

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. KEMAJUAN TEKNOLOGI KETEL UAP

Ketel uap (Boiler) merupakan mesin kalor (Thermal Engineering) yang mentransfer energi – energi kimia atau energi panas menjadi energi kerja atau usaha. Ketel uap (Boiler) adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap (steam). Uap diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. (Yohana dan Askhabulyamin, 2013).

Ketel Uap mengubah energi – energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Ketel Uap dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar.

Ketel uap terdiri dari dua komponen utama, yaitu :

1. Ruang Bakar (Furnace) adalah sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
2. Drum Uap (Steam Drum) adalah sebagai alat yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap (energi panas).

Ketel Uap (Boiler) pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup ujung dan pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang yang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing – masing. (Muin, 1998). Alat ini harus selalu siap dalam menjalankan fungsinya sebagai penghasil uap yang seterusnya digunakan untuk keperluan produksi. Efisiensi ketel uap ini selalu berubah-ubah sesuai dengan beban operasinya, efisiensi yang berubah-ubah terjadi karena banyaknya panas yang hilang dari hasil pembakaran, maka dari itu untuk dapat mengurangi terjadinya energi panas yang tidak efisien perlu dilakukan peningkatan performa dari suatu ketel uap dengan cara memantau

setiap unit ketel uap agar dapat beroperasi dengan baik dan menurunkan kerugiannya. Maka perlu dilakukan pengevaluasian prestasi kerja terhadap efisiensi pada ketel uap. (Erwin Sirait, 2015).



Gambar 1. Boiler MV. Sumber Cahaya

2.2 JENIS-JENIS KETEL UAP

Jenis – jenis Ketel uap (Boiler) dapat dibedakan dari berbagai macam hal seperti karakteristik, cara kerja dan tipe pipa yang digunakan. Setiap Ketel uap memiliki kelebihan dan kekurangannya masing – masing. Berikut adalah jenis – jenis Ketel uap (Boiler) :

1. Jenis Ketel uap berdasarkan tipe pipa (Tube)

Jenis Ketel Uap dibagi menjadi 2 macam, yaitu :

a. Ketel uap pipa api (Fire tube Boiler)

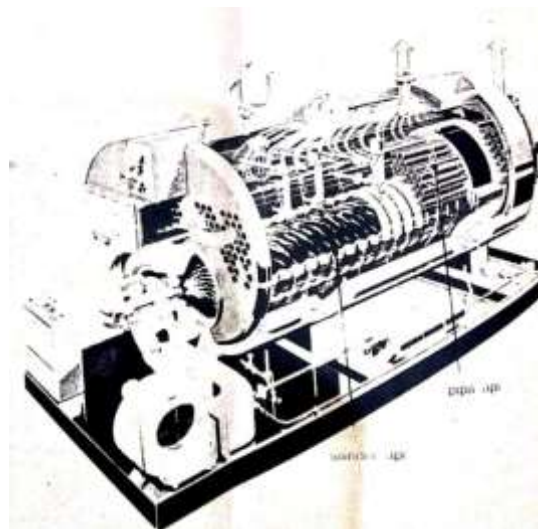
Pada Ketel uap ini memiliki dua bagian didalamnya yaitu bagian pipa (tube) yang merupakan tempat terjadinya pembakaran dan bagian tong (drum) yang berisi fluida. Tipe Ketel uap ini memiliki karakteristik yaitu menghasilkan jumlah uap yang rendah serta kapasitas yang terbatas. Prinsip kerjanya adalah proses pengapian terjadi didalam pipa dan panas yang dihasilkan diantarkan langsung kedalam drum yang berisi fluida.

Ketel pipa api yang digunakan untuk memanasi air dan uap, akan melalui silinder api, lorong-lorong api dan pipa-pipa ataupun tabung api (*fire silinder, fire*

duck, fire pipes and fire tubes) yang dibagian luarnya terdapat air dan uap. Jenis ketel-ketel uap yang tergolong dalam ketel lorong api atau ketel pipa api adalah ketel ketel uap kecil serta sederhana yang hanya mampu memproduksi uap maksimum sebanyak 10 ton uap per jam, dengan tekanan maksimum 24kg/cm².

