

ANALISIS TEORITIS PERBANDINGAN ENERGI UAP SATURASI DAN SUPERHEAT PADA SISTEM PEMBANGKIT TENAGA UAP KAPASITAS 30 TON TBS/JAM

Tugas Akhir

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan
Ujian Sarjana**

Oleh :

J U L I
06.813.0038



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2010**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 13/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)13/9/23

ABSTRAK

Perkembangan teknologi budidaya tanaman kelapa sawit menyebabkan perubahan karakteristik tandan buah sawit, yang membutuhkan teknologi pengolahan yang mendukung peningkatan efisiensi ekstraksi minyak dan inti semaksimal mungkin. Pengolahan kelapa sawit membutuhkan energi untuk mengekstraksi minyak sawit dan inti sawit. Energi tersebut berbentuk uap yang berperan dalam proses kimia, proses fisika dan mekanika. Energi yang terkandung didalam uap ini berbeda antara uap saturasi dan uap superheat. Dengan adanya pengkajian perbandingan uap saturasi dan uap superheat pada pabrik pengolahan kelapa sawit kapasitas 30 Ton TBS/Jam dengan tekanan kerja 20 kg/cm² dan kapasitas uap sebesar 19,5 Ton uap/jam, maka energi yang dihasilkan uap saturasi sebesar 1809,4 kW dengan efisiensi siklus pembangkit tenaga sebesar 14,9 %. Sedangkan energi yang terkandung dalam uap superheat yaitu sebesar 2130,08 kW dengan efisiensi siklus pembangkit tenaga sebesar 15,9 % Sehingga dengan perbandingan ini dapat diketahui energi yang terkandung dalam uap superheat pada pabrik pengolahan kelapa sawit kapasitas 30 Ton TBS/Jam lebih besar daripada energi yang terkandung dalam uap saturasi.

Kata kunci: Uap Saturasi, Uap Superheat.

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT atas berkat Rahmat dan KaruniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas sarjana ini dengan baik.

Tugas sarjana ini merupakan salah satu sayarat mutlak yang harus penulis selesaikan untuk mendapat gelar sarjana pada Fakultas Teknik Mesin. Judul tugas sarjana yang penulis angkat adalah "***ANALISIS TEORITIS PERBANDINGAN ENERGI UAP SATURASI DAN UAP SUPERHEAT PADA SISTEM PEMBANGKIT TENAGA UAP KAPASITAS 30 TON TBS/JAM***".

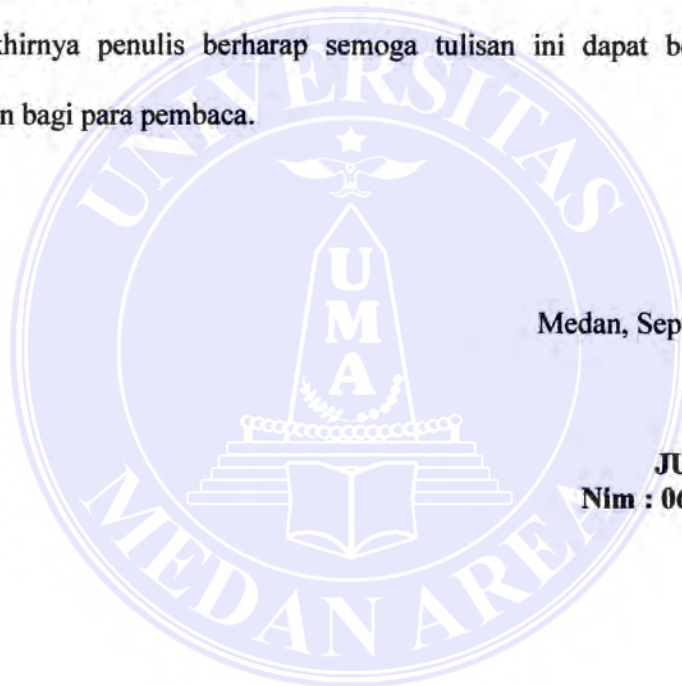
Upaya yang di lakukan didalam menyelesaikan tugas sarjana ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk mendapatkan hasil yang sebaik-baiknya, namun penulis menyadari bahwa tugas sarjana ini masih jauh pada tingkat kesempurnaan. Oleh sebab itu dengan penuh kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kebaikan tugas sarjana ini.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih pada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas sarjana ini, terlebih kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta yang memberi dukungan baik moril dan materil. Semoga Allah menerima semua amal ibadahnya dan di jauhkan dari azab Allah SWT.

2. Ibu Ir.Hj.Haniza, MT Ir. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Ir.Amru Siregar, MT selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Ir. Husin Ibrahim, MT selaku Pembimbing I dalam penulisan tugas akhir.
5. Bapak Ir. Amrinsyah, MM selaku Pembimbing II dalam penulisan tugas akhir.
6. Teman-teman mahasiswa seperjuangan khususnya Stambuk 06 dan seluruh teman-teman yang pernah kenal dengan penulis.

Akhirnya penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi para pembaca.



Medan, September 2010

JULI
Nim : 068130038



DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pendahuluan	5
2.2. Sistem pembangkit uap	6
2.3. Peralatan sistem tenaga uap	8
2.3.1. Deaerator	9
2.3.2. Pompa air pengisi ketel {Feed Water Pump}	9

2.3.3. Ekonomiser	10
2.3.4. Ketel uap (Boiler)	11
2.3.5. Pemanas uap lanjut (Superheater)	12
2.3.6. Turbin uap	14
2.3.7. Bejana uap bekas (Back Pressure Vessel)	15
2.4. Macam-macam uap	15
2.5. Siklus Rankine (Rankine Cycle)	17
2.5.1. Siklus rankine ideal untukuap saturasi	18
2.5.2. Siklus rankine ideal untuk uap superheat	20
2.6. Kapasitas olah pabrik	24
2.7. Kebutuhan uap pabrik	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Jenis Penelitian.....	27
3.2 Tempat dan Waktu Pelaksanaan.....	27
3.3 Prosedur Penelitian.....	29
3.4 Sasaran dan Objek Penelitian.....	30
3.5 Penyajian Data.....	31
3.6 Analisa Data.....	31
BAB IV ANALISA PEMBAHASAN DAN HASIL	32
4.1. Kapasitas olah pabrik	32
4.2 Analisa energi uap saturasi	34
4.3. Analisa energi uap superheat	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1. Kesimpulan	52
5.2. Saran	53
LITERATUR	54
LAMPIRAN	



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebenarnya manusia sudah lama mengenal apa yang dinamakan dengan ketel uap, yaitu sejak manusia melakukan perebusan air, untuk diminum sehari-hari sebagai kebutuhan pokok. Di dalam proses perebusan, air yang diberi pemanasan dengan waktu tertentu akan mendidih, dengan pemanasan yang berlanjut air yang mendidih tadi akan menguap, dan uap air ini akan dapat mengangkat tutup media rebusan. Dari hal yang sangat sederhana ini, manusia mulai memikirkan tentang penggunaan uap serta alat yang digunakan untuk membentuk uap, yang sekarang alat tersebut dinamakan dengan " Ketel" atau Boiler.

Perkembangan ketel uap saat ini sangat cepat karena ketel uap merupakan suatu hal yang utama untuk menjalankan suatu proses/pengolahan pada pabrik. Misalnya saja suatu pabrik kelapa sawit yang memerlukan uap untuk melakukan proses, baik itu untuk membangkitkan energi maupun untuk pengolahan buah kelapa sawit itu sendiri.

Pada ketel uap, uap panas lanjut (*superheated steam*) merupakan hal yang sangat penting dalam pembangkit listrik (*power plant*) dan juga untuk keperluan proses. Karena uap panas lanjut memiliki entalpi yang tinggi sehingga dapat meningkatkan efisiensi ketel, dapat mencegah kerusakan pada sudu-sudu turbin akibat hasil dari kondensasi dan dapat mengurangi terjadinya kondensasi ketika

melalui suatu jalur pipa yang panjang pada ketel. Untuk itu perlunya diadakan pengkajian *"Analisis Teoritis Perbandingan Energi Uap Saturasi Dan Uap Superheat Pada Sistem Pembangkit Tenaga Uap Kapasitas 30 Ton TBS/Jam"*.

