

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus PLTU

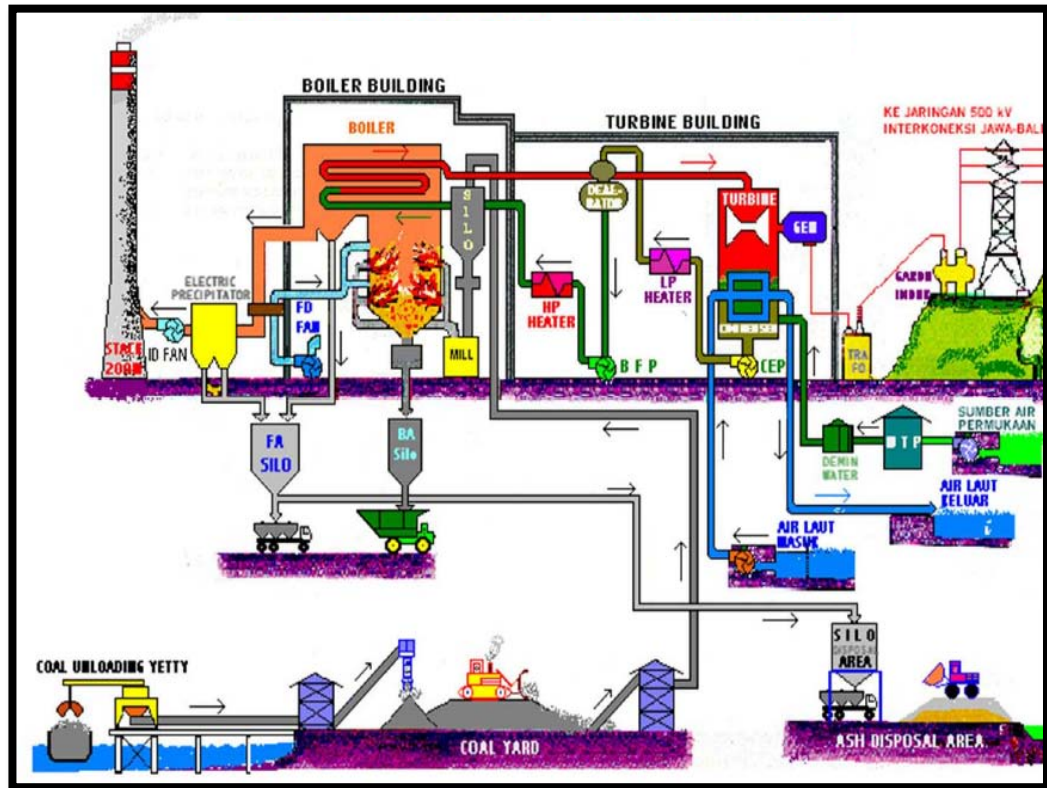
Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah suatu sistem pembangkit *thermal* dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros sudu-sudu turbin. Pada prinsipnya pengertian memproduksi listrik dengan sistem tenaga uap adalah dengan mengambil energi panas yang terkandung di dalam bahan bakar batubara yang terbakar didalam *boiler*, untuk produksi uap kemudian dipindahkan ke dalam turbin, kemudian turbin tersebut akan merubah energi panas yang diterima menjadi energi mekanis dalam bentuk gerak putar. Dari gerakan putar ini kemudian seporos dengan generator yang akhirnya dapat menghasilkan listrik.

Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu :

- a) Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi
- b) Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
- c) Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

Dari perpindahan energi-energi diatas proses yang terjadi dengan peralatan-peralatan yang ada kaitannya dengan aliran, tekanan, dan temperatur yang tinggi serta proses-proses kimia yang tidak bisa dihindarkan.

Karena material dari peralatan mempunyai keterbatasan kemampuan maka diperlukan pola pengoperasian serta monitoring yang teliti dan hati-hati secara terus menerus sehingga keandalan dan efisiensi dapat dipertahankan.



Sumber : Operasi Pembangkit, PT PJB

Gambar 2.1 Diagram alur siklus PLTU

Dalam perubahan energi di berbagai komponen utama PLTU memerlukan perantara yang disebut fluida kerja. Fluida yang dimaksud dalam proses tersebut adalah air yang dimana digunakan sebagai perantara yang akan mengalir melintasi beberapa komponen utama PLTU dalam suatu siklus tertutup.

Fluida kerja akan mengalami perubahan wujud saat melintasi siklus tertutup tersebut, yaitu dari air menjadi uap dan akan kembali lagi menjadi air, karena itu siklus fluida kerja dapat dipisahkan menjadi tiga sistem, yaitu sistem uap, sistem air kondensat dan sistem air pengisi.

2.1.1 Sistem uap

Sistem uap merupakan bagian dari siklus dimana fluida kerja berada dalam wujud uap dan dapat dikelompokkan menjadi sistem uap utama, sistem uap panas ulang(*reheat*), sistem uap ekstraksi .

a) **Sistem uap utama (*Main Steam System*)**

Sistem uap utama merupakan rangkaian pipa saluran untuk mengalirkan uap yang keluar dari *boiler* ke turbin.

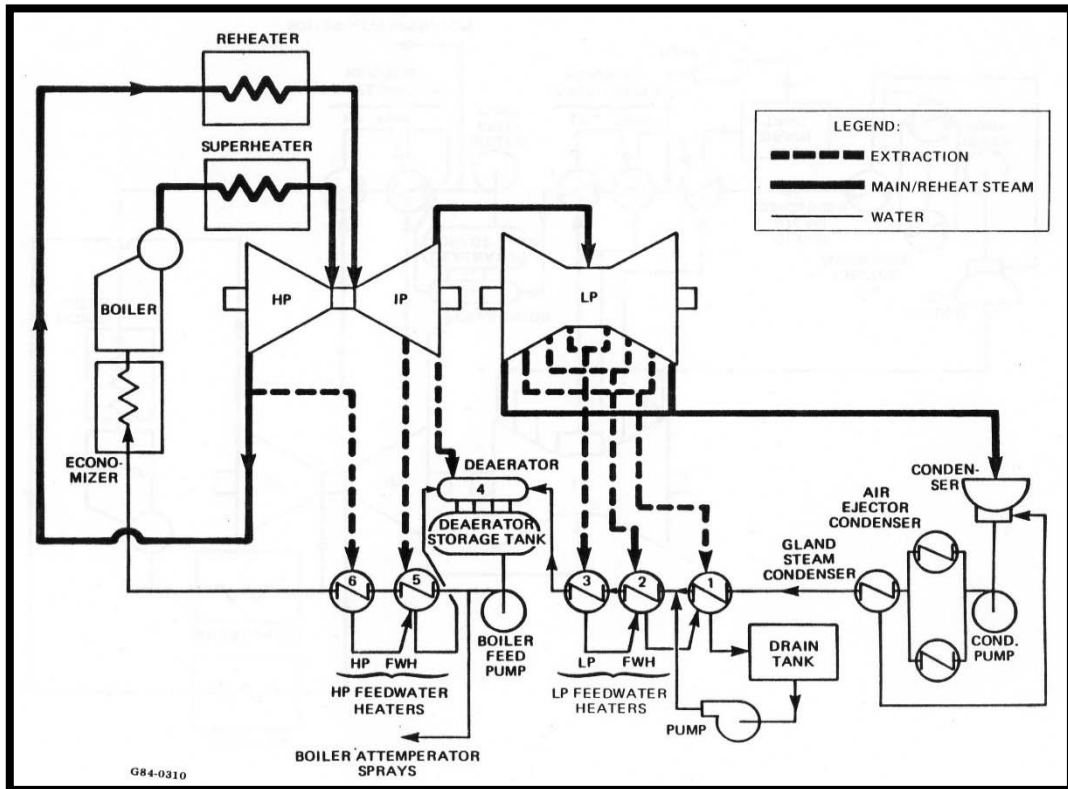
b) **Sistem uap panas ulang (*Reheat Steam System*)**