Jadi tergolong ketel-ketel untuk tekanan rendah. (Ir.M.J. Djokosetyarjo,2003).Keadaan uap tergantung pada tekanannya,oleh karena itu pembentukan uap diadakan pada tekanan konstan, untuk mendekati hal yang dialami uap dalam sebuah ketel.

Untuk temperature mula 0 derajat celcius dipanaskan dalam sebuah tangki tertutup dapat bergerak bebas yang akan mempertahankan tekanan konstan. (BM. Surbakty, 2015).

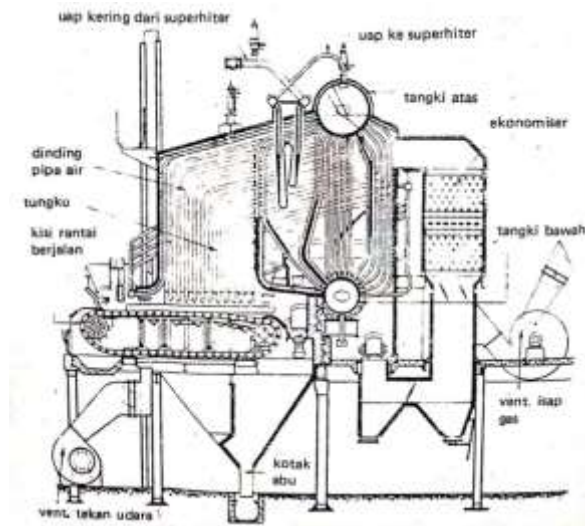


Gambar.2. Ketel Uap Pipa Api
Sumber : (BM. Surbakty,1985)

b. Ketel uap pipa air (Water tube boiler)

Pada ketel uap jenis ini memiliki konstruksi yang hampir sama dengan ketel uap jenis pipa api, pada ketel uap jenis ini juga memiliki bagian pipa (tube) dan bagian tong (drum), yang membedakan hanya pada pipa (tube) yang berisi air dan pada sisi tong (drum) yang berisi api sebagai tempat pembakaran. Karakteristik Ketel uap jenis ini adalah dapat menghasilkan jumlah uap (steam) yang relatif banyak. Prinsip kerjanya adalah proses pengapian terjadi pada sisi luar pipa, sehingga panas akan terserap oleh air yang mengalir dalam pipa.

Ketel air atau uap didalam pipa-pipa atau tabung-tabung yang dipanasi oleh api atau asap dibagian luarnya. Ketel-ketel pipa air ini umumnya bertekanan sedang yaitu antara 45kg/cm² sampai dengan 140 kg/cm² dengan produksi uap mencapai 1.000 ton untuk setiap jamnya. Jenis-jenis ketel ini mempunyai efisiensi total yang lebih besar dari ketel-ketel pipa api. Peralatan-peralatan pada ketel ini umumnya sudah tidak lagi dilayani dengan tangan/manual. (Ir. M.J. Djokosetyardjo, 2003).



Gambar 3. Ketel Uap Pipa Air
(BM, Surbakty, 1985)

2. Berdasarkan jenis bahan bakar :

Berdasarkan Bahan Bakar dibagi menjadi 4, yaitu :

a. Bahan bakar padat (Solid Fuel)

Bahan bakar padat yang terdapat di bumi kita ini berasal dari zat-zat organik. Bahan bakar padat mengandung unsur-unsur antara lain : zat arang atau karbon (C), Hidrogen (H), zat asam atau Oksigen (O), zat lemak atau nitrogen (N), Belerang (S), Abu dan air, yang kesemuanya itu terikat satu persenyawaan kimia. (Ir. M.J Djokosetyardjo, 2003).

b. Bahan bakar minyak (Fuel Oil)

Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi, minyak bumi didapat dari tanah dengan jalan mengebornya diladang-ladang minyak, dan memompanya sampai keatas permukaan bumi. Oleh selanjutnya diolah lebih lanjut menjadi berbagai jenis minyak bakar. Minyak bumi (*crude oil*) yang berwarna coklat tua atau

kehitam-hitaman terdiri dari campuran berbagai macam persenyawaan zat air arang (C dan H). Umumnya dari minyak bumi (*crude oil*), dapat dipisah-pisahkan beberapa macambahan bakar cair, antara lain beberapa jenis bensin, minyak tanah, kerosin, berbagai minyak solar serta berbagai jenis minyak bakar untuk ketel uap. Pemisah-pemisahan menjadi beberapa jenis bahan bakar tersebut dilakukan dengan jalan distilasi bertingkat, melalui berbagai tingkatan temperature. (Ir. M.J. Djokosetyardjo, 2003).

c. Bahan bakar gas (Gaseous Fuel)

Di dalam tanah banyak terkandung: gas bumi (Petrol Gas) atau sering pula disebut gas alam, yang timbul pada saat proses pembentukan minyak bumi, gas tambang, dan gas rawa (CH₄ atau metan). Seperti halnya pada minyak bumi, gas alam tersebut diperoleh dengan jalan pengeboran dari dalam tanah baik dari daratan maupun dilepas pantai terhadap lokasi-lokasi yang diduga terdapat kandungan gas alam. Mengingat makin menyusutnya cadangan minyak bumi, didalam tanah, banyak dieksplorasi dan dimanfaatkan penggunaan gas bumi sebagai bahan bakar pengganti. (Ir. M.J Djokosetyardjo, 2003).

d. Listrik (Electric)

Yaitu bahan baku yang digunakan adalah energi listrik yang digunakan sebagai pemanas. Mempunyai karakteristik bahan bakar yang lebih murah tetapi mempunyai tingkat efisiensi yang rendah. Prinsip kerjanya adalah pemanasan yang bersumber dari listrik yang menyuplai panas, mempunyai kelebihan memiliki perawatan yang sederhana dan sumber pemanas yang sangat mudah didapatkan. Tetapi mempunyai kekurangan nilai efisiensi yang buruk dan memiliki temperatur pembakaran yang rendah. (Ir. M.J. Djokosetyardjo, 2003)

2.3 KOMPONEN KETEL UAP

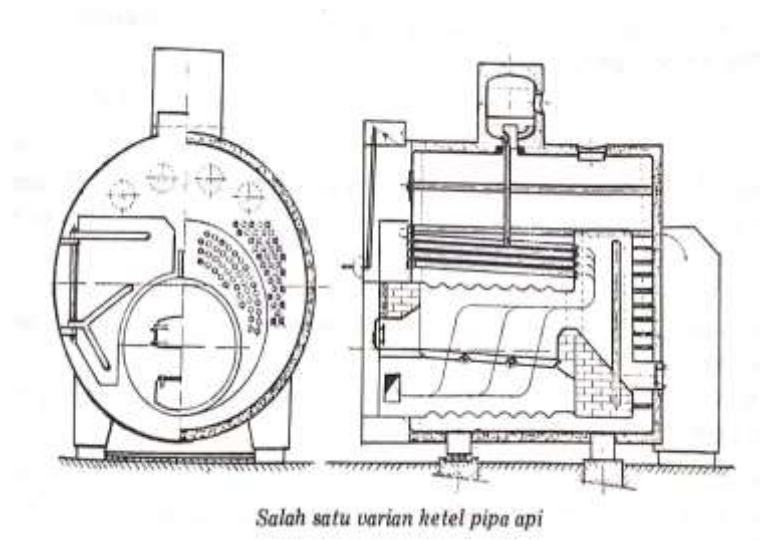
Komponen Utama Ketel Uap yaitu :