Dengan adanya tulisan ini diharap agar para pembaca dapat menambah wawasan tentang perbandingan uap saturasi dan uap superheat.

1.2 Perumusan Masalah

Pada umumnya permasalahan yang sering terjadi pada sistem pembangkit uap adalah penggunaan uap saturasi dalam sebuah operasional pembangkit uap dapat menyebabkan kerugian, seperti : rusaknya sudu-sudu turbin, terjadinya pukulan balik (Back Stroke) yang terjadi akibat adanya pengembunan uap sebelum pada waktunya dan rendahnya kualitas uap yang dihasilkan. Akan tetapi, penggunaan uap saturasi ini dapat mengurangi biaya operasional yaitu dengan tidak adanya superheater. Berbeda dengan uap superheat, penggunaannya pada suatu pembangkit adalah sangat diperlukan karena uap superheat ini memiliki entalpi yang tinggi sehingga dapat meningkatkan efisiensi siklus dan mengurangi dampak-dampak yang terjadi akibat dari penggunaan uap saturasi. Akan tetapi penggunaan uap superheat ini memerlukan instalasi tambahan berupa superheater yang akan berdampak pula pada penambahan biaya dan perawatannya.

1.3 Batasan Masalah

Dalam penulisan tugas akhir ini perlu diberi batasan masalah sehingga tidak terlalu meluas topik yang akan dibahas. Adapun batasan masalah dalam penulisan ini antara lain:

1. Proses pembentukan uap ketel
2. Perbandingan penggunaan uap saturasi dan uap superheat
3. Analisa termodinamika siklus Rankine
4. Perhitungan laju perpindahan panas

1.4 Tujuan

Tujuan dari dilakukannya penulisan ini antara lain :

1. Untuk mengetahui perbandingan energi uap saturasi dan uap superheat pada sebuah sistem pembangkit tenaga uap.
2. Untuk mengetahui efisiensi mana yang lebih baik antara uap saturasi dan uap superheat
3. Untuk mengetahui laju perpindahan panas yang terjadi dalam proses pembentukan uap saturasi dan uap superheat.

1.5 Manfaat

1. Penulis dapat membandingkan ilmu yang diperoleh dibangku kuliah dengan kenyataan yang sebenarnya dilapangan.
2. Memahami dan mengetahui langkah-langkah untuk menganalisa proses perbandingan antara uap saturasi dan uap superheat.
3. Dengan pemilihan jenis yang tepat, maka efisiensi pada ketel dapat ditentukan sendiri oleh suatu pabrik.
4. Menambah perbendaharaan literatur dalam bidang ketel uap.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk terarahnya penulisan ini dan untuk menghindari agar tidak terjadinya pembahasan yang berulang serta mempermudah pembaca dalam memahami, maka sistematika penulisannya sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini dibahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan tugas akhir dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas mengenai pandangan umum perbandingan energi uap saturasi dan uap superheat, macam-macam uap dan teori-teori dasar tentang siklus uap.

BAB III : ANALISA DAN PEMBAHASAN HASIL

Pada bab ini dibahas mengenai analisa termodinamika siklus Rankine dan laju perpindahan panas yang terjadi beserta perhitungannya.

BAB IV : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menguraikan suatu kesimpulan yang telah di jabarkan pada bab-bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisikan tentang referensi penulis untuk membahas persoalan-persoalan dalam tugas akhir ini.

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi budidaya tanaman kelapa sawit menyebabkan perubahan karakteristik tandan buah sawit, yang membutuhkan teknologi pengolahan yang mendukung peningkatan efisiensi ekstraksi minyak dan inti semaksimal mungkin.

Pengolahan kelapa sawit membutuhkan energi untuk mengekstraksi minyak sawit dan inti sawit. Energi tersebut berbentuk uap yang berperan dalam proses kimia, proses fisika dan mekanika. Uap diperlukan terutama dalam proses sterilisasi buah, pelumatan, pengempaan, klarifikasi dan pemeraman biji, pengeringan inti dan pemanasan pada tangki timbun.

Uap yang dihasilkan ketel uap pada dasarnya energi yang terkandung didalam uap dikonversikan menjadi tenaga melalui turbin uap dan uap bekasnya digunakan untuk proses pengolahan.

Kemampuan ketel uap menghasilkan uap dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain pengoperasian ketel, karakteristik bahan bakar, jenis ketel dan pembakaran dalam dapur.

Kemampuan ketel uap untuk menghasilkan uap juga tidak terlepas dari proses pembentukan uap itu sendiri terutama uap panas lanjut (*superheated steam*) untuk menggerakkan turbin. Uap panas lanjut (*superheated steam*) ialah uap yang memiliki kualitas air lebih besar dari 100%, dimana pada keadaan ini entalpi uap

lebih besar dari pada keadaan uap saturasi sehingga memiliki energi yang lebih besar yang dapat lebih baik digunakan dalam proses pembangkit tenaga.

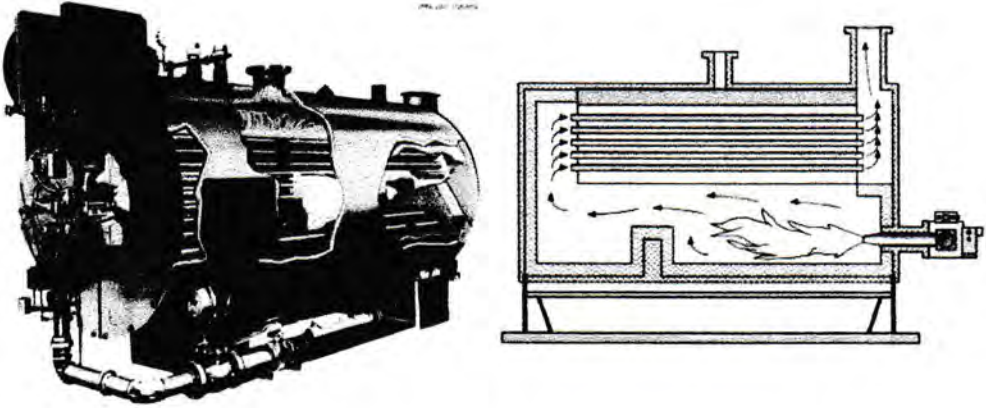
2.2 Sistem pembangkit uap

Pembangkit uap (*steam generator*) biasanya identik dengan penggunaan ketel uap sebagai mesin pembangkit uap. Ketel uap adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Air panas atau steam pada tekanan tertentu dapat digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas kesuatu proses. Ketel uap dalam bidang-bidang industri banyak dijumpai pemanfaatannya seperti untuk pembangkit energi, pengolahan dalam proses kelapa sawit, pengeringan dan lain-lain.

Menurut jenis dan kegunaannya ketel uap sendiri terdiri dari 2 kategori besar yaitu :

1) Ketel uap pipa api (*Fire Tube Boiler*)

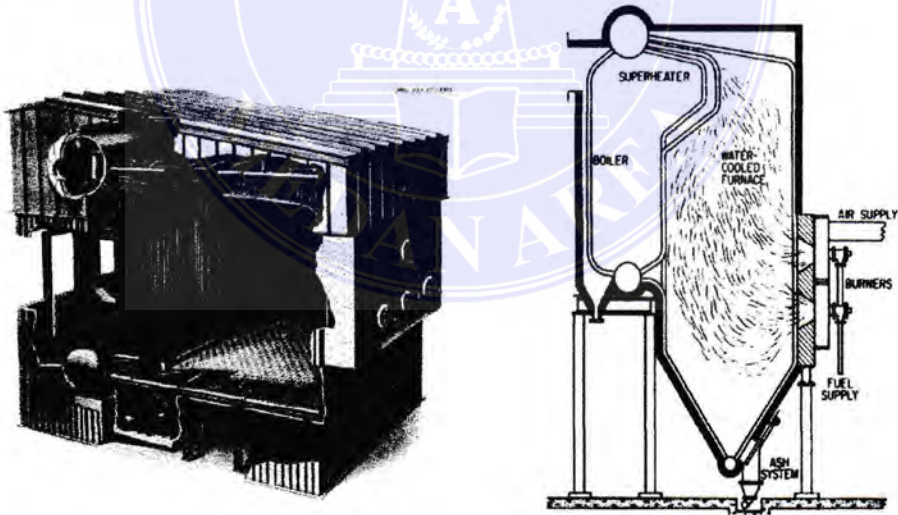
Pada ketel uap pipa api, gas panas melewati pipa-pipa, dan air umpan ketel ada didalam cangkang (*shell*) untuk dirubah menjadi uap (*steam*). Ketel uap pipa api ini biasanya digunakan untuk kapasitas steam rendah sampai sedang. Ketel uap pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat lainnya sesuai dalam operasi pemakaiannya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar ketel uap pipa api dikonstruksikan sebagai "paket boiler" (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar. Keuntungan dalam pemakaian ketel jenis ini yaitu tidak terlalu banyak memakan tempat dalam konstruksinya sehingga lebih efisien.



