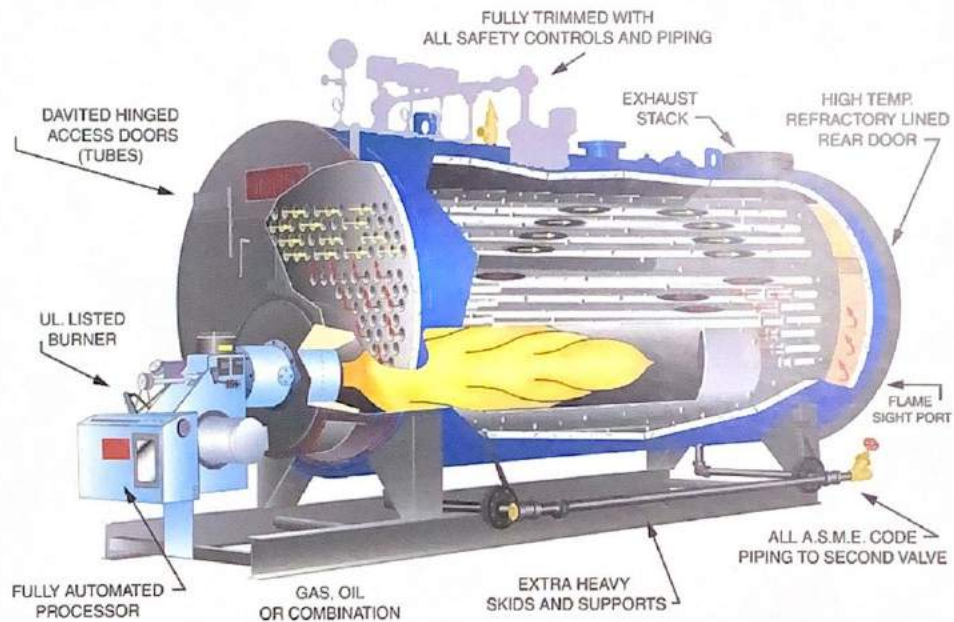


MODUL
PEMBINAAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
OPERATOR PESAWAT UAP KELAS I



JENIS PESAWAT UAP DAN
CARA BEKERJANYA

MATERI 2

PT. DHIYA ANEKA TEKNIK
PERUSAHAAN JASA KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (PJK3)
BIDANG PEMBINAAN K3

JL. RAYA SERANG – CILEGON KM.02 RUKO KEPANDEAN KAV 5 – 6 KELURAHAN LONTAR BARU KECAMATAN SERANG KOTA,
KOTA SERANG, PROVINSI BANTEN TELP 0254-216344, WEB dhiya.co.id

DAFTAR ISI

	halaman
1. Pendahuluan	1
1.1. Tujuan Pembelajaran Umum	1
1.2. Tujuan Pembelajaran Khusus	1
2. Gambaran umum ketel uap	2
2.1. Bagian-bagian ketel uap	2
2.1.1. Badan ketel uap dan bagiannya	2
2.1.2. Dapur/lorong api (furnace)	2
2.1.3. Perlengkapan ketel uap	2
2.2. Kapasitas ketel uap	3
3. Jenis-jenis ketel uap lorong api dan pipa api	4
3.1. Ketel silinder	4
3.1.1. Ketel uap silinder tegak	5
3.1.2. Ketel uap silinder mendatar	7
4. Jenis-jenis ketel uap pipa air	13
4.1. Sirkulasi air ketel uap	14
4.1.1. Ketel uap dengan sirkulasi alam	14
4.1.2. Ketel uap dengan sirkulasi buatan	29
4.1.3. Ketel uap once through (once through boiler)	30

5.	Ketel uap khusus (special boiler)	36
5.1.	Ketel uap yang memanfaatkan sisa gas panas dari pesawat lain (waste heat boiler)	36
5.2.	Ketel uap combined cycle	38
5.3.	Ketel uap bahan bakar khusus (particular fuel boiler)	38
5.3.1.	Ketel uap cairan hitam (black liquid boiler)	38
5.3.2.	Bagasse, Bark boiler	40
6.	Ketel uap besi tuang (cast iron boiler)	43
7.	Ketel uap listrik (electric boiler)	44
8.	Ketel uap kombinasi	45

JENIS - JENIS KETEL UAP

1. Pendahuluan

Berdasarkan ketentuan peraturan perundangan bahwa ketek uap adalah suatu pesawat yang digunakan untuk menghasilkan uap sedangkan uap tersebut digunakan diluar pesawatnya.

Bertitik tolak dari hasil uap yang dihasilkan oleh suatu ketel uap tidak terlepas dari disain konstruksi yang mengangkut beberapa aspek teknik yang harus dipertimbangkan/diperhitungkan guna menjamin keselamatan pengoperasian dan kapasitas produk uap yang akan dihasilkan oleh suatu ketel uap.

Proses pembuatan uap ini akan ditentukan oleh sistim pembakaran, luas pemanasan dan jumlah air yang akan berubah menjadi uap serta aspek-aspek teknik lainnya. Hal ini akan sangat tergantung pada tipe maupun jenis-jenis ketel uap yang sudah banyak digunakan di lapangan untuk kepentingan industri maupun pembangkit listrik.

Dengan mengenali jenis-jenis ketel uap akan didapatkan gambaran tentang kualitas/kemampuan setiap jenis ketel uap sehingga akan dapat dipilih alternatif ketel jenis apa yang akan dikehendaki.

1.1. Tujuan Pembelajaran Umum

Setelah menerima dan mengikuti modul ini diharapkan para peserta dapat menambah pengetahuan dan memahami tentang jenis-jenis ketel uap.

1.2. Tujuan Pembelajaran Khusus

Setelah mempelajari modul ini diharapkan para peserta mampu :

- a. Menjelaskan tentang jenis-jenis ketel uap

- b. Mengevaluasi kualitas setiap jenis ketel uap
- c. Memberikan alternatif penggunaan ketel uap berkaitan dengan efisiensi.

2. Gambaran umum ketel uap

2.1. Bagian-bagian ketel uap

2.1.1. Badan ketel uap (boiler body) dan bagiannya

Badan ketel berbentuk silindris dengan pipa-pipa api/pipa-pipa air. Badan ketel berfungsi sebagai penampung air dan uap. Air di panaskan dengan cara perpindahan panas secara radiasi, konveksi maupun konduksi dari panas pembakaran bahan bakar didalam dapur.

2.1.2. Dapur/lorong api (furnace)

Dapur terdiri dari peralatan pembakaran dan ruang pembakaran. Tipe peralatan pembakaran tergantung jenis bahan bakarnya. Bahan bakarnya berupa cair, gas, limbah kayu, ampas kelapa sawit/tebu, black liquid atau memanfaatkan panas bakar motor diesel, dapur tinggi dan lain-lain.

2.1.3. Perlengkapan ketel uap

- a. Pedoman tekanan (pressure gauge)
- b. Katup pengaman (safety valve)
- c. Pompa air masuk (feed water pump)
- d. Peralatan buangan air (blow out water equipment/ blow down)
- e. Ventilasi udara (air ventilation)
- f. Sistem kontrol otomatis (automatic control system)
- g. Cerobong asap (stack-smoke duct)
- h. Ekonomiser (economizer)
- i. Pemanas udara (air heater)
- j. Pengolahan air (water treatment)

- k. Pemanas uap lanjut (superheater)
- l. Peralatan perpindahan bahan bakar (fuel transfer equipment)
- m. Peralatan penimbun abu
- n. Penangkap debu (dust collector)
- o. Peralatan pengurai gas belerang (desulfurelite equipment)
- p. Peniup jelaga (soot blower)
- q. Pesawat pelepas udara air pengisi ketel (deaerator)
- r. Gelas pedoman
- s. Desuperheater
- t. Peralatan bakar/pengopakan

2.2. Kapasitas ketel uap

Kapasitas ketel uap adalah banyaknya uap yang dihasilkan dalam kg/jam pada Maximum Continue Evaporation Rate (MCR). Ada 2 (dua) jenis kapasitas, yaitu kapasitas equivalent (equivalent evaporation/GE) dan kapasitas sebenarnya (actual evaporation/G).

$$GE = G (h_2 - h_1) / 539 \text{ , kg/jam} \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

dimana :

G = kapasitas sebenarnya, kg/jam

h1 = entalpi feed water, Kkal/kg

h2 = entalpi jenis uap, Kkal/kg

Panas penguapan air = 539 Kkal/kg pada 100 °C

Contoh 1.

Tekanan uap = 10 kg/cm² (tekanan pada manometer)

Temperatur air masuk (feed water) = 30 °C (entalpi feed water = 30 kkal/kg)

Uap yang dihasilkan = 3000 kg/jam (dryness 0,98)
Entalpi jenis uap (h_2) = $185,654 + (478,09 \times 0,98) = 654,2$ Kkal/kg
(didapat dari Tabel uap JSME)

$$\begin{aligned} GE &= \{3000 \text{ kg/jam } (654,2 \text{ Kkal/kg} - 30 \text{ Kkal/kg})\} / 539 \text{ Kkal/kg} \\ &= 3474,21 \text{ kg/jam (kapasitas equivalent)} \end{aligned}$$

Contoh 2.

Uap yang dihasilkan = 5000 kg/jam
Tekanan uap = 10 kg/cm^2 (tekanan pada manometer)
Temperatur feed water = $20 \text{ }^\circ\text{C}$
Dryness = 0,995
Entalpi jenis uap = $185,654 + (478,09) \times 0,995 = 660,42$ Kkal/kg
(didapat dari Tabel uap JSME)

$$\begin{aligned} GE &= \{5000 \text{ kg/jam } (660,42 \text{ Kkal} - 20 \text{ Kkal/kg})\} / 539 \text{ Kkal/kg} \\ &= 5940,86 \text{ kg/jam (kapasitas equivalent)} \end{aligned}$$

3. Jenis-jenis Ketel Uap Lorong api dan Pipa api

3.1. Ketel silinder

Ketel silinder adalah suatu ketel uap yang berdiameter besar, mempunyai shell (badan) dan saluran gas buang, ruang api, pipa api di dalam bejananya, karena itu ketel ini disebut juga ketel uap tipe lorong api dan pipa api (flue duct and smoke tube boiler type). Pada ketel pipa api ini, gas panas hasil pembakaran disalurkan di dalam pipa-pipa, sedangkan air berada disebelah luarnya. Konstruksi ketel uap ini sederhana, pada umumnya jenis ketel uap ini mempunyai tekanan dibawah 10 kg/cm^2 dan

kapasitasnya kurang dari 10 ton/jam. Jenis ketel ini lebih besar dibandingkan dengan ketel uap pipa air persatuan luas pemanas.

Ketel silinder → kapasitas air ketel > ketel pipa air
luas pemanasan

Karakteristik :

- a. Konstruksi sederhana, biaya pengoperasian murah, mudah penangannya.
- b. Tidak dapat dibuat untuk tekanan tinggi dan kapasitas besar.
- c. Setelah start, waktu ketel uap untuk menghasilkan sebentar, hanya memerlukan waktu beberapa menit tergantung dari bahan bakar. Tekanan uap juga tidak berubah, tergantung dari jumlah beban.
- d. Jika ketel uap ini meledak, akan menimbulkan kerusakan yang lebih besar jika dibandingkan dengan jenis ketel uap lainnya.

Ada 2 (dua) jenis ketel uap silinder, yaitu :

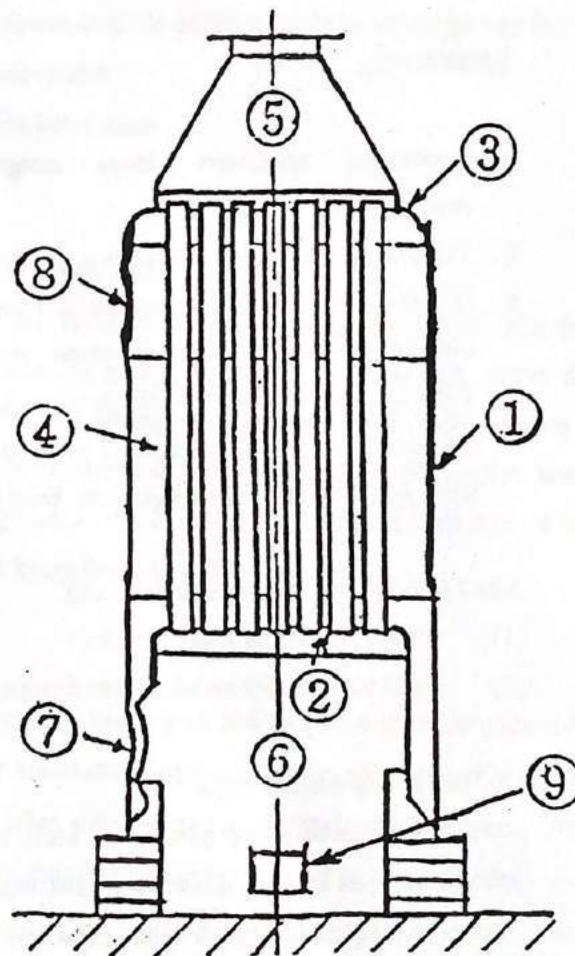
- (1) Ketel uap silinder tegak (vertikal)
- (2) Ketel uap silinder mendatar (horizontal)

3.1.1. Ketel uap silinder tegak

Bentuknya ketel uap pipa api ini kecil, banyak dipakai pada industri kecil. Ketel uap ini dibuat dari pelat baja yang di las, dengan pipa-pipa yang dihubungkan antara pelat atas dengan pelat bawah. Dapur diletakkan di dalam badan dan gas-gas panas mengalir searah

langsung. Disekitar ruang bakar dan pipa api terdapat air, gas-gas panas mengalir di dalam pipa-pipa langsung ke cerobong. Ketel uap jenis ini dirancang untuk ketel dengan kapasitas kecil dan dipasang tegak.