1. Tungku Pengapian (Furnace)

Bagian ini merupakan tempat terjadinya pembakaran bahan bakar yang akan menjadi sumber panas, proses penerimaan panas oleh media air dilakukan melalui pipa yang telah dialiri air, pipa tersebut menempel pada dinding tungku pembakaran. Proses perpindahan panas pada furnace terjadi dengan tiga cara:

- a. Perpindahan panas secara radiasi, dimana akan terjadi pancaran panas dari api atau gas yang akan menempel pada dinding tube sehingga panas tersebut akan diserap oleh fluida yang mengalir di dalamnya.
- b. Perpindahan panas secara konduksi, panas mengalir melalui hantaran dari sisi pipa yang menerima panas kedalam sisi pipa yang memberi panas pada air.
- c. Perpindahan panas secara konveksi, panas yang terjadi dengan singgungan molekul-molekul air sehingga panas akan menyebar kesetiap aliran air.

Di dalam furnace, ruang bakar terbagi atas dua bagian yaitu ruang pertama dan ruang kedua. Pada ruang pertama, didalamnya akan terjadi pemanasan langsung dari sumber panas yang diterima oleh tube (pipa), sedangkan pada ruang kedua yang terdapat pada bagian atas, panas yang diterima berasal dari udara panas hasil pembakaran dari ruang pertama. Proses pembakaran *furnace* dilakukan dengan prinsip fire triangle (segitiga api) yang menggunakan bahan bakar, sumber panas dan udara. (A. Prayitno, 2014).



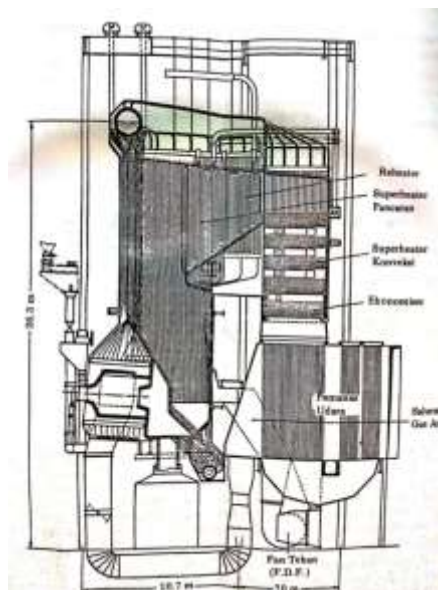
Gambar 4. Furnace/Tungku Pengapian
 Sumber : (Ir. M.J. Djokoseryardjo, 1993)

Jadi, fungsi dari ruang pemanas kedua ini yakni untuk menyerap panas yang terbangun dari ruang pemanasan pertama, agar energi panas yang terbangun secara cuma-cuma tidak terlalu besar, dan untuk mengontrol panas fluida yang telah dipanaskan pada ruang pertama agar tidak mengalami penurunan panas secara berlebihan. (A. Prayitno, 2014)

2. Evaporator

Proses pembentukan uap pada pipa evaporator dalam ketel uap pipa air memiliki karakteristik aliran dua fasa yaitu fasa uap dan air. Agar ketel dapat berfungsi secara efektif, perlu diketahui dimana letak pembentukan uap dalam pipa, letak gelembung uap berkembang penuh dan juga posisi fluida pada dinding pipa menjadi kering (dryout), sebab jika fluida pada dinding pipa-pipa *waterwall* kering, koefisien perpindahan panas akan turun secara drastis dan akan membuat temperatur pada dinding pipa (T_w) menjadi naik secara drastis, sehingga pipa-pipa *waterwall* akan menerima panas yang berlebihan.

Kondisi tersebut dapat mengakibatkan pipa-pipa ketel mengalami: korosi, perubahan struktur material pipa yang akan mempengaruhi kekuatan material atau bahkan dapat menyebabkan pipa menjadi meleleh. Proses pembentukan uap di dalam pipa tergantung kepada flux panas permukaan, untuk itu perlu diketahui besarnya flux panas maksimum dan minimum yang dapat diberikan pada pipa. Flux panas yang terlalu besar akan menyebabkan pipa mengalami dryout, sebaliknya jika terlalu kecil akan membuat proses pembentukan uap dalam pipa terlalu lambat dan kapasitas uap yang dihasilkan rendah atau bahkan tidak terbentuknya uap. (John G, 2009).