Sistem uap panas ulang ini hanya terdapat pada PLTU dengan turbin *reheat* . Juga merupakan rangkaian pipa saluran uap yang terdiri dari dua segmen yaitu yang menyalurkan uap bekas dari turbin tekanan tinggi kembali ke *boiler*(*cold reheat*) dan yang menyalurkan uap dari *boiler* ke turbin tekanan menengah/rendah (*hot reheat*).

c) **Sistem Uap Ekstraksi (*Extraction / Bled Steam System*)**

Sistem uap ekstraksi adalah uap yang melintasi turbin hingga keluar ke kondensor, uap diekstrak di beberapa titik dan pada umumnya uap ini dialirkan ke pemanas awal air pengisi (*Feed water Heater*) untuk memanaskan air kondensat / air pengisi. Seperti dialirkan pada *Low preassure heater, High preassure heater, deaerator, boiler feed pump*, dll.

Gambar 2.2 dibawah ini menunjukkan skema alur ketiga jenis sistem uap. Pada garis tebal menunjukan sistem alur uap utama/ sistem uap *reheat* , pada garis putus-putus menunjukan sistem alur uap ekstraksi, dan pada garis lurus tipis menunjukan alur dari air pengisi.



Sumber : PT.PLN (Persero),2006

Gambar 2.2 Skema alur sistem uap dan air

2.1.2 Sistem air kondensat

Sistem air kondensat merupakan sumber pasokan utama untuk sistem air pengisi *boiler*. Mayoritas air kondensat berasal dari proses kondensasi uap bekas didalam kondensor. Rentang sistem air kondensat adalah mulai dari *hotwell* sampai ke Dearator. Selama berada dalam rentang sistem air kondensat, air mengalami 3 proses utama yaitu pemanasai pemurnian dan mengalami deaerasi.

a) Pemanasan

Pada proses pemanasan air mengalami pemanasan pada berbagai komponen antara lain di *gland steam condensor*, di *air ejector* dan di beberapa pemanas awal air pengisi tekanan rendah. Pemanasan ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi siklus serta menghemat pemakaian bahan bakar.

b) Pemurnian

Proses pemurnian dilakukan didalam sistem air kondensat dilakukan dengan cara mengalirkan air kondensat melintasi penukar ion (*Condensate Polishing*). Melalui proses pemurnian internal ini, maka pencemar yang dapat mengakibatkan deposit maupun korosi pada komponen-komponen *boiler* dapat dihilangkan sehingga kualitas air kondensat menjadi lebih baik. Terjadinya deposit di *boiler* yang disebabkan oleh kualitas air yang buruk, dapat mengakibatkan terhambatnya proses perpindahan panas di dalam *boiler* dan pada kondisi ekstrim dapat mengakibatkan bocornya pipa-pipa *boiler* akibat *over heating*.

c) Deaerasi

Deaerasi adalah proses pembuangan pencemar gas dari dalam air kondensat. Gas-gas pencemar yang ada dalam air kondensat misalnya oksigen (O₂), carbondioksida (CO₂) dan non condensable gas lainnya. Pencemar gas dapat menyebabkan korosi pada saluran dan komponen-komponen yang dilalui air kondensat. Proses deaerasi ini terjadi di dalam deaerator yang merupakan komponen paling hilir dari sistem air kondensat.

2.1.3 Sistem air pengisi

Sistem air pengisi adalah merupakan kelanjutan dari sistem air kondensat. Terminal akhir dari sistem air kondensat adalah deaerator yang merupakan pemasok air ke sisi hisap pompa air pengisi. Mulai dari sini, air yang sama berubah nama menjadi air pengisi. Perbedaan yang mencolok antara air kondensat

dengan air pengisi terletak pada tekanannya. Tekanan air pada sistem air pengisi naik hingga lebih tinggi dari tekanan *boiler*.

Fungsi dari sistem air pengisi hampir sama dengan sistem air kondensat yaitu untuk menaikkan tekanan, menaikkan temperatur serta memurnikan air pengisi. Tekanan air pengisi perlu dinaikkan agar air pengisi dapat mengalir ke dalam *boiler*. Tugas ini dilaksanakan oleh pompa air pengisi *boiler* (BFP). Di samping itu, selama melintasi sistem, air pengisi mengalami beberapa tahap pemanasan sehingga mengalami kenaikan temperatur. Pemanasan ini dilakukan untuk dua tujuan. Pertama, semakin dekat temperatur air pengisi masuk *boiler* dengan titik didih air pada tekanan *boiler*, maka semakin sedikit bahan bakar yang diperlukan untuk proses penguapan didalam *boiler*. Kedua, temperatur air pengisi yang akan masuk *boiler* sedapat mungkin harus mendekati temperatur metal *boiler* sebab perbedaan yang besar antara keduanya dapat menimbulkan kerusakan komponen *boiler* akibat *thermal stress*.

Fungsi pemurnian bertujuan untuk menghilangkan zat-zat pencemar padat dari air pengisi melalui cara kimia yaitu dengan meninjeksikan bahan kimia guna menggumpalkan zat-zat padat yang terlarut dalam air pengisi. Gumpalan zat-zat padat ini kemudian dapat dibuang melalui saluran *blowdown* pada *boiler* (PT.PLN,2006).

