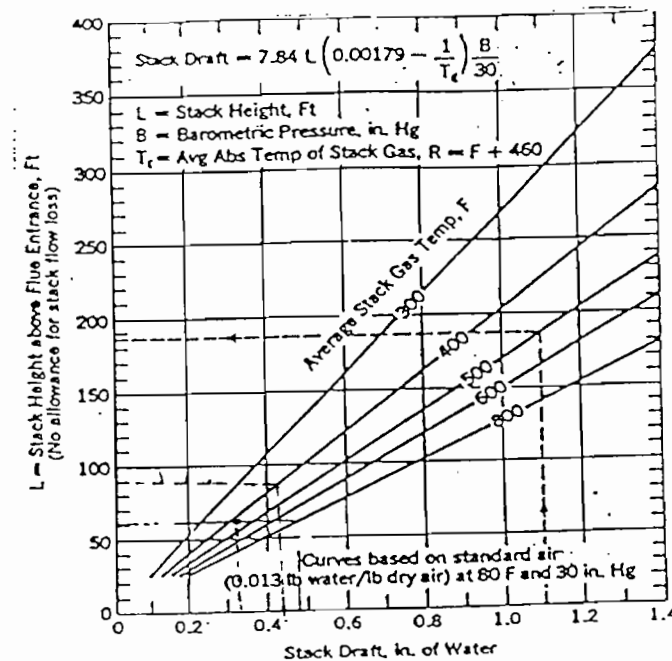
Gambar VIII. 4 Diameter cerobong yang disarankan berdasarkan jumlah aliran gas asap



Gambar VIII.5 Hubungan antara temperatur gas asap keluar cerobong dengan dimensi cerobong.

Sumber : Babcock & Wilcox, Steam/ It's Generation and Use, Hal :17-4

Untuk temperatur rata – rata 405 °F dan tinggi cerobong 58,9 ft, dengan menggunakan grafik gambar VIII.6 diperoleh tarikan teoritis sebesar 0,32 in.



Gambar VIII.6 Tinggi cerobong yang dibutuhkan untuk suatu harga tarikan cerobong dan temperatur rata – rata gas di dalam cerobong.

Perhitungan kerugian aliran gas didalam cerobong (stack flow loss)

Untuk menghitung stack flow loss digunakan persamaan ³²⁾

$$SFL = \left(\frac{2,78}{B} \right) x \left(\frac{T_c}{D_i^4} \right) x \left(\frac{Mg}{10^5} \right)^2 x \left(\frac{f x Lh}{10^5} + 1 \right) \quad (8.1)$$

Dengan,

Mg = jumlah gas asap yang mengalir dalam cerobong/ jam = 110547,927 lb/jam

B = tekanan barometer (in Hg) = 30 in Hg = 1 atm

Tg = temperatur rata – rata gas asap dalam cerobong = 405 + 460°R = 865°R

Di = diameter cerobong = 6 ft

f = faktor gesekan moody

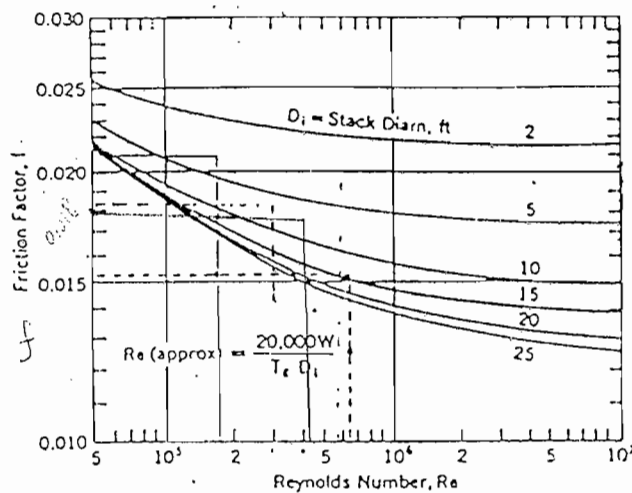
³²⁾ Babcock & Wilcox, Steam/ It's Generation and Use, Hal :17-4

Lh = tinggi cerobong = 58,9 ft

Untuk mencari bilangan Reynold didekati dengan persamaan :

$$N_{re} = \frac{2000 \times Mg}{T_c \times D_i} = \frac{20000 \times 110547,927}{865 \times 6} = 426003,572 \quad (8.2)$$

Dari gambar VIII.7, untuk $N_{re} = 426003,527$ dan $D_i = 6$ ft, didapat faktor gesekan moody $f = 0,018$



Gambar VIII.7 Faktor gesekan berdasarkan hubungan angka Reynold & diameter cerobong

Sumber : Babcock & Wilcox, Steam/ It's Generation and Use, Hal :17-4

Dengan memasukkan harga -- harga diatas dalam persamaan (8.1) maka akan didapat stack flow loss (SFL) = 0,075 in. H₂O.

Persentase perbandingan SFL dan tarikan cerobong asap teoritis :

$$= \frac{0,075}{0,32} \times 100\%$$

$$= 23,4 \%$$

Ternyata SFL (23,4 %) > 5 %, sehingga ukuran cerobong yang direncanakan tidak memenuhi syarat untuk melaksanakan tarikan alam, dimana untuk tarikan alam stack flow loss harus $\leq 5 \%$, oleh sebab itu pada perancangan cerobong digunakan fan untuk membantu menghembuskan gas asap keluar dari cerobong (Babcock & Wilcox, 1972 : 17- 4).

8.2 Perhitungan Hambatan Aliran Gas Asap

Untuk mengetahui hambatan aliran gas asap yang mengalir dalam generator berikut ini akan dihitung hambatan – hambatan yang terjadi dalam generator :

- a. Hambatan aliran gas pada saat melewati lorong api :³³⁾

$$\Delta p_1 = f \left(\frac{L}{Dr} \right) \left[460 + \left(\frac{t_1 + 2t_2}{3} \right) \right] \left[\frac{\left(\frac{Wg}{10^3} \right)^2}{14400} \right] \quad (8.3)$$

dengan,

f = faktor gesekan

t₁ = temperatur udara masuk lorong api (80 °F)

t₂ = temperatur gas asap keluar lorong api (2494,315 °F)

L = panjang lorong api (12ft = 144 in)

Wg = gas massa velocity (10597,8149 lb/ft².hr)

³³⁾ Babcock & Wilcox, Steam/ It's Generation and Use, Hal :14 -5

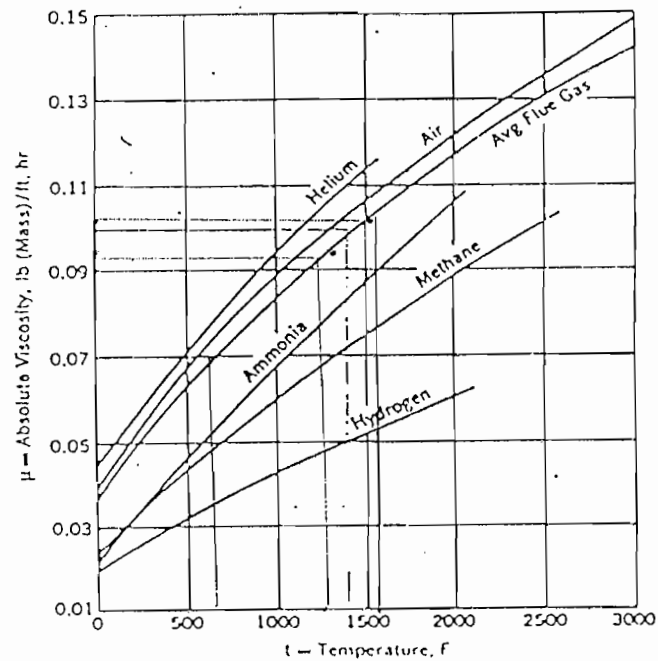
D_r = diameter rata – rata silinder lorong api

Harga f dapat dicari dengan persamaan :

$$N_{re} = \frac{Wg}{12} \times \frac{D_r}{\mu} \quad (8.4)$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan, } D_r &= \frac{57,60 + 50,4}{2} \\ &= 54 \text{ in} \end{aligned}$$

μ = viskositas absolute beberapa gas pada tekanan atmosfer



Gambar VIII.8 Viskositas absolut beberapa gas pada tekanan atmosfer

Sumber : Babcock & Wilcox, Steam/ It's Generation and Use, Hal :3-7

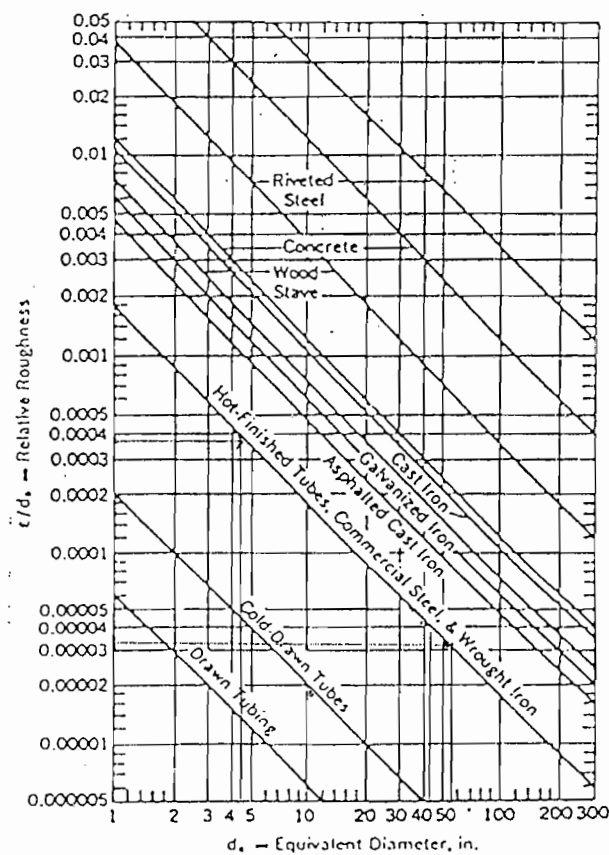
Temperatur rata – rata gas asap dalam silinder lorong api :

$$= \frac{2494,315 + 80}{2} = 1287,1575 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Untuk temperatur rata – rata 1287,1575 °F, sesuai dengan gambar VIII.8 didapat harga $\mu = 0,0930$

dengan memasukkan harga – harga diatas pada persamaan (8.4) akan didapat harga $N_{re} = 512797,495$

Dari gambar VIII. 9 didapat *Relative Roughness* (E/D) = 0,000032 untuk $D_r = 54$ in dari golongan *Hot finished tube*.

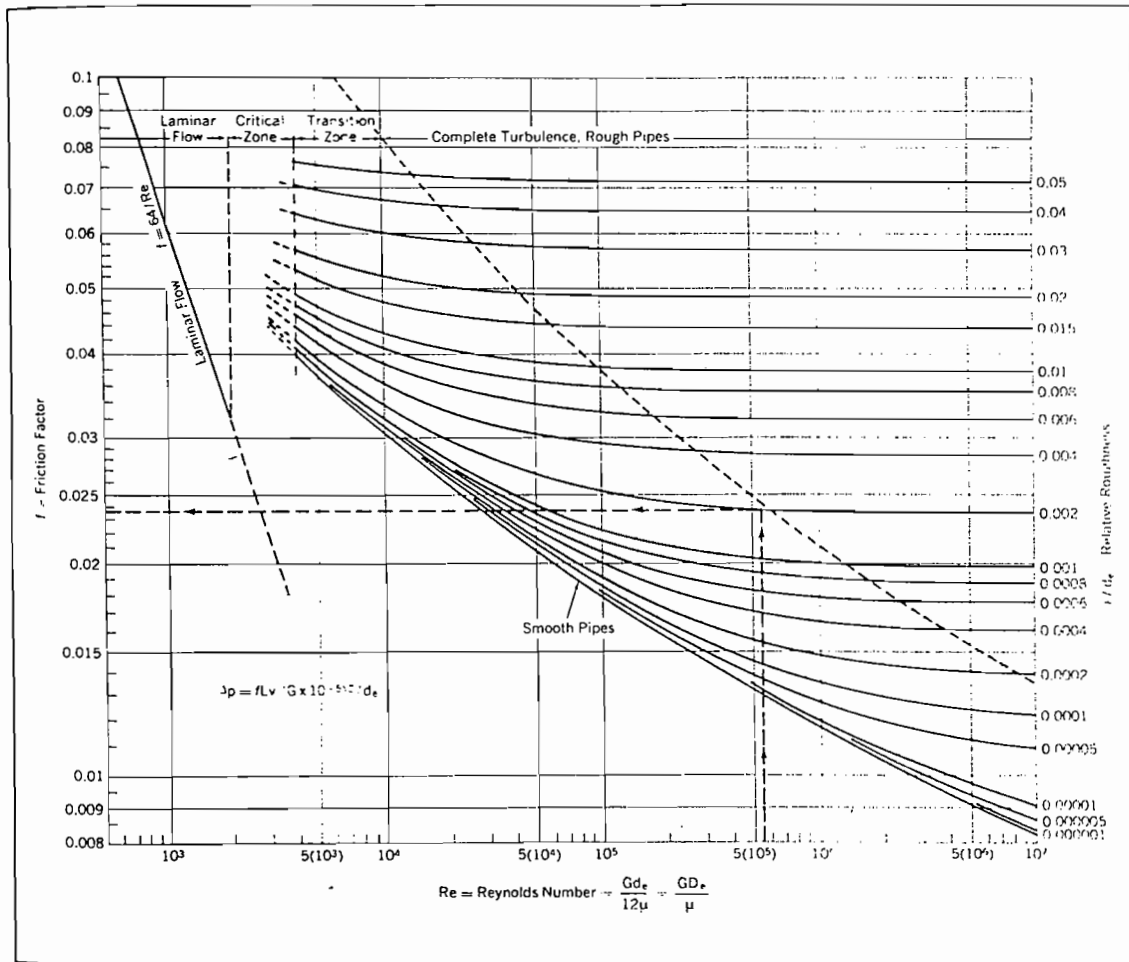


Gambar VIII.9 Kekerasan relatif dari berbagai permukaan

Sumber : Babcock & Wilcox, Steam/ It's Generation and Use, Hal :3 - 6

Berdasarkan gambar VIII. 10 $E/D = 0,000032$ dan $N_{re} = 512797,495$ didapatkan

$f = 0,0105$



Gambar VIII.10 Diagram faktor gesekan

Sumber : Babcock & Wilcox, Steam/ It's Generation and Use, Hal :3 – 5

Dengan memasukkan harga – harga tersebut pada persamaan (8.3) maka akan didapat harga $\Delta p_1 = 0,46 \text{ in. H}_2\text{O}$.

b. Hambatan aliran gas asap saat melewati pipa – pipa api laluan I :

$$\Delta p_2 = f \left(\frac{L}{Dr} \right) \left[460 + \left(\frac{t_1 + 2t_2}{3} \right) \right] \left[\frac{\left(\frac{Wg}{10^3} \right)^2}{14400} \right] \quad (8.5)$$

dengan,

f = faktor gesekan

t_1 = temperatur udara masuk pipa api laluan I (2300 °F)

t_2 = temperatur gas asap keluar pipa api laluan I (800 °F)

L = panjang pipa api (12ft = 144 in)

Wg = gas massa velocity (10597,8149 lb/ft².hr)

Dr = diameter rata – rata pipa api

$$= \left(\frac{4,5 + 4,026}{2} \right) \text{ in}$$

$$= 4,263 \text{ in}$$

diameter ekivalen pipa – pipa api = 4,263 x 118 = 503,034 in

Harga f dapat dicari dengan persamaan :

$$N_{re} = \frac{Wg}{12} \times \frac{Dr}{\mu} \quad (8.6)$$

Temperatur rata – rata gas asap dalam pipa - pipa api :

$$= \frac{2300 + 800}{2}$$

$$= 1550 \text{ °F}$$

Untuk temperatur rata – rata 1550 °F, sesuai dengan gambar VIII.8 didapat harga

$$\mu = 0,095$$

dengan memasukkan harga – harga diatas pada persamaan (8.6) akan didapat harga $N_{re} = 39630,249$

Dari gambar VIII. 9 didapat *Relative Roughness* (E/D) = 0,00039 untuk $D_r = 4,263$ in dari golongan *Hot finished tube*.