Gambar 5. Evaporator

Sumber. : (Ir. M.J. Djokosetyardjo, 2003)

3. Pemanas Lanjut (Super Heater)

Merupakan tempat pengeringan steam, dikarenakan uap yang berasal dari steam drum masih dalam keadaan basah sehingga belum dapat digunakan. Proses pemanasan lanjutan menggunakan super heater pipe yang dipanaskan dengan suhu 260°C sampai 350°C. Dengan suhu tersebut, uap akan menjadi kering dan dapat digunakan untuk menggerakkan turbin maupun untuk keperluan peralatan lain. (Eko Sulisty, 2018).

4. Burner

Burner adalah suatu alat yang menyembrotkan/ mengabutkan bahan bakar kedalam ruang bakar dan menghasilkan api. Sampai saat ini masih banyak yang menggunakan ketel uap untuk digunakan sebagai pembangkit listrik. *Burner merupakan komponen utama dalam pembakaran sering mengalami masalah. Maka dari itu perlu diketahui hal apa saja yang menjadi penyebab kegagalan penyalaan Burner tersebut.*

Dalam hal ini penulis menggunakan metode AHP (Analytical Hierarchy Process), dimana metode ini untuk menentukan factor penyebab kegagalan pembakaran pada Burner boiler, yang mana dalam menentukan masalah tersebut akan dicari dengan menentukan nilai tertinggi dari penghitungan matriknya dan nilai eigennya. Pada AHP ini dalam mencari nilai tertinggi akan dibagi dengan beberapa sub bagian, yaitu kriteria dan alternatif. (Sri Purwantini, 2017).



Gambar 6. Barner MV. Sumber Cahaya

2.4 PERALATAN KEAMANAN KETEL UAP (APANDAGES)

Apandages ketel uap adalah peralatan ketel yang dibadan /body ketel yang berfungsi untuk keamanan apabila terjadi up normal. *Apandeges* ketel sudah ditetapkan oleh undang-undang keselamatan kerja. Berbagai *apandages* yang bersinggungan dengan uap tidak boleh menggunakan bahan dari besi tua, karena terlalu rapuh. *Apandages*

adalah suatu alat pengamanan yang harus pada ketel sehingga ketel dapat beroperasi dengan aman. Adapun alat pengaman pada ketel meliputi :

1. Katub Keamanan (*safety valve*)

Alat ini berfungsi untuk membuang uap apabila tekanan uap telah melebihi batas yang telah ditentukan. Katup ini terdiri dari dua jenis, yaitu katup pengaman uap basah dan katup pengaman uap kering. Safety valve ini dapat diatur sesuai dengan aspek maksimum yang telah ditentukan. Pada uap basah biasanya diatur pada tekanan 21 kg per cm kuadrat, sedangkan untuk katub pengaman uap kering diatur pada tekanan 20,5 kg per cm kuadrat. (Febria Surjaman, 2018).



Gambar 7. Safety valve MV. Sumber Cahaya

2. Gelas Penduga (*sight glass*)

Gelas penduga dipasang pada drum bagian atas yang berfungsi untuk mengetahui ketinggian air di dalam drum. Tujuannya adalah untuk memudahkan pengontrolan



ketinggian air dalam ketel selama boiler sedang beroperasi. Gelas penduga ini harus dicuci secara berkala untuk menghindari terjadinya penyumbatan yang membuat level air tidak dapat dibaca. (Bagus Wicaksono Sapto 2012).