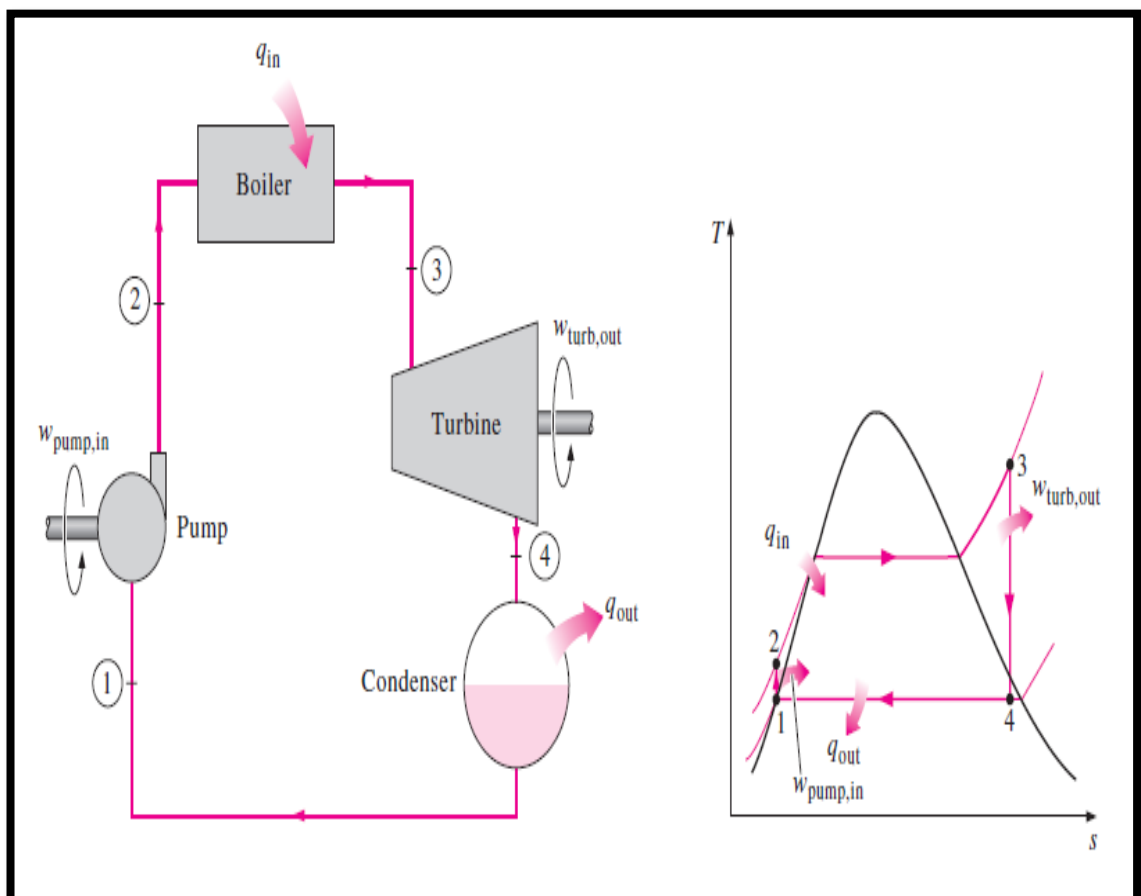
2.2 Siklus Rankine

Siklus merupakan rangkaian sebuah proses dimana dimulai dari suatu tingkat kondisi yang akan kembali ke tingkat kondisi semula dan selalu berulang. Pada pembangkit tenaga uap, fluida yang mengalami proses-proses tersebut

adalah air. Air berfungsi sebagai fluida kerja. Air dalam siklus kerjanya mengalami proses-proses pemanasan, penguapan, ekspansi, pendinginan, dan kompresi. Siklus standar pembangkit tenaga uap adalah siklus *Rankine*. Siklus *Rankine* sederhana terdiri dari empat komponen utama yaitu pompa, boiler, turbin, dan *condensor* (PT.PLN,2006).

2.2.1 Siklus Rankine Superheat

Siklus Rankine *Superheat* adalah siklus Rankine ideal yang mengalami proses pemanasan lanjut untuk mendapatkan uap kering seperti pada Gambar 2.3.



Sumber : Boles and Cengel, 579

Gambar 2.3 Siklus Rankine Superheat

Proses siklus rankine superheat yaitu pertama air pengisi atau air kondensasi pada kondensat akan dipanaskan kembali melewati beberapa alat heat

exchanger seperti, *Gland steam condensor* dan *Low pressure heater*. Setelah mengalami pemanasan temperatur air pengisi akan naik . Selanjutnya air akan di pompakan menggunakan BFP (*Boiler Feed Pump*) menuju ke pemanasan awal pada boiler yaitu melalui *ekonomizer* dan *steam drum*. Pada *steam drum* akan mengalami proses alami dimana air yang akan menjadi uap basah akan naik menuju *superheater* , jika masih berbentuk cair akan jatuh menuju ke *downcomer* lalu menuju *riser* untuk pemanasan dengan memanfaatkan panas dari gas buang dan akan kembali lagi ke *steam drum* sampai semua berubah fase menjadi uap basah. Selanjutnya pada *superheater* uap basah akan mengalami pemanasan kembali sehingga berubah menjadi uap kering. Lalu uap kering atau juga dapat disebut sebagai *main steam* ini akan digunakan untuk memutar turbin , selanjutnya uap keluaran dari turbin uap tidak mengalami reheat atau pemanasan ulang. Melainkan langsung dikondensasikan pada kondensor.

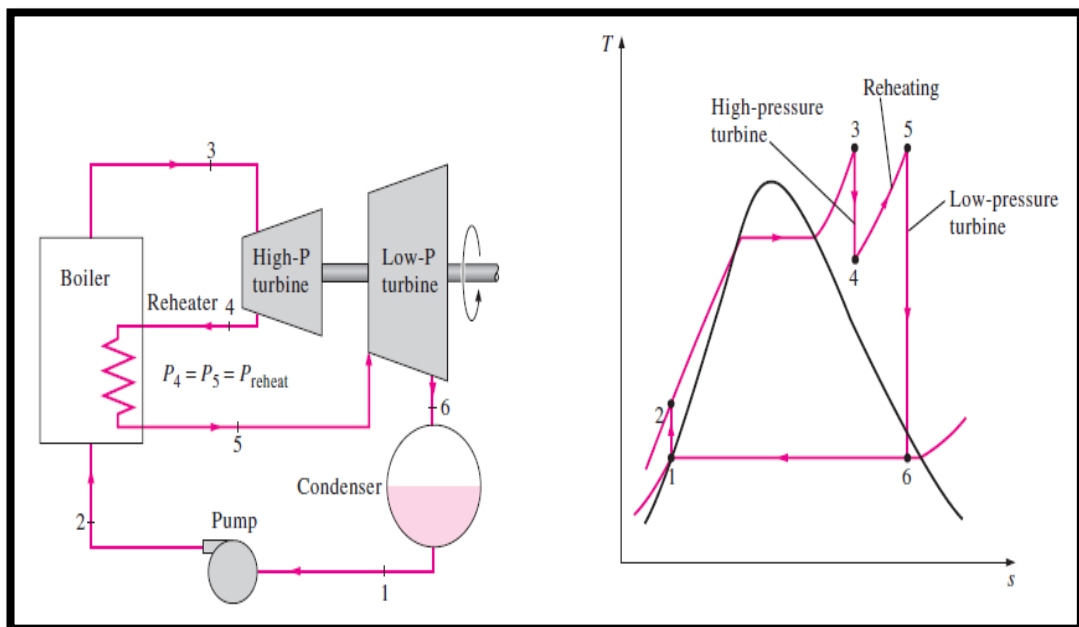
Siklus seperti ini hanya digunakan pada proses pembangkitan dengan kapasitas kecil , karena tidak adanya pemanasan ulang atau reheat . Kekurangan dari siklus ini adalah kurangnya pemanfaatan dari *steam* keluaran turbin yang mana temperatur keluarannya masih tinggi, dan juga dengan tingginya temperatur *steam* keluaran turbin akan memacu kerja kondensor sehingga akan banyak *spray* air yang digunakan untuk menjaga temperatur air kondensat.