Berdasarkan gambar VIII. 10 $E/D = 0,00039$ dan $N_{re} = 39630,249$ didapatkan $f = 0,0235$

Dengan memasukkan harga – harga tersebut pada persamaan (8.5) maka akan didapat harga $\Delta p_2 = 0,068$ in. H_2O .

c. Hambatan aliran gas asap saat melewati pipa – pipa api laluan II :

$$\Delta p_3 = f \left(\frac{L}{D_r} \right) \left[460 + \left(\frac{t_1 + 2t_2}{3} \right) \right] \left[\frac{\left(\frac{W_g}{10^3} \right)^2}{14400} \right] \quad (8.7)$$

dengan,

f = faktor gesekan

t_1 = temperatur udara masuk pipa api laluan II (800 °F)

t_2 = temperatur gas asap keluar pipa api laluan II (450 °F)

L = panjang pipa api (12ft = 144 in)

W_g = gas massa velocity (10597,8149 lb/ft².hr)

D_r = diameter rata – rata pipa api

$$= \left(\frac{4,5 + 4,026}{2} \right) \text{ in} = 4,263 \text{ in}$$

Diameter ekivalen pipa – pipa api = 4.263 x 118 = 503.034 in

Harga f dapat dicari dengan persamaan :

$$N_{re} = \frac{Wg}{12} \times \frac{Dr}{\mu} \quad (8.8)$$

Temperatur rata – rata gas asap dalam pipa - pipa api :

$$= \frac{800 + 450}{2}$$

$$= 625 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Untuk temperatur rata – rata 625 $^{\circ}\text{F}$, sesuai dengan gambar VIII.8 didapat harga

$$\mu = 0,07$$

dengan memasukkan harga – harga diatas pada persamaan (8.8) akan didapat harga $N_{re} = 53783,910$

Dari gambar VIII. 9 didapat *Relative Roughness* (E/D) = 0,00039 untuk $Dr = 4,263$ in dari golongan *Hot finished tube*.

Berdasarkan gambar VIII. 10 $E/D = 0,00039$ dan $N_{re} = 53783,910$ didapatkan $f = 0,022$

Dengan memasukkan harga – harga tersebut pada persamaan (8.7) maka akan didapat harga $\Delta p_2 = 0,050$ in. H_2O .

Jumlah hambatan aliran gas asap total :

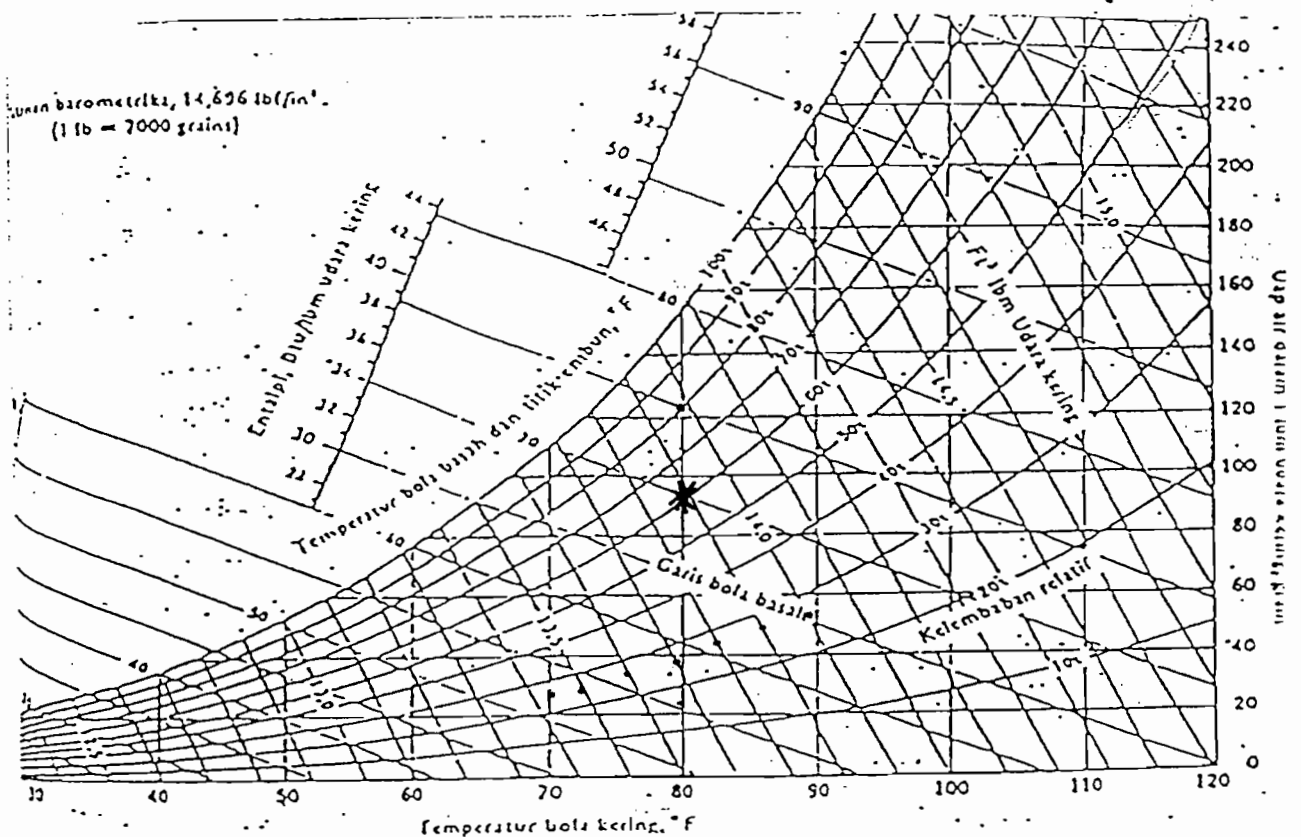
$$\begin{aligned} \Delta P'_{total} &= \Delta P'_1 + \Delta P'_2 + \Delta P'_3 \\ &= (0,46 + 0,068 + 0,050) \text{ in. H}_2\text{O} \\ &= 0,578 \text{ in. H}_2\text{O} \end{aligned}$$

8.3 Daya Fan dan Motor Penggerak

Kebutuhan untuk proses pembakaran bahan bakar dipasok oleh fan penghembus untuk mendapatkan hasil pembakaran yang sempurna, juga

untuk menghembuskan gas asap keluar melalui cerobong. Karena generator uap pada rancangan ini tidak mampu untuk melaksanakan tarikan alam, maka dibutuhkan sebuah fan. Berikut ini adalah perhitungan daya pada poros fan tersebut beserta motor penggeraknya.

Temperatur udara pembakaran = 80°F , kebutuhan udara pembakaran termasuk 40 % exces air (Mur) = 106343,855 lb udara/jam. Dari Psychometrik Chart diperoleh volume jenis udara pada tekanan 1 atm, temperatur bola kering (dry bulb temperatur 80°F) dan kelembaban udara relatif 60 %) adalah $V_{ud} = 13,9 \text{ ft}^3 / \text{lb}$.



Gambar VIII. 11 Diagram Psychometric

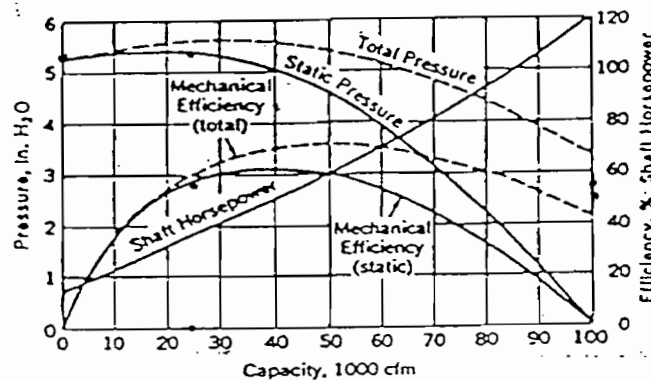
Sumber : J. P. Holman, Perpindahan Kalor, 1981, hal : 421

Volume udara yang dipindahkan tiap jam (Murh) :

$$\begin{aligned} \text{Murh} &= 13,9 \times 106343,855 \\ &= 1477116,1459 \text{ ft}^3 / \text{jam} \\ &= 24618,602 \text{ ft}^3 / \text{menit}. \end{aligned}$$

Untuk kapasitas udara (Murh) = 24618,386 ft³ / menit berdasarkan gambar

VIII. 12 didapatkan harga static pressure (SP) = 5,5 in H₂O



Gambar VIII.12 Kurva Sifat – sifat istimewa pada fan

Sumber : Babcock & Wilcox, Steam/ It's Generation and Use, Hal :17 – 6

Air horse power static (Ahp) adalah :³⁴⁾

$$\begin{aligned} \text{Ahp} &= 1,573 \times 10^{-4} \times \text{Murh} \times \text{Sp} \\ &= 1,573 \times 10^{-4} \times 24618,602 \times 5,5 \\ &= 21,3 \end{aligned} \tag{8.9}$$

³⁴⁾ Babcock & Wilcox, Steam/ It's Generation and Use, Hal :17 -6

Dari gambar VIII. 12 untuk $Q_{\text{Murh}} = 24618,602 \text{ ft}^3 / \text{menit}$ diperoleh mechanical efisiensi static = 55 %, fan shaft dihitung dengan persamaan :³⁵⁾

$$\text{Shp} = \frac{\text{Ahp}}{\text{Mechanical efisiensi static}} \quad (8.10)$$

$$\text{Shp} = \frac{21,3}{0,55}$$

$$= 38,73$$

dengan mengasumsikan shaft horse power fan = shaft horse power dari motor penggerak dan efisiensi motor = 80 %, maka daya motor penggerak fan adalah :

$$P_{\text{motor}} = \frac{38,73}{0,8} = 48,41 \text{ HP (36,126 Kw)}$$

³⁵⁾ Ibid. Hal 17 - 6

BAB IX

ALAT – ALAT PERTOLONGAN DAN PERLENGKAPAN

GENERATOR UAP

Alat – alat pertolongan pada generator sebenarnya tidak termasuk bagian dari generator, akan tetapi alat – alat ini menjadi pelengkap yang harus dipasang pada generator. Alat – alat ini berfungsi untuk mengatur agar generator dapat bekerja dengan aman dan berkesinambungan.

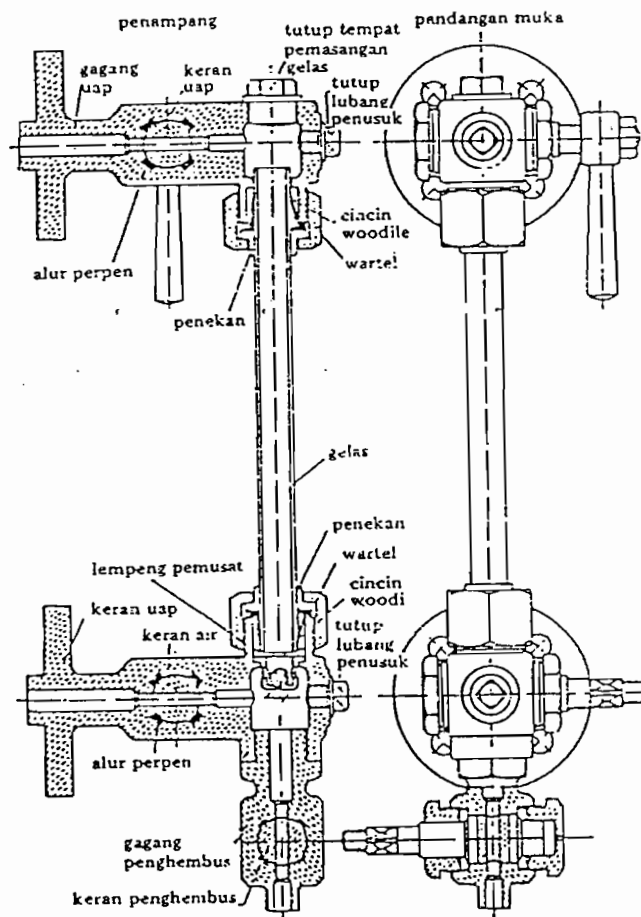
9.1 Gelas Penduga

Alat ini berfungsi untuk mengetahui tinggi air dalam generator, prinsip kerjanya menurut sama dengan prinsip bejana berhubungan.

Alat penduga ini terdiri dari tiga bagian yaitu :

1. Gagang atas pakai keran
2. Gagang bawah pakai keran air dan keran cerat
3. Gelas penduga

Pada gambar IX.1 ditunjukkan gambar konstruksi gelas penduga.



Gambar IX.1. Konstruksi Gelas Penduga

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 350

9.2 KatupKeamanan.

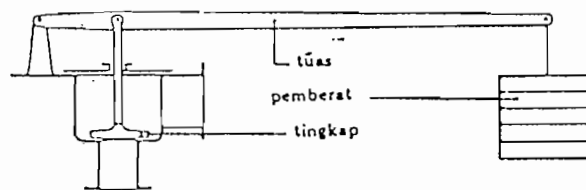
Tekanan generator dapat bekerja melampaui tekanan kerjanya. Jika hal ini terjadi maka dapat mengakibatkan bahaya yang besar.

1. Katup keamanan dengan bobot langsung

Konstruksi katup keamanan dengan bobot langsung sangat sederhana yaitu terdiri dari sebuah rumah katup yang dihubungkan langsung dari generator. Lubang laluan dari rumah tersebut ditutup oleh sebuah katup yang dibuat sedemikian rupa sehingga pada batang itu dapat ditempatkan bobot – bobot pemberat dari logam. Jika tekanan kerja dalam generator mencapai tekanan kerja yang maksimum, maka pemberat yang diletakkan di atas katup akan membuat keseimbangan dengan gaya yang ditimbulkan oleh tekanan uap dari bawah katup. Jika tekanan kerja melebihi maksimum, katup akan terangkat dan uap akan keluar dari generator.

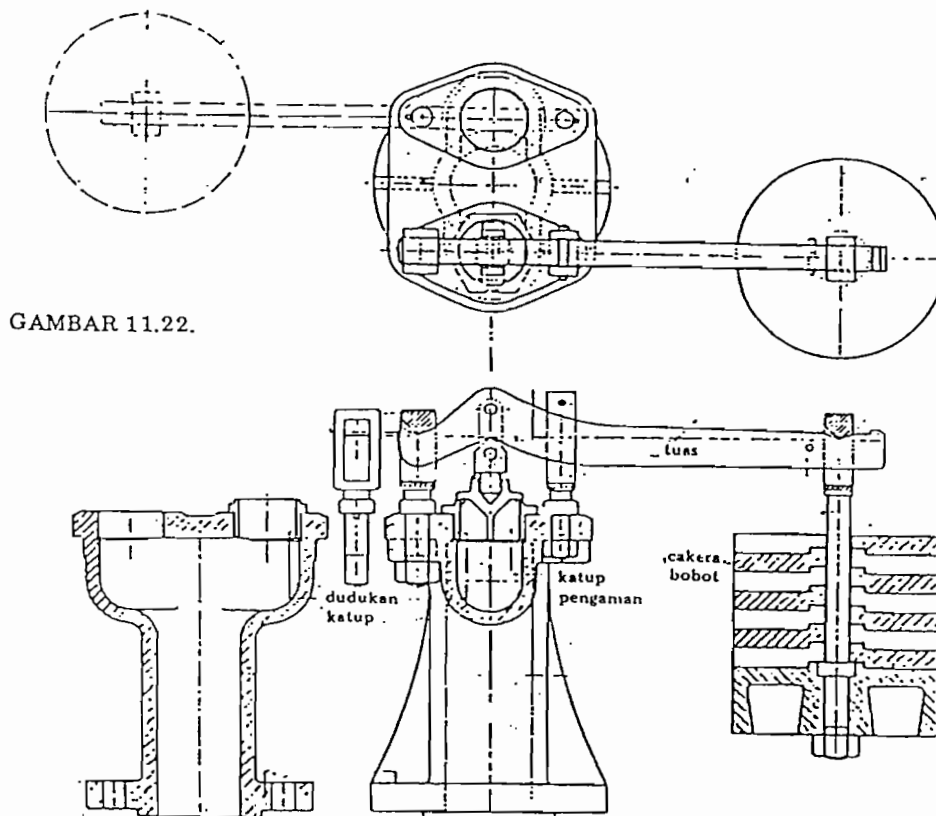
2. Katup keamanan dengan muatan tidak langsung

Alat ini diperlihatkan pada gambar IX.2 dan IX.3, disini pemberat bekerja diatas ruang katup dengan perantara sebuah tuas, alat ini dapat dipakai sebagai pengganti katup keamanan dengan bobot langsung.