1. Boiler shell
2. Fire box tube plate
3. Upper side tube plate
4. Smoke tube
5. Chamber box
6. Combustion room
7. Burner
8. Man hole
9. Expansion safety door



Gambar 3.1. Ketel uap silinder tegak

Tekanan kerja ketel uap ini sekitar 7 bar dan luas bidang panas 90 m². Ketel uap silindris dengan pipa api tegak dapat dilihat pada Gambar 3.1.

Karakteristik :

- a. Area yang diperlukan kecil, pekerjaan pemasangan mudah
- b. Luas pemanasan kecil, efisiensi rendah untuk ketel yang kecil
- c. Luas permukaan air di dalam ketel kecil sehingga uap kering yang dihasilkan rendah
- d. Perawatan ketel sukar

3.1.2. Ketel uap silinder mendatar

Ketel uap ini mempunyai badan yang berbentuk silinder yang diletakkan menurut sumbu horizontal dan biasanya terdiri dari satu lorong api (bergelombang/corrugated atau rata/plain) dimana gas-gas panas hasil pembakaran di lorong api (pas 1) dibelokkan kedepan di luar dinding badan (pas 2) selanjutnya berputar kembali ke belakang (pas 3) terus kecerobong asap (Gambar 3.2 (a)).

Lorong Api

Lorong api merupakan bagian bidang panas terbesar pada ketel-ketel uap silinder mendatar. Kekuatan lorong api dapat ditambah dengan menambah tebal dindingnya. Akan tetapi dinding yang lebih tebal akan menghambat perpindahan gas panas ke air. Perbedaan temperatur akan menyebabkan tegangan-tegangan thermis yang besar pada

silinder api, sehingga dimungkinkan dapat terjadi retak-retak pada arah memanjang. Biasanya tebal silinder api dibuat 16 mm.

Lorong api dapat dibuat rata (plain) atau bergelombang (corrugated). Lorong api rata dipakai untuk tekanan kerja yang rendah, karena lorong api ini kurang mempunyai daya pegas. Selain itu lorong api rata ini kurang mampu menampung tekanan dari luar.

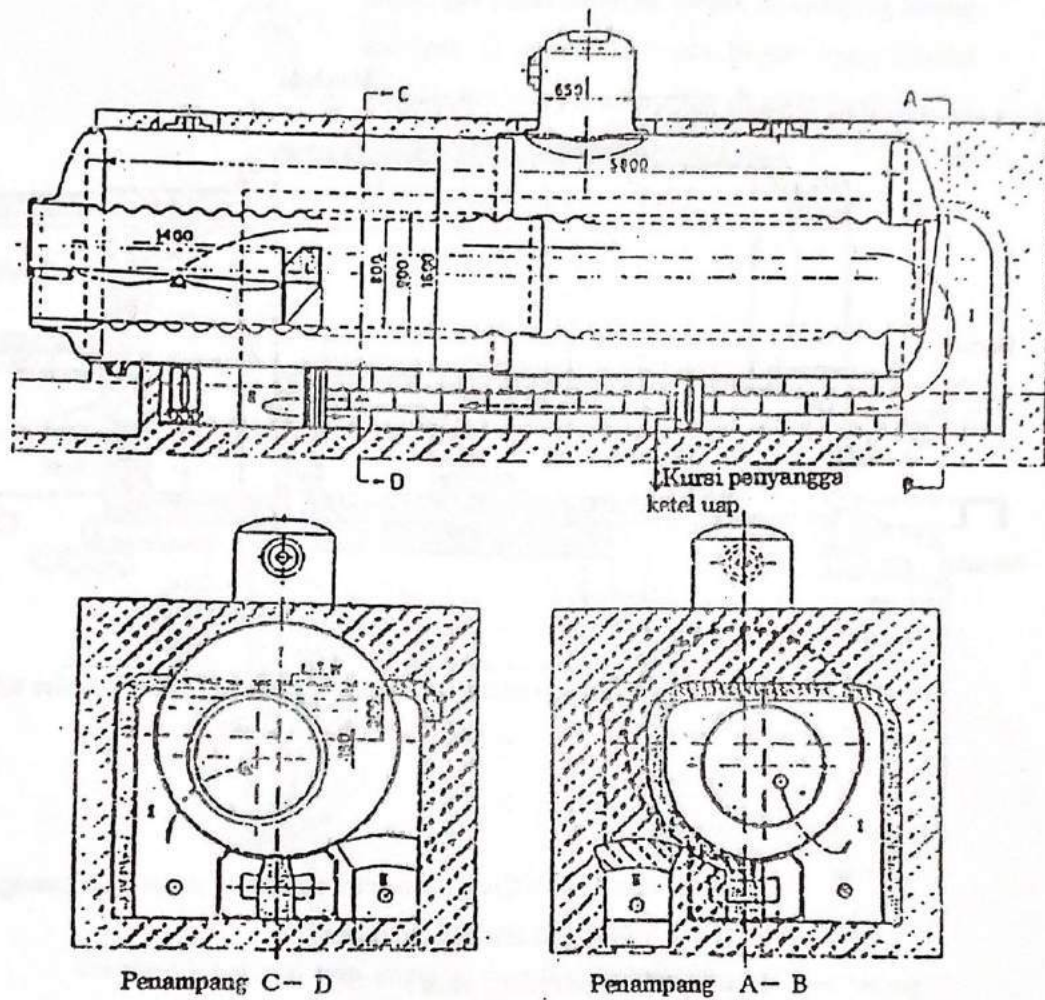
Lorong api bergelombang mempunyai daya pegas yang besar dan lebih mampu menahan tekanan dari luar. Pada kekuatan yang sama, dinding lorong api bergelombang dapat dibuat lebih tipis dari pada dinding lorong api rata. Hal ini berarti menambah cepatnya penyerahan panas kepada air dan dapat pula mengurangi perubahan-perubahan thermis.

Karakteristik :

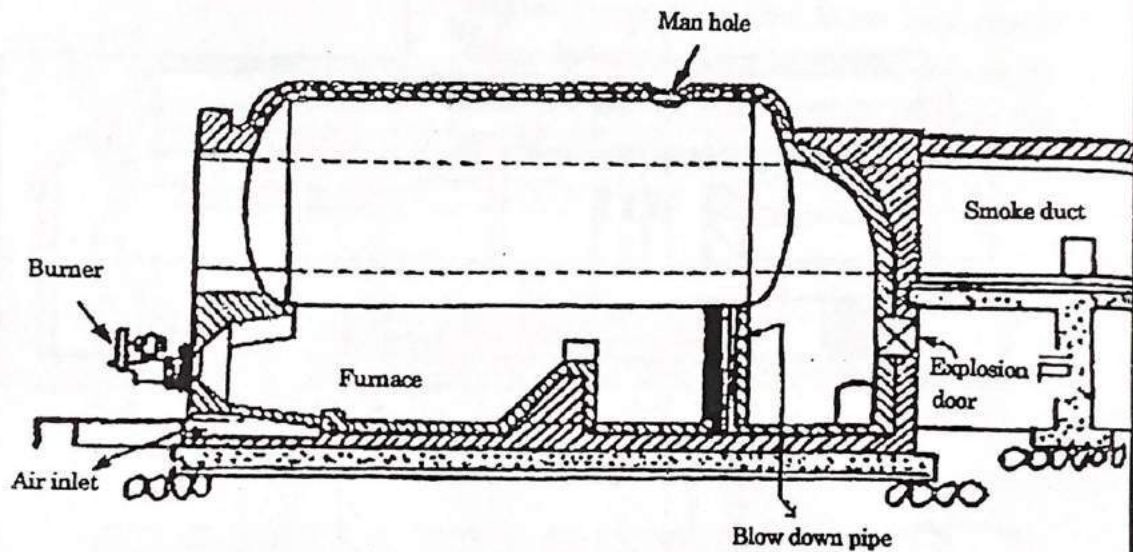
- a. Efisiensi ketel berkisar 85 % s/d 90 %
- b. Mudah pemasangannya
- c. Penanganannya lebih mudah jika dibandingkan dengan ketel pipa air
- d. Luas permukaan pemanasan berkisar 20 m² s/d 300 m²
- e. Kapasitas maksimum dapat mencapai 50 ton/jam
- f. Tekanan maksimum 16 kg/cm²

3.1.2.1. Ketel uap Silinder mendatar dengan lorong api

Ada dua jenis ketel uap silinder mendatar dengan lorong api yaitu ketel uap silinder mendatar dengan rangka bakar di dalam atau internal fire tube (Gambar 3.2 (a)) dan ketel uap silinder mendatar dengan rangka bakar di luar atau externally fire tube (Gambar 3.2 (b)).



Gambar 3.2. (a) Ketel uap silindris pembakaran di dalam (internal fire tube)



Gambar. 3.2. (b) Ketel uap silindris pembakaran di luar (externally fire tube)

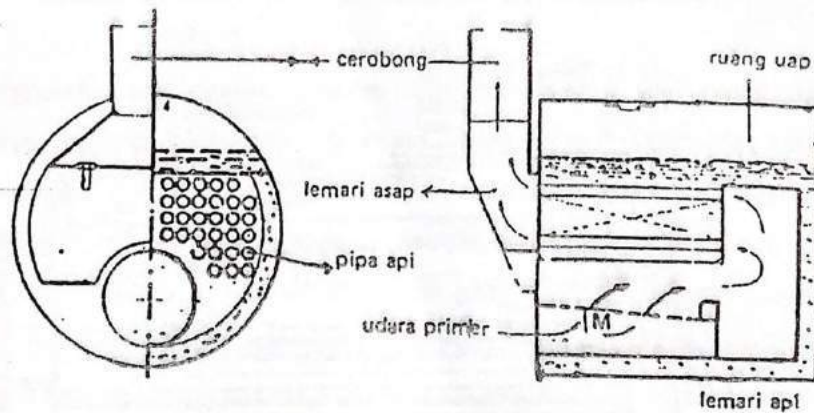
3.1.2.2. Ketel uap silindris mendatar dengan pipa api dan lorong api (Flue and smoke tube boiler)

Ada dua jenis, yaitu :

- (1) Ketel uap silindris mendatar dengan pipa api dan lorong api 2 pass
- (2) Ketel uap silindris mendatar dengan pipa api dan lorong api 3 pas

- a. Ketel uap silindris mendatar dengan pipa api dan lorong api 2 pas.

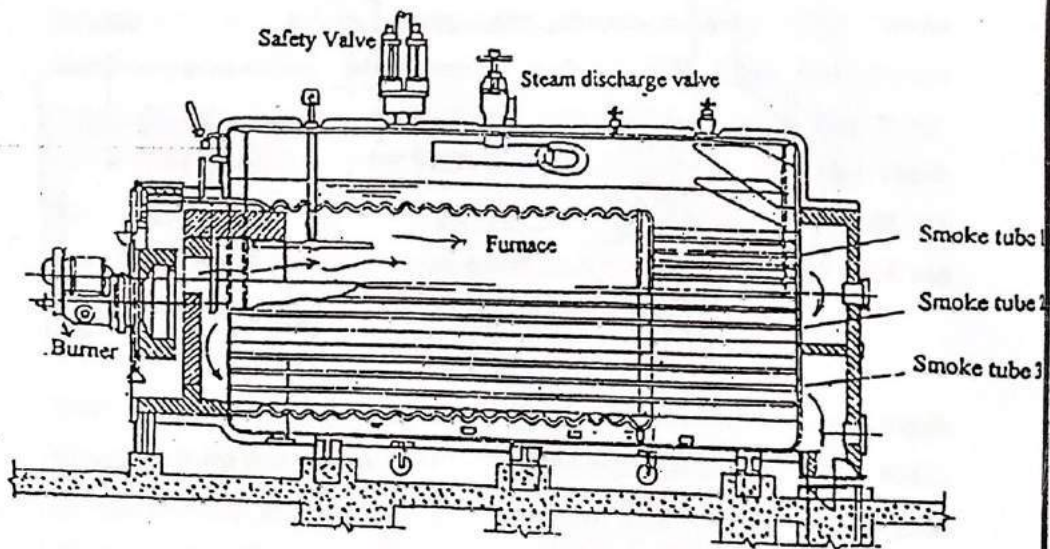
Pada ketel uap ini setelah terjadi pembakaran di dapur, gas panas bergerak masuk disepanjang lorong api (pas 1) sampai ke suatu bagian yang disebut dengan lemari api, kemudian dipaksa berbelok ke dalam pipa-pipa api (pas 2) menuju ke depan dan akhirnya dibuang kecerobong asap (Gambar 3.3).



Gambar 3.3. Ketel uap silindris mendatar dengan pipa api dan lorong api 2 pas

b. Ketel uap silindris mendatar dengan pipa api dan lorong api 3 pas.

Setelah terjadi pembakaran di dapur, gas panas bergerak masuk disepanjang lorong api kemudian ke dalam pipa api no.1 (pas 1) menuju kebelakang ruangan, lalu ke bagian depan melewati pipa api no.2 (pas 2) setelah itu ke pipa no.3 (pas 3) dan langsung keluar menuju ke cerobong asap (Gambar 3.4).