Adapun penjelasan Siklus Rankine *Superheat* tersebut adalah sebagai berikut :

- 1 – 2 : Kompresi isentropis pada pompa
- 2 – 3 : Penambahan kalor dengan tekanan konstanta di *boiler*
- 3 – 4 : Ekspansi isentropis pada turbin
- 4 – 1 : Pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada kondensor

2.2.2 Siklus Rankine dengan Pemanas Ulang

Proses siklus *rankine* dengan Pemanas Ulang adalah pertama air pengisi atau hasil kondensasi dari kondensator mengalami pemanasan pada berbagai alat *heat exchanger*, selanjutnya air pengisi dipompakan menuju ke boiler. Selanjutnya uap akan memutar turbin pada bagian turbin tekanan tinggi, sehingga uap akan mengalami penurunan temperatur dan tekanan setelah digunakan untuk memutar turbin tekanan tinggi, maka dari itu uap akan mengalami pemanasan ulang (*reheat*) di dalam *boiler* setelah keluar dari turbin tekanan tinggi yang akan masuk ke turbin tekanan rendah. Sistem *reheat* ini bertujuan untuk menaikkan entalpi uap sehingga energi uap juga ikut naik. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi siklus. Proses siklus Rankine dengan pemanas ulang akan di jelas kan pada gambar 2.4.



Sumber : Boles and Cengel, 591

Gambar 2.4 Siklus Rankine dengan pemanasan ulang

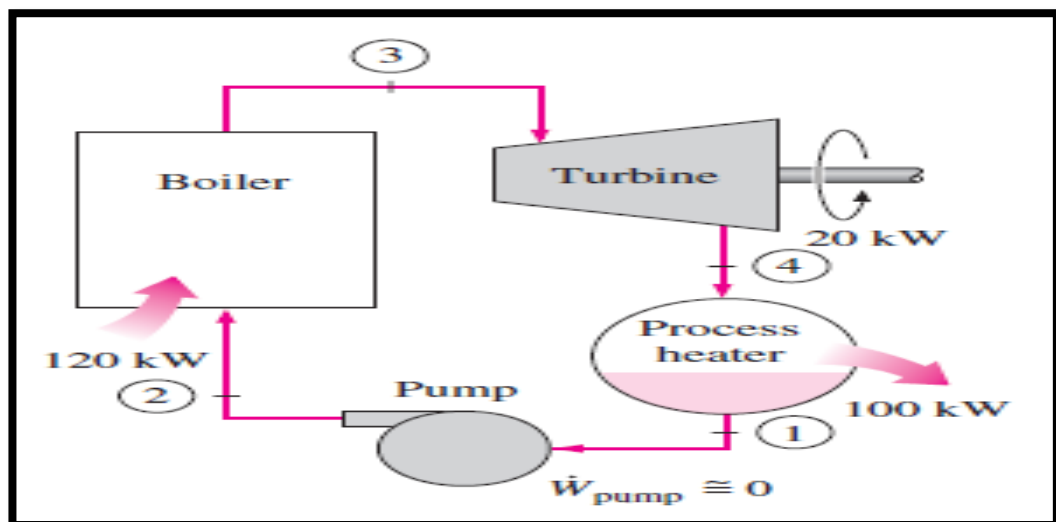
Adapun penjelasan siklus rankine dengan pemanasan ulang diatas sebagai berikut :

- 1 – 2 : Kompresi isentropis pada pompa
- 2 – 3 : Penambahan kalor dengan tekanan konstan di *boiler*

- 3 – 4 : Ekspansi isentropis pada *High Pressure Turbine*
- 4 – 5 : Pemanasan ulang uap dari turbin tingkat pertama dengan tekanan konstan
- 5 – 6 : Ekspansi isentropis menuju *Low Pressure Turbine*
- 6 – 1 : Pelepasan kalor dengan tekanan konstan pada kondensor

2.2.3 Siklus Rankine dengan Konegerasi

Siklus rankine dengan konegerasi adalah siklus yang memanfaatkan proses ekspansi dari turbin untuk dimanfaatkan untuk proses lainnya. Dimana pada siklus pada umumnya ekspansi turbin hanya akan di buang ke lingkungan dengan bantuan kondensor. Siklus konegerasi ini termasuk dalam siklus terbuka, dan tidak ada dalam proses pembangkitan, hanya ada dalam pabrik-pabrik industri, seperti penyulngan minyak, pabrik kertas, pabrik tekstil, dan lain sebagainya. Keunggulan dari proses ini adalah uap keluaran dari turbin masih dapat di gunakan seperti untuk pemanasan pada alat – alat yang membutuhkan kalor. Prosesnya dapat dilihat pada gambar (Gambar 2.5)



Sumber : Boles, Cengel, 605

Gambar 2.5 Siklus Rankine Kogenerasi

Adapun penjelasan siklus rankine kogenerasi adalah sebagai berikut :

- 1 – 2 : Kompresi isentropis pada pompa

- 2 – 3 : Penambahan kalor dengan tekanan konstan di *boiler*
- 3 – 4 : Ekspansi isentropis pada turbin
- 4 – 1 : Pelepasan kalor keluaran turbin dengan memanfaatkannya untuk proses
Lainnya