Gambar 2.1 Ketel uap pipa api beserta proses laju aliran gas asap

2) Ketel uap pipa air (*water tube boiler*)

Pada ketel uap pipa air, air umpan yang mengalir melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas hasil pembakaran untuk membentuk (steam) pada daerah uap dalam drum.

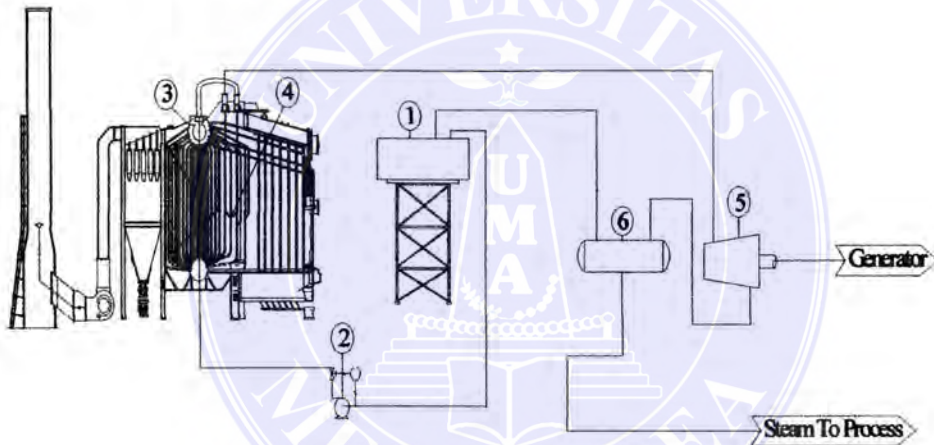


Gambar 2.2 Ketel uap pipa air beserta proses laju aliran gas asap

Pada analisa ini, berdasarkan hasil survey pada PKS Rambutan PTPN-III ketel uap yang digunakan adalah ketel uap Takuma (*Takuma Water Tube Boiler*) dengan tekanan kerja 20 kg/cm^2 .

2.3 Peralatan sistem tenaga uap

Pada proses pengolahan kelapa sawit, diagram alir proses yang terjadi pada sistem pembangkit uap berdasarkan diagram T-s siklus Rankine dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3 Diagram proses laju aliran air menjadi uap dan penggunaannya dalam proses

- | | |
|--------------------|-------------------------------|
| 1) Deaerator | 4) Superheater |
| 2) Feed Water Pump | 5) Turbin Uap |
| 3) Ketel Uap | 6) Back Pressure Vessel (BPV) |

Bagian-bagian pada gambar 2.3 diatas adalah bagian-bagian utama yang umum dalam sistem pembangkit tenaga uap seperti yang terlihat.

2.3.1 Deaerator

Deaerator berfungsi untuk membuang gas-gas yang tidak dapat berkondensasi seperti CO₂ dan O₂. Air umpan yang mengandung gas-gas dapat merusak pipa boiler, pompa dan peralatan lainnya yang bersentuhan langsung/dialiri oleh air tersebut.

2.3.2 Pompa air pengisi ketel (*Feed Water Pump*)

Pompa air pengisi ketel (*Feed Water Pump*) adalah alat untuk pemompa air pengisi ketel uap. Adapun pompa pengisi ketel ini mempunyai fungsi yang sangat penting seperti:

- Ketahanan terhadap temperatur dan tekanan yang tinggi
- Tahan untuk jangka waktu yang lama
- Sirkulasi yang aman
- Dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan beban ketel/beban yang mengalami naik dan turun
- Tetap memiliki efisiensi yang tinggi walaupun beban rendah
- Dapat dioperasikan secara paralel

Adapun jenis-jenis pompa pengisi air ketel yaitu :

- Pompa tipe rotary (*rotary type pump*)

Pompa jenis ini terdiri dari pompa turbin (*turbin pump*) dan pompa sentrifugal (*centrifugal pump*).

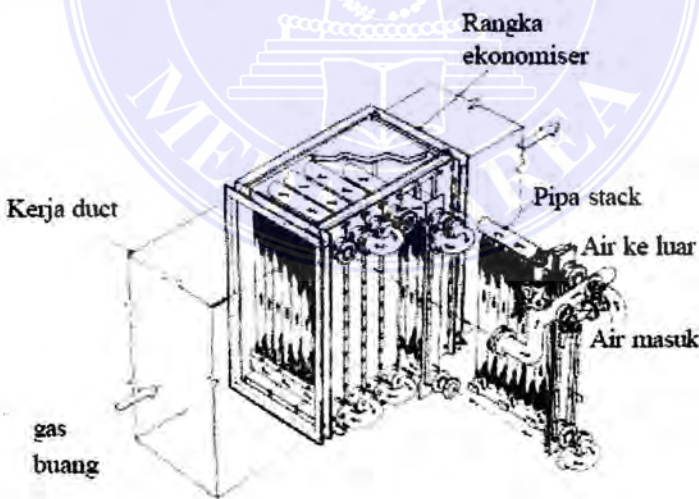
- Pompa tipe recipro (*recipro type pump*)

Pompa jenis ini terdiri dari pompa Washington pump, wear pump dan plunger pump.

2.3.3 Ekonomiser

Peralatan tambahan yang sangat penting pada mesin tenaga uap adalah ekonomiser. Ekonomiser adalah alat sejenis heat exchanger yang terdiri dari fluida air yang masuk kedalam ketel uap melalui susunan pipa-pipa dan sirip. Ekonomiser juga sering disebut sebagai pemanas mula. Pemasangan ekonomiser terletak pada laluan gas buang atau cerobong asap. Ekonomiser dirancang memiliki banyak sirip dari material logam untuk memperluas permukaan singgung perpindahan kalor dari gas buang yang bertemperatur tinggi ke fluida air yang bertemperatur lebih rendah yang terdapat dalam pipa-pipa ekonomiser.

Hal tersebut dilakukan karena fluida air yang terdapat dalam ekonomiser akan mudah menyerap panas melalui gas buang dari hasil proses pembakaran. Sehingga setelah masuk kedalam ketel uap tidak perlu memerlukan energi yang besar untuk memanaskan air tersebut.



Gambar 2.4 Ekonomiser

2.3.4 Ketel Uap (Boiler)

Ketel Uap adalah suatu unit alat yang berfungsi untuk menghasilkan uap (*steam*). Ketel uap juga menjadi faktor utama dalam pencapaian kapasitas olah dan mutu dari pada kinerja pengolahan suatu pabrik, sehingga ada istilah bahwa boiler adalah jantungnya pabrik. Untuk menghasilkan uap, ketel uap menggunakan drum sebagai penampung uap, dimana pada proses penguapan ini air akan dipanaskan melalui proses pembakaran pada ruang bakar. Pada proses ini ruang bakar akan memanaskan dinding ketel bagian luar, selanjutnya panas ini merambat kedinding ketel bagian dalam, kemudian panas tersebut memanaskan air. Adapun air yang langsung mendapatkan panas adalah air yang langsung berdekatan pada sumber panas yang terletak pada dinding-dinding ruang bakar ketel. Oleh karena itu, air yang lebih panas ini akan menguap dan naik keatas, sedangkan air yang lebih dingin akan turun. Air yang lebih dingin ini kemudian akan menjadi lebih panas akibat dari proses pembakaran yang terus berlangsung yang mengakibatkan air ini naik kembali menjadi uap. Dengan demikian, akan terjadilah arus air yang teratur dalam ketel oleh karena pemanasan, proses ini disebut peredaran (*sirkulasi*).