Gambar 3.4. Ketel uap silindris mendatar dengan pipa api dan lorong api 3 pas

4. Jenis-jenis Ketel uap pipa air

Ketel uap pipa air tersusun dari pipa-pipa dalam jumlah yang banyak, dipasang pada drum penampang uap/air berbentuk silindris serta dibagian bawah dipasang pada header. Pada ketel uap jenis ini, air terdapat di dalam pipa-pipa, sedangkan gas panas beredar mengitari pipa-pipa itu. Jadi bidang panas (LP) ketel uap ini terdapat di luar pipa atau bidang yang dipanaskan terdapat di dalam pipa. Ketel uap pipa air mempunyai keunggulan dan kekurangan, yaitu :

- a. Mempunyai tekanan dan kapasitas yang besar
- b. Pipa-pipa airnya menerima panas radiasi yang kuat, sehingga di dalam pipa-pipa airnya terjadi penguapan yang cepat.
- c. Jika aliran uap dan air berhenti atau jika di dalam pipa-pipa air hanya terdapat uap akan terjadi overheating (panas yang berlebihan).

Penggunaan uap dengan tekanan dan temperatur yang tinggi sangat menguntungkan dalam usaha mencapai randemen yang tinggi dari instalasi keseluruhannya. Oleh karena itu dengan tercapainya randemen yang tinggi, pemakaian uap dan pemakaian bahan bakar spesifik menjadi berkurang. Masih ada keuntungan lainnya yaitu bahwa berat ketel uap untuk kapasitas ketel uap yang besar dan sangat besar adalah relatif kecil, isi bagian luar dari ketel uap adalah kecil dan hanya memerlukan luas lantai yang kecil.

Ketel uap air mutlak memerlukan air yang bersih yaitu air yang bersih dari segala zat yang dapat mengakibatkan terjadinya endapan (antara lain batu ketel). Kenampakan luar ketel uap pipa air dapat dilihat pada Gambar 4.1, sedangkan bagian-bagian dari ketel uap pipa air diperlihatkan pada Gambar 4.2.

Karakteristik ketel uap pipa air :

- a. Dapat digunakan untuk kapasitas besar
- b. Furnace atau dapur dapat di desain sesuai dengan yang diinginkan untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna.
- c. Dapat dibuat luas pemanasan yang lebih besar untuk ukuran furnace yang lebih kecil sesuai dengan tipe burner.
- d. Karena luas permukaan air yang kecil, maka cepat menghasilkan uap setelah start, ± 20 menit.
- e. Kualitas air pengisi (feed water) harus benar-benar bersih selama pengoperasian.

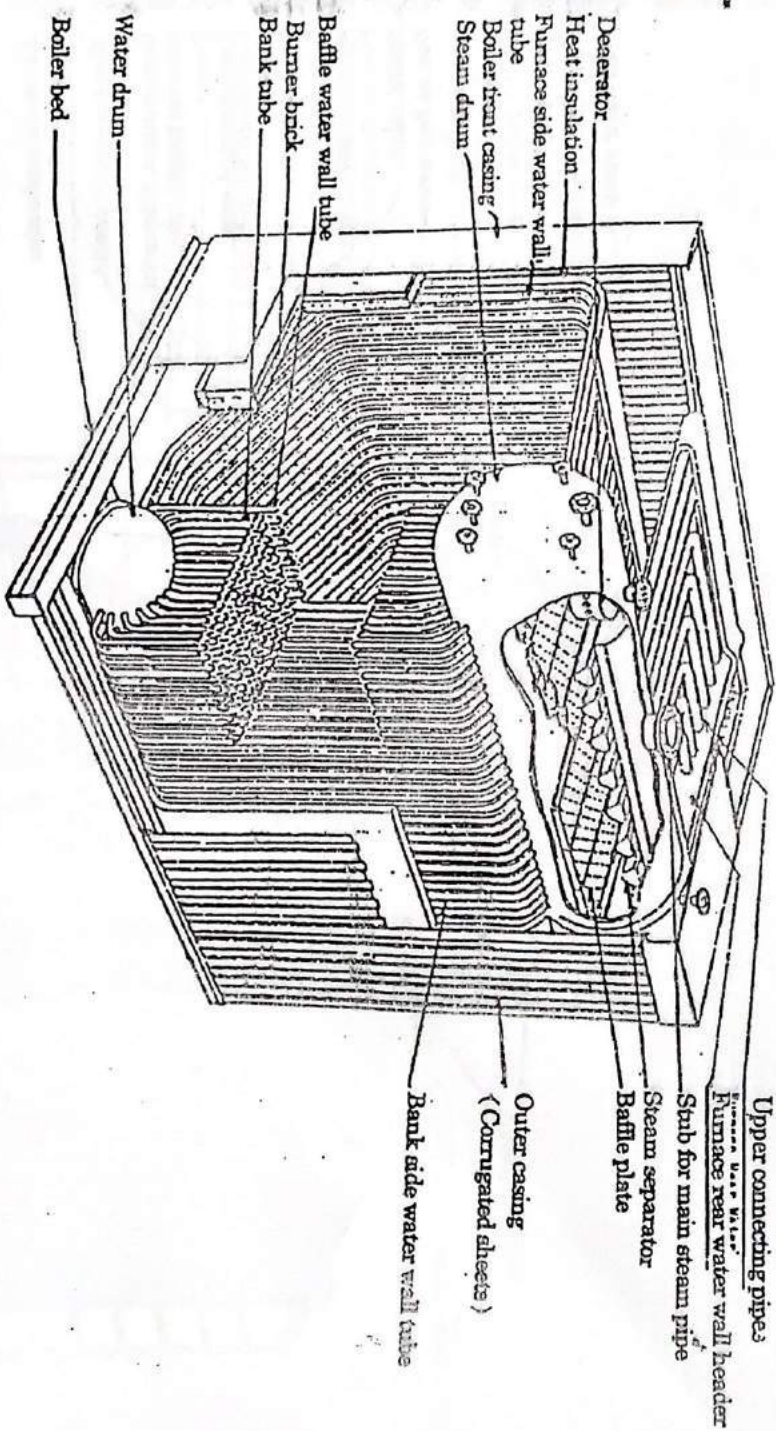
4.1. Sirkulasi air ketel uap

Dipandang dari cara sirkulasi air, ketel uap pipa air dapat dibagi dalam :

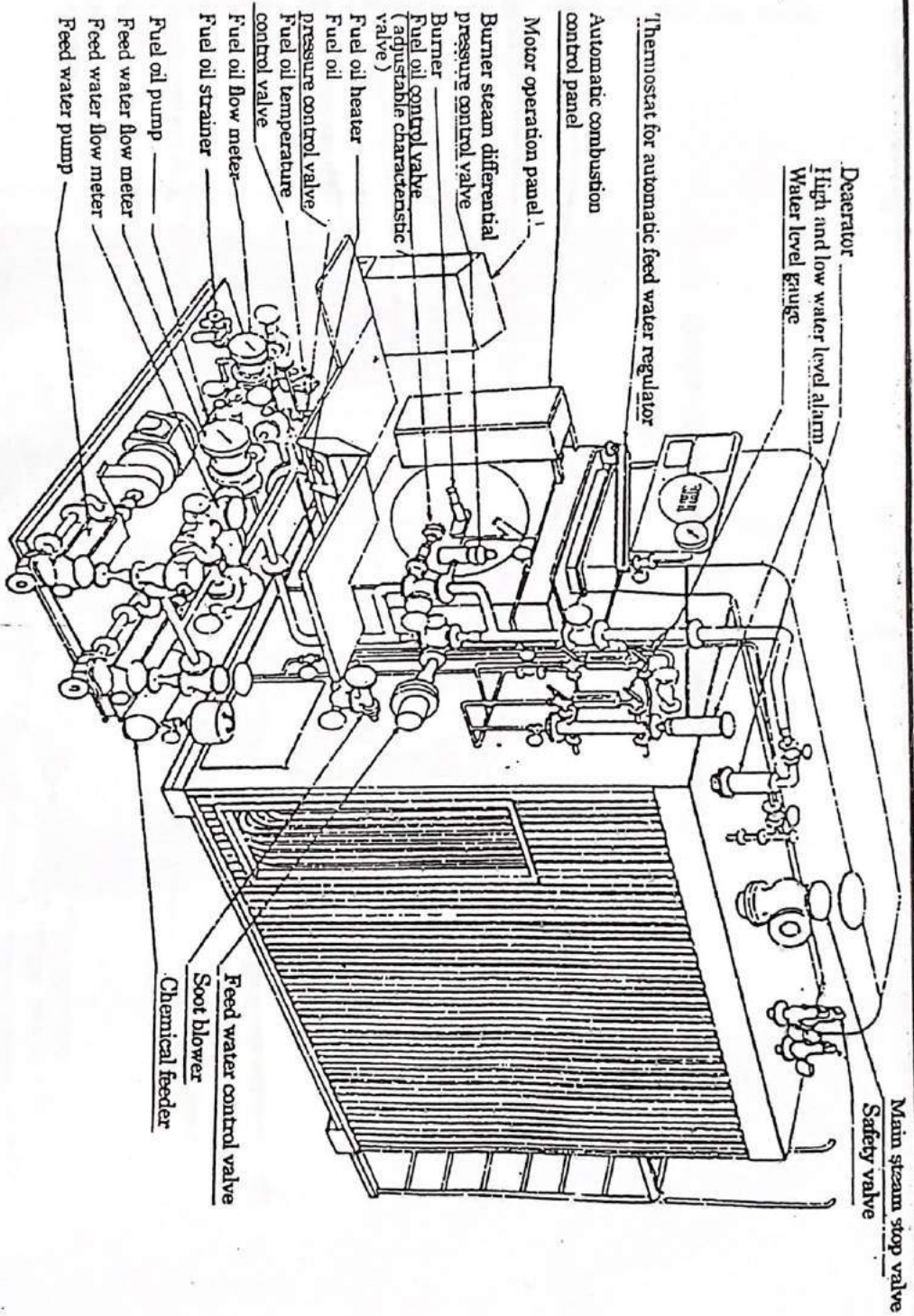
- a. Ketel uap sirkulasi alam (natural circulation method)
- b. Ketel uap sirkulasi buatan atau peredaran paksa (forced circulation method)
- c. Ketel uap dimana air ketel langsung diuapkan/tanpa sirkulasi (once through boiler)

4.1.1. Ketel uap dengan sirkulasi alam

Metoda sirkulasi alam pada ketel uap ini terjadi karena adanya perbedaan densitas dari air dan uap. Pada gambar 4.3 digambarkan suatu ruang uap dan pipa air A-B-C. Bagian B-C dipanaskan. Didalam pipa terjadi suatu campuran uap dan air yang mengalir melalui bagian C-A ke ruang uap. Di dalam ruang uap dimasukkan sejumlah massa air pengisi yang sama besarnya dengan massa uap yang dikeluarkan. Melalui bagian A-B air turun ke luas pemanasan (LP), jadi selama ketel digunakan

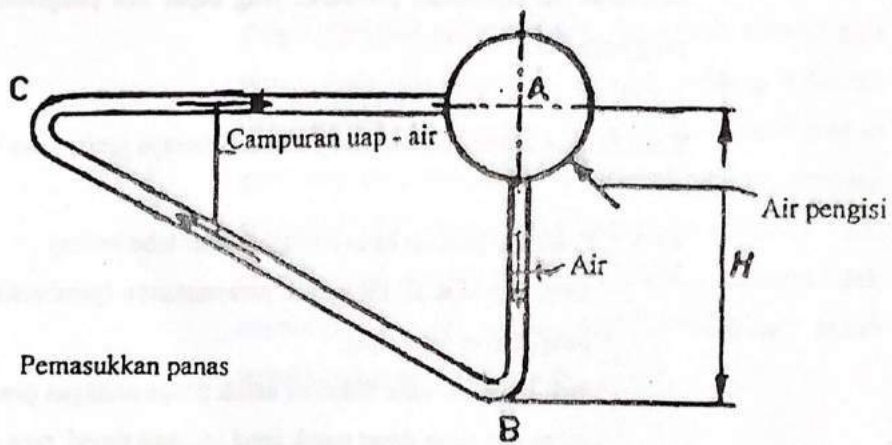


Gambar 1.5. Pandangan luar ketel uap pipa air



Gambar 1.6. Bagian-bagian ketel uap pipa air

terjadi peredaran air menurut anak panah. Adanya aliran dikarenakan oleh selisih tekanan dan selisih tekanan ini terjadi karena adanya selisih densitas dari campuran uap-air di bagian B-C dan air di bagian A-B.



Gambar 4.3. Sirkulasi alam

Makin tinggi tekanan kerja, selisih densitas ini makin kecil. Maka untuk mendapatkan aliran peredaran yang baik diperlukan tinggi-jatuh yang besar. Untuk menjaga agar selisih densitas ini sebesar mungkin, maka pipa-air turun (down comer) dilindungi terhadap pemanasan, oleh karena itu pipa-air turun selalu ditempatkan di luar daerah pemanasan. Kecepatan air yang besar dapat meningkatkan penyerahan panas, sehingga lebih banyak uap yang dapat dihasilkan tiap m^2 LP. Kenyataan menunjukkan bahwa pada kecepatan yang rendah atau pada air tidak mengalir terjadi karatan pada pipa-pipa. Untuk mengatasi kesukaran ini diperlukan peredaran yang cepat dan pengeluaran gas yang baik.

Ketel dengan sirkulasi alam dibagi dalam beberapa jenis, yaitu :

4.1.1.1. Ketel uap pipa air lurus (straight water tube boiler)

Ketel uap pipa air ini mudah perawatannya (pembersihan dan penggantian pipa-pipa).