2.3 Keseimbangan massa dan energi

Proses aliran *steady* sering kita jumpai terutama pada peristiwa mengalirnya

fluida di dalam suatu peralatan. Aliran *Steady* ini berkaitan dengan berlangsungnya suatu proses tidak tergantung kepada waktu, dengan kata lain jumlah massa yang masuk sama dengan jumlah massa yang keluar atau bersifat kontinue. Persamaannya adalah sebagai berikut dikutip pada buku (¹Cengel,Y.A, Boles,M.A,2006:230) :

$$\sum_{in} \dot{m} = \sum_{out} \dot{m} \dots\dots^1$$

Perubahan yang terjadi kenaikan atau penurunan dalam energi total sistem selama proses sama dengan perbedaan antara jumlah energi yang masuk dan energi total meninggalkan sistem selama proses tersebut. Secara umum persamaan energi pada suatu proses,dikutip pada buku (²Cengel,Y.A, Boles,M.A,2006:74) adalah :

$$\Delta E_{system} = E_{in} - E_{out} \dots\dots^2$$

Untuk sistem tertutup seperti sebuah siklus dimana kondisi awal identik dengan kondisi akhir (³Cengel,Y.A, Boles,M.A,2006:231) :

$$E_{in} = E_{out} \dots\dots^3$$

Dalamsuatu sistem tertutup tidak terdapat aliran massa yang melewati batas sistemnya maka kesetimbangan energi dalam suatu siklus dapat dinyatakan energi panas sebanding dengan kerja yang terjadi (⁴Cengel, Y.A, Boles, M.A, 2006:74) :

$$W_{net,out} = W_{net,in} \dots\dots^4$$

2.4 Definisi turbin uap

Turbin uap merupakan suatu peralatan yang berfungsi untuk merubah energi yang terkandung dalam uap (entalpi) menjadi energi mekanik berupa momen putar pada poros turbin. Saat uap mengalir melalui nosel dan sudu diam yang terpasang pada stator turbin, maka terjadilah perubahan energi panas yang terkandung pada uap menjadi energi kinetik berupa kecepatan aliran uap. Saat uap kecepatan tinggi mengalir melalui sudu gerak yang terpasang pada rotor turbin, maka terjadilah perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. (PT.PLN,2006)

2.5 Klasifikasi turbin uap

Pada suatu industri atau bidang pembangkitan turbin uapnya tidak akan sama satu sama lain, karena lain tempat lain pula kegunaannya. Turbin uap memiliki banyak variasi, susunan, karakteristik. Oleh karena itu turbin dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok diantaranya :

2.5.1 Ditinjau dari segi azas tekanan

2.5.1.1 Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin yang energi potensial uapnya diubah menjadi energi kinetik di dalam nosel atau laluan yang dibentuk oleh sudu-sudu diam yang berdekatan, dan pada sudu-sudu gerak, energi kinetik uap dirubah menjadi energi mekanis. (P.Shlyakhin,1990).

a. Sudu turbin Impuls

Sudu impuls juga disebut sudu aksi atau sudu tekanan tetap, adalah sudu dimana uap mengalami ekspansi hanya dalam sudu-sudu tetap. Sudu-sudu tetap berfungsi sebagai nosel (saluran pancar) sehingga uap yang melewati akan mengalami peningkatan energi kinetik. Uap dengan kecepatan tinggi selanjutnya akan membentur (impuls) sudu-sudu gerak. Benturan antara uap dengan sudu gerak ini menimbulkan gaya yang mengakibatkan poros turbin berputar. Setelah memutar sudu gerak, selanjutnya uap diarahkan masuk ke dalam sudu tetap baris berikutnya. Selama melintasi sudu gerak tekanan dan entalpi uap tidak berubah. Dengan demikian pada sudu impuls penurunan tekanan dan energi panas uap hanya terjadi pada sudu sudu tetap atau nosel.(PT.PLN PUSDIKLAT, 2006)

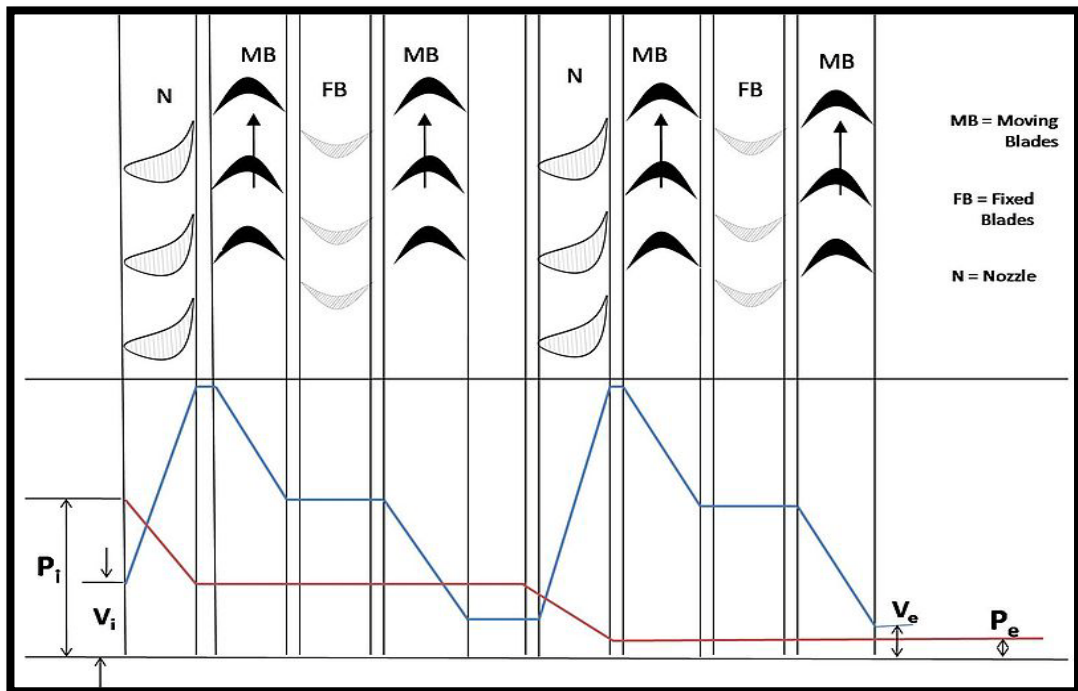
2.5.1.2 Turbin Reaksi

Turbin reaksi terdiri dari sudu-sudu reaksi, maka sudu-sudu gerak juga berfungsi sebagai nosel-nosel sehingga uap yang melewatinya akan mengalami peningkatankecepatan dan penurunan tekanan. Pada turbin reaksi, proses ekspansi (penurunan tekanan) terjadi baik di dalam baris sudu tetap maupun sudu geraknya.(PT.PLN PUSDIKLAT, 2006)