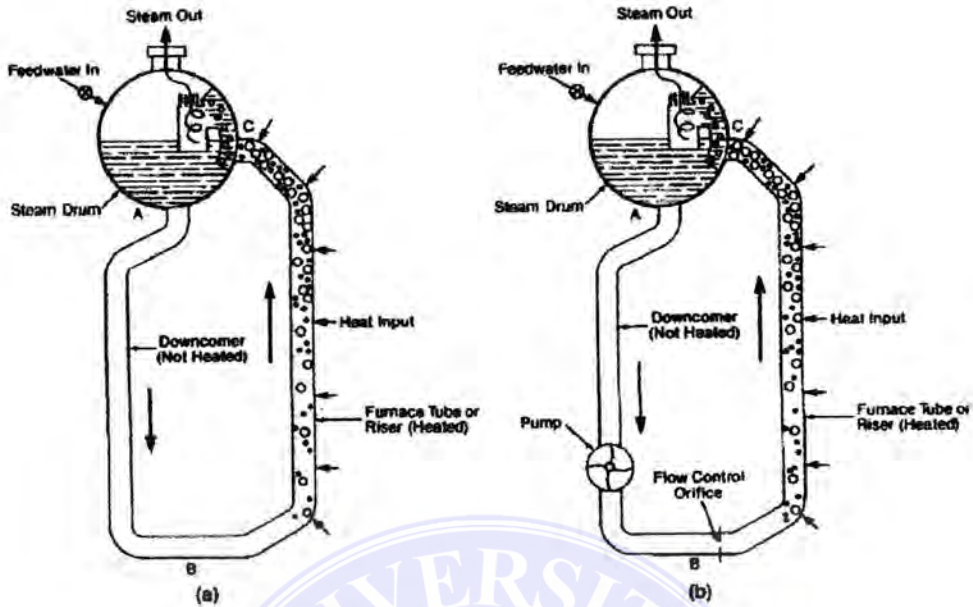
Proses sirkulasi air didalam ketel dapat dibedakan kedalam 2 jenis yaitu :

- Sirkulasi alami {natural circulation)

yaitu sirkulasi yang terjadi secara alami berdasarkan perbedaan kedua densitas dan tinggi drum.

- Sirkulasi paksa (forced circulation)

yaitu sirkulasi yang memerlukan bantuan tambahan berupa pompa yang bertujuan untuk memompakan aliran satu-fase.

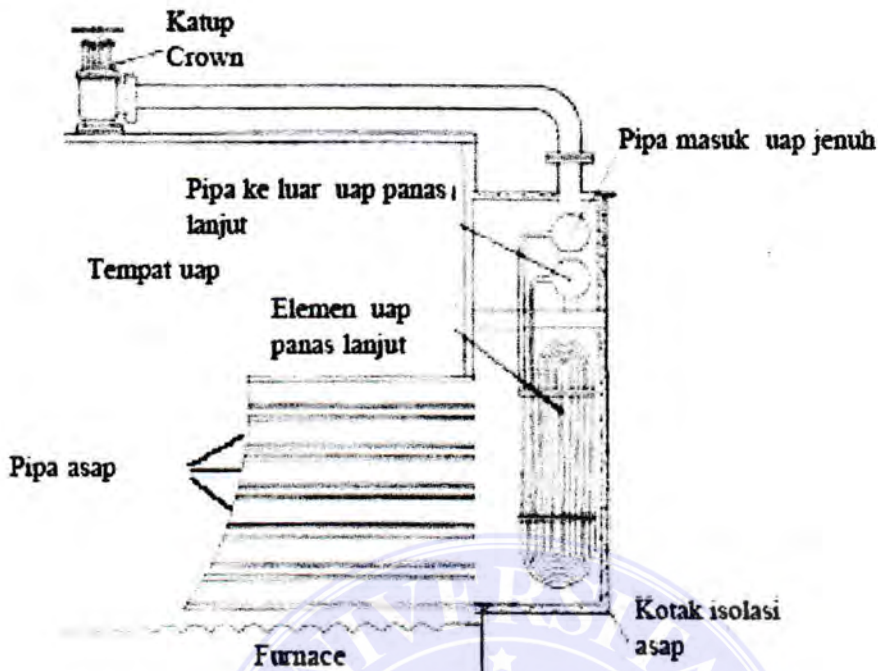


Gambar 2.5 Proses sirkulasi pembentukan uap :

a) sirkulasi alami; b) sirkulasi paksa

2.3.5 Pemanas uap lanjut (Superheater)

Superheater adalah alat untuk memanaskan uap saturasi menjadi uap yang dipanaskan lanjut. Uap yang dipanaskan lanjut bila digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi didalam turbin atau mesin uap tidak akan segera mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan terjadinya pukulan balik (*Back Stroke*) yang diakibatkan mengembunnya uap belum pada waktunya, sehingga menimbulkan vakum ditempat yang tidak semestinya didaerah ekspansi. Kemungkinan terjadinya pukulan balik atau back stroke ditempat yang belum semestinya tersebut lebih mudah terjadi bila yang digunakan adalah uap panas lanjut sebagai penggerak mesin uap ataupun turbin uap.



Gambar 2.6 Superheater

Ada beberapa macam pemanas lanjut yang kita kenal, dilihat dari lokasi penempatannya dibagi menjadi:

a. Superheater konveksi

Yang dilihat dari gas asap dan uap yang mengalir melewatinya, superheater konveksi dapat dibagi menjadi :

- Superheater Konveksi arus searah
- Superheater Konveksi arus berlawanan
- Superheater Konveksi arus kombinasi

b. Superheater Pancaran atau Radiant Superheater

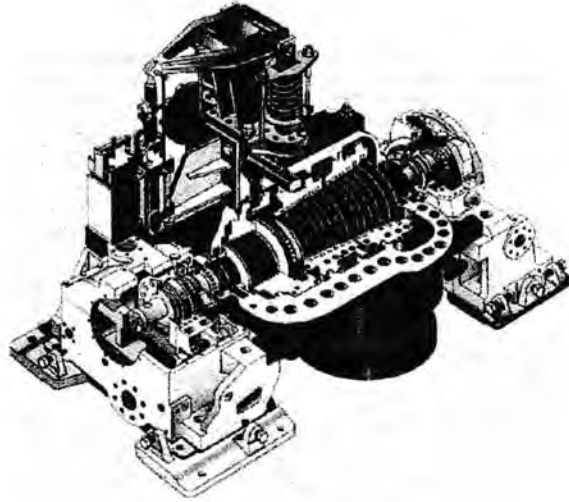
c. Superheater Kombinasi = Superheater konveksi + Superheater Pancaran

Penggunaan superheater memiliki keuntungan antara lain :

- Dapat mengurangi kerugian panas gas asap (flue gas), karena panas gas asap dapat diserap oleh superheater.
- Uap yang dipanas lanjutkan dapat menggerakkan sudu-sudu turbin serta tidak menyebabkan terjadinya korosi pada sudu-sudu turbin.
- Uap jenuh yang dipanas lanjutkan memiliki entalphy yang lebih besar sehingga uap yang dipanas lanjut memiliki energi panas yang besar.
- Dengan menggunakan uap panas lanjut dapat meningkatkan efisiensi siklus.

2.3.6 Turbin uap

Turbin Uap merupakan alat atau mesin yang berfungsi untuk merubah energi uap menjadi energi mekanis supaya menghasilkan energi listrik. Turbin juga digunakan sebagai penurun tekanan yang disalurkan kedalam tabung uap bekas atau Back Pressure Vessel (BPV). Jenis turbin yang digunakan pada PKS adalah jenis turbin impuls. Sudu-sudu pada turbin ini digerakkan oleh steam yang masuk melalui nozzel-nozzel. Penggerak sudu tersebut akan poros sehingga energi yang terdapat dalam steam akan turun.