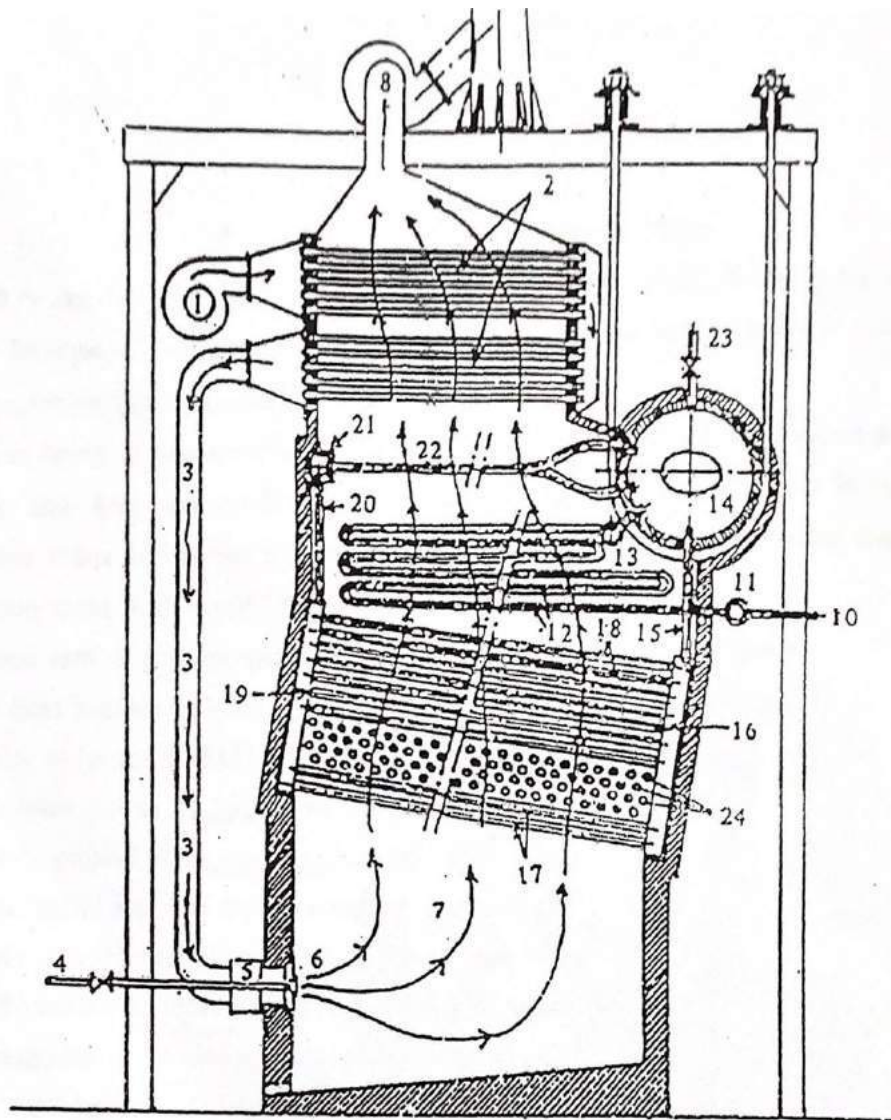
Pipa lurus ini tidak fleksibel untuk pengembangan pipa akibat panas dan tidak dapat untuk ketel tekanan tinggi, pipa-pipa ini dipasang miring pada drum. Ketel jenis ini tidak banyak dipergunakan .

Jenis-jenis ketel uap pipa air lurus :

a. Ketel uap Seksi (sectional boiler of water tube)

Dalam gambar ketel uap seksi (Gambar 4.4) terlihat adanya sebuah drum, pada drum ketel tersebut terdapat pipa-pipa terjun (down comer pipes). Pipa-pipa terjun

berakhir pada kotak-kotak seksi air (water section boxes), yaitu kotak yang berupa kotak air di buat berkelok-kelok, yang pada tiap lekukan terdapat pipa-pipa penguap air (evaporator's tube) yang di tempatkan di daerah pancaran api ataupun di daerah aliran gas asap atau daerah konveksi. Api atau gas asap mengalir di antara pipa-pipa dan menyerahkan panasnya. Penyerahan panas yang baik di peroleh dari pipa-pipa penguap yang di letak berselang seling keats, sehingga kotak seksi air maupun kotak-kotak seksi uap di buat kelok - kelok yang di sesuaikan. Air yang dingin mengalir dari drum ketel ke bawah melalui pipa terjun. Pada pipa penguap yang agak condong terbentuk uap, karena penguapan uap akan naik dan tempat akan di ganti oleh air datang, sudut kemiringan pip-pipa penguap sekitar 15" - 20", dengan sudut kemiringan sekitar 15" - 20" dapat di capai sirkulasi air yang baik sekali, sehingga tidak memungkinkan atau mengurangi kemungkinan pecah terbakarnya pipa-pipa penguap.



KETERANGAN GAMBAR KESELI SEKSI :

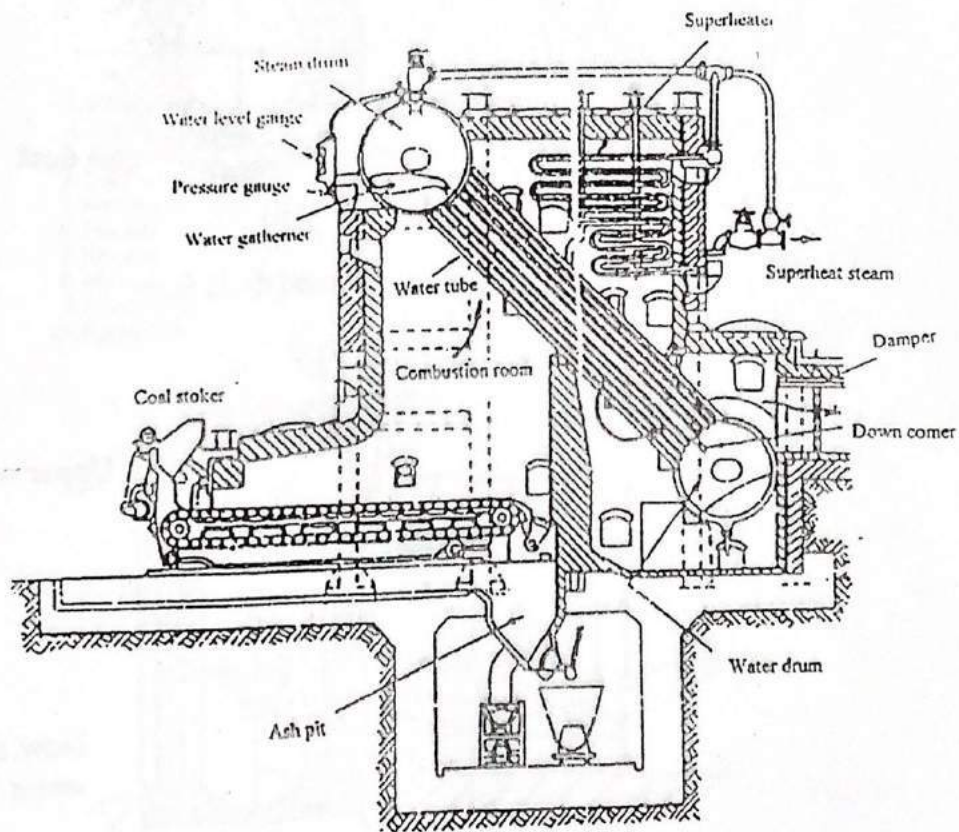
- | | |
|---|--|
| 1 = Fan Tekan = <i>Forced Draught Fan = F.D.F.</i> | 13 = Tabung pengumpul air panas = <i>Hot water header.</i> |
| 2 = Pipa-pipa Pemanas Udara = <i>Air Heater pipe.</i> | 14 = Drum ketel = <i>Soft water = Boiler vessel.</i> |
| 3 = Saluran udara panas = <i>Hot Air duct.</i> | 15 = Pipa-pipa terjun = <i>Down comer's pipe.</i> |
| 4 = Saluran bahan bakar = <i>Fuel supply line.</i> | 16 = Kotak kutak seksi air = <i>Water section box.</i> |
| 5 = Kotak udara = <i>Air box.</i> | 17 = Pipa-pipa peng-uap radian = <i>Radiant evaporator's pipes.</i> |
| 6 = Pembakar = <i>Burner.</i> | 18 = Pipa-pipa peng-uap konveksi = <i>Convection evaporator's pipes.</i> |
| 7 = Tungku = <i>Furnace.</i> | 19 = Kotak kutak seksi uap kenyung = <i>Saturated steam section box.</i> |
| 8 = Fan Isap = <i>Induced Draught Fan = I.D.F.</i> | 20 = Pipa-pipa naik = <i>Up-ber pipe.</i> |
| 9 = Cerobong asap = <i>Stack = Chimney.</i> | 21 = Tabung pengumpul uap kenyung = <i>Saturated steam header.</i> |
| 10 = Air dingin bertekanan dipompa oleh pompa air pengisian ketel masuk ke dalam ketel. | 22 = Pipa-pipa penyalur uap. |
| 11 = Tabung pembagi air dingin = <i>Cold water header.</i> | 23 = Uap kenyung menuju ke Pemanas lanjut uap. |
| 12 = Pemanas air awal = <i>Water pre-heater = Economiser.</i> | 24 = Pemanas lanjut uap = <i>Steam superheater.</i> |

Gambar. 4.4. Ketel uap seksi

b. Ketel uap pipa air lurus dengan dua drum

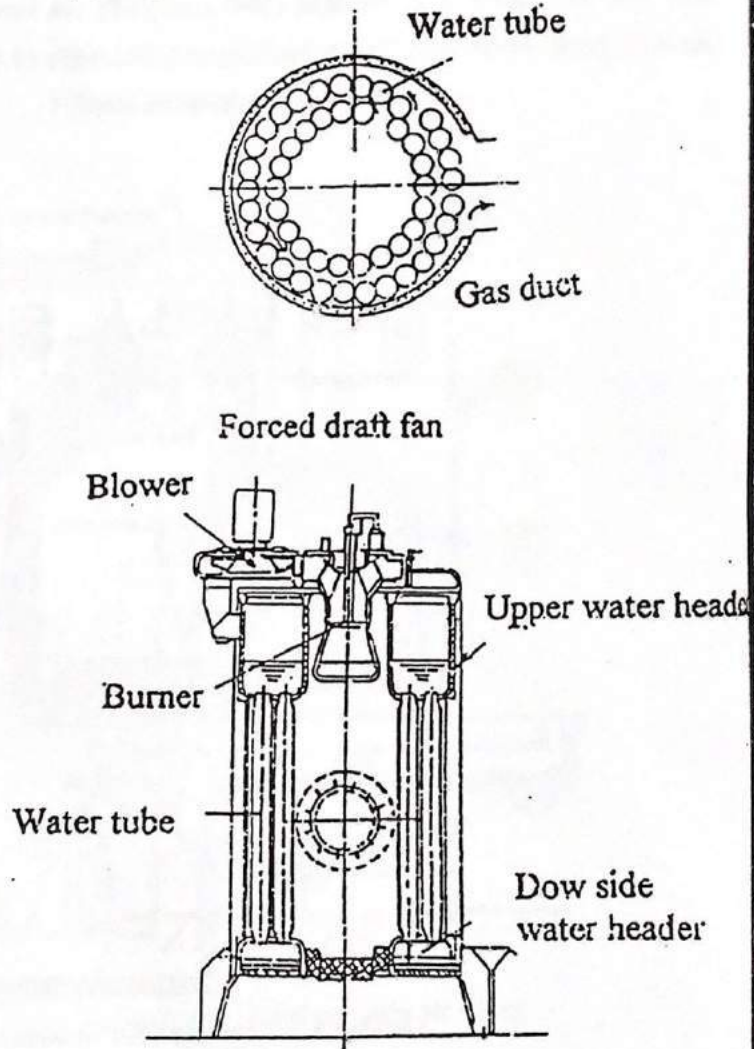
Ketel uap dibuat dengan dua drum dimana pipa air lurus dipasang dengan sudut kemiringan 45° (lihat Gambar 4.5).

Diameter pipa biasanya 65 mm, dan umumnya dibuat dua lapis (ϕ 90 dan ϕ 65), sisi luar pipa berdiameter 90 mm dan sisi dalam berdiameter 65 mm. Pipa ini disebut juga dengan pipa down comer.



Gambar 4.5. Ketel uap pipa air lurus dengan dua drum

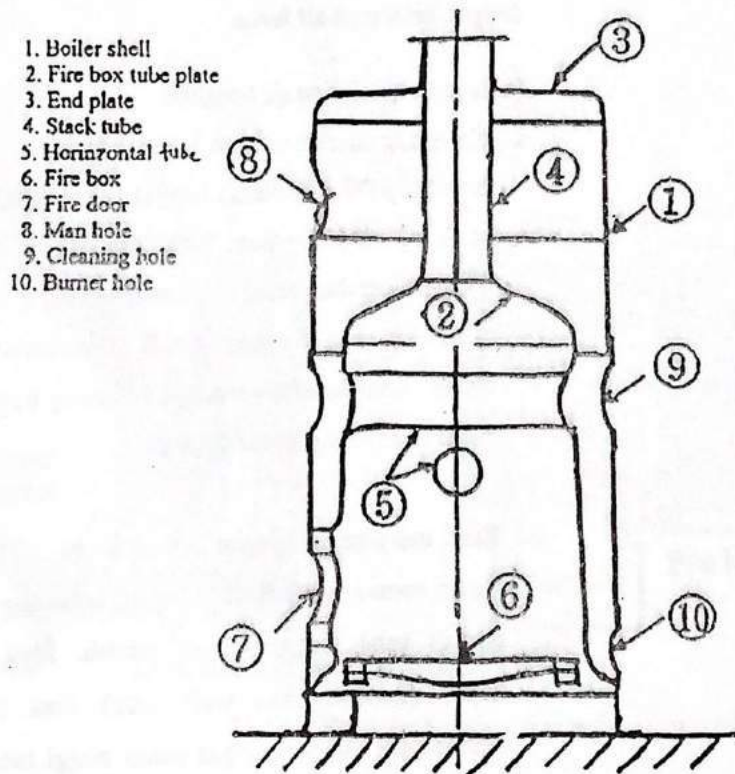
- c. Ketel uap pipa air lurus tegak (vertically water tube boiler)
Ketel uap ini biasanya dibuat dengan dua header, satu di bagian atas dan satu di bagian yang dihubungkan dengan pipa tegak (diameter pipa 75 mm s/d 90 mm).