b. Sudu turbin Reaksi

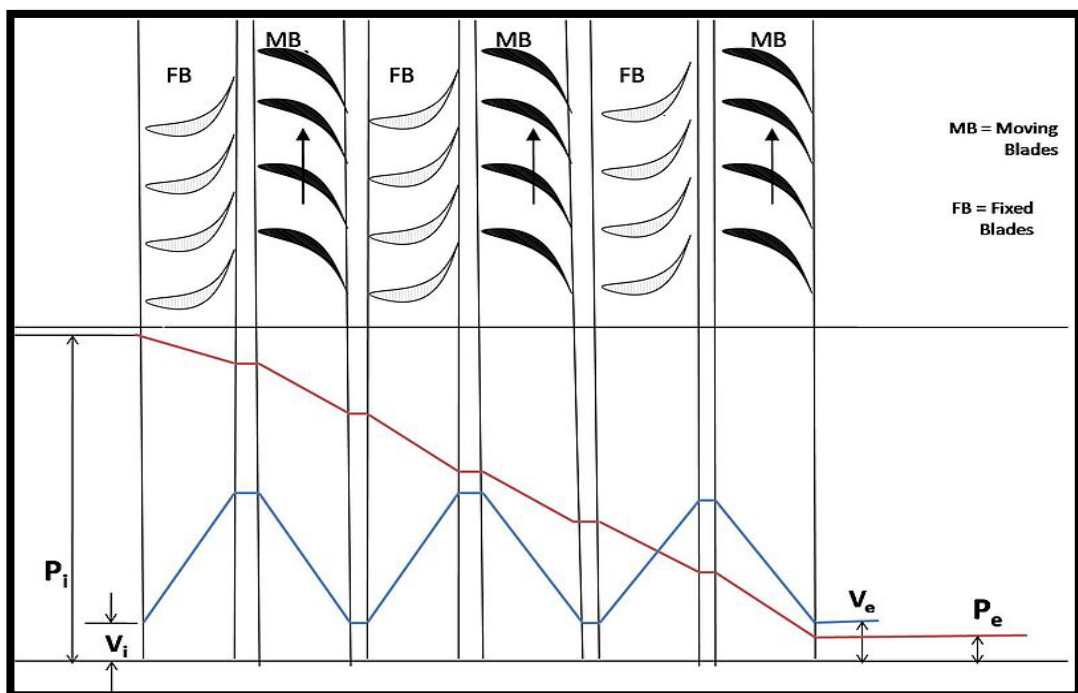
Turbin yang terdiri dari 100 % sudu-sudu reaksi, Dalam hal ini baris sudu tetap maupun sudu geraknya berfungsi sebagai nosel, sehingga kecepatan relatif uap keluar setiap sudu lebih besar dari kecepatan relatif uap masuk sudu yang bersangkutan. Meskipun demikian, kecepatan absolut uap keluar sudu gerak lebih kecil dari pada kecepatan absolut uap masuk sudu gerak yang bersangkutan, oleh

karena sebagian energi kinetiknya diubah menjadi kerja memutar roda turbin.



Sumber : <http://www.agussuwasono.com/>

Gambar 2.6 Penggambaran sudu dan grafik tekanan dan kecepatan Turbin Impuls



Sumber : <http://www.agussuwasono.com/>

Gambar 2.7 Penggambaran sudu dan grafik tekanan dan kecepatan Turbin

reaksi

2.5.2 Berdasarkan dari segi aliran uap

a. Turbin *reheat* dan *non-reheat*

Salah satu karakteristik yang dapat dipakai untuk mengklasifikasikan turbin adalah *reheat* dan *non reheat*. Turbin *reheat* terdiri lebih dari satu silinder dan uap mengalami proses pemanasan ulang di *reheater boiler*. Pada turbin *reheat*, uap yang keluar dari turbin tekanan tinggi (HP) dialirkan kembali ke dalam *boiler*. Didalam *boiler*, uap ini dipanaskan kembali pada elemen pemanas ulang (*reheater*) untuk selanjutnya dialirkan kembali melalui saluran *reheat* ke Turbin tekanan menengah dan turbin tekanan rendah. Secara umum, ada dua keuntungan yang dapat diperoleh dari proses pemanasan ulang uap ini yaitu : meningkatkan efisiensi siklus termodinamika dan mengurangi proses erosi pada sudusudu turbin tingkat akhir karena kualitas uap keluar dari turbin tekanan rendah menjadi lebih kering. (PT.PLN PUSDIKLAT, 2006)

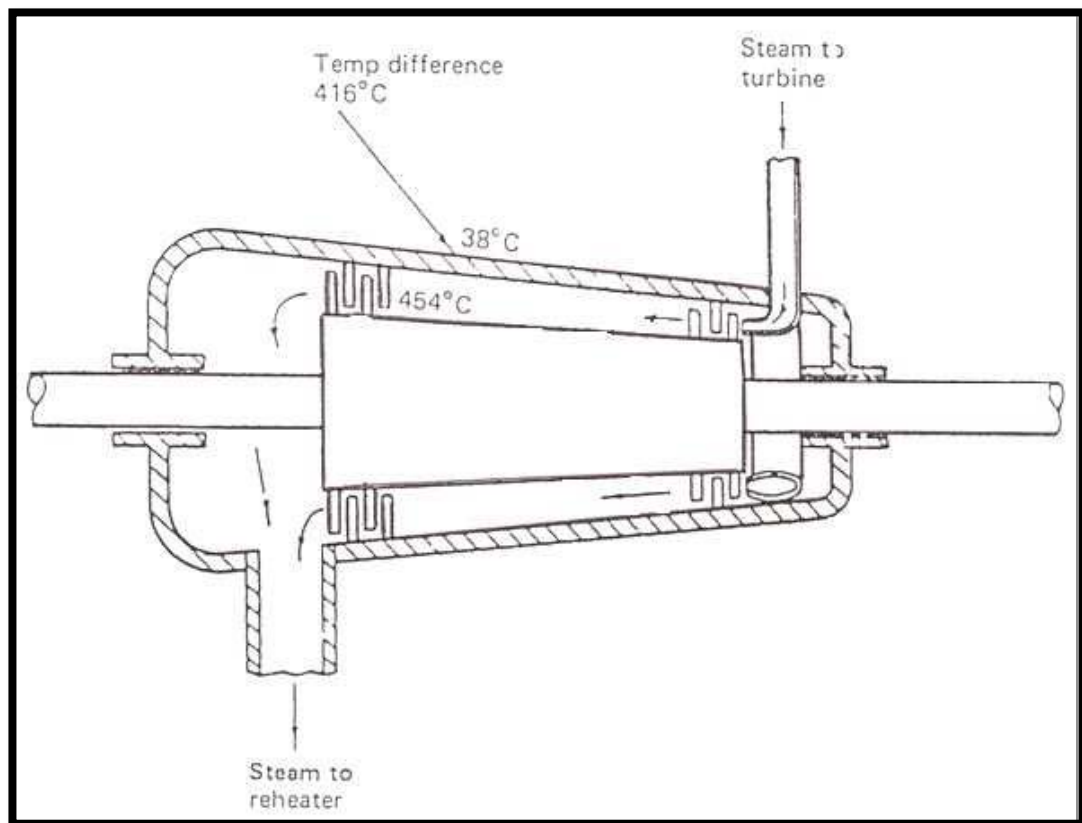
b. Turbin ekstraksi dan non-ekstraksi

Cara lain yang juga dipakai untuk mengklasifikasikan turbin adalah melalui sistem ekstraksi dan non ekstraksi. Turbin ekstraksi (*extraction turbine*) adalah turbin yang mengekstrak sebagian uap yang mengalir dalam turbin. Sedangkan pada turbin non ekstraksi, tidak dilakukan ekstraksi uap sama sekali. Jadi seluruh uap yang mengalir masuk turbin non ekstraksi akan keluar meninggalkan turbin melalui *exhaust*. (PT.PLN PUSDIKLAT, 2006)