Gambar 2.7 Turbin uap

2.3.7 Bejana uap bekas (Back Pressure Vessel)

Back Pressure Vessel (BPV) adalah suatu bejana yang digunakan untuk menampung uap bekas dari turbin. Tujuan dari bpv ini adalah sebagai processing terutama pada boiler dan stasiun lainnya yang membutuhkan uap, seperti sterilizer dan lain-lain. Alat ini sendiri dilengkapi dengan katup pengaman tekanan uap (*Safety Valve*) dan keran uap pembagi. Pada beberapa PKS alat ini dilengkapi dengan pompa yang dapat menginjeksikan air kedalam ketel untuk memperbesar produksi uap. Besar air yang diinjeksikan dapat diketahui dengan melihat ketinggian air pada gelas penduga (*Saight Glass*) yang terpasang pada bejana ini.

2.4 Macam-Macam Uap

Pada ketel uap media yang digunakan sebagai perantara ketel uap adalah air. Jadi, air dengan jalan dipanaskan akan berubah menjadi uap. Dan jenis uap ini dapat dibagi menjadi:

- 1) Uap jenuh (saturated steam) yang dapat dibedakan menjadi:
 - a) Uap jenuh basah (wet saturated steam)
 - b) Uap jenuh kering (dry saturated steam)
- 2) Uap panas lanjut (superheated steam)

Uap jenuh (saturated steam) adalah uap yang suhunya sama dengan titik didihnya. Sedangkan uap jenuh basah (wet saturated steam) uap jenuh yang masih mengandung air. Uap jenuh kering (dry saturated steam) sendiri yaitu uap kenyang yang tidak mengandung air atau dengan kata lain memiliki kualitas air 100 % ($x = 1$). Uap panas lanjut memiliki pengertian yaitu uap jenuh yang suhunya dinaikkan lebih tinggi dari tekanan konstannya. Kegunaan dari uap panas lanjut ini antara lain :

- Meningkatkan efisiensi siklus pembangkit tenaga uap sehingga meningkatnya efisiensi turbin
- Meningkatkan entalpi uap air
- Mencegah kerusakan pada sudu-sudu turbin hasil dari uap yang terkondensasi
- Mengurangi terjadinya kondensasi ketika melalui suatu jalur yang panjang

Untuk membedakan antara uap jenuh dan uap panas lanjut yaitu dengan mengetahui ciri-ciri dari uap tersebut. Adapun ciri-ciri dari uap jenuh dan uap panas lanjut, yaitu :

a. Ciri-ciri uap jenuh, yaitu :

- Uap jenuh adalah uap yang dalam keadaan seimbang dengan air yang ada di bawahnya.
- Uap jenuh adalah uap yang mempunyai tekanan dan temperatur yang sama dengan tekanan dan temperatur didih air di bawahnya.

- Uap jenuh adalah uap yang mempunyai pasangan harga antara tekanan dan temperatur didihnya.
- Uap jenuh adalah uap yang apabila didinginkan akan segera mengembun jadi air.
- Uap jenuh adalah uap yang bila melakukan ekspansi atau dibiarkan mengembang akan mengembun jadi air.

b. Adapun ciri-ciri dari uap panas lanjut, yaitu :

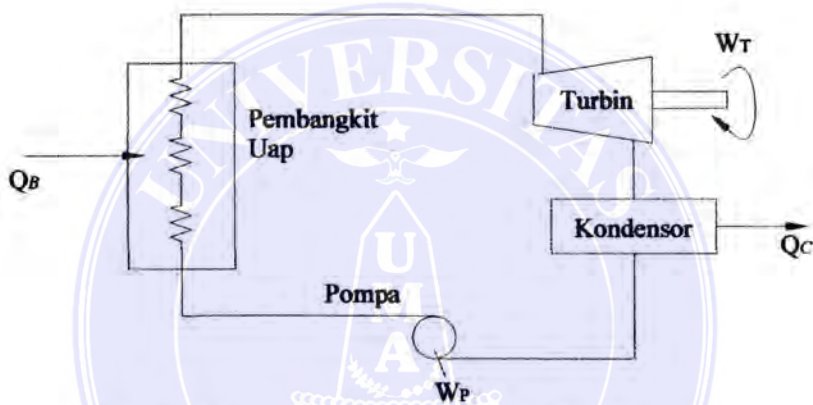
- Uap yang temperaturnya T_u (K) jauh lebih tinggi di atas temperatur didih air T_d (K) pada tekanan P (kg/cm²).
- Uap yang tidak bisa seimbang dengan air.
- Uap yang tidak mempunyai pasangan harga antara tekanan dan temperaturnya.
- Uap yang apabila didinginkan tidak akan segera mengembun.
- Uap yang bila melakukan ekspansi tidak akan mengembun.
- Tidak dapat membuat uap yang dipanaskan lanjut dari uap jenuh selama uap tersebut masih bersinggungan dengan air yang ada di bawahnya.

2.5 Siklus Rankine (*Rankine Cycle*)

Siklus yang berhubungan dengan proses pembentukan uap adalah siklus Rankine (*Rankine Cycle*) yang merupakan siklus teoritis yang paling sederhana yang mempergunakan uap sebagai media kerja. Siklus ini pertama kali dikenalkan oleh William John Rankine (1820 - 1872) yang langsung diterima sebagai standar untuk pembangkit daya.

2.5.1 Siklus Rankine ideal untuk uap saturasi

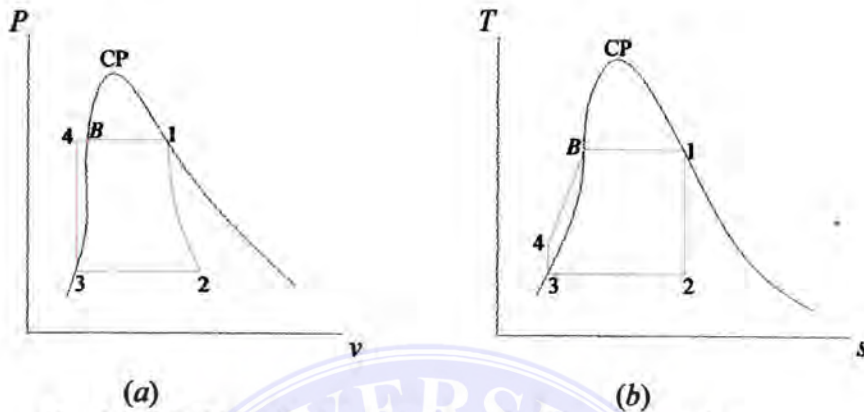
Siklus Rankine ideal adalah siklus yang teoritis yang paling sederhana yang digunakan dengan tidak memperhitungkan kerugian panas yang terjadi. Oleh karena siklus Rankine adalah siklus uap - cair, maka paling baik siklus itu digambarkan pada diagram, P-v dan T-s dengan garis-garis yang menunjukkan uap-jenuh dan cairan-jenuh. Fluida kerjanya biasanya adalah H₂O. Gambar berikut diagram alir sederhana siklus rankine ideal :



Gambar 2.8 Bagan diagram alir siklus Rankine

Pada gambar a dan b ditunjukkan siklus Rankine ideal pada (a) diagram P-v dan (b) diagram T-s. Garis lengkung disebelah kiri titik kritis (CP = Critical Point) pada kedua diagram itu adalah tempat kedudukan semua titik cairan-jenuh dan merupakan garis cairan-jenuh. Daerah disebelah kirinya adalah daerah dingin-lanjut. Garis lengkung disebelah kiri CP adalah tempat kedudukan semua titik uap-jenuh dan merupakan garis uap-jenuh. Daerah disebelah kanan garis ini daerah panas-lanjut. Daerah dibawah kunah merupakan daerah campuran duafase (cairan dan uap), yang kadang-kadang disebut daerah basah.

Siklus 1-2-3-4-B-1 adalah siklus Rankine jenuh, yang berarti bahwa yang masuk kedalam turbin adalah uap jenuh.