Gambar 4.6.. Ketel uap pipa air lurus tegak
(Vertically water tube boiler)

d. Ketel uap pipa air lurus silang

Ketel uap ini terdiri dari sebuah badan ketel dengan tutup berbentuk rata dan sebuah dapur dengan tutup berbentuk cembung. Diantara kedua pelat tutup diberi cerobong asap dalam, sedangkan pada dapurnya diberi dua (2) buah pipa air yang menyilang- (Gambar 4.7). Tetapi ada juga dari jenis ketel uap ini di dalam dapurnya diberi empat (4) buah pipa air yang menyilang miring.



Gambar .4.7. Ketel uap pipa air silang

Karakteristik :

- (1) Konstruksi sederhana, area yang diperlukan kecil dan pekerjaan pemasangan mudah.
- (2) Biaya perbaikan murah.
- (3) Perawatan ketel uap murah

4.1.1.2. Ketel uap pipa air bengkok (Bending tube type boiler)

Ketel uap pipa air jenis ini lebih populer jika dibandingkan dengan ketel pipa air lurus.

Jenis-jenis ketel pipa air bengkok :

a. Ketel uap pipa air dengan 1 (satu) drum

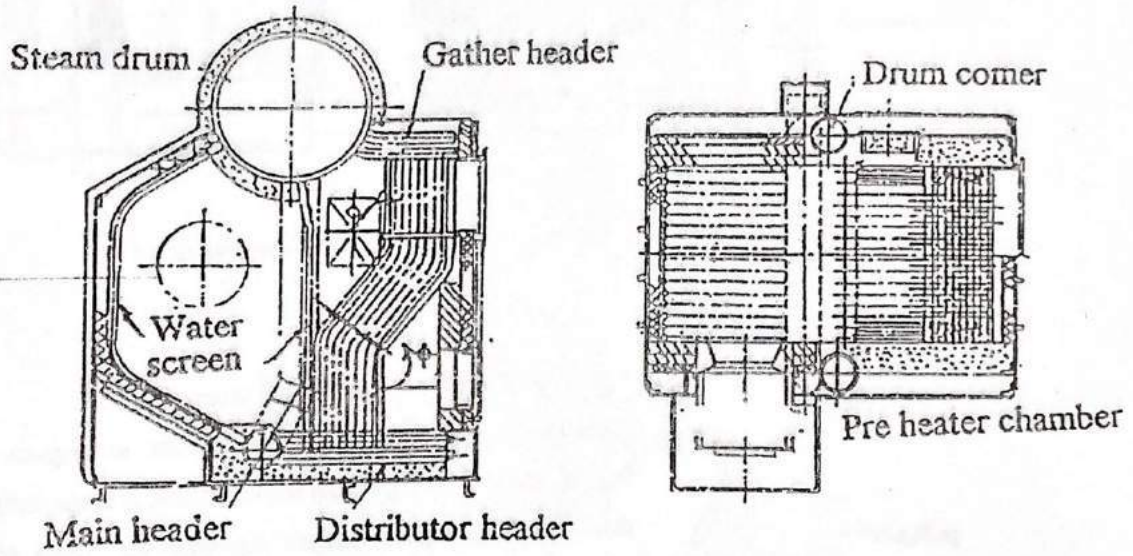
Ketel uap jenis ini cukup banyak digunakan, kapasitasnya sekitar 5 s/d 10 ton/jam. Pada ketel uap ini terdapat drum uap, header dan ruang pembakaran awal (pre combustion chamber) yang berguna untuk memanaskan udara dan bahan bakar sebelum menuju ke ruang pembakaran dan drum uap (lihat gambar 4.8).

b. Ketel uap pipa air dengan 2 (dua) drum

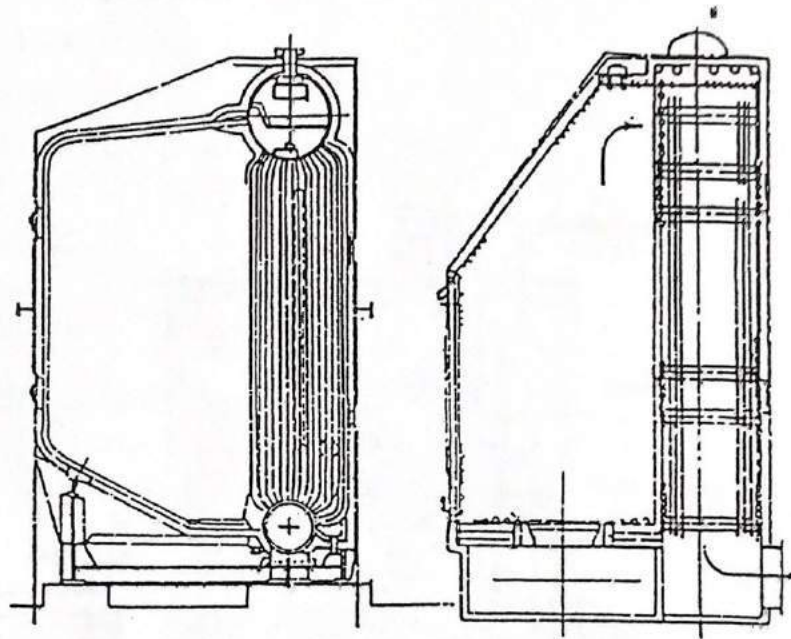
Down comer-nya terletak dibagian belakang bank tube di daerah yang temperaturnya rendah. Pipa air dinding dapur (furnace side wall tube) atau daerah yang mempunyai temperatur gas panas tinggi mendapat emisi panas radiasi yang kuat, sehingga pada bagian ini banyak terjadi penguapan uap air.

Konstruksi ketel uap jenis ini sederhana, kapasitas dapur kecil (small furnace), tekanan udara turun karena adanya

tekanan udara paksa (forced draft fan). Ketel jenis ini diperlihatkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.8. Ketel uap pipa air dengan satu drum

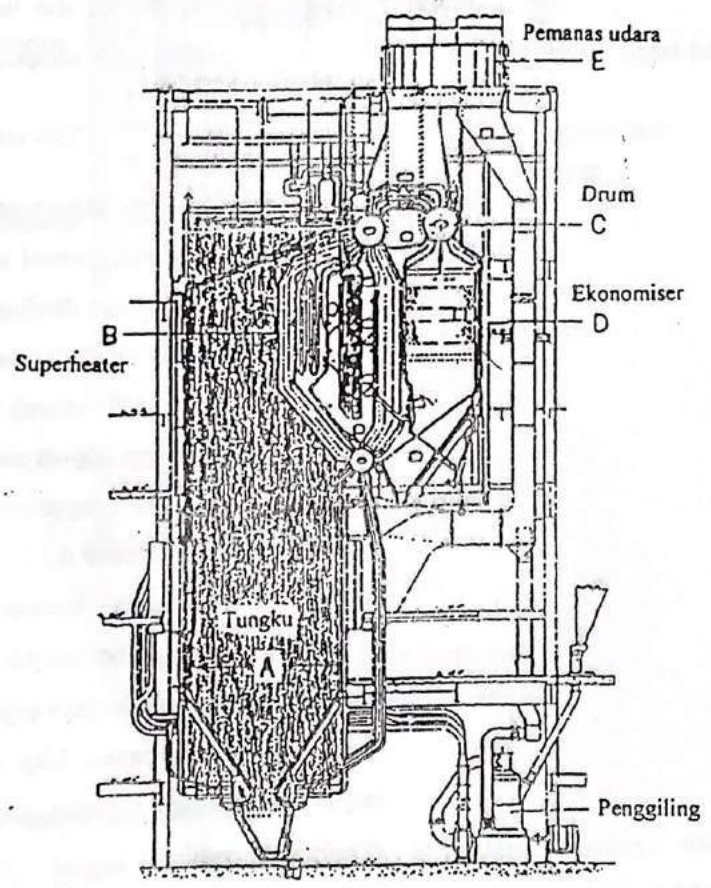


Gambar. 4.9.. Ketel uap pipa air dua drum

c. Ketel uap pipa air dengan 3 (tiga) drum

Pada bagian atas terdapat dua buah drum, sedangkan di bagian bawah hanya terdapat sebuah drum, dimana ketiga drum ini dihubungkan dengan pipa-pipa air. Salah satu dari drum atas, yaitu yang lokasinya berada di atas drum bawah, merupakan drum utama (main boiler drum). Antara drum bawah dan drum atas yang bukan drum utama, dihubungkan dengan pipa-pipa air yang membentuk sudut miring yang cukup terjal terhadap

dapur (furnace), dengan maksud untuk menerima panas sebanyak mungkin secara pancaran (radiasi) dari api pembakaran.



Gambar 4.10. Ketel uap pipa air dengan 3 (tiga) drum

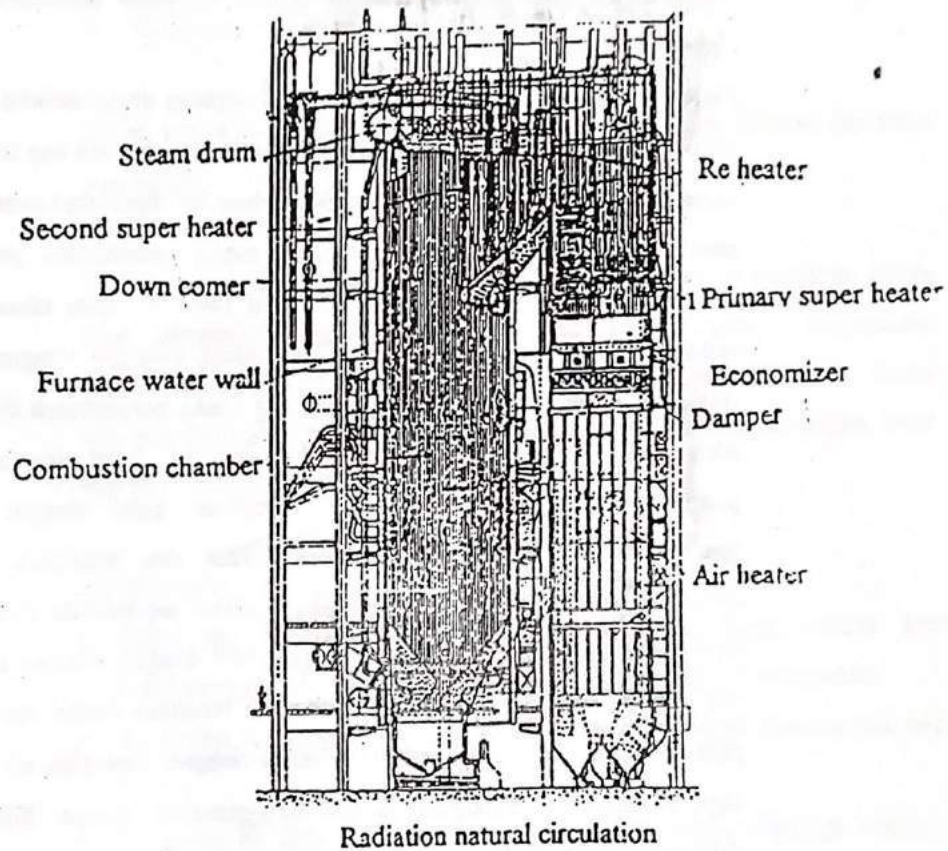
Antara drum utama dan drum bawah dihubungkan di bagian depan dari aliran konveksi gas asap, dengan pipa-pipa air, sedangkan di bagian belakang di daerah aliran konveksi gas asap dihubungkan dengan pipa-pipa air yang berfungsi sebagai pipa-pipa terjun (down comer), sehingga sirkulasi air dan uap pada ketiga buah drum tersebut menjadi lebih sempurna (lihat Gambar 4.10).

4.1.1.3. Ketel uap pancaran (radiation type boiler)

Ketel uap jenis ini mempunyai tekanan dan kapasitas yang tinggi. Semua permukaan dinding dapur tersusun dari pipa-pipa air (water wall tube) dan bahan bakar yang digunakan berupa serbuk batubara, minyak atau gas, konstruksi dapur umumnya sangat tinggi. Down comer diletakan di luar dapur agar dapat bersirkulasi dengan sempurna, ketel uap pancaran dapat di lihat pada Gambar 4.11.

Air pengisi (feed water) menuju economiser dan kemudian mengalir ke drum lalu bercampur dengan air ketel. Air yang telah dipanaskan melalui pipa-pipa ketel masuk ke drum uap dengan membawa panas. Uap basah menjadi uap panas lanjut di superheater pertama, superheater ke dua, kemudian di alirkan ke turbin.

Untuk pembakaran dengan serbuk batubara, harus tersedia peralatan low material transfer, mesin pengurai material (pulverised machine), dust collector dsbnya.



Gambar 4.11. Ketel uap pancaran

4.1.2. Ketel uap dengan sirkulasi buatan

Ketel uap dengan sirkulasi alam akan mengalami kesulitan dalam sirkulasinya bila dioperasikan pada tekanan uap yang tinggi karena adanya perbedaan specific gravity yang semakin mengecil. Untuk mengatasi hal ini maka digunakan pompa sirkulasi. Pompa sirkulasi dipasang pada sirkuit

sirkulasi air ketel. Sistem ketel ini digunakan untuk pemakaian dengan tekanan tinggi.