Gambar IX.2. Konstruksi alat keamanan dengan muatan tidak langsung

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 366



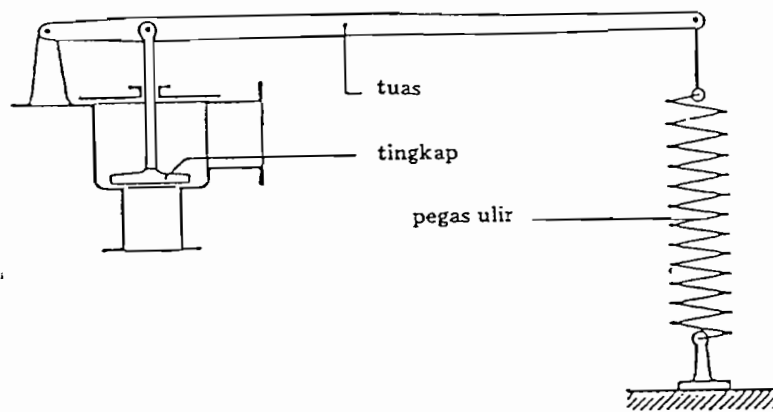
GAMBAR 11.22.

Gambar IX.3. Konstruksi alat keamanan dengan muatan tidak langsung

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 366

3. Katup keamanan dengan muatan pegas tidak langsung.

Pada gambar IX.4 memperlihatkan salah satu contoh dari alat ini, dimana tegangan pegas dipindahkan dari katup oleh sebuah tuas. Keuntungan dari sistem ini adalah momennya tetap pada setiap macam alat keamanan yang ditimbulkan oleh tegangan pegas.

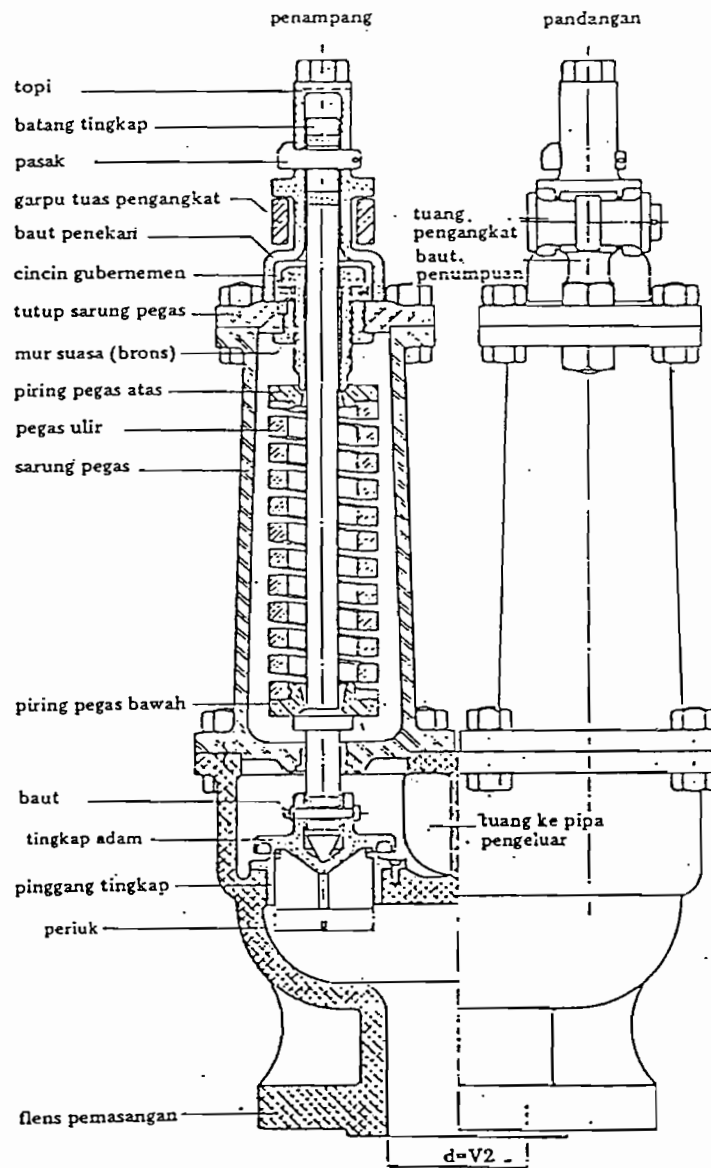


Gambar IX.4. Konstruksi alat keamanan dengan muatan pegas tidak langsung

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 367

4. Katup keamanan dengan muatan pegas langsung

Katup keamanan ini ditunjukkan dengan gambar IX.5 dibawah ini.



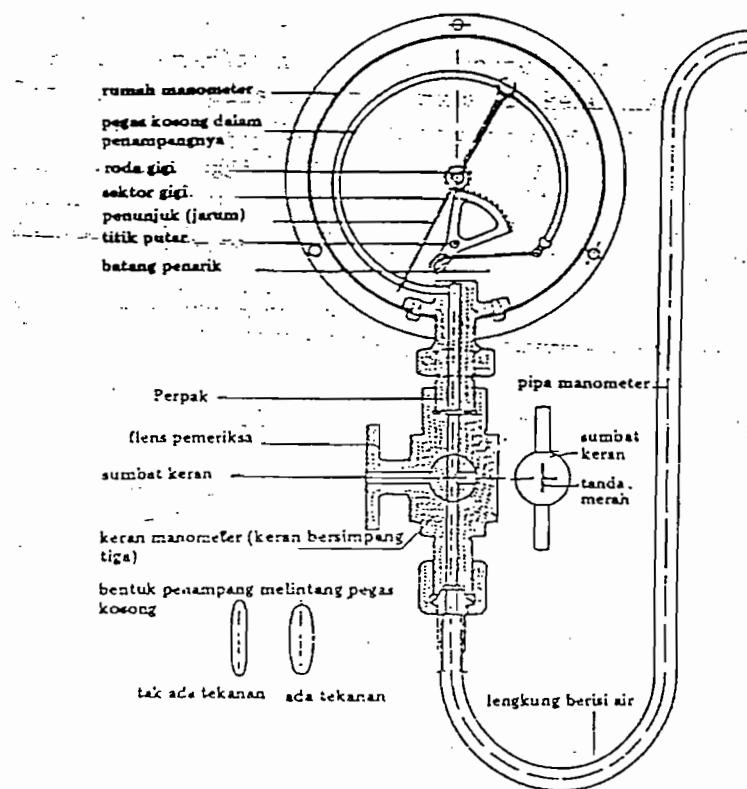
Gambar IX.5. Konstruksi alat keamanan dengan muatan pegas langsung

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 366



9.3 Manometer (Pengukur Tekanan)

Manometer digunakan untuk mengetahui tekanan. Manometer Bourdan adalah alat ukur yang digunakan untuk mengetahui tekanan dalam generator. Untuk setiap generator dibutuhkan satu manometer, sedangkan untuk generator yang memiliki dua front pembakar harus dipasang dua buah manometer. Manometer dipasang pada daerah dengan kecepatan aliran uap yang terkecil.

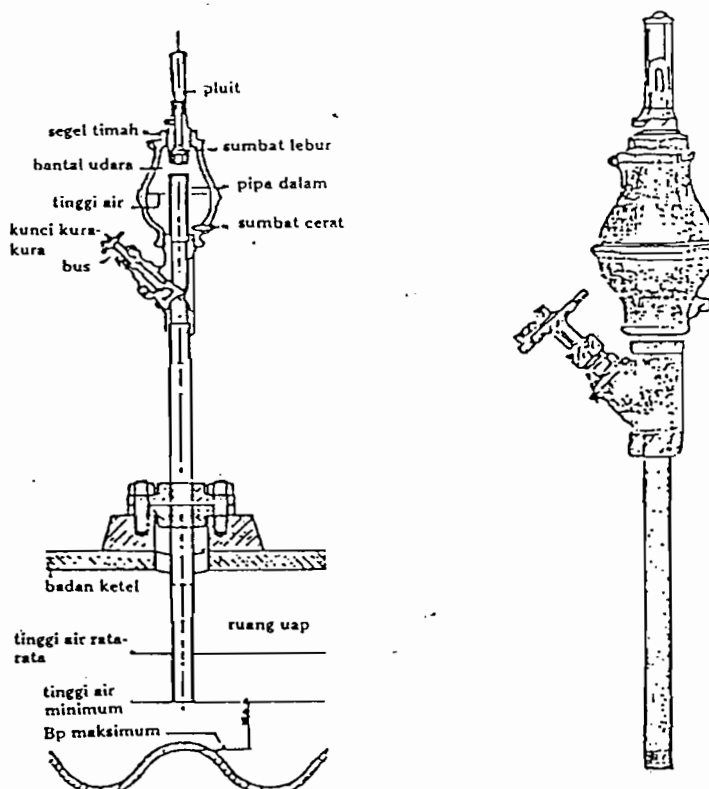


Gambar IX.6. Manometer Bourdon

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 362

9.4 Peluit Bahaya

Alat ini berfungsi untuk memberitahu jika terjadi kekurangan air di dalam generator. Alat ini pada bagian atasnya berbentuk seperti telur yang diberi sebuah peluit. Pemasangan peluit bahaya ini tepat pada batas permukaan air minimal di dalam generator. Lubang peluit ini ditutup oleh sebuah sumbat yang dapat diganti – ganti, sumbat ini dibuat dari bahan paduan logam yang dapat dengan mudah mencair. Titik lebur dari paduan yang dibuat untuk sumbat harus demikian rendah, sehingga dapat mencair jika terkena uap dari ruang generator.



Gambar IX.7. Peluit bahaya

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 358

9.5 Garis Api

Garis api adalah garis yang digunakan untuk menunjukkan batas tertinggi aliran gas panas dalam generator. Garis ini biasanya dibuat dari lempeng tembaga berupa flat yang diberi garis dan diletakan pada permukaan luar dinding generator, lempeng ini diletakan sedemikian rupa sehingga garis dari lempeng tembaga tersebut tepat menunjukkan batas tertinggi dari aliran gas panas dalam generator. Garis ini juga dipakai untuk mempertimbangkan tinggi permukaan air di dalam generator uap. Batas terendah air di dalam generator ± 50 mm diatas garis api.

9.6 Pompa Air Isian

Alat ini digunakan untuk memasukkan air isian dengan tekanan kedalam generator yang sedang bekerja. Undang – undang uap menetapkan jumlah alat – alat yang pertolongan dalam generator sebagai berikut :

1. Satu alat pengisian untuk generator darat dengan bidang pemanas.
2. Dua buah alat pengisian untuk generator lokomotif.
3. Dua buah alat pengisian untuk generator kapal, dimana alat ini harus dapat bekerja bila pesanan induk dihentikan.

Alat – alat pengisian tersebut antara lain :

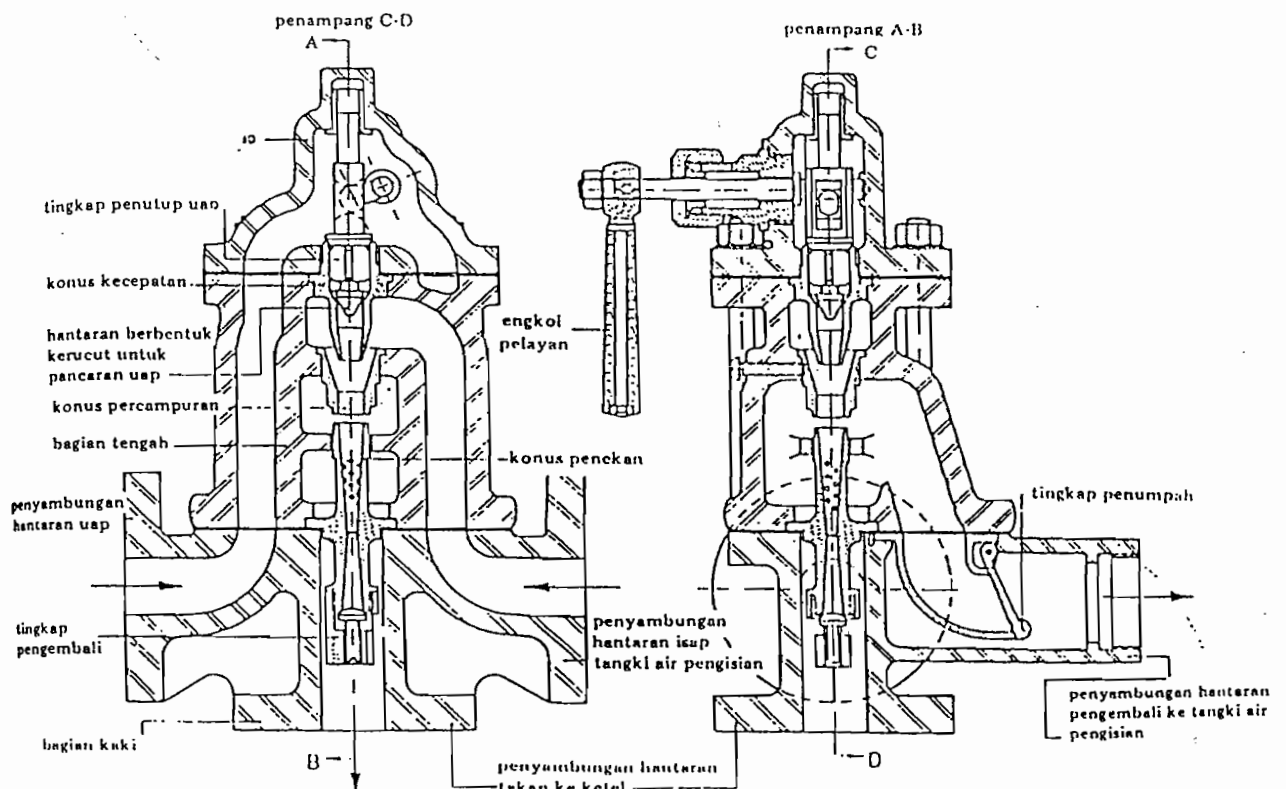
1. Injektor – injektor
2. Pompa – pompa tekan

1. Injektor

Ada tiga bagian injektor yaitu : kap, bagian tengah, dan bagian kaki yang dihubungkan menjadi satu dengan empat buah baut kepala palu.

(Syamsir A. Muin, Pesawat – pesawat Konversi Energi). Bagian kaki terdiri dari empat buah corong, uap baru masuk dari corong kiri, sedangkan corong kanan dihubungkan pada hantaran pipa hisap dari tangki pengisian. Corong tengah berhubungan dengan hantaran pipa cerat atau pipa penumpu, yang dialirkan kembali ketangki pengisian. Dalam corong penumpu dipasang sebuah katup pengembalian atau sebuah katup penumpu.

Cara kerjanya : katup pemasuk dibuka, uap mengalir melalui lubang berbentuk celah sempit disekitar bagian penghantar, uap memuai dan energi potensial berubah menjadi energi kinetik.