Gambar 8. Gelas Penduga

Sumber : (Kurniawan Shinobi, 2010)

3. Kran Pembuangan (*blow down valve*)

Komponen boiler ini berfungsi untuk membuang air dalam drum bagian atas. Pembuangan air dilakukan bila terdapat zat-zat yang tidak dapat terlarut, contoh sederhananya ialah munculnya busa yang dapat mengganggu pengamatan terhadap gelas penduga. Untuk mengeluarkan air dari dalam drum, digunakan blowdown valve yang terpasang pada drum atas, katup ini bekerja bila jumlah busa sudah melewati batas yang telah ditentukan.



Gambar 9. Kran Pembuangan MV. Sumber Cahaya

4. Kran Uap Induk

Kran uap induk berfungsi sebagai alat untuk membuka dan menutup aliran uap keluar ketel yang terpasang dari pipa induk. Alat ini dibuat dari bahan tahan panas dan bertekanan tinggi. (Korneilis Korneilis, 2019).



Gambar 10. Kran Uap Induk MV. Sumber Cahaya

5. Kran Pemasukan Air

Air pengisi ketel terdapat 3 sumber antara lain : Air kondensat dan air bebas mineral (*demineralized water*). Air kondensat didapatkan dari hasil kondensasi uap bekas (*exhaust steam*) yang telah digunakan sebagai pemanas pada proses produksi yang lain. Sehingga disebut uap bekas *exhaust steam*. *Exhaust steam* masih dapat dimanfaatkan sebagai pemanas dalam proses produksi yang lain. Dari hasil petukaran panas tersebut uap bekas mengalami penurunan temperature dan tekanan, sehingga terjadi proses kondensasi yang mengubah *exhaust steam*. (NO.CH, 2009).



Gambar 11. Kran Pemasukan Air

6. Pengukur Tekanan (*manometer*)

Manometer adalah alat pengukur tekanan uap didalam ketel yang dipasang satu buah untuk tekanan uap dipanasi lanjut dan satu buah lagi untuk tekanan uap basah. Untuk menguji kebenaran petunjuk alat ini, pada setiap *manometer* dipasang kran cabang tiga yang digunakan untuk memasang *manometer* panera (*manometer tera*). (Moh Mutadin, 2016).



Gambar 12. Manometer MV. Sumber Cahaya

7. Main valve

Main valve adalah katub saluran utama untuk keluaran uap. Main valve ini biasanya digunakan untuk menyalurkan uap (*steam*) kepermesinan-permesinan lain seperti heater dll. (Amirul M, 2015)



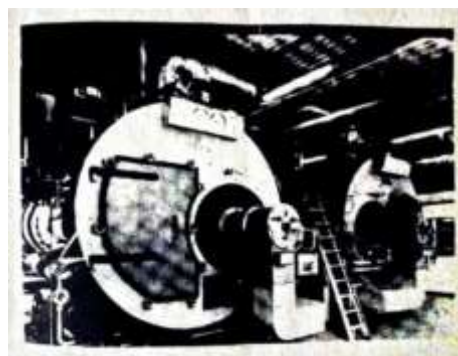
Gambar 13. Main Valve MV. Sumber Cahaya

8. Main Hole

Main Hole adalah bagian dari boiler yang digunakan untuk lubang lalu lalang orang untuk masuk kedalam ketel pada saat pembersihan bagian dalam ketel, ataupun untuk pemeriksaan bagian dalam ketel. (Amirul M, 2015).

Gambar 14. Mainhole

Sumber : (BM. Surbakty, 1985)



2.5 CARA KERJA KETEL UAP

Cara kerja ketel uap adalah Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperature, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan steam yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem ketel mengenal keadaan tekanan temperature rendah (*low pressure*, dan tekanan temperature tinggi (*high pressure*), dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem ketel

dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*commercial and industrial boilers*). Sistem ketel terdiri dari system air umpan, system *steam*, dan system bahan bakar. System air umpan menyediakan air untuk ketel secara otomatis sesuai dengan kebutuhan *steam*.

Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari system air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari system *steam*. System *steam* mengumpulkan dan mengontrol memproduksi *steam* dalam *ketel*. *Steam* dialirkan melalui system penipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan system, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. System bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang dibutuhkan pada system bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada system (santi,2015).