Pada sirkulasi buatan, air ditekan dengan kecepatan tinggi melalui pipa-pipa air oleh suatu pompa. Dengan ini maka muatan ketel (hasil uap tiap m^2 LP) dapat ditingkatkan, akan tetapi untuk keperluan ini diperlukan muatan ruang pembakaran yang tinggi. Pada muatan ruang pembakaran yang tinggi temperaturnya berkisar antara $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ s/d $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Batu tahan api atau refractory yang tidak sesuai tidak akan tahan terhadap temperatur yang tinggi ini. Oleh karena itu dinding-dinding ruang pembakaran didinginkan oleh pipa air yang merupakan bagian dari LP ketel dan merupakan penunjang pada dinding. Dengan membuat ketel dengan sirkulasi buatan/peredaran paksa, maka ukuran drum dan pipa-pipa air dapat diperkecil, sedangkan tekanan kerja dan produksi uap ketel lebih tinggi.

Dengan tekanan tinggi diartikan sebagai ketel dengan tekanan kerja lebih dari 100 kg/cm^2 . Konstruksi ketel-ketel ini terutama terdiri dari sejumlah pipa air kecil, dinding dapur yang disalut dengan pipa-pipa air dan drum uap. Sirkulasi air dilakukan dengan menggunakan pompa (lihat Gambar 4.12 dan Gambar 4.13).

4.1.3. Ketel uap once through (once through boiler)

Once through boiler disebut juga dengan ketel uap tekanan tinggi dan yang dikenal antara lain adalah :

- a. Ketel Uap Benson
- b. Ketel Uap Sulger
- c. Ketel Uap La Mont, ketel Loeffler
- d. Ketel Uap Schmidt Hartman
- e. Ketel Uap Ramsin

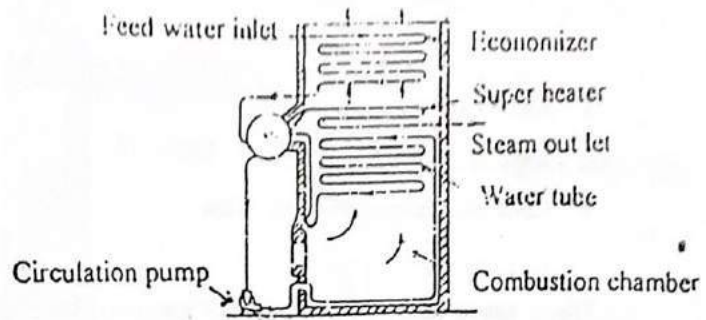
- f. Ketel Uap Velox
- g. Ketel Uap Combined cycle
- h. Ketel Uap dengan sirkulasi paksa

Disini hanya akan dijelaskan sedikit mengenai ketel uap Benson dan ketel uap Sulger.

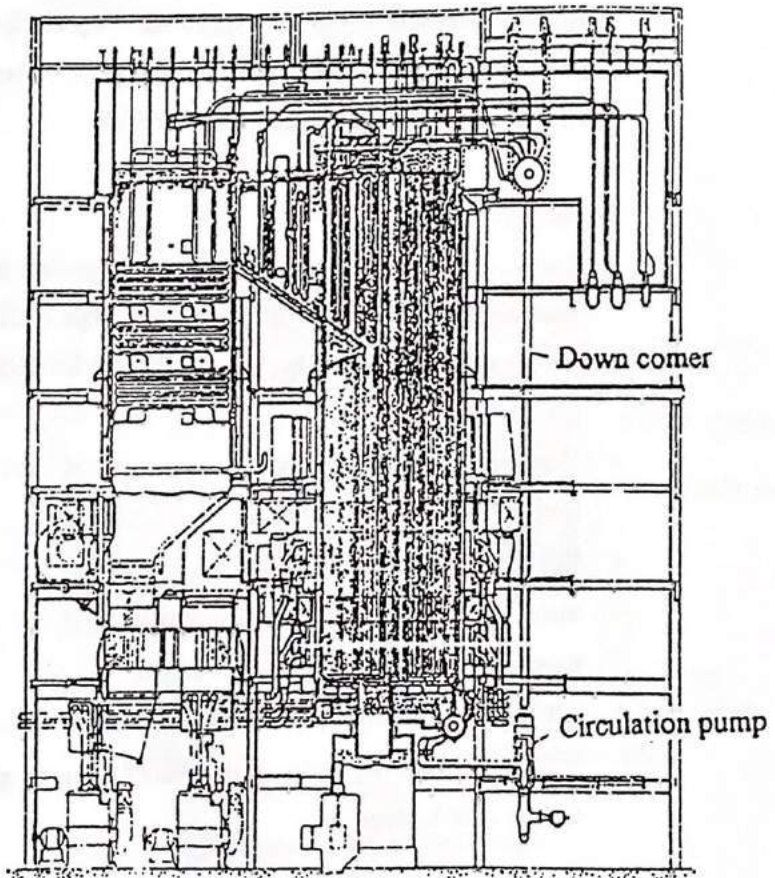
One through boiler tersusun dari pipa-pipa coil. Air pengisi masuk ke dalam pipa dengan menggunakan pompa menuju pre heater, evaporator, superheater kemudian uap air dikeluarkan dari bagian pipa yang lain. Ketel uap one through diperlihatkan pada Gambar 4.14, sedangkan bagan ketel uap one through diperlihatkan pada Gambar 4.15.

Karakteristik :

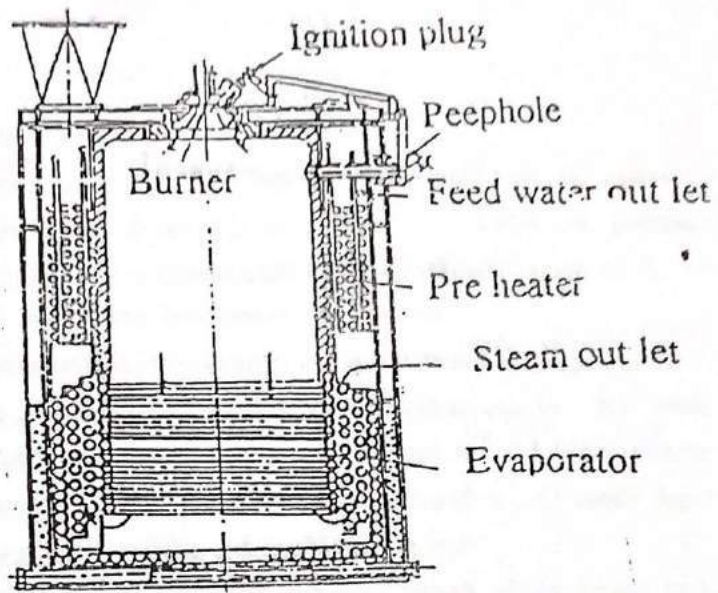
- a. Ketel uap digunakan untuk tekanan dan kapasitas tinggi, karena ketel ini tidak menggunakan drum, tetapi hanya pipa-pipa ketel (boiler tube).
- b. Ketel uap di desain rapi dan kompak, karena itu dapat diatur untuk berbagai bentuk.
- c. Kapasitas air ketel per luas pemanasan terlalu kecil, sehingga waktu untuk start terlalu pendek (take a time \pm 5 - 10 minutes).
- d. Jika beban ketel uap berubah dalam jangka waktu yang singkat, akan membuat kapasitas ketel uap naik turun. Ketel uap memerlukan air dengan segera, dapat diatur dengan pompa dan sistem kontrol otomatis.
- e. Air ketel uap akan di uapkan di dalam pipa ketel (boiler tube).
Kualitas air ketel uap harus di jaga benar-benar bersih dan baik sesuai dengan tabel kualitas air.



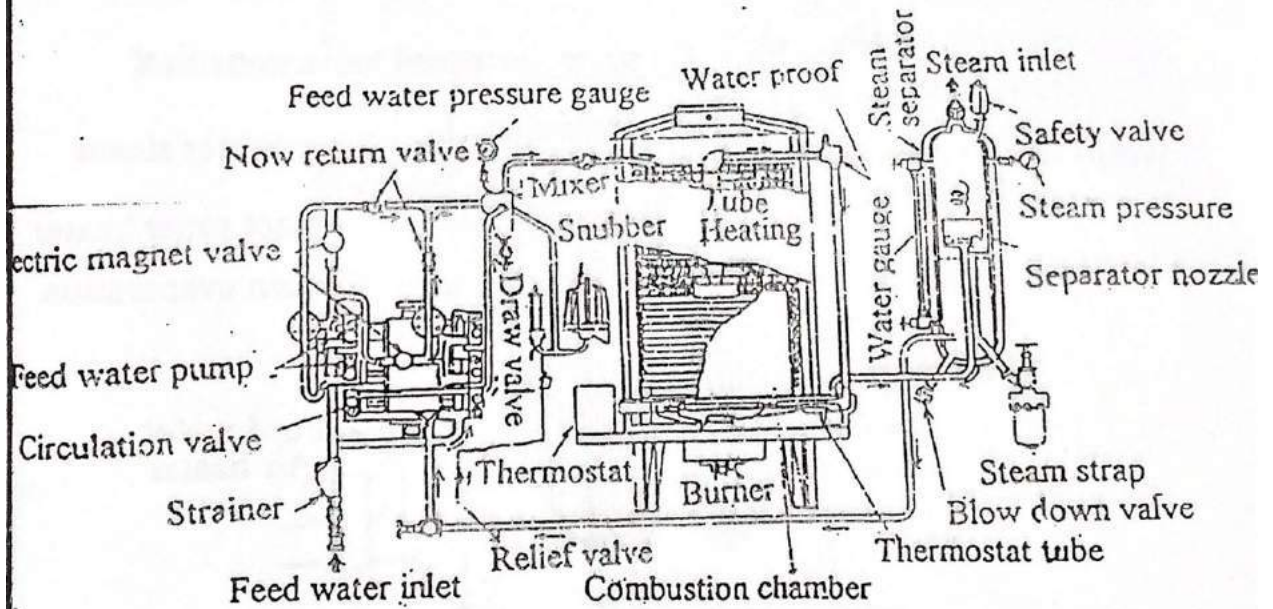
Flow of forced circulation boiler
 Gambar 4.12. Siklus aliran sirkulasi buatan



Gambar. 4.13. Ketel uap sirkulasi buatan



Gambar. 4.14. Ketel uap One through

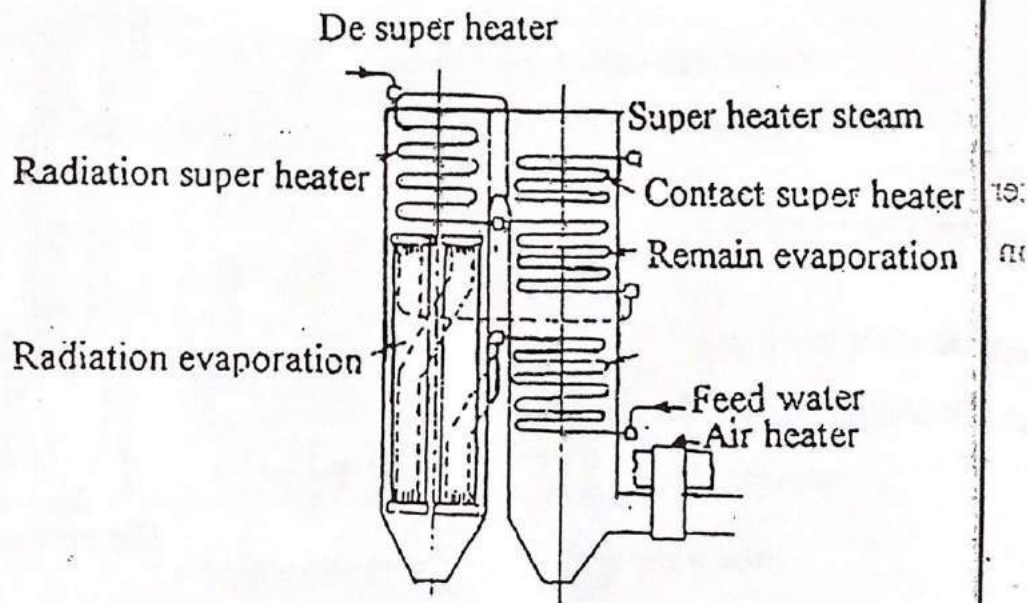


Gambar 4.15. Bagan ketel uap One through

Yang termasuk One through Boiler

a. Ketel uap Benson :

Ketel uap ini mempunyai drum yang lebih kecil dan bekerja menurut aliran menerus dari pompa pengisi air sampai ke pipa pengeluar uap (Gambar 4.16). Air dari pompa pengisi mengalir berturut-turut melalui ekonomiser, pipa pembentuk uap dan berakhir pada superheater. Dalam pipa pembentuk uap, sebagian dari air diuapkan dan sisanya diuapkan pada penguap radiasi. Pengeringan uap dilakukan pada superheater radiasi. Ketel ini menghasilkan uap sekitar 85% dari hasil panas radiasi yang diterima pipa, sisa air penguap tinggal sedikit untuk itu sisa air di set pada posisi temperatur rendah.