2.5.3 Jenis Turbin berdasarkan casing

a. Turbin *Single Casing*

Turbin single casing adalah turbin dimana seluruh tingkat sudu-sudunya terletak didalam satu casing saja seperti terlihat pada gambar 2.7. Ini merupakan konstruksi turbin yang palingsederhana tetapi hanya dapat diterapkan pada turbin-turbin kapasitas kecil.(PT.PLN PUSDIKLAT, 2006)



Sumber : PLN Pusdiklat, 20

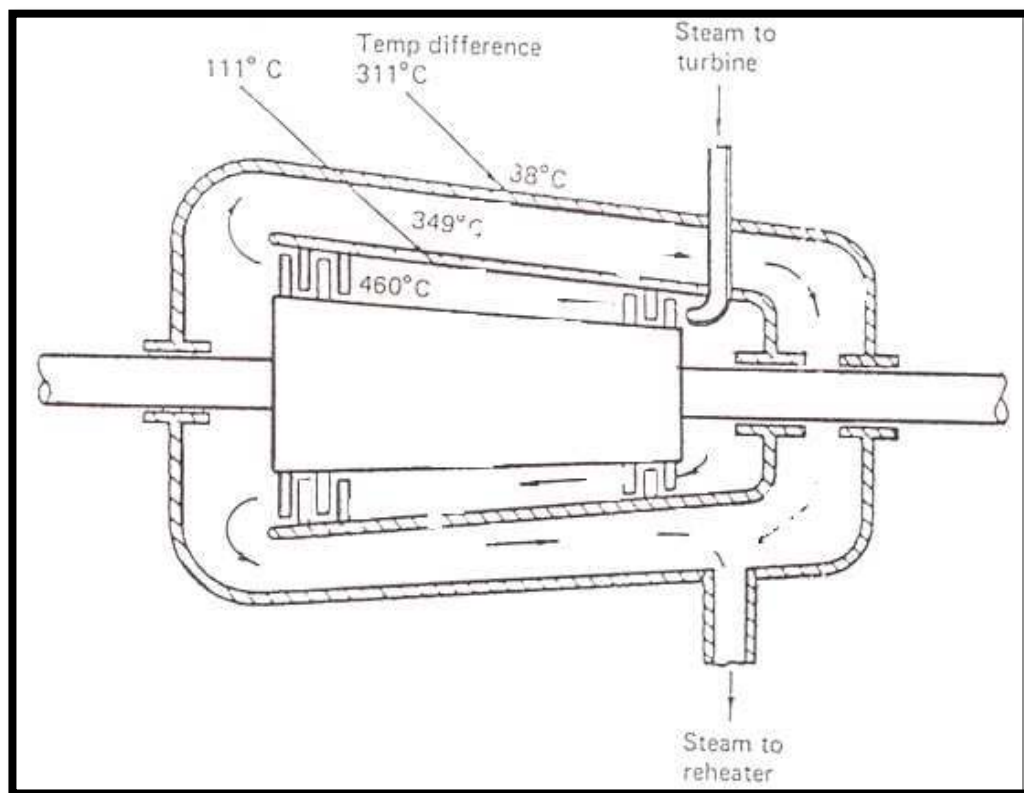
Gambar 2.7 Turbin dengan *Single Casing*

Bila temperatur uap masuk turbin 454 °C, maka ketika start up, temperatur bagian dalam casing juga mendekati 454 °C sementara temperatur bagian luar casing adalah temperatur udara luar atau sekitar 38 °C. Dengan demikian maka pada saat start terjadi perbedaan temperatur antara permukaan bagian dalam dengan permukaan luar sebesar 416 °C. Bagian dalam cenderung akan memuai sedang

bagian luar relatif belum akan akan memuai. Bila perbedaan temperatur ini cukup besar, maka pada kondisi ekstrim dapat mengakibatkan keretakan pada casing yang cukup tebal.

b. Turbin *Double casing*

Turbin yang terdiri dari 2 casing untuk setiap selinder. Maka ketebalan masing-masing casing hanya setengah dari ketebalan single casing. Dengan demikian proses pemerataan panas dan ekspansi menjadi lebih cepat. (PT.PLN PUSDIKLAT, 2006)



Sumber : PLN Pusdiklat,31

Gambar 2.8 Turbin dengan *double Casing*

Keuntungan dari menggunakan turbin dengan double casing adalah karena setiap segmen casing menjadi lebih ringan, maka pemeliharaan menjadi lebih mudah.

Keuntungan lainnya adalah meminimalisir keretakan dilihat dari ilustrasi pada gambar 2.7. Bila temperatur uap saat $460\text{ }^{\circ}\text{C}$ sedang temperatur atmosfer $38\text{ }^{\circ}\text{C}$, maka perbedaan temperatur tetap $420\text{ }^{\circ}\text{C}$. Keuntungan rancangan double casing adalah bahwa Δt sebesar $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ ini terbagi pada 2 casing. Uap masuk casing dalam (inner casing) pada $460\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan keluar pada sekitar $349\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk kemudian mengalir ke casing luar (outer casing) yang berfungsi memanaskan sisi bagian luar inner casing. Dengan demikian maka Δt permukaan bagian dalam dan bagian luar inner casing adalah $460\text{ }^{\circ}\text{C} - 349\text{ }^{\circ}\text{C} = 111\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sedangkan Δt permukaan bagian dalam dan bagian luar outer casing adalah $349\text{ }^{\circ}\text{C} - 38\text{ }^{\circ}\text{C} = 311\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dengan demikian maka Δt pada setiap casing menjadi lebih kecil sehingga memperkecil kemungkinan keretakan.

2.5.4 Berdasarkan tekanan uap masuk turbin :

- a. Turbin tekanan superkritis (*Supercritical Pressure Turbines*) di atas $22,5\text{ Mpa}$
- b. Turbin tekanan tinggi (*High Pressure Turbines*) Tekanan uap antara $8,8 - 22,5\text{ Mpa}$
- c. Turbin tekanan menengah (*Intermediate Pressure Turbines*) Tekanan uap antara $1 - 8,8\text{ Mpa}$
- d. Turbin tekanan rendah (*Low Pressure Turbines*) Tekanan di bawah 1 Mpa

2.6 Efisiensi

Pengertian efisiensi adalah perbandingan antara output terhadap input dalam suatu proses. Efisiensi merupakan salah satu persamaan yang penting dalam

termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi atau proses transfer terjadi. (Boles dan Cengel, 2006).