Gambar IX.8. Konstruksi Injektor

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 381

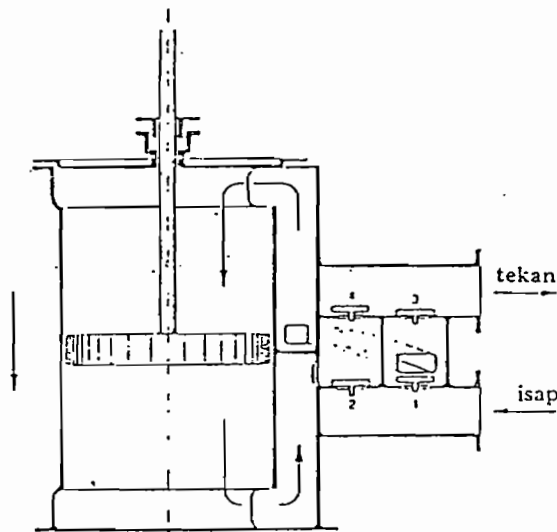
2. Pompa – pompa tekan

Pompa – pompa tekan menurut cara menggerakannya dibagi menjadi dua yaitu :

- a. Pompa – pompa yang dihubungkan langsung (dikopel langsung) dengan sebuah pesawat uap.
- b. Pompa – pompa yang digerakkan langsung oleh motor listrik, biasanya pompa sentrifugal bertingkat ganda.

A. Pompa – pompa yang dihubungkan langsung dengan pesawat uap.

Biasanya berupa pompa torak, pompa ini mempunyai dua buah silinder air dan dua buah silinder uap. (Pompa Dupleks)



Gambar IX.9. Bagan pompa yang bekerja ganda.

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 388

Cara kerja :

Langkah turun

a. Diatas torak

Ekspansi, karena itu terjadi pengurangan tekanan yang menyebabkan pengisapan air dan kemudian mengalir melalui katup hisap dan saluran puncak dalam silinder diatas torak yang dibuat gari putus – putus.

b. Dibawah torak

Pemadatan yang menyebabkan air terisap pada bagian atas tertekan kedalam hantaran pipa tekan, melalui saluran atas dan katup tekan 4 langkah naik.

Langkah naik

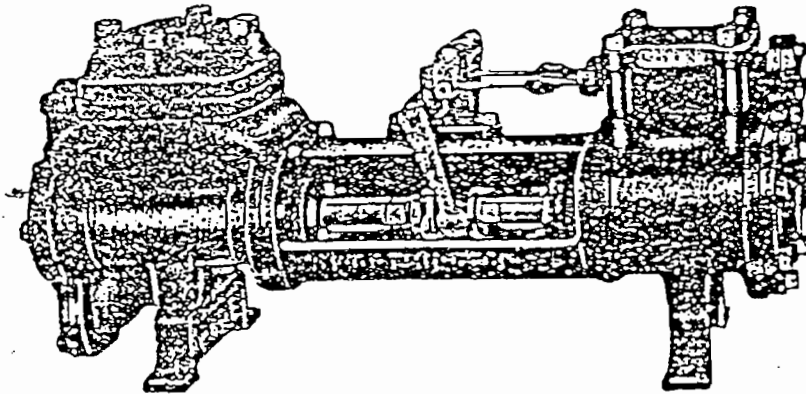
a. Dibawah torak

Ekspansi, terjadi pengurangan tekanan, sehingga air dihisap kedalam silinder melalui katup hisap 2 dan saluran dasar.

b. Diatas torak

Pemadatan sehingga air yang terhisap pada bagian bawah tertekan kedalam hantaran pipa tekan, melalui saluran puncak dan katup tekan 3.

Proses ini terjadi berulang – ulang.

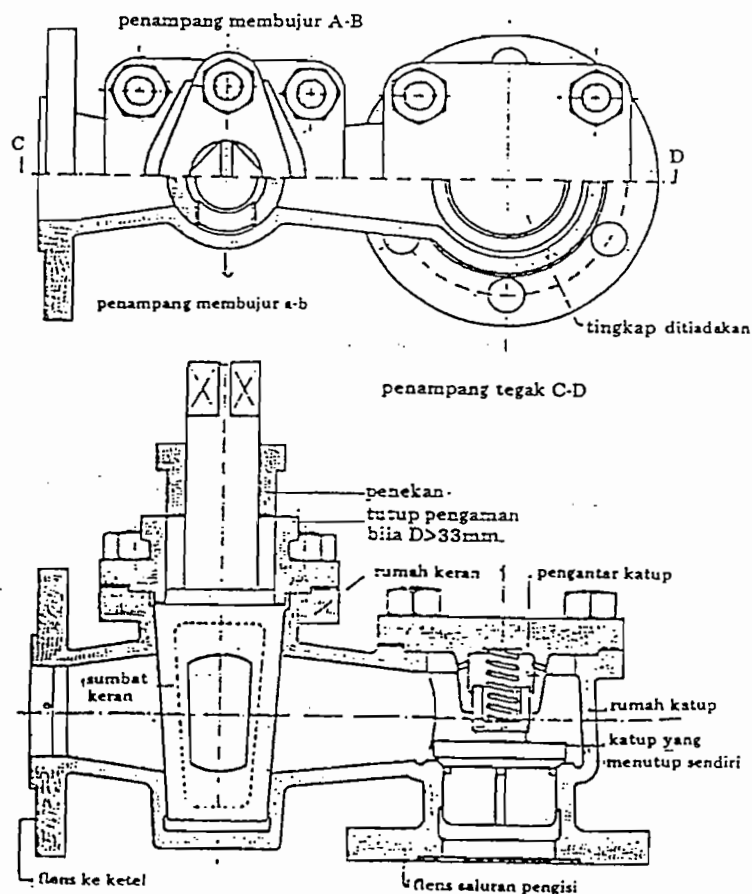


Gambar IX.10. Pompa Dupleks.

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 387

9.7 Katup Pengisian Dan Penutup Air Generator

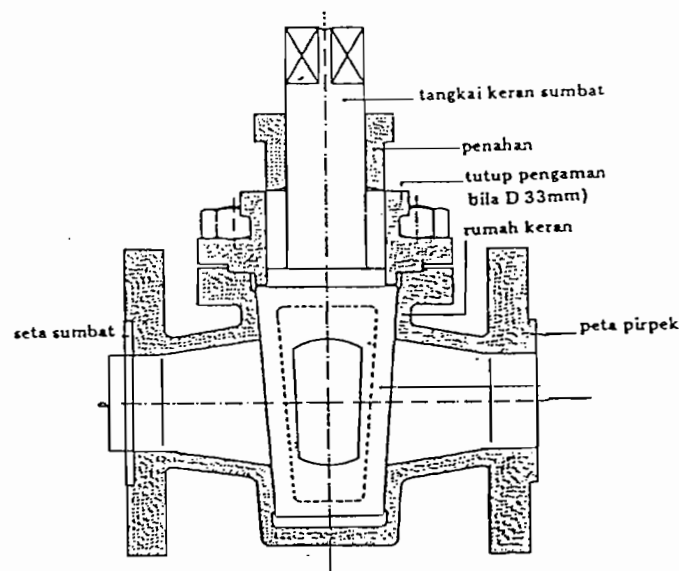
Air generator yang selalu berkurang karena pembentukan uap oleh pesawat – pesawat uap, harus ditambah terus menerus dan teratur. Untuk keperluan ini, generator harus duhubungkan dengan pompa pengisian atau dengan sistim pengisian air lain dengan pipa, yang dapat menghantarkan air pengisian kedalam generator. Tiap pesawat pengisian air atau tiap hantaran pengisi air dihubungkan pada generator oleh sebuah keran penutup yang dapat menutup sendiri.



Gambar IX.11. Rumah – rumah keran tingkap pengisi air generator.

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 348

usaha untuk menjaga kesadahan air di dalam generator tersebut. Pembukaan katup dilakukan pada saat generator beroperasi tiap dua jam selama selang waktu 3 – 4 detik. Pada perancangan ini digunakan sebuah katup penguras yang diletakkan dibawah silinder, dimana pada tempat tersebut merupakan tempat berkumpulnya lumpur dan kotoran.



Gambar IX.13. Katup Penguras

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 344.

9.9 Sumbat Leleh

Sumbat leleh biasanya dipasang pada generator uap pipa – pipa api, hal ini untuk melindungi pemanasan yang berlebihan. Misalnya terjadi bila permukaan air sangat rendah. Sumbat ini biasanya terbuat dari *bronze* yang di dalamnya berisi timah putih, pemasangan sumbat leleh ini diletakkan pada batas minimum

permukaan air di dalam drum, pada dinding generator yang membatasi air dengan gas panas. Bila permukaan air turun melampaui batas minimum dalam waktu yang agak lama, maka sumbat akan mencair dan akhirnya uap akan menyembur keluar. Menyemburnya uap ini akan mengurangi suhu gas panas, disamping itu juga akan menurunkan tekanan uap di dalam generator. Sehingga kemungkinan meledaknya generator berkurang atau dapat dihindari.

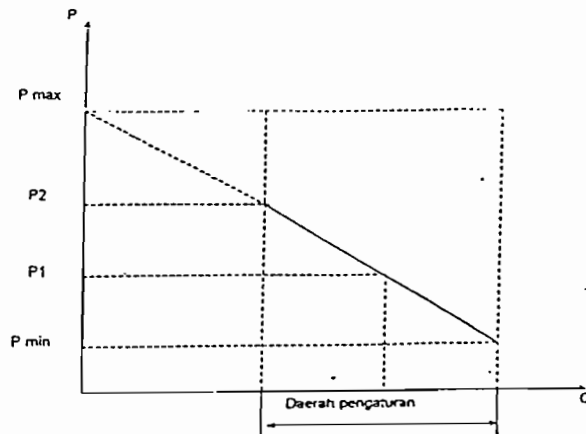
9.10 Alat Pengaturan Otomatis

Pada generator uap yang dirancang ini, digunakan dua macam alat pengukur atau pengatur otomatis yaitu :

1. Alat pengatur otomatis berdasarkan perubahan tekanan.
 2. Alat pengatur otomatis berdasarkan tinggi / level air.
- I. Alat pengatur otomatis berdasarkan perubahan tekanan.

Prinsip kerja :

Apabila kondisi beban naik, maka tekanan uap dalam generator akan menurun sebaliknya apabila beban turun maka tekanan uap akan naik. Dengan pengertian dasar ini maka pengaturan jumlah bahan bakar yang dibakar dapat disesuaikan dengan kondisi beban generator uap. Pengaturan dengan cara ini adalah pengaturan pembakaran yang dilakukan oleh burner yaitu dengan jalan mengatur jumlah bahan bakar yang dibakar. Metode operasi pengontrolan dapat dilihat dari grafik pada gambar X.14 dan peralatan yang digunakan yaitu *“Modulating Pressure Control”*



Gambar IX.14. Grafik Daerah Pengaturan

Sumber : Ir. Syamsir A. Muin, Pesawat – Pesawat Konversi Energi, hal. 75.

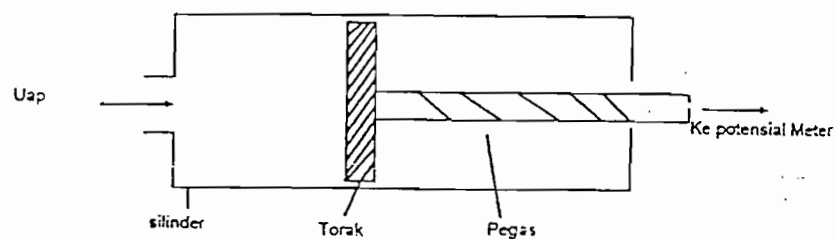
Keterangan :

P_{max} : tekanan uap maximal yang digunakan, burner akan mati dengan sendirinya.

P_{min} : tekanan uap minimal dimana kapasitas burner maksimal

P_1 : tekanan uap dimana burner akan hidup dengan sendirinya

P_2 : tekanan uap dimana kapasitas burner minimum.



Gambar IX.15. Silinder torak pada pengaturan berdasarkan tekanan

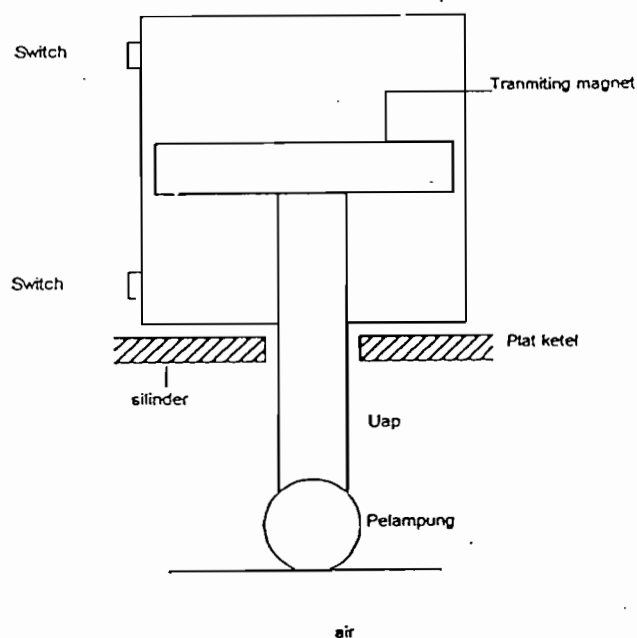
Sumber : Pawito M. Sontowiro, Pembangkit Uap, Hal. 80.

Bila tekanan uap didalam generator meningkat, maka torak akan bergerak kekanan, sebaliknya bila tekanan didalam generator turun maka torak akan

2. Alat pengaturan otomatis berdasarkan level air

Untuk menghidupkan dan mematikan pompa air isian generator, burner, lampu – lampu tanda bahaya dan secara otomatis berdasarkan perubahan tinggi rendahnya permukaan air di dalam generator. Pada generator ini digunakan “*Control Transmitting Magnet*”.

Alat ini terdiri dari magnet permanen yang dihubungkan dengan pelampung dengan sebuah batang penghubung sehingga dapat bergerak naik turun mengikuti permukaan air dalam generator. Gerakan turun dan naiknya magnet akan menggerakkan kontak/ switch yang dipasang pada bagian atas dan bawah tabung transmisi yang dihubungkan dengan pompa air isian, burner dan lampu – lampu tanda bahaya.



Gambar IX.17. Kontaktor Transmitting Magnet

Sumber : Pawito M. Sontowiro, Pembangkit Uap, Hal. 84.

Pada kondisi permukaan air pada batas normal, kedudukan trasmiting magnet pada keadaan normal bila permukaan air turun pada batas dibawah normal, maka magnet bergerak turun dan akan menggerakkan switch untuk menghidupkan pompa air isian, air isian akan dialirkan masuk kedalam generator, sehingga permukaan air akan kembali pada batas normal, magnet akan menyentuh switch untuk mematikan pompa. Namun jika terjadi gangguan pompa tidak mau berhenti, sehingga permukaan air terus naik, maka magnet akan menghubungkan switch lampu tanda bahaya dan membunyikan alarm, pada keadaan ini operator harus mematikan pompa secara manual.

Sebaliknya bila air terus turun dibawah normal yaitu pada waktu magnet menghubungkan switch untuk menhidupkan pompa tetapi terjadi gangguan dan pompa tidak dapat hidup sehingga air terus turun maka magnet akan menghubungkan switch lampu bahaya dan membunyikan alarm, sehingga operator harus menghidupkan pompa secara manual. Namun bila terjadi kelalaian operator dan pompa belum berjalan maka magnet akan menghubungkan dengan switch untuk mematikan burner dan burner akan mati dengan sendirinya.

BAB X

AIR ISIAN GENERATOR

Air isian generator harus mempunyai kualitas tertentu agar dapat diperoleh hasil yang optimal dan tidak menimbulkan kesulitan dalam pengoperasian, misalnya terjadi kerak atau pengkaratan. Korosi akan mengakibatkan terkikisnya dinding generator atau pipa sehingga kekuatannya berkurang. Penurunan kualitas air juga akan menimbulkan terbentuknya kerak (*scale*) yang berakibat mengurangi laju perpindahan panas ke air sehingga akan memperlama waktu pemanasan dan kebutuhan bakar meningkat dengan demikian akan mengurangi efisiensi kerja generator. Selain itu kerak yang terbentuk akan menyebabkan panas yang berlebih dalam sistem (*overheating*) pada bidang pemanas dan timbulnya buih yang berakibat kerja generator kurang baik (akan timbul percikan – percikan pada permukaan airnya) sehingga jika uap tersebut mengandung zat – zat korosif dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin penerima uap. Akibat – akibat yang ditimbulkan oleh rendahnya kualitas air harus diperhatikan dan diusahakan untuk menjaga pola pengolahan air yang optimum.