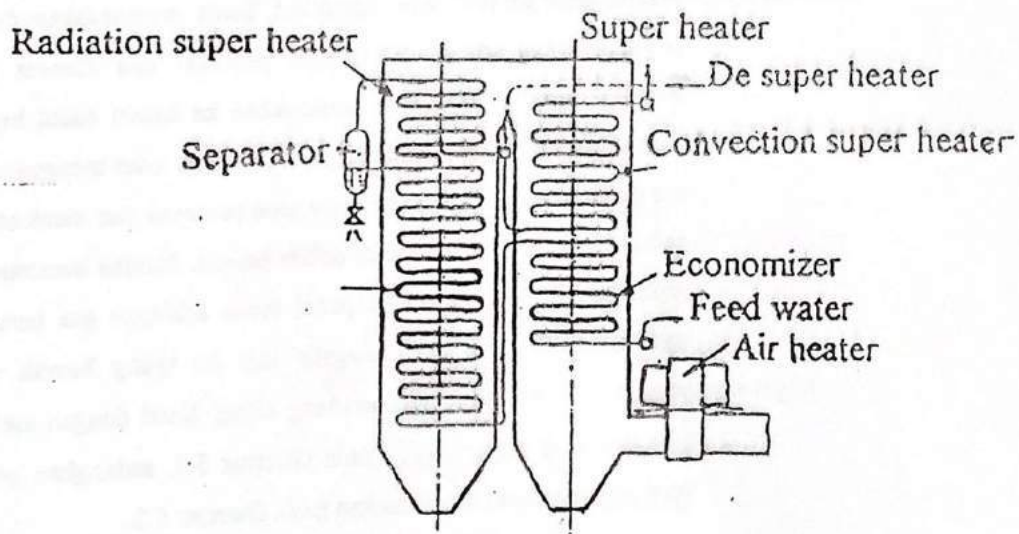
Gambar 4.16. Bagan ketel uap Benson

b.. Ketel uap Sulger :

Ketel uap terdiri dari satu atau beberapa pipa air panjang, separator uap di set pada penguapan 90% s/d 95% dan padatan (kotoran) akan dikeluarkan oleh separator uap (Gambar 4.17). *

One through boiler dapat juga dibuat untuk ketel kecil, kapasitas 0,2 ~ 6 ton/jam. Pemasangan ketel uap memerlukan area $\frac{1}{4}$ ~ $\frac{1}{5}$ lebih kecil jika dibandingkan dengan ketel uap pipa api (ketel silinder mendatar). Waktu start hanya memerlukan 3 ~ 5 menit dapat menghasilkan uap (lihat Gambar 4.6).

Karena kualitas air dan sistem kontrol harus dijaga dengan baik, sehingga memerlukan biaya perawatan yang mahal. Sekurang-kurangnya water softener dan sistem kontrol otomatis harus dipasang.



Gambar 4.1. Bagan ketel uap Sulger

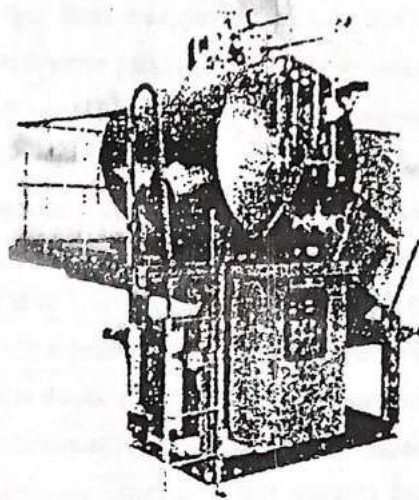
5. Ketel uap khusus (special boiler)

5.1. Ketel uap yang memanfaatkan sisa gas panas dari pesawat lain (Waste heat boiler)

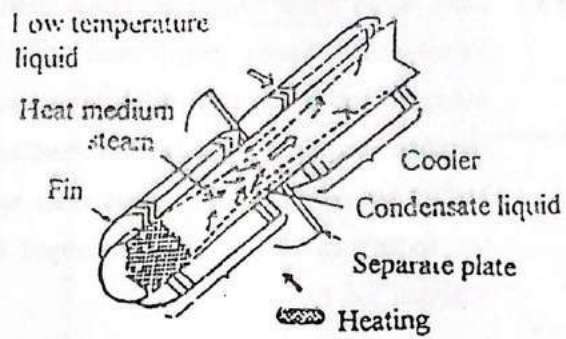
Ketel uap ini memanfaatkan sisa gas panas dari pesawat lain untuk memanaskan air sehingga menjadi uap. Ketel uap ini tidak mempunyai dapur, hanya mempunyai pipa-pipa. Karena sisa-sisa gas panas banyak mengandung kotoran (debu) dan gas korosif, maka untuk itu pipa-pipa api/pipa-pipa air harus sering dibersihkan. Bila merancang ketel uap ini harus diperhatikan kecepatan gas (gas velocity) dan luas bidang pemanasan.

Contoh : Ketel dengan pipa pemanas (Heat pipe methode)

Ketel ini digunakan hanya untuk memanaskan air. Gas panas yang berasal dari pesawat lain digunakan untuk memanaskan cairan (alkohol) yang ada di dalam pipa pemanas dan dimana pipa pemanas tersebut kemudian dimasukkan ke dalam suatu bejana yang berisi air. Cairan di dalam pipa pemanas akan menguap dan gas panas akan naik ke bagian atas pipa pemanas dan mentransfer panasnya ke air yang berada di dalam bejana. Setelah mentransfer panas ke air, temperatur gas panas turun sehingga gas berubah lagi menjadi cairan dan mengalir lagi ke ujung bawah pipa pemanas, begitu seterusnya berulang-ulang. Ketel dengan metoda pipa pemanas diperlihatkan pada Gambar 5.1, sedangkan bagan ketel pipa pemanas diperlihatkan pada Gambar 5.2.



Gambar .5.1.. Ketei uap dengan metoda pipa pemanas



Gambar. 5.2.: Bagan metoda pipa pemanas

5.2. Ketel uap Combined Cycle

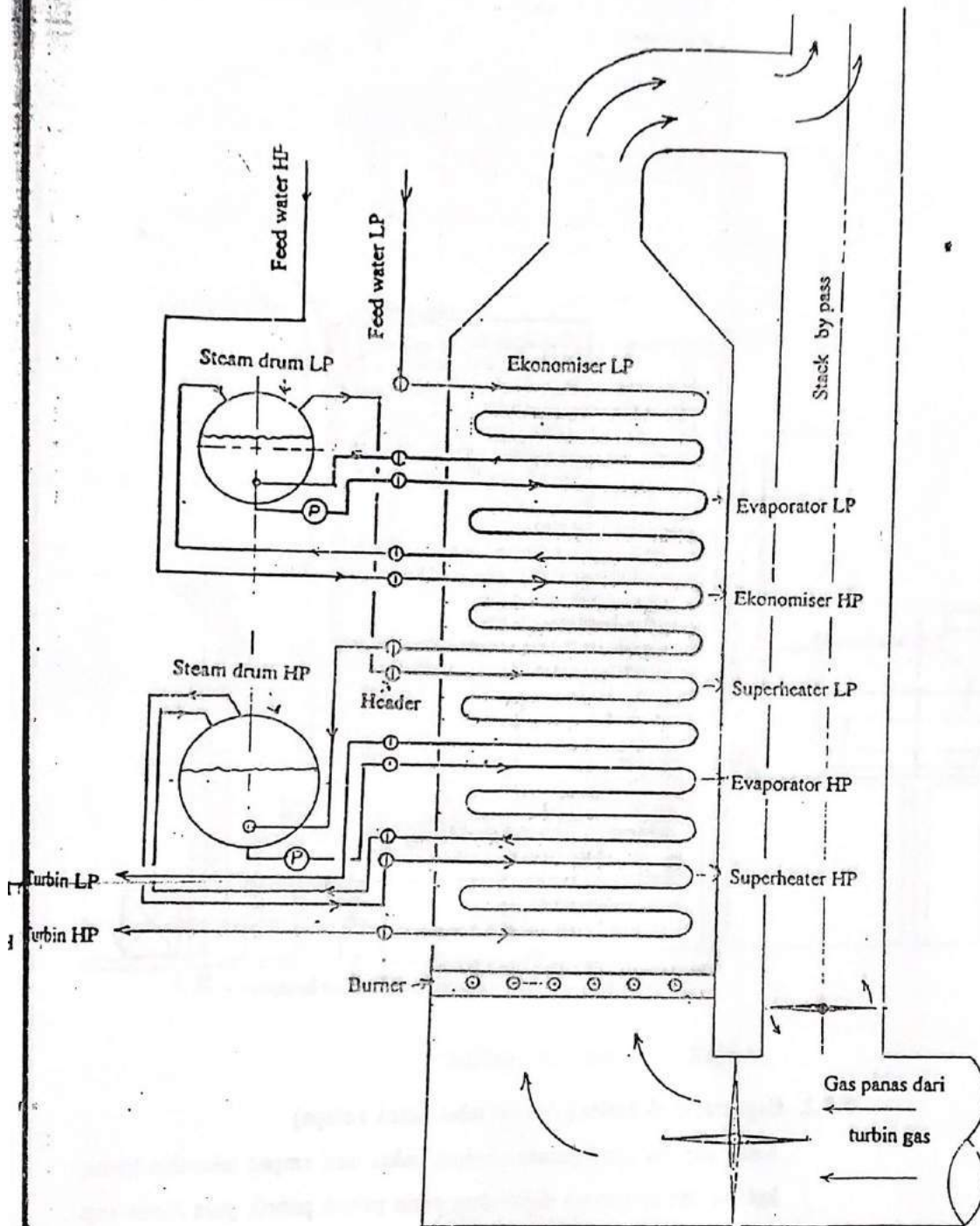
Ketel uap ini merupakan ketel uap yang terdiri dari susunan pipa-pipa ekonomiser, evaporator dan superheater serta satu buah drum uap. Biasanya pipa-pipanya berbentuk coil/elemen dan pada pipa-pipanya diberi sirip (fin) untuk menyerap gas panas, karena ketel uap ini memanfaatkan gas panas dari turbin gas. Ketel uap ini biasanya digunakan untuk pembangkit tenaga listrik atau power plant.

Disebut combined cycle karena pada satu dapur (furnace) digunakan untuk memanaskan pipa-pipa untuk dua (2) unit ketel uap, yaitu ketel uap untuk tekanan tinggi dan ketel uap untuk tekanan rendah. Untuk ketel uap tekanan tinggi biasanya tekanan maksimumnya sekitar 90 kg/cm^2 dan untuk ketel uap tekanan rendah tekanan maksimumnya sekitar 15 kg/cm^2 . Ketel uap combined cycle diperlihatkan pada Gambar 5.3..

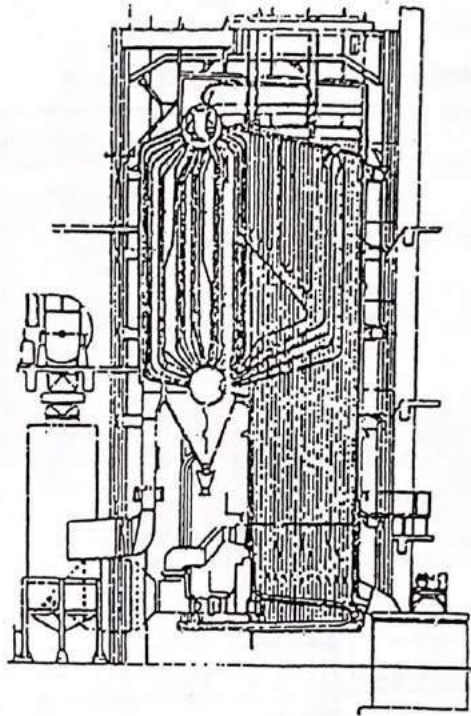
5.3. Ketel uap bahan bakar khusus (Particular fuel boiler)

5.3.1. Black liquid boiler (Ketel uap cairan hitam)

Pabrik-pabrik kertas (pulp) biasa mempunyai black liquid yaitu buangan limbah dari sisa proses pembuatan kertas dan mengandung serpihan-serpihan kayu-kayu, kemudian di bakar, menghasilkan NaOH dan gas panas. Gas panas akan memanasi seluruh pipa-pipa air, sedangkan NaOH akan terkumpul kebawah dan dikeluarkan (Gambar 5.4.).