Seperti yang kita ketahui bahwa keluaran (output) dari PLTU adalah berupa energi listrik sedang sebagai masukan (input) nya adalah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar. Idealnya, kita menghendaki agar energi kimia (input) dapat diubah seluruhnya menjadi energi listrik (output). Tetapi pada kenyataannya, hal ini tidak mungkin dapat dilaksanakan karena adanya berbagai kerugian (losses) yang terjadi hampir disetiap komponen PLTU. Akibat kerugian – kerugian tersebut, maka energi listrik yang dihasilkan PLTU selalu lebih kecil dari energi kimia yang masuk ke sistem PLTU. (Pendidikan dan Pelatihan Suralaya, 2008)

2.7 Heat Rate

Pengertian dari *heat rate* adalah jumlah energi panas pada pembangkit termal bisa di konversikan dalam satuan (kCal, Joule atau BTU) yang diperlukan untuk bisa menghasilkan / membangkitkan energi listrik sebesar 1kWh. (ASME PTC 6).

Pada lingkup sebuah pembangkitan listrik terdapat dua jenis *Heat rate*, yaitu pertama *Heat rate ruto (gross)* dan *Heat rate netto*. Pertama *heat rate bruto* diukur dari keluaran energi listrik yang dihasilkan oleh generator. Yang kedua *Heat rate netto* diukur dari energi listrik yang dihasilkan generator dikurangi dengan energi listrik untuk pemakaian peralatan bantu pada PLTU itu sendiri. Hubungan antara *heat rate* dengan efisiensi termal pada sebuah pembangkit adalah semakin rendah nilai *heat rate* sebuah pembangkit maka semakin baik pula efisiensi termal pembangkit tersebut. Maka dapat disimpulkan bahwa *heat rate* berbanding terbalik

dengan efisiensi termal. Adapun persamaan *heat rate* sebagai berikut (⁵ PT. PLN
,Pendidikan dan pelatihan,1997: 32) :

$$\textit{Heat rate} = \frac{\textit{Panas masuk dari boiler} \quad \textit{Kj/h}}{\textit{listrik keluar dari generator} \quad \textit{Kw}} \dots\dots 5$$

Dengan memahami rumus penghitungan dalam *turbine performance test procedure* yang terdapat di PT PJB UBJ O&M PLTU Rembang yang digunakan untuk mengkalkulasi performa turbin maka didapatkan rumus (⁶Performance Test Procedure,2014 : 33)

$$THR = \frac{(Gms \times Hms) - (Gfw \times Hfw) + (Ghrsh \times Hhrsh) - (Gcrsh \times Hcrsh) - (Gshs \times Hshs) - (Grhs \times Hrsh)}{P_{grow}}$$

Setelah mendapatkan *heat rate turbine* maka hubungan rumus efisiensi termal turbin adalah sebagai berikut, dikutip pada (⁷Cengel, Y.A, Boles, M.A, 2006:555) :

$$\eta_{th} = \frac{3412}{\text{heat rate}} \times 100\% \dots\dots^7$$

Besarnya kerugian (*losses*) pada turbin, itu juga sebanding dengan besarnya nilai *heat rate* . Adapun kerugian-kerugian pada turbin dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain :

a) Kerugian pada katup governor

Sebelum masuk ke dalam turbin, uap akan melewati governor valve atau throttle valve dan stop valve . Terutama pada throttle valve akan terjadi penurunan tekanan atau dikenal dengan proses throttling. Walaupun entalphy uap tidak mengalami perubahan. Akan tetapi karena tekanan panasnya tersedia untuk kerja (Heat Drop) menjadi berkurang. (PT.PLN,1997)

b) Kerugian akibat kebasahan uap

Pada *Condensing* turbin (turbin yang dilengkapi kondensor), biasanya beberapa tingkat terakhir bekerja dengan kondisi uap basah (mengandung butir-butir air). Karena harus mendorong butir-butir air maka kecepatan uap akan berkurang . berarti energi kinetik uap berkurang . (PT.PLN,1997)

c) Kerugian akibat beban yang berubah-ubah

Beban yang berubah-ubah dapat diartikan sebagai pembukaan katup governor juga berubah-ubah. Karena besarnya aliran uap masuk kedalam turbin ditentukan oleh besarnya pembukaan katup governor. Pada beban sebagian (Partial Load) akan memperbesar terjadinya throttling yang menurunkan keadaan untuk masuk turbin dan akhirnya menurunkan efisiensi turbin. Pada beban tinggi, katup governor dibuka penuh dan throttling yang terjadi lebih kecil. Akan tetapi karena tekanan uap menjadi naik (akibat throttling kecil) akan meningkatkan kebasahan uap disisi keluar turbin yang berarti meningkatkan kerugian akibat kebasahan uap.(PT.PLN,1997)

d) Kerugian mekanik

Termasuk dalam kerugian mekanik adalah :

- Kerugian gesekan pada bantalan
- Kerugian daya untuk penggerak sistem governor
- Kerugian windage

Besarnya kerugian gesekan yang terjadi pada bantalan tergantung pada kondisi sistem pelumasan. Faktor yang dominan dari sistem pelumasan baik dalam bentuk lapisan pelumas (lapisan film) maupun terhadap koefisien gesek adalah kekentalan (viscosity) minyak pelumas. Bila kekentalan terlalu rendah maka

pelumas film akan rusak yang pada akhirnya meningkatkan gesekan antara poros dengan bantalan. Bila kekentalan terlalu rendah maka pelumas film akan rusak yang pada akhirnya meningkatkan gesekan antara poros dengan bantalan. Bila kekentalan minyak pelumas terlalu tinggi maka koefisien gesek minyak pelumas akan bertambah besar sehingga pada akhirnya juga meningkatkan gesekan. (PT PLN PUSDIKLAT Suralaya,2008)

e) Kerugian akibat Kebocoran pada saluran pipa

Kerugian ini diakibatkan bocornya saluran-saluran pipa uap yang disebabkan tersumbatnya kotoran-kotoran yang menempel pada pipa.

f) Kerugian Perapat (*Labyrinth*)

Kerugian perapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu : kerugian perapat poros turbin dan kerugian perapat antar tingkat sudu – sudu antar rotor dengan casing. Pada perapat poros turbin (Gland Seal) terutama untuk turbin tekanan tinggi, Sejumlah uap dari dalam casing akan mengalir melintasi Gland Seal. Fraksi uap ini tentunya tidak mungkin menyerahkan energi panasnya pada turbin untuk diubah menjadi energi mekanik. Karenanya, kebocoran ini juga termasuk salah satu kerugian yang terjadi pada turbin yang pada akhirnya juga mempengaruhi efisiensi turbin. (PT PLN PUSDIKLAT Suralaya,2008)