Gambar 2.9 Siklus Rankine ideal untuk siklus uap jenuh;

(a) diagram P-v dan (b) diagram T-s, CP = titik kritis

Keterangan :

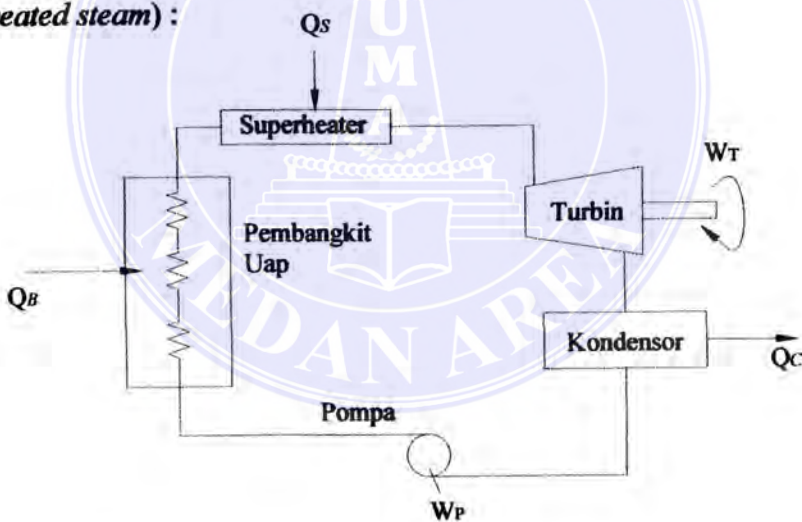
- 1-2 : ekspansi mampu balik adiabatik melalui turbin. Uap keluar pada 2 biasanya dalam keadaan dua-fase.
- 2-3 : proses suhu tetap dan, karena merupakan proses dua-fase, tekanan juga tetap untuk pembuangan kalor pada kondensor.
- 3-4 : kompresi adiabatik mampu balik oleh pompa terhadap cairan jenuh pada tekanan kondensor, 3, menjadi cairan dingin lanjut pada tekanan pembangkit uap, 4. Garis 3-4 merupakan garis vertikal pada diagram P-v atau T-s karena cairan itu pada dasarnya tak mampu mampat dan pompa itu mampu balik adiabatik.

4-1 : penambahan kalor tetap dalam pembangkit uap. Garis 4-B-1 merupakan garis tekanan-tetap pada kedua diagram. Bagian 4-B adalah proses membawa cairan dingin lanjut, 4, menjadi cairan jenuh pada B. Bagian 4-B dalam pembangkit uap disebut *ekonomisator (economizer)*. Bagian B-1 menunjukkan pemanasan cairan jenuh menjadi uap jenuh pada tekanan dan suhu tetap (karena campuran dua fase), dan B-1 dalam pembangkit uap disebut *pendidih (boiler)* atau evaporator (penguap)

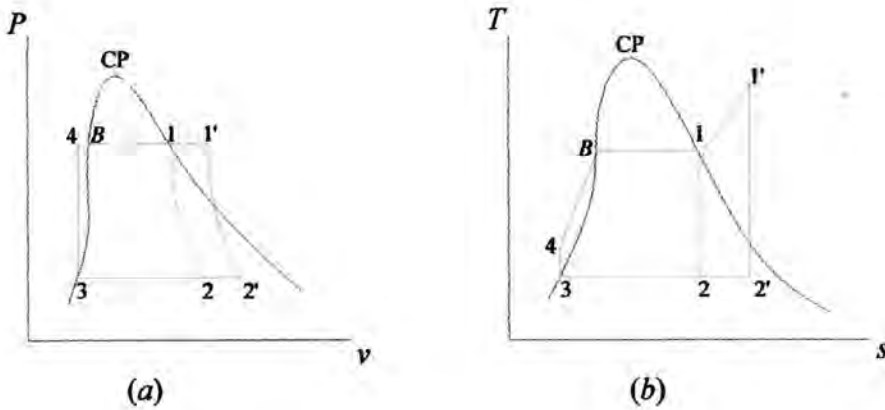
2.5.2 Siklus Rankine ideal untuk uap superheat

Berikut ini merupakan siklus Rankine ideal untuk uap panas lanjut (*superheated steam*):

(*superheated steam*) :



Gambar 2.10 Bagan diagram alir siklus Rankine dengan menggunakan superheater



Gambar 2.11 Siklus Rankine ideal untuk siklus uap panas lanjut;

(a) diagram P-v dan (b) diagram T-s, CP = titik kritis

Dari diagram T-s diatas dapat dilihat persamaan proses yang terjadi seperti pada siklus uap jenuh. Namun, disini yang membedakannya adalah proses 1-1' yaitu menunjukkan pemanasan uap jenuh pada 1 menjadi 1'. Bagian 1-1' dalam pembangkit uap disebut pemanas-lanjut (*superheater*).

Perbedaan kedua siklus diatas sangat berpengaruh terhadap kinerja suatu ketel uap, dimana dengan menggunakan uap panas lanjut maka akan meningkatkan efisiensi siklus. Dengan menggunakan uap panas lanjut ini juga dapat mengurangi kerusakan pada sudu-sudu turbin akibat uap yang terkondensasi.

Siklus-siklus yang ditunjukkan diatas itu semuanya mampu balik secara intern, sehingga turbin dan pompa itu mampu balik adaibatik dan karena itu membentuk garis vertikal dalam diagram T-s ; tidak ada kehilangan tekanan pada pipa, sehingga garis 4-5-1-T merupakan garis tekanan tetap.

Analisa siklus-siklus diatas dapat dilihat pada persamaan-persamaan dalam siklus jenuh berikut:

$$\text{Kalor yang ditambahkan } Q_b = m (h_1 - h_4) \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\text{Kerja turbin WT} = m (h_1 - h_2) \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{Kalor yang dibuang } |Q_c| = m (h_2 - h_3) \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Kerja pompa } |WP| = m (h_4 - h_3) \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{Kerjaneto } A_{Wnet} = (h_1 - h_2) - (h_4 - h_3) \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\text{Efisiensi termaal } \eta_{th} = \frac{\Delta W_{net}}{Q_B} = \frac{(h_1 - h_2) - (h_4 - h_3)}{(h_1 - h_4)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk analisa siklus dalam siklus uap panas lanjut dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\text{Kalor yang ditambahkan } Q_B = m (h_1' - h_4') \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{Kerjaturbin WT} = m (h_1' - h_2') \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$\text{Kalor yang dibuang } |Q_c| = m (h_2' - h_3) \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$\text{Kerja pompa } |WP| = m (h_4 - h_3) \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$\text{Kerja neto } A_{Wnet} = (h_1' - h_2') - (h_4 - h_3) \text{ (kJ/kg)} \dots\dots\dots (2.11)$$

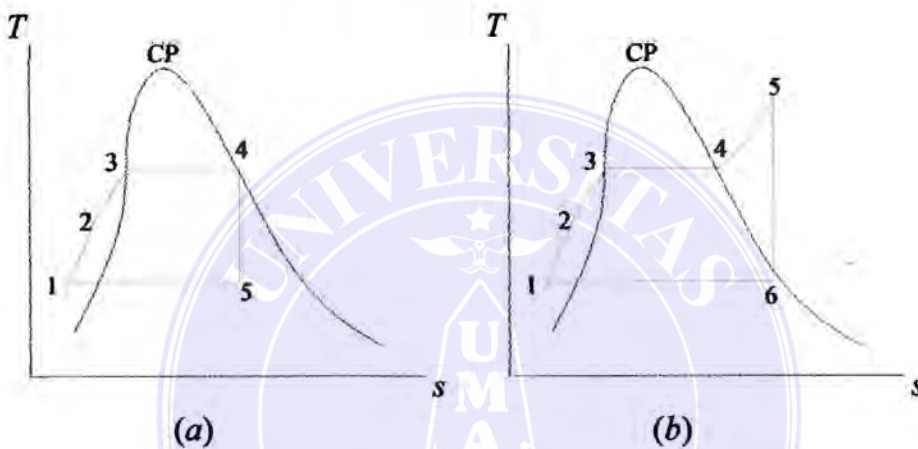
$$\text{Efisiensi termaal } \eta_{th} = \frac{\Delta W_{net}}{Q_B} = \frac{(h_1' - h_2') - (h_4 - h_3)}{(h_1' - h_4)} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dalam menganalisis pengaruh uap saturasi dan uap panas lanjut ini, maka kita perlu membandingkan kinerja dari sistem yang menggunakan salah satu dari uap tersebut.