Kandungan unsur -- unsur dalam air penyebab timbulnya kerak, korosi dan buih -- buih dapat dibagi menjadi dalam 6 macam yaitu : ³⁶⁾

1. Zat -- zat organik atau *organik matter* yaitu berupa minyak -- minyak yang dihasilkan akibat pembusukan tumbuhan dan binatang. Akan sulit untuk menghilangkan permukaan yang terlapis kerak tersebut.

³⁶⁾ H.M. Ashton. Boiler Efficiency and Safety. Hal. 39

2. Garam - garam keras (*Hardness Salts*) yaitu garam -- garam kalsium dan magnesium, seperti : $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , CaCl_2 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, MgSO_4 dan MgCl_2 . Air yang mengandung senyawa -- senyawa tersebut akan menyebabkan terbentuknya kerak.
3. Garam -- garan lunak (*Non Hardness Salts*) yaitu garam -- garam sulfat (SO_4) dan klorida (Cl_2) dalam persenyawaan dan sodium atau logam lainnya. Garam -- garam lunak ini tidak menyebabkan terbentuknya kerak tetapi kan menimbulkan terbentuknya buih.
4. Silica, air yang banyak mengandung Silica menyebabkan terbentuknya kerak yang sangat keras dan sulit dihilangkan dari permukaan yang terlapis kerak tersebut.
5. Gas -- gas terlarut (*Dissolved Gases*) seperti : O_2 , CO_2 , N_2
6. Benda -- benda yang melayang (*Suspend Water*) dapat di temukan bila dilakukan penyaringan.

Jadi jelas untuk optimalisasi kerja generator air isian juga sangat menentukan sehingga untuk memenuhi persyaratan air isian harus bersih, bebas dari kotoran -- kotoran yang dapat menimbulkan kerak, maka harus diusahakan agar derajat kesadahan cukup rendah. Untuk memperkecil derajat kesadahan air diperlukan biaya yang tidak sedikit, maka untuk menghemat biaya tersebut dilakukan dengan mengembunkan kembali uap yang telah digunakan kedalam kondensor dan selanjutnya air kondensat digunakan sebagai air pengisi generator. Namun air kondensat tersebut belum dapat memenuhi kebutuhan air pengisi generator sehingga diperlukan penambahan agar kebutuhan air tersebut dapat terpenuhi

yaitu dengan jalan menambahkan air dari alam yang sudah dilunakkan /diolah.

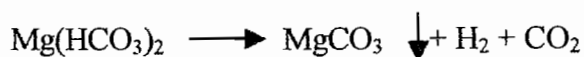
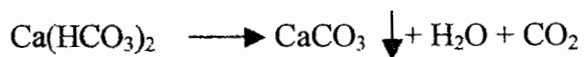
Tujuan dari proses pengolahan air (*Water Treatment*) pada air isian adalah :

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

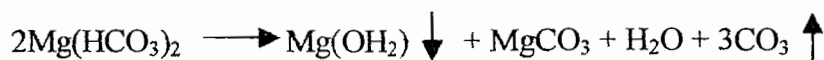
10.1 Kesadahan Air

Seperti telah disebutkan di atas bahwa air masih mengandung garam – garam yang terlarut dan mempunyai derajat kesadahan yang cukup tinggi. Usaha – usaha untuk menurunkan derajat kesadahan adalah dengan proses pelunakan air yaitu dengan menurunkan kadungan garam yang ada didalamnya semaksimal mungkin atau dihilangkan sama sekali agar air mempunyai kemurnian yang tinggi.

Berdasarkan sifatnya kesadahan air dibedakan menjadi 2 yaitu kesadahan yang bersifat sementara dan kesadahan yang bersifat tetap. Kesadahan yang bersifat sementara disebabkan oleh kandungan garam – garam karbonat seperti : $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, sedangkan kesadahan tetap disebabkan oleh kandungan garam – garam non karbonat seperti : CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 . kesadahan sementara dapat dihilangkan dengan pemanasan , garam – garam karbonat akan mengendap sebagai karbonat – karbonat normal.



Atau :



Endapan karbonat CaCO_3 , MgCO_3 atau $\text{Mg}(\text{OH})_2$ merupakan lumpur yang tidak larut, jika endapan tersebut masuk generator dan terurasi maka akan terbentuk batu kecil.

10.2 Pencegahan Terbentuknya Kerak

Pencegahan terbentuknya kerak dapat dilakukan diluar generator yaitu dengan pengolahan air sebelum masuk dan dipanaskan oleh generator sendiri(Internal Feedwater Treatment).

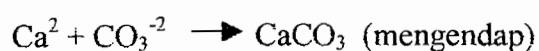
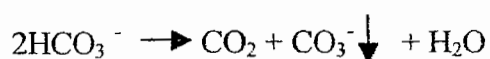
A. Pelunakan air isian di luar generator

Ada beberapa cara untuk melakukan pengolahan air isian sebelum masuk ke dalam generator yaitu :

1. Proses pemanasan
2. Proses kapur soda
3. Proses Phospat soda
4. Proses pertukaran ion (*ion - exchange*)
5. Proses pemisahan silikat (*silica - removal*)
6. Menghilangkan minyak

1. Proses pemanasan

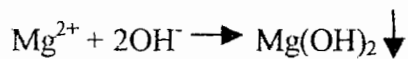
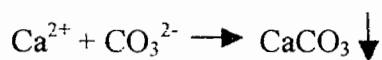
Cara ini dilakukan bila dalam air isian terdapat bikarbonat yang menyebabkan kesadahan sementara. Dengan pemanasan, garam bikarbonat akan mengendap dan kemudian endapan yang terjadi dikeluarkan atau dipisahkan dari air.



2. Proses kalk soda

Pada proses ini ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang terdapat dalam air isian generator diendapkan dan menambahkan zat kimia ke dalam air. Prinsip dasar dari pengerjaan ini adalah pengendapan Ca menjadi CaCO_3 oleh ion – ion karbonat dan pengendapan Mg menjadi Mg(OH)_2 oleh ion – ion hydroxyl.

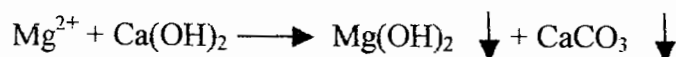
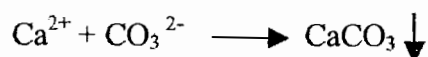
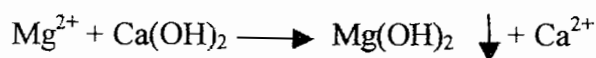
Reaksi – reaksi dasarnya adalah :



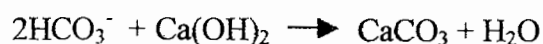
Ion – ion karbonat diberikan oleh soda, tetapi jika airnya mengandung bikarbonat maka karbonat dapat terbentuk dengan menambahkan ion hydroxyl(OH^-)



Ion hidroksida diambil dari coustis soda, tetapi karena (NaOH) mahal, maka diganti dengan unsur Ca(OH)_2 yang berharga lebih murah. Karena kapur membawa unsur Ca ke dalam air, sehingga dibutuhkan ion karbonat untuk mengendapkan, sehingga reaksinya menjadi :



Dengan kapur maka reaksi C menjadi :



Pelunakan dengan soda kapur ini dapat dibagi menjadi 2 cara, yaitu pelunakan soda kapur dingin dan pelunakan soda kapur panas. Pelunakan sistem soda

kapur dingin memerlukan waktu yang lama, oleh karena itu sangat menguntungkan memakai sistem pelunakan soda kapur panas karena lebih cepat dan kebetulan bahan kimianya menjadi lebih sedikit.

3. Proses Phospat

Tujuan proses ini adalah untuk menghilangkan sisa – sisa garam Ca^{2+} dan Mg^{2+} setelah proses pelunakan air dengan kapur selesai dilaksanakan. Phospat akan bereaksi dalam larutan dengan garam – garam Ca^{2+} dan Mg^{2+} tetapi phospat tidak ikut larut (Insolube phospat). Garam – garam phospat yang dapat digunakan adalah Trisodium Phospat (Na_3PO_4) dan asam phospat (H_3PO_4), asam phospat ini kadang – kadang digunakan secara khusus untuk mempertinggi kebasaaan (*alkumility*) dari air isian.

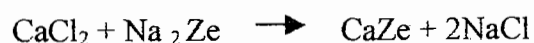
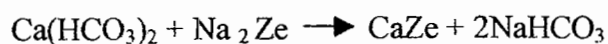
4. Proses Pertukaran Ion

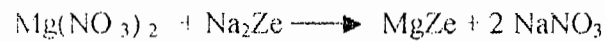
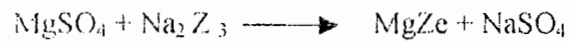
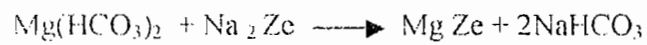
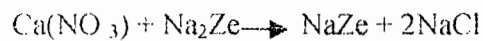
Proses pelunakan air dan pertukaran ion disebut juga dalam sistem Zeolit dan dibedakan menjadi 3 macam yaitu :

a. Proses sodium zeolit

Zeolit terdapat di alam merupakan persenyawaan sodium aluminium dengan rumus kimia $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ atau sering disingkat Na_2Ze . Zeolit ini di air menyerap ion – ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} serta menukarnya dengan ionnya sendiri, sehingga proses ini disebut proses pertukaran ion.

Reaksinya adalah sebagai berikut :



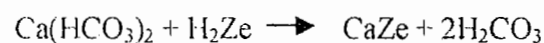


Dengan proses zeolit akan dihasilkan kesadahan air yang lebih baik dari proses – proses sebelumnya. Pada praktiknya selain zeolit alam juga ada zeolit buatan yang disebut dengan *Permutit* yang dibuat dari peleburan kuarsa dan soda dalam perbandingan tertentu.

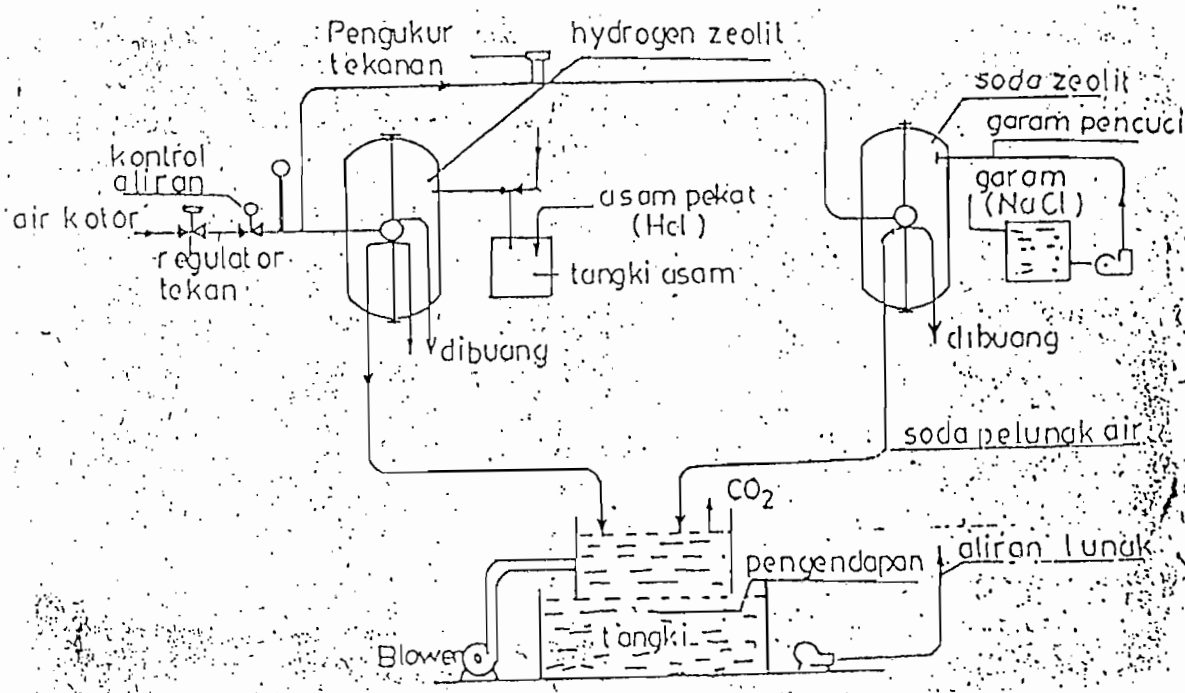
b. Proses Hydrogen Zeolit

Dengan hydrogen zeolit semua ion – ion logam yang berada dalam air dapat ditukar dengan ion hidrogen (H^+). Namun air dari proses hidrogen zeolit tidak dapat langsung dipakai sebagai air isian dalam generator, karena air yang dihasilkan masih bersifat asam. Agar air tersebut dapat digunakan sebagai air isian dalam generator maka harus didenetralisasi dengan Coustic Soda (NaOH) atau dengan mencampur air dari hasil pelunakan dengan sodium Zedit.

Reaksi yang terjadi bila air mengandung garam – garam Kalsium, Magnesium, dan Natrium dengan pelunakan dan hidrogen zeolit adalah sebagai berikut :



Karena air yang dialirkan atau dilewatkan dalam Hidrogen zeolit banyak mengandung CO_2 , maka CO_2 tersebut harus dibuang, sedangkan CO_2 yang masih terlarut dalam air dibebaskan bagi deaerator. Perlu diperhatikan bahwa proses hidrogen zeolit tersebut masih belum dapat menghilangkan kandungan silikat yang ada dalam air tersebut.



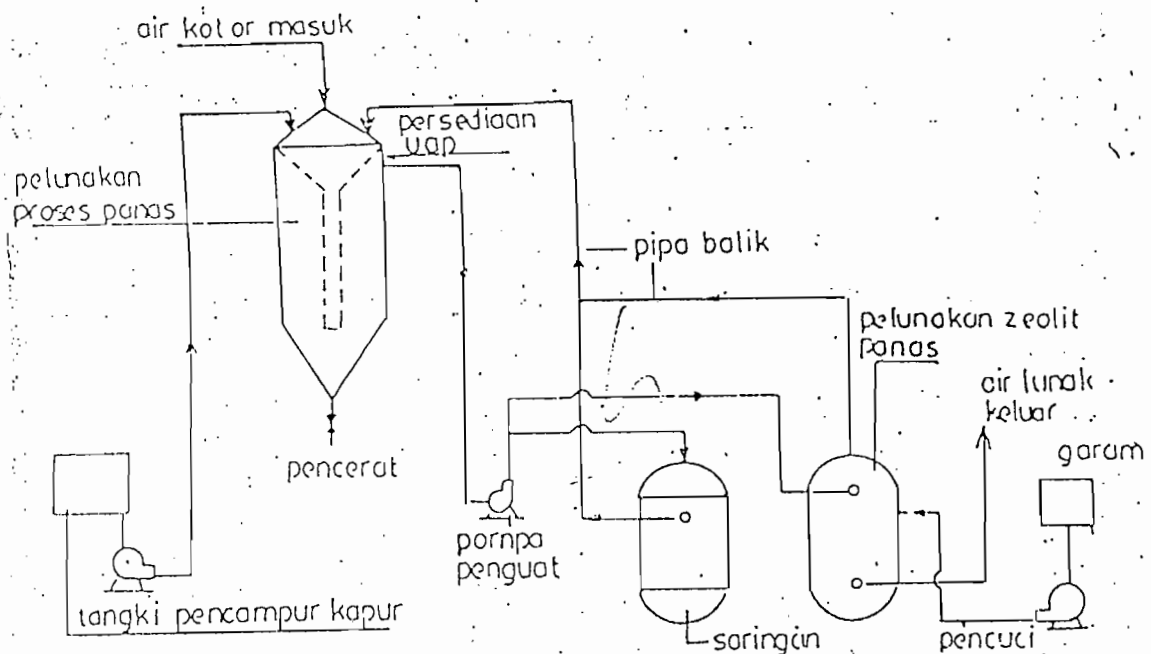
Gambar X. 1 Sistem pelunakan dengan Hidrogen Zeolit

Sumber : Pawito M. Sartowiro, Pembangkit Uap, hal: 90

c. Proses panas soda kapur dan zeolit

Pada proses soda kapur dan Zeolit didapat air dengan kesadahan yang rendah, kandungan silikon yang rendah dan bebas dari garam – garam karena garam – garam tersebut dapat dihilangkan. Air yang akan dilunakkan terlebih dahulu diproses di dalam tangki proses pelunakkan panas (*Setting Tank*), kemudian di dalam tangki tersebut juga dimasukkan pula uap dan

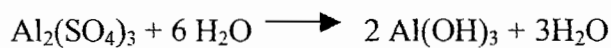
larutan kapur, dimana alkali dan silikon direduksi. Di sini semua Kalsium dan Magnesium yang terkandung dalam air akan turun ke bawah mengendap dan dapat dibuang melalui katup lumpur (*Sludge Blowdown*). Air yang sudah diproses di dalam *Setting Tank* tersebut dialirkan dengan pompa ke tangki proses pelunakan dengan zeolit panas (*Hot Zeolit Softener*). Air yang keluar dari *Hot Zeolit Softener* tersebut berupa air yang sudah dilunakkan. Pelunak zeolit dapat dicuci dengan menggunakan air panas yang sudah dilunakkan dan air yang telah digunakan untuk pencucian tersebut dialirkan kembali ke tangki proses pelunakan panas. Untuk mengaktifkan kembali zeolit yang sudah kotor maka zeolit tersebut disiram atau dicuci dengan larutan garam "Brain".