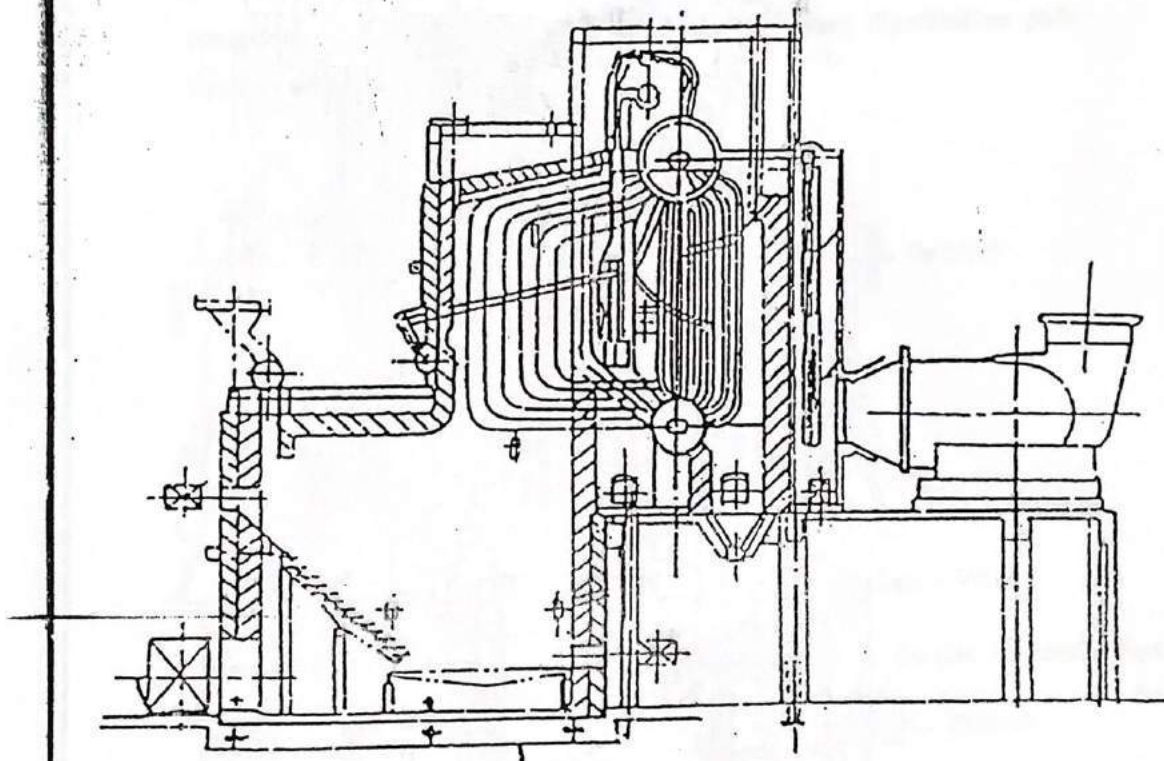
Gambar 5.3.. Ketel uap combined cycle



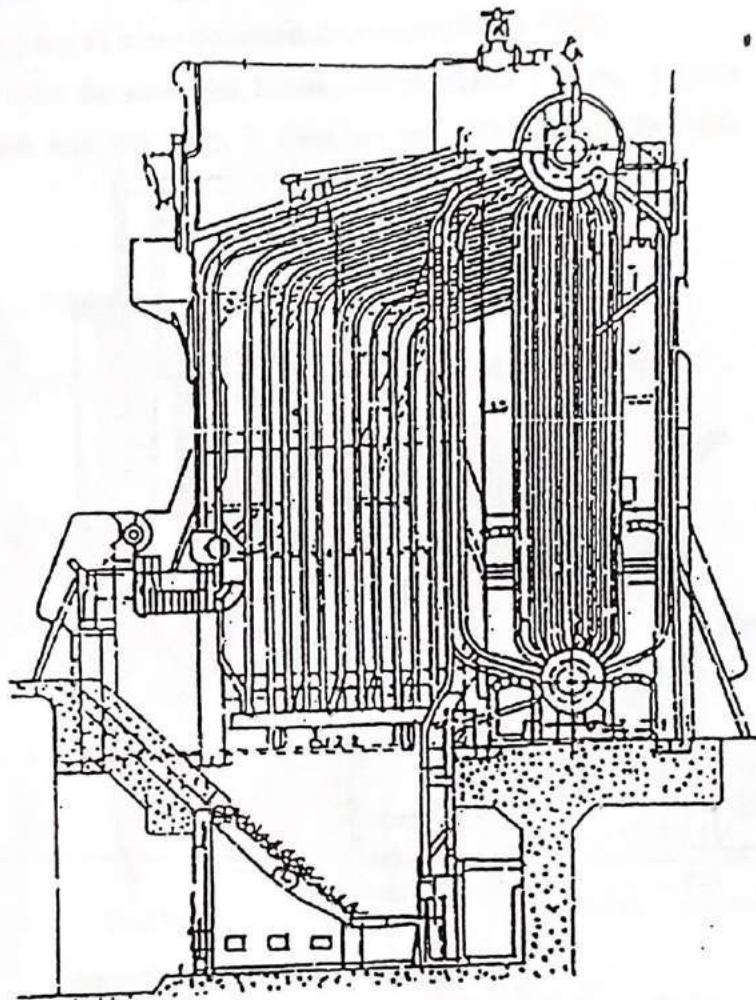
Gambar .5.4.. Ketel uap cairan hitam

5.3.2. Bagasse, Bark boiler (Ampas tebu, batok kelapa)

Ketel uap ini menggunakan bahan bakar dari ampas tebu dan batok kelapa dan umumnya digunakan pada pabrik-pabrik gula Ketel uap Bagasse diperlihatkan pada Gambar 5.5., sedangkan ketel uap Bark diperlihatkan pada Gambar 5.6..



Gambar. 5.5. Ketel Uap Bagasse

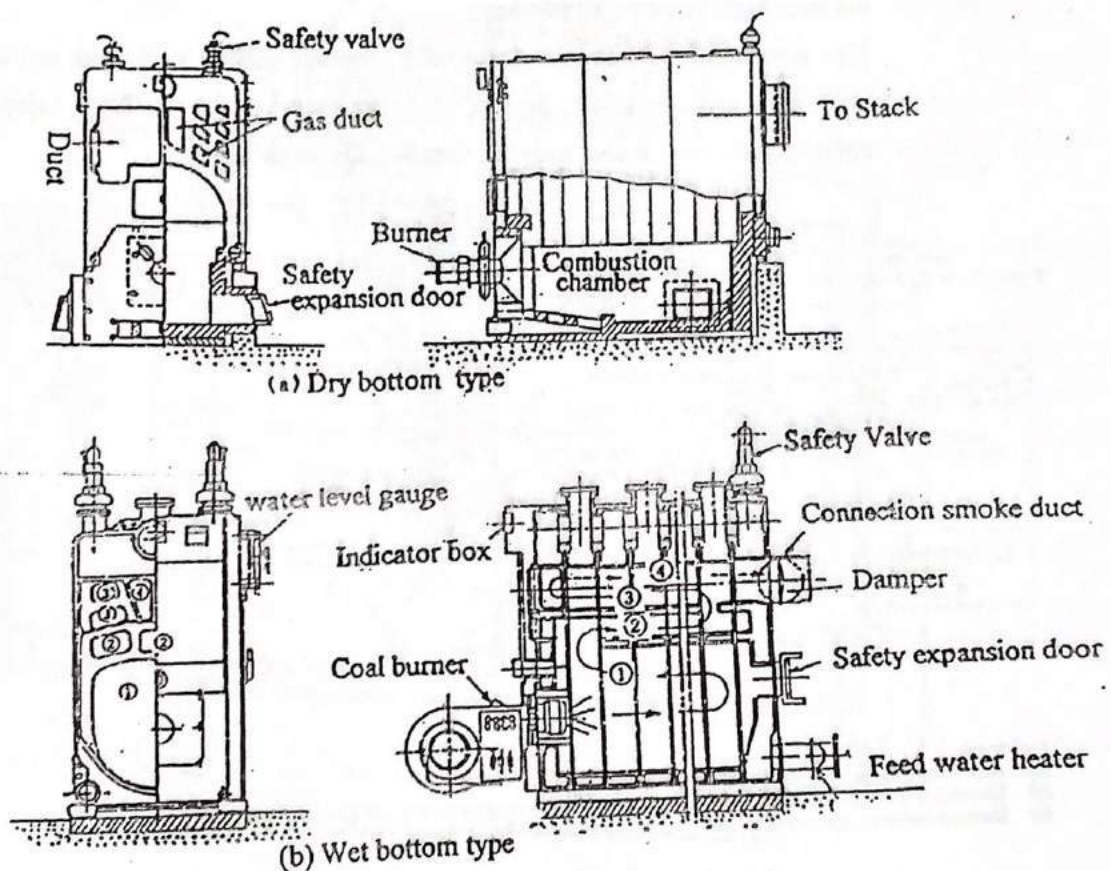


Gambar 5.6.. Ketel uap Bark

6. Cast iron boiler (Ketel uap besi tuang)

Ketel uap jenis ini di gunakan untuk tekanan rendah atau ketel air panas, biasanya tekanan 1 Kg/cm^2 . Jika di gunakan untuk ketel air panas maksimum tekanan tinggi air kurang dari 50 m dan temperatur air panas maksimum 120°C .

Ketel uap ini terdiri dari seksi-seksi, banyak seksi maksimum (20 unit dan luas pemanasan lebih kecil dari 50 m^2). Ketel uap besi tuang diperlihatkan pada Gambar 6.1..



Gambar. 6.1. Ketel uap besi tuang (cast iron boiler)

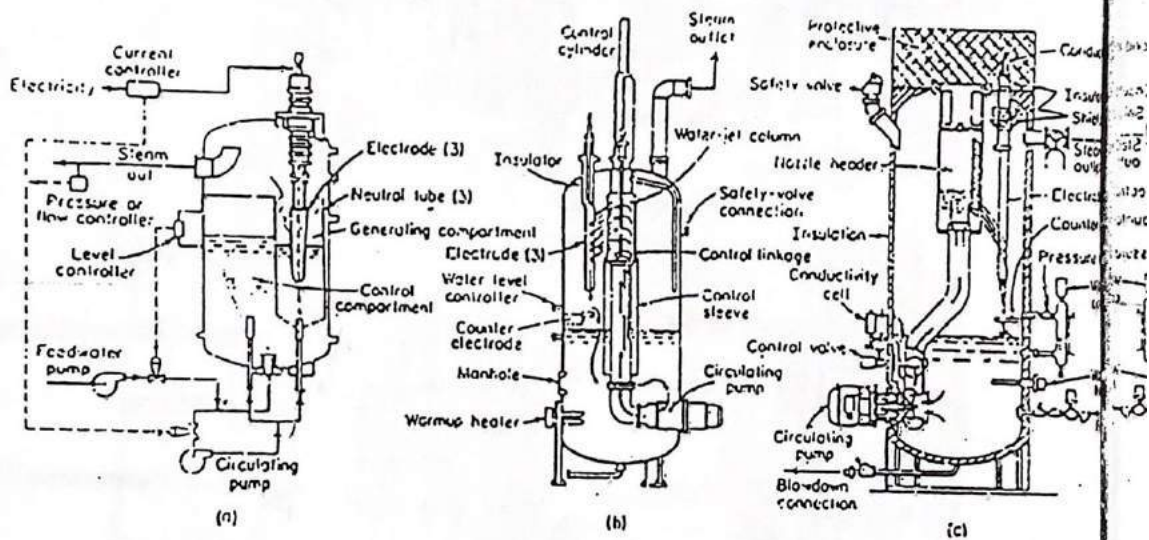
7. Ketel uap listrik (Electric boiler)

Ketel uap listrik ini ada dua tipe :

- Resistance
- Electroda

Tipe resistance umumnya adalah voltase dan kapasitas rendah, dimana arus sebagai pembangkit panas mengalir melalui elemen (resistance), kawatnya bukan sebagai pembangkit panasnya.

Tipe electroda adalah di manan arus yang mengalir melalui air (dalam air) dan tidak melalui suatu kawat, dimana air boiler merubah energi listrik menjadi energi panas dapat di lihat pada Gambar 7.1. di bawah ini :



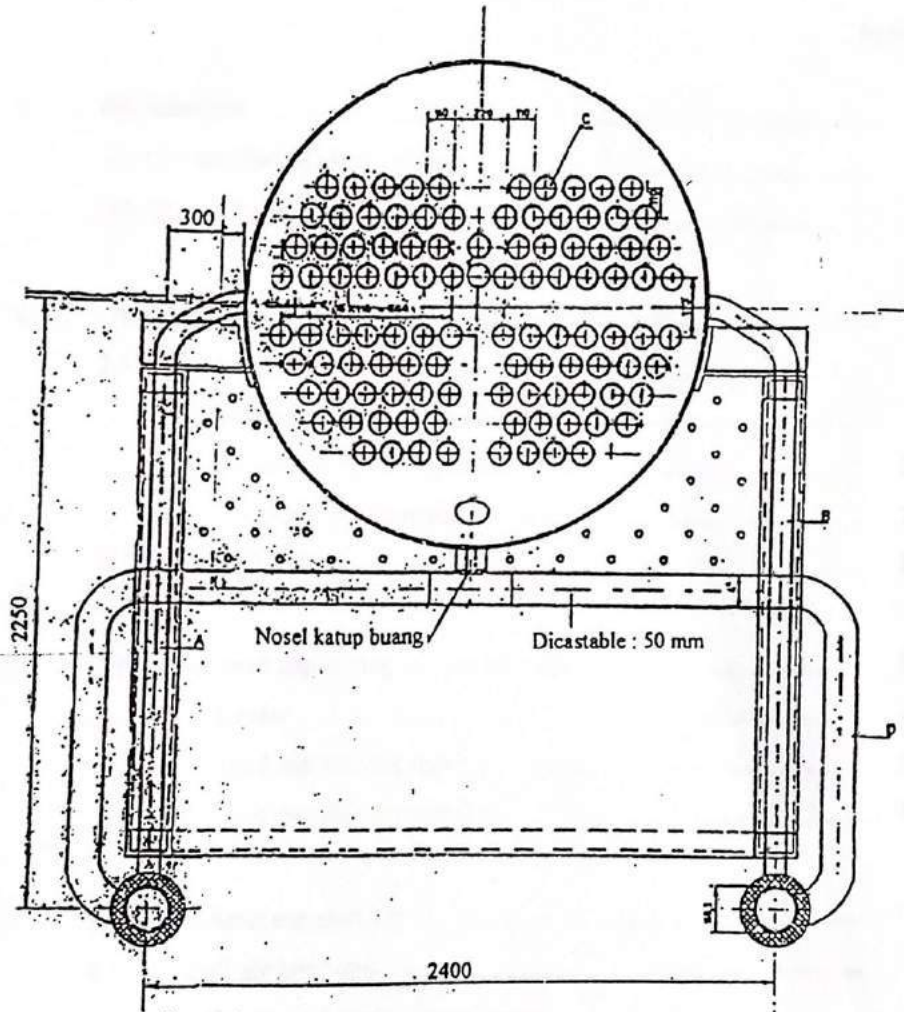
Keterangan .

- (a) Arus mengalir kebagian pemisah dinding pembangkit
- (b) Electrode boiler dengan sistem semprot dengan control sleeve pengatur aliran air dengan voltase tinggi
- (c) Electrode boiler dengan sistem semprot pengatur aliran dengan distribusi putar

Gambar. 7.1.: Ketel uap listrik tipe electroda

8. Ketel Uap Kombinasi

Jenis ketel uap kombinasi pipa air dan pipa api diperlihatkan pada Gambar 8.1.. Biasanya ketel uap ini digunakan untuk mengurangi kerugian-kerugian yang sering terjadi pada ketel uap pipa air maupun pada ketel uap pipa api.



Gambar 8.1. Ketel uap kombinasi pipa air dan pipa api