Dengan perbandingan uap diatas maka pada penulisan ini akan membahas perbedaan antara energi yang terkandung dalam uap saturasi dan energi yang terkandung dalam uap panas lanjut pada pabrik pengolahan kelapa sawit dengan

kapasitas olah 30 Ton TBS/jam. Perbandingan ini meliputi perbandingan efisiensi termal siklus, kualitas uap, rasio kerja balik (*back work ratio*) antara kedua jenis uap tersebut.

Secara skematik proses penggunaan uap saturasi dan uap superheat dalam proses yang terdapat dalam PKS berdasarkan gambar 2.3 dapat dilihat dalam gambar 2.9 diagram T-s berikut ini:



Gambar 2.12 Diagram T-S siklus Rankine untuk
(a) uap saturasi (b) uap superheat

Proses termodinamika dari siklus Rankine tersebut adalah sebagai berikut :

Pada diagram T-s dan gambar diagram proses laju aliran air menjadi uap diatas dapat terlihat bahwa proses 1 - 2 merupakan proses pengolahan air (*water treatment*), dimana pada proses ini air yang telah diolah diberikan panas oleh deaerator (1) melalui panas yang dihasilkan oleh BPV yang bertujuan untuk sebagai pemanas mula dan menghilangkan gas-gas yang terdapat didalam air CO_2 dan O_2 yang dapat menyebabkan korosi pada pipa ketel serta untuk mengurangi

beban ketel. Pada proses ini kemudian air dipompakan kedalam ketel seperti yang terlihat pada proses 2-3 pada diagram T-s, yang akan merubah air menjadi cair jenuh yang kemudian diberi panas melalui pembakaran pada ruang bakar ketel sehingga merubah fasa air dari cair jenuh menjadi uap jenuh seperti yang terlihat pada diagram T-s diatas pada proses 3 -4. Pada proses pengolahan PKS uap jenuh yang dihasilkan ketel dirubah fasa nya kembali oleh superheater (4) menjadi uap panas lanjut yang bertujuan melakukan kerja yaitu untuk menggerakkan turbin uap seperti yang terlihat pada proses 4-5 dari diagram T-s. Uap panas lanjut yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap (5), kemudian mengalami penurunan tekanan dan temperatur sehingga dapat merubah fasa kembali dari uap panas lanjut menjadi uap jenuh seperti yang terlihat pada proses 5-6 dari diagram T-s. Uap hasil dari turbin kemudian ditampung pada suatu bejana yang disebut bejana uap bekas (Back Pressure Vessel) (6). Hasil uap bekas dari turbin yang ditampung pada BPV inilah yang kemudian digunakan dalam proses pengolahan pada pabrik kelapa sawit (PKS).

2.6 Kapasitas olah pabrik

Pada proses pengolahan kelapa sawit ini kapasitas pengolahan merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan kebutuhan uap yang akan digunakan dalam proses pengolahan itu sendiri, sehingga uap yang akan diproduksi akan lebih efisien dengan tidak akan terjadi beban lebih (*over load*) yang dapat mengurangi efisiensi. Dari hasil survey pada PKS Rambutan PTPN III kapasitas pengolahan pabrik yaitu 30 Ton TBS /jam, dimana kapasitas ini dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\text{Kapasitas Olah} = \frac{n.K.M.60.1}{s} \text{ (tonTBS / jam) (2.13)}$$

dimana:

n : Jumlah sterilizer yang digunakan.

l : Jumlah lori dalam satu rebusan.

K : Kapasitas satu lori (ton),

s : Siklus proses sterilisasi yang digunakan (menit).

Dengan kapasitas olah 30 ton TBS / jam ini memerlukan pemakaian uap sebesar 600 kg uap / ton TBS, sehingga laju aliran massa uap perjam dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\text{Laju Aliran Massa Uap} = \text{Kapasitas Pabrik} \times \text{Pemakaian Uap / tonTBS} \dots\dots (2.14)$$

Laju aliran massa uap per detik ini dapat ditentukan dari pembentukan uap yang terjadi dari proses water treatment hingga terjadinya uap. Sehingga laju aliran uap yang akan terbentuk dapat untuk menentukan daya turbin, panas yang diserap ketel dan lain-lain sehingga dengan mengetahui hal tersebut diatas maka akan didapat efisiensi dari siklus pembangkit uap ini.

2.7 Kebutuhan uap pabrik

Menurut Naibaho P.M perhitungan pemakaian uap dalam proses pengolahan didasarkan pada kualitas uap yang berpengaruh terhadap jumlah uap yang digunakan. Pemakaian uap kering lebih sedikit dibandingkan dengan uap basah, akan tetapi penggunaannya tidak dapat dilakukan pada proses yang bersentuhan dengan minyak. Pemakaian uap pada proses pengolahan (kecuali

sterilisasi) bekerja pada tekanan 2 kg/cm² diperhitungkan membutuhkan uap sebesar 300 kg/Ton TBS, sedangkan pada sterilisasi kebutuhan uap tersebut merupakan interaksi antara bahan baku dan tekanan uap yang masuk kedalam sterilizer.

Berikut ini merupakan tabel kebutuhan uap pada proses sterilisasi berdasarkan tekanan uap yang dihasilkan oleh bejana uap bekas (BPV):

Tabel 2.1. Kebutuhan uap untuk proses pengolahan

Tekanan Uap BPV (kg/cm ²)	Masa Perebusan		Sterilisasi (kg/ton TBS)	Kebutuhan Uap Pengolahan (30 Ton TBS/jam)	
	Penahanan (menit)	Total (menit)		(kg/Ton TBS)	
2.5	54	99	396	696	2088
2.6	52	97	386	686	2058
2.7	50	95	377	677	2031
2.8	48	93	368	668	2004
2.9	46.5	91.5	359	659	1977
3.0	45	90	350	650	1950

Sumber: Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit: Naibaho P.M

Dari tabel 2.1 diatas dapat dilihat meningkatnya pemakaian uap akibat pertambahan masa rebus dan pemakaian uap yang bertambah. Dan dari tabel diatas dapat dikatakan bahwa jika ketel hanya mampu menghasilkan uap 2,5 kg/cm² dari BPV maka kebutuhan uap semakin banyak. Oleh sebab itu pemakaian uap dalam pengolahan tidak lepas dari pengaruh pemakaian turbin. Untuk itu, dalam meningkatkan ekstraksi minyak dan inti, maka perencanaan kapasitas ketel hendaknya diperhatikan factor-faktor pemakaian uap.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian yang digunakan adalah :

3.1.1. Studi Pustaka

Untuk mendapatkan gambaran teoritis yang berhubungan dengan *Ketel Uap* agar dapat membandingkan antara Energi Uap Saturasi dan Uap Superheat.

3.1.2. Studi Lapangan

Untuk mengetahui secara actual dan kongkrit yang bersangkutan dengan *Ketel Uap* juga agar dapat membandingkan antara Energi Uap Saturasi dan Uap Superheat pada Sistem Pembangkit Tenaga Uap Kapasitas 30 Ton TBS/Jam.

3.1.3. Analisa

Suatu proses penelitian yang dilakukan untuk menghasilkan gambaran atau kesimpulan akhir dari data lapangan yang diperoleh.

3.2. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

3.2.1. Tempat Pelaksanaan Penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan di Perkebunan Kelapa Sawit PT.Perkebunan Nusantara III Rambutan (PKS PTPN III Rambutan).