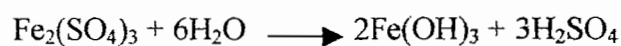
Gambar X. 2 Sistem pelunakan dengan Kapur Zeolit
Sumber : Pawito M. Sartowiro, Pembangkit Uap, hal: 92

5. Proses Pemisahan silikat (Silica demoval)

Kerak yang terbentuk dari silikat (Ca, Mg, Silikon), merupakan kerak yang keras dan sukar larut dalam air. Silikat tidak dapat dihilangkan tetapi hanya dapat dikurangi dari air dengan proses absorpsi atau penyerapan. Absorpsi yang dapat dipakai berupa senyawa – senyawa kimia berbentuk koloit (Mg, Fe, Al, $Mg(OH)_2$, $Fe(OH)_2$, $2Al(OH)_3$). Selain itu juga dapat dikurangi dengan cara koagulasi yang dilakukan dengan Alumina Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$), Natrium Aluminat ($NaAlO_2$). Kedua bahan ini akan membentuk hidroksida yang akan menyerap silikat dalam air.



Cara ini dapat mengkoagulasi silikat pada PH yang rendah (9,3 – 9,1) dan untuk PH yang lebih rendah digunakan $Fe(OH)_3$ dihasilkan dari Hidroksida $Fe_2(SO_4)_3$.



6. Menghilangkan Minyak

Air karbonat yang dihasilkan dari pengembunan uap bekas sering kali tercampur dengan minyak, maka minyak tersebut harus dipisahkan dari air kondensat sebelum digunakan sebagai air isian generator. Untuk memisahkan minyak dari air kondensat tersebut dapat dilakukan dengan cara :

- a. Absorpsi
- b. Koagulasi

c. Elektrolisa

d. Secara mekanis dengan sedimentasi dan filtrasi

a. Absorpsi

Absorpsi minyak dengan menggunakan karbon aktif, dimana karbon yang telah digunakan diaktifkan kembali, namun tidak ekonomis. Oleh karena itu lebih menguntungkan dengan cara mengganti dengan karbon aktif yang baru.

b. Koagulasi

Dengan cara koagulasi atau penggumpalan ini, kedalam air dimasukkan $Al_2(SO_4)_3$ atau dengan senyawa garam – garam besi. Ion – ion positif dari senyawa ini akan menetralkan ion – ion negatif dari minyak, sehingga terbentuk gumpalan – gumpalan minyak. Kemudian pemisahan dilakukan dengan jalan sedimentasi dan filtrasi.

c. Elektrolisa

Dengan cara ini minyak akan membentuk gumpalan – gumpalan, ini disebabkan karena aliran – aliran listrik yang diberikan akan menetralkan ion – ion minyak yang ada di dalam air tersebut.

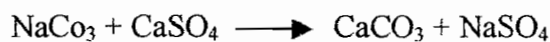
d. Secara mekanis dengan sedimentasi dan filtrasi

Dengan cara ini terlebih dahulu air dimasukkan ke dalam reservoir dan didiamkan, sehingga minyak akan melapisi permukaan bagian atas air, setelah itu baru dilakukan penyaringan. Sebagai penyaring dapat digunakan bahan dari wool atau cotton.



B. Pengolahan Air Isian Di Dalam Generator

Pengolahan air isian di dalam generator merupakan penyempurnaan pengolahan yang dilakukan di luar generator. Dengan cara memasukkan suatu zat ke dalam generator bersama – sama dengan air isian yang kemudian akan bereaksi dengan senyawa – senyawa pembentuk kerak dan akan membentuk endapan berupa lumpur yang akan dikeluarkan dari dalam generator melalui *blowdown valve*. Bahan kimia yang paling banyak digunakan untuk pengolahan air isian di dalam generator adalah Sodium Karbonat (Na_2CO_3) dan Sodium Phospat, Sodium karbonat akan bereaksi dengan kalsium sulfat dan membentuk endapan kalsium karbonat. Perbandingan karbonat yang digunakan terhadap sulfat biasanya berkisar antara 0,1 – 0,2. Semakin tinggi tekanan kerja generator semakin besar pula perbandingan karbonat yang digunakan. Penggunaan sodium karbonat (NaCO_3) dibatasi hanya untuk boiler maksimal dengan tekanan kerja 250 psi, karena dalam larutan NaCO_3 akan terhidroksida membentuk NaOH dan CO_2 , dimana hidroksida ini akan dipercepat dengan semakin tingginya temperatur. Reaksi penggunaan sodium karbonat dan sodium phospat dapat dilihat pada persamaan berikut ini :



10.3 Menghilangkan Suspensi Padat

Air alam mengandung zat – zat yang tidak larut yang melayang – layang, hal ini dapat dihilangkan dengan mengendapkan atau penyaringan.

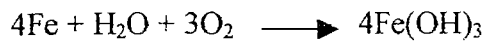
Pada proses pengendapan digunakan reservoir, dimana kotoran – kotoran yang terbawa oleh air ditampung didalamnya dan akan mengendap dan selanjutnya dibuang. Dengan cara ini diperlukan ruangan yang relatif besar, untuk mempercepat proses pengendapan digunakan atau ditambahkan senyawa kimia berupa $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dan $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Proses penyaringan menggunakan tangki yang di dalamnya terdapat lapisan pasir dengan kerikil yang ditahan oleh sebuah meja penahan. Air yang kotor dilewatkan melalui lapisan pasir dan kerikil sebagai penyaring, sehingga kotorannya akan tertinggal.

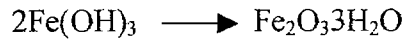
D. Pencegahan Korosi

Korosi adalah rusaknya suatu bahan/menurunnya kualitas bahan karena terjadinya reaksi dengan lingkungan. Penyebab korosi pada bagian dalam bahan generator disebabkan oleh zat – zat yang larut dalam air isian antara lain NaCl , MgCl_2 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, CaSO_4 , H_2SO_4 , HCl , H_2CO_3 dan O_2 . Oksigen adalah zat yang paling agresif untuk menimbulkan korosi pada bahan generator, oleh sebab itu kadar oksigen harus dikurangi sampai batas – batas tertentu. Proses korosi pada bahan generator pada dasarnya tidak dapat dihindari, hanya dapat diperlambat. Proses korosi juga dapat terjadi pada generator yang bertekanan dan temperatur tinggi, dimana pada temperatur tinggi uap beroksidasi dengan baja sehingga timbul korosi.

Reaksi korosi pada percobaan elektrokimia dapat ditulis dalam persamaan reaksi sebagai berikut :



Jika dikeluarkan dari air :



Untuk menghambat terjadinya korosi dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain :

a. Alkalisasi air

Air dibuat alkalis dengan cara menambahkan caustic soda (NaOH) kedalam air isian dengan perbandingan tertentu.

b. Perlindungan katodis

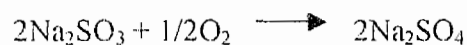
Prinsip perlindungan katodis adalah berdasarkan perbedaan elektroda – elektroda logam. Untuk elektroda positif (anoda) dapat dipakai Zn sedangkan untuk elektroda negatif (katoda) adalah dinding generator sendiri. Jika Zn dicelupkan kedalam air generator kemudian dialiri arus listrik searah dari Zn menuju dinding generator maka proses selanjutnya Zn akan bersifat korosif dan dinding generator akan terhindar dari pengaruh korosi.

c. Pembentukan lapisan pelindung

Pemberian phosphat berlebihan ke dalam air generator selain mempertinggi sifat alkali air juga dapat membentuk lapisan pelindung pada permukaan dinding generator sehingga akan mencegah korosi pada permukaan dinding generator.

d. Pengusiran oksigen

Pengusiran oksigen dari air isian generator dapat dilakukan dengan metode pemanasan, metode kimia dan metode mekanis. Jika air generator dipanaskan sampai mencapai temperatur dididhinya maka gas O₂ dan CO₂ yang ada dalam air akan keluar dan meninggalkan air tersebut. Dengan metode kimia dilakukan dengan cara memasukkan sodium sulfat (Na₂SO₃) kedalam air generator sehingga bahan ini bereaksi dengan O₂ yang terdapat dalam air isian generator dan membentuk sulfat (Na₂SO₄) yang reaksinya adalah :



Namun cara ini kurang ekonomis dan semakin memperbesar pembentukan zat – zat padat yang terlarut dalam air isian generator. Dan metode mekanis akan lebih menguntungkan karena lebih ekonomis. Alat ini digunakan dengan cara yang disebut Deaerator dimana air dimasukkan ke dalam deaerator melalui bagian atas dengan jalan disemprotkan, dan bersamaan dengan itu melalui bagian lain dialirkan uap dengan arah aliran berlawanan (*conter flow*) sehingga air dan uap bersinggungan langsung dan kemudian uap akan berubah menjadi air dan bersatu dengan air yang dimasukkan. Air tersebut ditampung pada penampang yang terdapat dibagian bawah alat tersebut, sedangkan O₂ dan CO₂ akan tereduksi melalui saluran pada bagian atas dari alat tersebut.

BAB XI

OPERASI DAN PERAWATAN

11.1 Pengoperasian Generator

Untuk dapat mengoperasikan generator rancangan tersebut ada beberapa langkah yang harus dikerjakan yaitu :

1. Menghidupkan pompa air isian, penyalaan pompa air isian dilakukan sampai seluruh pipa api terendam.
2. Menghidupkan alat pembakaran mula (menggunakan LPG) untuk pembakaran awal batu bara.
3. Apabila di atas rangka bakar telah terdapat lapisan batu bara yang membara maka pembakaran dapat dijaga dengan menambahkan batu bara baru di di atas rangka bakar.

Sebelum mengaktifkan generator dibutuhkan data spesifikasi seperti : tekanan kerja, suhu yang diinginkan dan jumlah uap yang dibutuhkan. Hal – hal tersebut disebut sebagai syarat pengoperasian, tujuan dari syarat pengoperasian adalah untuk mengetahui seberapa jauh generator tersebut akan digunakan agar kerugian – kerugian dapat ditekan dan harga efisiensi yang tinggi dapat dicapai.

11.2 Perawatan

Pada teori perawatan ada 3 hal pokok dalam perawatan :

1. *Preventive Maintenance* (pencegahan)
2. *Represive Maintenance* (mengatasi gangguan)
3. *Prediktive Maintenance* (perkiraan terhadap kerusakan)

Pada generator ini perawatan dapat dilakukan tiap satu tahun sekali, karena kerja pada generator uap adalah kerja kontinyu untuk pemenuhan kebutuhan mesin lain yang bekerja berdasarkan uap yang diterima dari generator tersebut. Oleh karena itu pada kerja generator yang relatif lama tersebut kerap terjadi pengotoran – pengotoran yang disebabkan oleh kerak pada aliran air dan abu pada aliran api atau gas asap. Kerak yang terbentuk dalam pipa penguap untuk beberapa waktu tertentu harus dibersihkan.

Untuk membersihkan generator diperlukan beberapa pertimbangan antara lain persiapan alat - alat bantu untuk perbaikan, tenaga kerja, tersedianya suku cadang, serta waktu yang tepat untuk melakukan pekerjaan perawatan berkala tersebut.

Sebelum perawatan dilakukan langkah pertama yang harus dilakukan adalah mematikan proses pembakaran bahan bakar kemudian membuka katup uap agar tekanan dalam generator turun dan dilanjutkan dengan mematikan pompa air isian. Untuk membersihkan kerak yang menempel pada pipa – pipa api digunakan bor pipa yang telah dimodifikasi, pada mata bor terdapat sebuah silinder dengan panjang 3-5 cm dan dililiti kawat baja sampai diameternya mendekati diameter pipa yang akan dibersihkan. Perawatan pada lorong api sedikit lebih sulit dibandingkan dengan perawatan pada pipa karena adanya profil *purves* yang

dipilih untuk perancangan. Untuk sisi dalam yang tidak melengkung pembersihan dilakukan dengan mengeruk habis kerak yang menempel pada dinding, sedangkan untuk profil tekukannya digunakan bor modifikasi dimana mata bor yang digunakan adalah silinder yang telah dililiti kawat baja dan panjangnya sesuai dengan lebar profil. Pembersihan dilanjutkan dengan menyedot kerak yang pada pipa – pipa api dan lorong api dengan menggunakan pompa udara bertekanan.

Pengecekan juga dilakukan pada alat – alat pertolongan keamanan seperti peluit bahaya, pompa air isian dan manometer. Pengecekan manometer sangat penting dilakukan karena alat ini sebagai indikator tekanan uap dalam generator, pada peluit bahaya dilihat sumbat logamnya apakah masih layak atau perlu diganti dengan sumbat yang baru.

Secara garis besar perawatan dapat dilakukan pada saat :

- Perawatan pada saat generator beroperasi
 1. *Furnace and setting* untuk mencegah *explosion furnace*.
 - a. *Up – to – date operating procedure and operating training*
 - b. Pengecekan secara rutin *combustion monitoring equipment* oleh personel operasi atau operator
 - c. Deteksi bahan bakar tak terbakar dalam gas panas
 - d. Mengusahakan dan memonitor perbandingan bahan bakar dan udara pembakaran yang tepat
 2. *Pressure part* untuk melindungi dari *thermal stress* atau *overheating*
 - a. Pengecekan *relief pressure valve*
 - b. Pengecekan *water level instrument*

- c. *Monitoring dan maintaining feed water*
3. *Monitoring temperature untuk mengecek proper maintain*
 - a. *Metal temperature instrument*
 - b. *Gas temperature instrument*
 - c. *Steam and water temperature instrument*
 4. *Monitoring pressure untuk periodic maintenance and operational check*
 - a. *Water and steam pressure*
 - b. *Differential pressure furnance*
 5. *Maintaining for efficiency dengan memperhatikan losses yang terjadi*
 - a. *Observasi dry gas losses dengan dua parameter temperatur dan berat gas yang keluar dari cerobong*
 - Perawatan pada saat generator tidak beroperasi
 1. *Pembersihan unit internal untuk unit tekanan rendah*
 - a. *Inspeksi kebocoran drum*
 - b. *Inspeksi crack*
 2. *Untuk unit tekanan tinggi*
 - a. *Inspeksi dan pembersihan deposit*
 - b. *Crack dan kebocoran*
 3. *Pembersihan luar dapat dilakukan dengan*
 - a. *Pembersihan akumulasi ash*
 - b. *Scale pada bagian luar pipa*
 4. *Inspeksi dalam dapat dilakukan pada*
 - a. *Pipa terhadap overheating*

- b. Pipa terhadap erosi dan korosi
 - c. Pipa terhadap *misalignment*
 - d. Pipa terhadap *slagging* atau *fouling deposit*
 - e. Preparasi bahan bakar dan peralatan pembakaran
 - f. *Refractory*
 - g. Isolasi dan *casing*
5. *Repair untuk pressure part*
- a. *Repair by welding*
 - b. Penggantian bagian dari tube
 - c. *Seal welding*
6. *Repair non pressure part*
- a. *Pulverizer maintenance*
 - b. *Air heater maintenance*
 - c. *Sootblowers*
 - d. *Rotating machinery*

BAB XII

KESIMPULAN DAN PENUTUP

12.1. Kesimpulan

Sesuai dengan perhitungan – perhitungan yang telah dilakukan pada bab – bab sebelumnya didapatkan dimensi generator rancangan sebagai berikut :

Silinder generator :

Bahan	: Baja karbon (SA 302 A)
Diameter dalam	: 119,76 in = 3,042 m
Diameter luar	: 120,76 in = 3,065 m
Panjang	: 12 ft = 3,657 m

Silinder api :

Bahan	: SA – 210 C
Diameter dalam	: 50,40 in = 1,280 m
Diameter luar	: 57,60 in = 1,460 m
Panjang	: 12 ft = 3,657 m
Pengerjaan	: Las listrik

Pipa – api :

Bahan	: SA – 106 C
Diameter dalam	: 4,026 in = 0,102 m
Diameter luar	: 4,5 in = 0,114 m
Jumlah	: 236 buah

Data teknis lain :

Kapasitas	: 66079,295 lb/jam = 29999,999 kg/jam
Tekanan kerja	: 16 Barg
Temperatur air masuk	: 176 °F = 80 °C
Temperatur uap	: 450,374 °F = 232,222 °C
Bahan bakar	: Batu bara
Isolasi	: 4 in = 0,1016 m
Plat penutup	: 0,5 in = 0,0127 m

12.2. Penutup

Puji dan syukur saya ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa sehingga tugas akhir ini dapat selesai. Penyusun menyadari bahwa dalam menyelesaikan tugas ini pastilah banyak kesalahan -- kesalahan dan kekurangan meskipun penyusun telah berusaha sebaik -- baiknya.

Untuk itu penyusun mengharapkan bantuan dari semua pihak untuk saran dan kritik yang bersifat membangun. Penyusun sangat berterimakasih apabila pada masa yang akan datang ada teman -- teman yang akan menyempurnakan perancangan ini, sehingga diharapkan dapat tercipta hasil karya yang lebih baik.

Akhir kata semoga rancangan ini bermanfaat bagi kita semua terutama bagi perkembangan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashton, M. 1961. *Boiler Effisiensi and Safety*. The Mac Millan Press LTD.
London and Basing Stroke.
- Babcock and Willcox. 1972. *Steam Generation and Use*. Babcock and Willcox
Company. New York.
- Holman, JP. 1984. *Perpindahan panas*. Alih Bahasa E Jasfi, Erlangga.
Jakarta.
- Littleton, CT. 1961. *Industrial Piping*, Mc Grawhill Book Company.
New York.
- Lorenzi, OD. 1949. *Combustions Engineering*. Combustion Engineering Superheater,
Inc. New York.
- Muin, SA. 1988. *Pesawat – pesawat Konversi Energi I*. Rajawali. Jakarta.
- Nainggolan, WS. 1987. *Teori dan Soal Penyelesaian Termodinamika*, Amriko.
Bandung.
- Pawito, M.. *Pembangkit Uap*, Institut Teknologi Bandung.
- Pitts, DR. 1987. *Teori dan Soal Perpindahan Kalor*. Alih Bahasa E. Jasfi.
Erlangga. Jakarta.
- Setyardjo, D. 1987. *Ketel Uap*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Shield, CD. 1972. *Boiler Type Characteristic and Function*. Mc Grawhill Book
Company. New York.

Subarky, BM.1985. *Ketel Uap "Pesawat Tenaga Uap I"*. PT. Mutiara Solo.

Surakarta.

Woodruff, EB. Lammers, HB. 1977. *Steam – Plant Operation*. Mc Grawhill Book

Company. New York.



LAMPIRAN

Tabel II. 1

Table A.1.1 (E) Properties of Saturated Water and Saturated Steam (Temperature)*

Temp., °F	Press., psia	Volume, ft ³ /lbm			Enthalpy, Btu/lbm			Entropy, Btu/lbm-°R			Temp., °F
		Water v_f	Evap. v_{fg}	Steam v_g	Water h_f	Evap. h_{fg}	Steam h_g	Water s_f	Evap. s_{fg}	Steam s_g	
32	0.08859	0.01602	3305	3305	-0.02	1075.5	1075.5	0.0000	2.1873	2.1873	32
35	0.09991	0.01602	2948	2948	3.00	1073.8	1076.8	0.0061	2.1706	2.1767	35
40	0.12163	0.01602	2446	2446	8.03	1071.0	1079.0	0.0162	2.1432	2.1594	40
45	0.14744	0.01602	2037.7	2037.8	13.04	1068.1	1081.2	0.0262	2.1164	2.1426	45
50	0.17796	0.01602	1704.8	1704.8	18.05	1065.3	1083.4	0.0361	2.0901	2.1262	50
60	0.2561	0.01603	1207.6	1207.6	28.06	1059.7	1087.7	0.0555	2.0391	2.0946	60
70	0.3629	0.01605	868.3	868.4	38.05	1054.0	1092.1	0.0745	1.9900	2.0645	70
80	0.5068	0.01607	633.3	633.3	48.04	1048.4	1096.4	0.0932	1.9426	2.0359	80
90	0.6981	0.01610	468.1	468.1	58.02	1042.7	1100.8	0.1115	1.8970	2.0086	90
100	0.9492	0.01613	350.4	350.4	68.00	1037.1	1105.1	0.1295	1.8530	1.9825	100
110	1.2750	0.01617	265.4	265.4	77.98	1031.4	1109.3	0.1472	1.8105	1.9577	110
120	1.6927	0.01620	203.25	203.26	87.97	1025.6	1113.6	0.1646	1.7693	1.9339	120
130	2.2230	0.01625	157.32	157.33	97.96	1019.8	1117.8	0.1817	1.7295	1.9112	130
140	2.8892	0.01629	122.98	123.00	107.95	1014.0	1122.0	0.1985	1.6910	1.8895	140
150	3.718	0.01634	97.05	97.07	117.95	1008.2	1126.1	0.2150	1.6536	1.8686	150
160	4.741	0.01640	77.27	77.29	127.96	1002.2	1130.2	0.2313	1.6174	1.8487	160
170	5.993	0.01645	62.04	62.06	137.97	996.2	1134.2	0.2473	1.5822	1.8295	170
180	7.511	0.01651	50.21	50.22	148.00	990.2	1138.2	0.2631	1.5480	1.8111	180
190	9.340	0.01657	40.94	40.96	158.04	984.1	1142.1	0.2787	1.5148	1.7934	190
200	11.526	0.01664	33.62	33.64	168.09	977.9	1146.0	0.2940	1.4824	1.7764	200
210	14.123	0.01671	27.80	27.82	178.15	971.6	1149.7	0.3091	1.4509	1.7600	210
212	14.696	0.01672	26.78	26.80	180.17	970.3	1150.5	0.3121	1.4447	1.7568	212
220	17.186	0.01678	23.13	23.15	188.23	965.2	1153.4	0.3241	1.4201	1.7442	220
230	20.779	0.01685	19.364	19.381	198.33	958.7	1157.1	0.3388	1.3902	1.7290	230
240	24.968	0.01693	16.304	16.321	208.45	952.1	1160.6	0.3533	1.3609	1.7142	240
250	29.825	0.01701	13.802	13.819	218.59	945.4	1164.0	0.3677	1.3323	1.7000	250
260	35.427	0.01709	11.745	11.762	228.76	938.6	1167.4	0.3819	1.3043	1.6862	260
270	41.856	0.01718	10.042	10.060	238.95	931.7	1170.6	0.3960	1.2769	1.6729	270
280	49.200	0.01726	8.627	8.644	249.17	924.6	1173.8	0.4098	1.2501	1.6599	280
290	57.550	0.01736	7.443	7.460	259.4	917.4	1176.8	0.4236	1.2238	1.6473	290
300	67.005	0.01745	6.448	6.466	269.7	910.0	1179.7	0.4372	1.1979	1.6351	300
310	77.67	0.01755	5.609	5.626	280.0	902.5	1182.5	0.4506	1.1726	1.6232	310
320	89.64	0.01766	4.896	4.914	290.4	894.8	1185.2	0.4640	1.1477	1.6116	320
340	117.99	0.01787	3.770	3.788	311.3	878.8	1190.1	0.4902	1.0990	1.5892	340
360	153.01	0.01811	2.939	2.957	332.3	862.1	1194.4	0.5161	1.0517	1.5678	360
380	195.73	0.01836	2.317	2.335	353.6	844.5	1198.0	0.5416	1.0057	1.5473	380
400	247.26	0.01864	1.8444	1.8630	375.1	825.9	1201.0	0.5667	0.9607	1.5274	400
420	308.78	0.01894	1.4808	1.4997	396.9	806.2	1203.1	0.5915	0.9165	1.5080	420
440	381.54	0.01926	1.1976	1.2169	419.0	785.4	1204.4	0.6161	0.8729	1.4890	440
460	466.9	0.0196	0.9746	0.9942	441.5	763.2	1204.8	0.6405	0.8299	1.4704	460
480	566.2	0.0200	0.7972	0.8172	464.5	739.6	1204.1	0.6648	0.7871	1.4518	480
500	680.9	0.0204	0.6545	0.6749	487.9	714.3	1202.2	0.6890	0.7443	1.4333	500
520	812.5	0.0209	0.5386	0.5596	512.0	687.0	1199.0	0.7133	0.7013	1.4146	520
540	962.8	0.0215	0.4437	0.4651	536.8	657.5	1194.3	0.7378	0.6577	1.3954	540
560	1133.4	0.0221	0.3651	0.3871	562.4	625.3	1187.7	0.7625	0.6132	1.3757	560
580	1326.2	0.0228	0.2994	0.3222	589.1	589.9	1179.0	0.7876	0.5673	1.3550	580
600	1543.2	0.0236	0.2438	0.2675	617.1	550.6	1167.7	0.8134	0.5196	1.3330	600
620	1786.9	0.0247	0.1962	0.2208	646.9	506.3	1153.2	0.8403	0.4689	1.3092	620
640	2059.9	0.0260	0.1543	0.1802	679.1	454.6	1133.7	0.8686	0.4134	1.2821	640
660	2365.7	0.0277	0.1166	0.1443	714.9	392.1	1107.0	0.8995	0.3502	1.2498	660
680	2708.6	0.0304	0.0808	0.1112	758.5	310.1	1068.5	0.9365	0.2720	1.2086	680
700	3094.3	0.0366	0.0386	0.0752	822.4	172.7	995.2	0.9901	0.1490	1.1390	700
705.5	3208.2	0.0508	0	0.0508	906.0	0	906.0	1.0612	0	1.0612	705.5

*Abstracted with permission from *Thermodynamics and Transport Properties of Steam*. (Copyright, 1967, by The American Society of Mechanical Engineers.)