3.2.2. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilaksanakan selama dua bulan, terhitung sejak bulan April 2010 sampai dengan bulan September 2010

3.2.3. Tabel Kegiatan Analisa

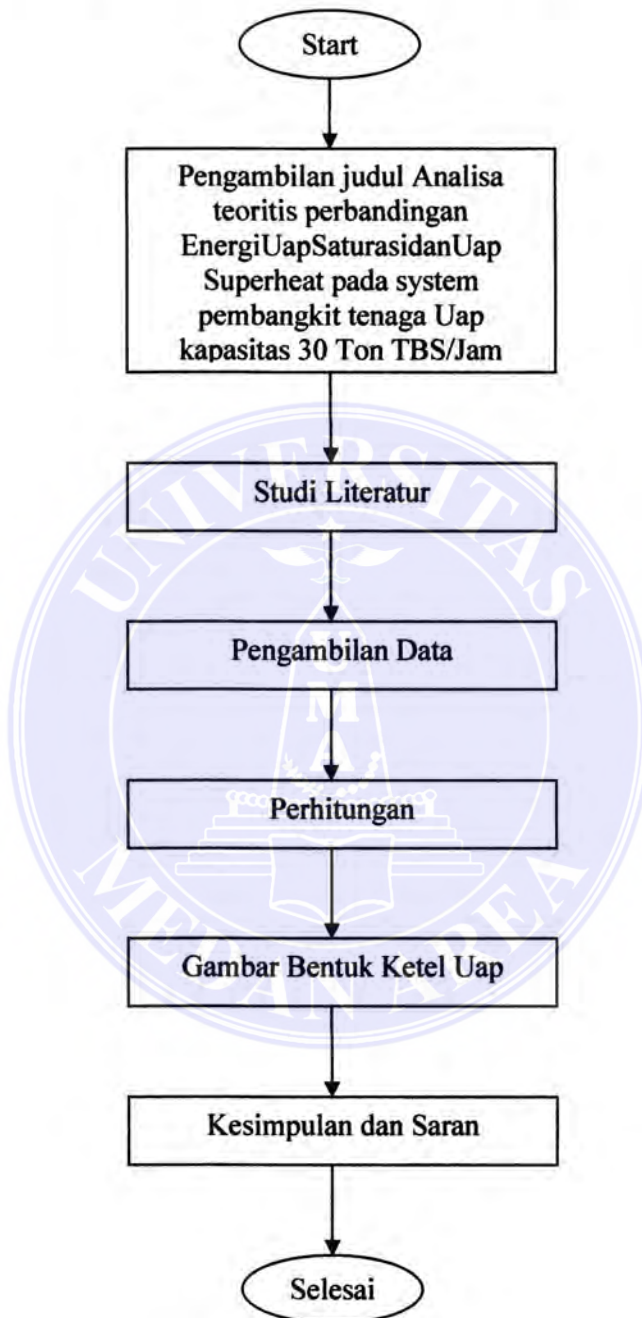
Analisa ini direncanakan selesai mulai dari persiapan hingga selesai dalam waktu enam bulan. Agar tugas akhir ini dapat dilakukan dengan baik maka dibuatlah/disusun suatu jadwal pelaksanaan seperti di bawah ini:

No	Kegiatan	Bulan					
		4	5	6	7	8	9
1	Persiapan :- Tentative Usulan Analisa						
2	proposal						
3	Seminar Proposal						
4	Persiapan: - Literatur, - Bahan						
5	Proses Analisa Data,						
6	Pengambilan Data dan Pengolahan dan Analisis Data						
7	Hasil dan Simpulan						
8	Penyusunan/Pembuatan Laporan						
9	Seminar Hasil						
10	Perbaikan, Penyempurnaan Tugas Akhir						
11	Sidang Tugas Akhir (Meja Hijau)						

Gambar 3.2. Jadwal kegiatan Analisa.

3.3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dapat diuraikan sebagai berikut :



3.3.1 Pengambilan Judul

Judul diambil sesuai kemampuan / pemahaman tentang Ketel Uap dan perbandingan Energi UAp Saturasi dan Uap Superheat.

3.3.2 Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan untuk mendapatkan gambaran secara teoritis mengenai Ketel Uap

3.3.3. Pengambilan Data

Data – data yang dikumpulkan melalui peninjauan lapangan terhadap objek penelitian

3.3.4. Perhitungan

Perhitungan – perhitungan mengenai pengolahan pabrik PKS dengan kapasitas 30 ton TBS/Jam

3.3.5. Gambar

Gambar bentuk jenis – jenis Ketel Uap

3.3.6. Kesimpulan dan Saran

Setelah selesai melakukan penelitian diperoleh beberapa kesimpulan dan saran – saran dalam menganalisa perbandingan Energi Uap Siturasi dengan Uap Superheat

3.4. Sasaran atau Objek Penelitian

Ketel Uap dengan perbandingan antara Energi Uap Saturasi dan Uap Superheat pada Sistem Pembangkit Tenaga Uap Kapasitas 30 Ton TBS/Jam.

3.5. Penyajian Data

Data – data yang diperoleh disajikan dalam bentuk teks atau gambar

3.6. Analisa Data

Analisa dilakukan secara kuantitatif, yaitu dengan menggunakan rumusan

– rumusan atau persamaan – persamaan yang berlaku.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa pembahasan dan uraian tentang perbandingan antara penggunaan uap saturasi dan uap superheat pada sistem pembangkit tenaga uap kapasitas 30 Ton TBS /jam dapat diambil kesimpulan, yaitu :

b) Untuk uap saturasi:

- Kerja Turbin (W_T), yaitu	: 1809,4 kW
- Kerja Pompa (W_p) yaitu	: 9,88 kW
- Kerja bersih (W_{net}), yaitu	: 1799,52 kW
- Panas yang ditambahkan (Q_m), yaitu	: 12091,79 kW
- Panas yang dibuang (Q_{out}) yaitu	: 10292,3 kW
- Efisiensi termal siklus (η_{cycle}), yaitu	: 14,9 %
- Rasio kerja balik (<i>Back Work Ratio</i>) (BWR) yaitu	: 0,55 %

c) Untuk uap superheat:

- Kerja Turbin (W_T) yaitu	: 2130,08 kW
- Kerja Pompa (W_p), yaitu	: 9,88 kW
- Kerja bersih (W_{net}) yaitu	: 2120,2kW
- Panas yang ditambahkan (Q_m), yaitu	: 13301,39 kW
- Panas yang dibuang (Q_{out}) yaitu	: 11181,2 kW
- Efisiensi termal siklus (η_{cycle}), yaitu	: 15,9%
- Rasio kerja balik (<i>Back Work Ratio</i>) (BWR) yaitu	: 0,46 %

Dari hasil perbandingan diatas dapat dilihat perbedaan perbandingan antara penggunaan uap saturasi dan uap superheat Dengan menggunakan uap superheat ini maka akan meningkatkan energi yang akan dihasilkan dan akan meningkatkan efisiensi dari siklus pembangkit tenaga itu sendiri.

Jadi dengan perbandingan antara kedua jenis uap yang boleh digunakan agar mendapat tenaga yang lebih efisiensi digunakan Uap Superheat.

5.2 Saran

Perbandingan energi uap saturasi dan uap superheat ini hanya bersifat perbandingan siklus rankine ideal saja, yaitu dengan tidak memperhitungkan loses-loses yang terjadi. Untuk itu diharapkan kedepannya nanti agar ada perbaikan-perbaikan berupa perhitungan aktual siklus rankine dan modifikasi-modifikasi siklus lainnya seperti penggunaan reheter dan lain-lain yang berguna untuk meningkatkan efisiensi dari siklus pembangkit tenaga uap.

Pada tulisan ini masih banyak kekurangan dalam banyak hal, oleh sebab itu diharapkan pada para pembaca dapat mengoreksi dengan memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun agar lebih baik nantinya dikemudian hari.

LITERATUR

El-Wakil, MM (1992) Instalasi Pembangkit Daya. Erlangga, Jakarta.

Harahap, Filino dan Silaban, Pantur. (1983) Termodinamika Teknik, Erlangga, Jakarta.

Holman, JP. (1993) Perpindahan Kalor, Erlangga, Jakarta.

Kaminski, Deborah A. and Jensen, Michael K. (2005) Introduction to THERMAL and

FLUID ENGINEERING. Jhon Wiley & Sons, USA.

M.Naibaho, Ponten. (1998) Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit, Pusat Penelitian Kelapa

Sawit, Medan.

Muin, A Syamsir. (1993) Pesawat-Pesawat Konversi EnergiU Cv.Rajawali, Jakarta.

Styardjo, MJ. Djoko. (1989) Ketel Uap, PT. Prad