Tabel II. 2

Table A.1.2 (E) Properties of Saturated Water and Saturated Steam (Pressure)*

Press., psia	Temp., °F	Volume, ft ³ /lbm			Enthalpy, Btu/lbm			Entropy, Btu/lbm-°R			Energy, Btu/lbm		Press., psia
		Water <i>v_f</i>	Evap. <i>v_{fg}</i>	Steam <i>v_g</i>	Water <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Steam <i>h_g</i>	Water <i>s_f</i>	Evap. <i>s_{fg}</i>	Steam <i>s_g</i>	Water <i>u_f</i>	Steam <i>u_g</i>	
0.0886	32.018	0.01602	3302.4	3302.4	0.00	1075.5	1075.5	0	2.1872	2.1872	0	1021.3	0.0886
0.10	35.023	0.01602	2945.5	2945.5	3.03	1073.8	1076.8	0.0061	2.1705	2.1766	3.03	1022.3	0.10
0.15	45.453	0.01602	2004.7	2004.7	13.50	1067.9	1081.4	0.0271	2.1140	2.1411	13.50	1025.7	0.15
0.20	53.160	0.01603	1526.3	1526.3	21.22	1063.5	1084.7	0.0422	2.0738	2.1160	21.22	1028.3	0.20
0.30	64.484	0.01604	1039.7	1039.7	32.54	1057.1	1089.7	0.0641	2.0168	2.0809	32.54	1032.0	0.30
0.40	72.869	0.01606	792.0	792.0	40.92	1052.4	1093.3	0.0799	1.9762	2.0562	40.92	1034.7	0.40
0.5	79.586	0.01607	641.5	641.5	47.62	1048.6	1096.3	0.0925	1.9446	2.0370	47.62	1036.9	0.5
0.6	85.218	0.01609	540.0	540.0	53.25	1045.5	1098.7	0.1028	1.9186	2.0215	53.24	1038.7	0.6
0.7	90.09	0.01610	466.93	466.94	58.10	1042.7	1100.8	0.1117	1.8966	2.0083	58.10	1040.3	0.7
0.8	94.38	0.01611	411.67	411.69	62.39	1040.3	1102.6	0.1195	1.8775	1.9970	62.39	1041.7	0.8
0.9	98.24	0.01612	368.41	368.43	66.24	1038.1	1104.3	0.1264	1.8606	1.9870	66.24	1042.9	0.9
1.0	101.74	0.01614	333.59	333.60	69.73	1036.1	1105.8	0.1326	1.8455	1.9781	69.73	1044.1	1.0
2.0	126.07	0.01623	173.74	173.76	94.03	1022.1	1116.2	0.1750	1.7450	1.9200	94.03	1051.8	2.0
3.0	141.47	0.01630	118.71	118.73	109.42	1013.2	1122.6	0.2009	1.6854	1.8864	109.41	1056.7	3.0
4.0	152.96	0.01636	90.63	90.64	120.92	1006.4	1127.3	0.2199	1.6428	1.8626	120.90	1060.2	4.0
5.0	162.24	0.01641	73.515	73.53	130.20	1000.9	1131.1	0.2349	1.6094	1.8443	130.18	1063.1	5.0
6.0	170.05	0.01645	61.967	61.98	138.03	996.2	1134.2	0.2474	1.5820	1.8294	138.01	1065.4	6.0
7.0	176.84	0.01649	53.634	53.65	144.83	992.1	1136.9	0.2581	1.5587	1.8168	144.81	1067.4	7.0
8.0	182.86	0.01653	47.328	47.35	150.87	988.5	1139.3	0.2676	1.5384	1.8060	150.84	1069.2	8.0
9.0	188.27	0.01656	42.385	42.40	156.30	985.1	1141.4	0.2760	1.5204	1.7964	156.28	1070.8	9.0
10	193.21	0.01659	38.404	38.42	161.26	982.1	1143.3	0.2836	1.5043	1.7879	161.23	1072.3	10
14.696	212.00	0.01672	26.782	26.80	180.17	970.3	1150.5	0.3121	1.4447	1.7568	180.12	1077.6	14.696
15	213.03	0.01673	26.274	26.29	181.21	969.7	1150.9	0.3137	1.4415	1.7552	181.16	1077.9	15
20	227.96	0.01683	20.070	20.087	196.27	960.1	1156.3	0.3358	1.3962	1.7320	196.21	1082.0	20
30	250.34	0.01701	13.7266	13.744	218.9	945.2	1164.1	0.3682	1.3313	1.6995	218.8	1087.9	30
40	267.25	0.01715	10.4794	10.497	236.1	933.6	1169.8	0.3921	1.2844	1.6765	236.0	1092.1	40
50	281.02	0.01727	8.4967	8.514	250.2	921.9	1174.1	0.4112	1.2474	1.6546	250.1	1095.3	50
60	292.71	0.01738	7.1562	7.174	262.2	915.4	1177.6	0.4273	1.2167	1.6440	262.0	1098.0	60
70	302.93	0.01748	6.1875	6.205	272.7	907.8	1180.6	0.4411	1.1905	1.6316	272.5	1100.2	70
80	312.04	0.01757	5.4536	5.471	282.1	900.9	1183.1	0.4534	1.1675	1.6208	281.9	1102.1	80
90	320.28	0.01766	4.8777	4.895	290.7	894.6	1185.3	0.4643	1.1470	1.6113	290.4	1103.7	90
100	327.82	0.01774	4.4133	4.431	298.5	888.6	1187.2	0.4743	1.1284	1.6027	298.2	1105.2	100
120	341.27	0.01789	3.7097	3.728	312.6	877.8	1190.4	0.4919	1.0960	1.5879	312.2	1107.6	120
140	353.04	0.01803	3.2010	3.219	325.0	868.0	1193.0	0.5071	1.0681	1.5752	324.5	1109.6	140
160	363.55	0.01815	2.8155	2.834	336.1	859.0	1195.1	0.5206	1.0435	1.5641	335.5	1111.2	160
180	373.08	0.01827	2.5129	2.531	346.2	850.7	1196.9	0.5328	1.0215	1.5543	345.6	1112.5	180
200	381.80	0.01839	2.2689	2.287	355.5	842.8	1198.3	0.5438	1.0016	1.5454	354.8	1113.7	200
250	400.97	0.01865	1.8245	1.8432	376.1	825.0	1201.1	0.5679	0.9585	1.5264	375.3	1115.8	250
300	417.35	0.01889	1.5238	1.5427	394.0	808.9	1202.9	0.5882	0.9223	1.5105	392.9	1117.2	300
350	431.73	0.01913	1.3064	1.3255	409.8	794.2	1204.0	0.6059	0.8909	1.4968	408.6	1118.1	350
400	444.60	0.0193	1.14162	1.1610	424.2	780.4	1204.6	0.6217	0.8630	1.4847	422.7	1118.7	400
450	456.28	0.0195	1.01224	1.0318	437.3	767.5	1204.8	0.6360	0.8378	1.4738	435.7	1118.9	450
500	467.01	0.0198	0.90787	0.9276	449.5	755.1	1204.7	0.6490	0.8148	1.4639	447.7	1118.8	500
550	476.94	0.0199	0.82183	0.8418	460.9	743.3	1204.3	0.6611	0.7936	1.4547	458.9	1118.6	550
600	486.20	0.0201	0.74962	0.7698	471.7	732.0	1203.7	0.6723	0.7738	1.4461	469.5	1118.2	600
700	503.08	0.0205	0.63505	0.6556	491.6	710.2	1201.8	0.6928	0.7377	1.4304	488.9	1116.9	700
800	518.21	0.0209	0.54809	0.5690	509.8	689.6	1199.4	0.7111	0.7051	1.4163	506.7	1115.2	800
900	531.95	0.0212	0.47968	0.5009	526.7	669.7	1196.4	0.7279	0.6753	1.4032	523.2	1113.0	900
1000	544.58	0.0216	0.42436	0.4460	542.6	650.4	1192.9	0.7434	0.6476	1.3910	538.6	1110.4	1000
1100	556.28	0.0220	0.37863	0.4006	557.5	631.5	1189.1	0.7578	0.6216	1.3794	553.1	1107.5	1100
1200	567.19	0.0223	0.34013	0.3625	571.9	613.0	1184.8	0.7714	0.5969	1.3683	566.9	1104.3	1200
1300	577.42	0.0227	0.30722	0.3299	585.6	594.6	1180.2	0.7843	0.5733	1.3577	580.1	1100.9	1300
1400	587.07	0.0231	0.27871	0.3018	598.8	576.5	1175.3	0.7966	0.5507	1.3474	592.9	1097.1	1400
1500	596.20	0.0235	0.25372	0.2772	611.7	558.4	1170.1	0.8085	0.5288	1.3373	605.2	1093.1	1500
2000	635.80	0.0257	0.16266	0.1883	672.1	466.2	1138.3	0.8625	0.4256	1.2881	662.6	1068.6	2000
2500	668.11	0.0286	0.10209	0.1307	731.7	361.6	1093.3	0.9139	0.3206	1.2345	718.5	1032.9	2500
3000	695.33	0.0343	0.05073	0.0850	801.8	218.4	1020.3	0.9728	0.1891	1.1619	782.8	973.1	3000
3208.2	705.47	0.0508	0	0.0508	906.0	0	906.0	1.0612	0	1.0612	875.9	875.9	3208.2

*Abstracted with permission from *Thermodynamic and Transport Properties of Steam*. (Copyright, 1967, by The American Society of Mechanical Engineers.)

Tabel entalpy untuk gas

T, R	CO		CO ₂		H ₂		H ₂ O		N ₂		T, R
	\bar{h}	$\bar{\phi}$	\bar{h}	$\bar{\phi}$	\bar{h}	$\bar{\phi}$	\bar{h}	$\bar{\phi}$	\bar{h}	$\bar{\phi}$	
300	2074.1	43.142	2110.7	46.404	2036.8	27.280	2372.3	40.470	2073.4	41.698	300
400	2775.5	45.160	2872.4	48.590	2706.2	29.205	3167.0	42.757	2774.8	43.716	400
500	3472.6	46.716	3704.5	50.444	3388.0	30.726	3964.3	44.535	3472.2	45.272	500
536.67	3727.9	47.209	4025.8	51.064	3640.2	31.212	4258.0	45.102	3727.4	45.765	536.67
600	4168.8	47.985	4599.5	52.074	4077.8	31.983	4767.4	45.999	4168.1	46.541	600
700	4866.9	49.061	5550.3	53.539	4772.5	33.054	5578.9	47.250	4864.8	47.615	700
800	5569.2	49.999	6551.1	54.874	5469.9	33.985	6401.1	48.348	5564.4	48.549	800
900	6277.5	50.833	7596.3	56.105	6168.8	34.808	7235.7	49.331	6268.4	49.378	900
1000	6993.3	51.587	8681.2	57.248	6868.4	35.545	8083.9	50.224	6978.3	50.126	1000
1100	7717.7	52.278	9801.7	58.315	7568.5	36.213	8946.8	51.047	7695.2	50.810	1100
1200	8451.4	52.916	10954.1	59.318	8269.6	36.823	9825.0	51.811	8420.2	51.440	1200
1300	9194.7	53.511	12135.2	60.263	8972.2	37.385	10719.0	52.526	9153.7	52.027	1300
1400	9947.9	54.069	13342.3	61.158	9677.0	37.907	11629.3	53.201	9896.2	52.578	1400
1600	11482.8	55.094	15824.6	62.814	11096.3	38.855	13499.2	54.449	11408.3	53.587	1600
1800	13052.4	56.018	18384.8	64.322	12531.1	39.700	15436.2	55.589	12954.5	54.497	1800
2000	14651.7	56.860	21007.9	65.703	13984.3	40.465	17441.0	56.645	14530.7	55.327	2000
2200	16276.9	57.635	23684.9	66.979	15458.4	41.168	19513.6	57.632	16134.4	56.092	2200
2400	17924.1	58.351	26406.7	68.163	16954.6	41.819	21649.5	58.561	17761.7	56.800	2400
2600	19590.3	59.018	29165.8	69.267	18473.6	42.426	23844.0	59.439	19409.2	57.459	2600
2800	21272.7	59.641	31955.9	70.301	20015.6	42.998	26093.0	60.273	21073.9	58.076	2800
3000	22968.9	60.226	34772.1	71.272	21580.3	43.537	28392.2	61.066	22753.4	58.655	3000
3200	24677.1	60.778	37610.3	72.188	23167.3	44.050	30737.7	61.823	24445.8	59.201	3200
3400	26395.5	61.298	40467.4	73.054	24775.6	44.537	33125.6	62.546	26149.3	59.717	3400
3600	28122.9	61.792	43341.0	73.875	26404.2	45.002	35552.3	63.240	27862.6	60.207	3600
3800	29858.2	62.261	46229.5	74.656	28051.8	45.448	38014.5	63.905	29584.7	60.673	3800
4000	31600.5	62.708	49131.4	75.400	29717.2	45.875	40509.0	64.545	31314.5	61.116	4000
4200	33349.1	63.135	52046.0	76.111	31399.1	46.285	43033.0	65.161	33051.5	61.540	4200
4400	35103.4	63.543	54972.2	76.792	33096.5	46.680	45583.6	65.754	34794.9	61.945	4400
4600	36862.9	63.934	57909.4	77.445	34808.3	47.060	48158.7	66.326	36544.2	62.334	4600
4800	38627.3	64.309	60856.5	78.072	36533.8	47.428	50756.0	66.879	38298.9	62.708	4800
5000	40396.0	64.670	63812.5	78.675	38272.6	47.783	53373.8	67.413	40058.3	63.067	5000

T, R	O ₂		H		N		O		NO		T, R
	\bar{h}	$\bar{\phi}$	\bar{h}	$\bar{\phi}$	\bar{h}	$\bar{\phi}$	\bar{h}	$\bar{\phi}$	\bar{h}	$\bar{\phi}$	
300	2080.9	44.939	1489.4	24.512	1489.4	33.728	1628.8	35.359	2253.3	46.160	300
400	2778.6	46.946	1985.8	25.940	1985.8	35.156	2168.8	36.914	2976.2	48.240	400
500	3476.2	48.503	2482.2	27.048	2482.2	36.264	2698.9	38.097	3690.7	49.835	500
536.67	3733.0	48.999	2664.2	27.399	2664.2	36.615	2891.2	38.468	3951.8	50.339	536.67
600	4178.8	49.784	2978.6	27.953	2978.6	37.169	3221.2	39.049	4402.7	51.133	600
700	4890.3	50.880	3475.1	28.719	3475.1	37.934	3737.7	39.846	5116.5	52.233	700
800	5613.1	51.845	3971.6	29.382	3971.6	38.597	4249.8	40.529	5835.4	53.193	800
900	6348.8	52.712	4468.1	29.966	4468.1	39.182	4758.7	41.129	6561.9	54.048	900
1000	7097.9	53.501	4964.5	30.489	4964.5	39.705	5265.3	41.663	7297.3	54.823	1000
1100	7860.4	54.227	5461.0	30.963	5461.0	40.178	5770.1	42.144	8042.4	55.533	1100
1200	8635.6	54.902	5957.5	31.395	5957.5	40.610	6273.8	42.582	8797.6	56.190	1200
1300	9422.4	55.532	6453.9	31.792	6453.9	41.008	6776.5	42.984	9562.7	56.803	1300
1400	10219.8	56.122	6950.4	32.160	6950.4	41.375	7278.4	43.356	10337.2	57.377	1400
1600	11841.3	57.205	7943.3	32.823	7943.3	42.038	8280.1	44.025	11912.6	58.428	1600
1800	13492.9	58.177	8936.3	33.408	8936.3	42.623	9279.9	44.614	13520.7	59.375	1800
2000	15170.2	59.061	9929.4	33.931	9929.1	43.146	10278.6	45.140	15157.0	60.237	2000
2200	16867.7	59.870	10922.2	34.404	10922.1	43.619	11276.0	45.615	16816.6	61.028	2200
2400	18583.0	60.616	11914.9	34.836	11915.1	44.051	12272.6	46.049	18495.9	61.758	2400
2600	20314.3	61.309	12907.5	35.233	12908.2	44.449	13268.5	46.448	20191.6	62.437	2600
2800	22060.2	61.956	13900.3	35.601	13901.2	44.817	14264.0	46.816	21901.1	63.070	2800
3000	23819.7	62.563	14893.1	35.943	14894.1	45.159	15259.4	47.160	23622.3	63.664	3000
3200	25592.0	63.134	15886.1	36.264	15887.1	45.480	16254.6	47.481	25353.3	64.223	3200
3400	27376.7	63.675	16879.1	36.565	16880.0	45.781	17249.9	47.783	27092.8	64.750	3400
3600	29173.5	64.189	17872.3	36.849	17873.0	46.064	18245.2	48.067	28839.6	65.249	3600
3800	30982.2	64.678	18865.4	37.117	18866.1	46.333	19240.5	48.336	30593.0	65.723	3800
4000	32802.7	65.145	19858.5	37.372	19859.4	46.588	20235.9	48.592	32352.3	66.174	4000
4200	34635.1	65.592	20851.5	37.614	20853.1	46.830	21231.5	48.834	34117.0	66.605	4200
4400	36479.4	66.021	21844.4	37.845	21847.3	47.061	22227.3	49.066	35886.7	67.016	4400
4600	38335.4	66.433	22837.2	38.066	22842.2	47.283	23223.5	49.287	37661.0	67.411	4600
4800	40203.0	66.831	23829.9	38.277	23838.0	47.494	24220.2	49.500	39439.6	67.789	4800
5000	42081.8	67.214	24822.6	38.479	24835.1	47.698	25217.7	49.703	41222.0	68.153	5000

Tabel harga beam length for gas radiation

Shape	Characterizing dimension X	Factor by which X is multiplied to obtain mean beam length L	
		When $PeL = 0$	For average values of PeL
Sphere.....	Diameter	$\frac{3}{4}$	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	$\frac{3}{4}$	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	$\frac{3}{4}$	} See Table 4-3
1:1:4, radiating to 1 X 4 face.....	Shortest edge	0.90	
radiating to 1 X 1 face.....		0.86	
radiating to all faces.....		0.89	
1:2:6, radiating to 2 X 6 face.....	Shortest edge	1.18	
radiating to 1 X 6 face.....		1.24	
radiating to 1 X 2 face.....		1.18	
radiating to all faces.....		1.20	
1:∞:∞ (infinite parallel planes).....	Distance between planes	2	
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

Tabel emisivitas bahan

Surface	t, deg F*	Emissivity	Reference number
Oxidized surfaces			
Iron plate, pickled, then rusted red	65	0.61	25
Iron plate, completely rusted.....	67	0.69	25
Iron, dark gray surface.....	212	0.31	1
Rollled 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
Sheet steel			
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.....	70-690	0.94	32
Steel plate, rough.....	100-700	0.94-0.97	15
Molten surfaces			
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	0.27-0.39	3
Steel.....	2730-3000	0.42-0.53	14
Steel.....	2770-3000	0.43-0.40	18
Pure iron.....	2760-3220	0.42-0.45	8
Armed iron.....	2770-3070	0.40-0.41	18
Lead:			
Pure (99.96%), unoxidized.....	260-440	0.057-0.075	26
Gray oxidized.....	75	0.28	25
Oxidized at 300°F.....	390	0.63	23
Magnesium:			
Magnesium oxide.....	530-1520	0.65-0.20	21
Magnesium oxide.....	1650-3100	0.20	10
Mercury.....	32-212	0.09-0.12	11
Molybdenum:			
Filament.....	1340-4700	0.090-0.202	37
Mannive, polished.....	212	0.071	1
Monel metal⁴			
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'.....	460-1760	0.64-0.77	36
K Monel 5700; C'.....	450-1785	0.35-0.63	36

Tabel dimensi pipa – pipa baja

Lampiran C Dimensi pipa-pipa baja

<i>Ukuran Nominal pipa</i>	<i>Diameter luar</i>	<i>Skedul</i>	<i>Tebal dinding</i>	<i>Diameter dalam</i>	<i>Luas penampang logam</i>	<i>Luas penampang dalam</i>
in	in	no.	in	in	in ²	ft ²
1/8	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025
1/4	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050
3/8	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098
1/2	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163
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 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	0.075	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
5	5.563	40	0.258	5.047	4.304	0.1390
		80	0.375	4.813	6.112	0.1263
		120	0.500	4.563	7.953	0.1136
		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 JP Holman, " Perpindahan Kalor " Edisi ke-6, 1994, hal 596

Daftar ini menggunakan satuan SI.

