

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

Energi adalah kebutuhan pokok manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Perkembangan teknologi dan industri yang pesat akan mendorong peningkatan kebutuhan energi. Salah satu energi yang sangat besar pemanfaatannya adalah energi listrik. Pemanfaatan energi listrik terus bertambah mulai dari rumah tangga, perusahaan/ pabrik, perkantoran, dan lain–lain.

Seiring dengan berjalannya waktu perkembangan dunia industri semakin pesat. Salah satunya ialah industri pengolahan kelapa sawit. Dalam proses pengolahan kelapa sawit menjadi minyak mentah (*crude oil palm*) dan inti sawit (kernel) diperlukan energi listrik untuk menggerakkan seluruh mesin produksi di dalam pabrik. Oleh karena listrik yang diperlukan dalam proses pengolahan kelapa sawit sangat besar dan tidak memungkinkan untuk seluruhnya disuplai dari Perusahaan Listrik Negara (PLN), maka setiap Pabrik Kelapa Sawit memiliki pembangkit listrik sendiri untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di dalam proses pengolahan kelapa sawit.

Mesin –mesin konversi energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik saat ini sudah sangat banyak. Namun, dalam hal ini Pabrik Kelapa Sawit menggunakan turbin uap sebagai penggerak mula untuk mengubah energi potensial uap dari ketel uap menjadi energi kinetik, kemudian energi kinetik tersebut diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Turbin uap inilah yang digunakan sebagai penggerak generator sebagai pembangkit listrik, guna untuk memenuhi kebutuhan listrik pabrik. Turbin uap ialah salah satu jenis penggerak mula yang banyak digunakan di dalam industri, antara lain sebagai : Penggerak mula generator dan seluruh proses industri. Hal yang menjadi pertimbangan dalam menggunakan turbin uap ini ialah fluida kerja (air) pada instalasi tenaga uap sangat mudah diperoleh, sedangkan bahan bakar untuk menghasilkan uap seperti, serabut (*fiber*), cangkang (*shell*), tandan kosong (*empty bunch*), juga mudah diperoleh karena merupakan limbah dari pengolahan kelapa sawit (CPO dan kernel), dan harganya relatif murah dibanding bahan bakar fosil. Selain itu, instalasi ini mudah dan hemat biaya operasional dalam pembuatan dan penggunaannya, serta mudah dalam perawatannya.

Pada unit instalasi tenaga uap pabrik pengolahan sawit, uap keluaran dari turbin tidak langsung dibuang ke udara bebas tetapi selanjutnya dimanfaatkan kembali untuk proses perebusan air di boiler melalui proses kondensasi, sehingga siklus uap yang bekerja adalah siklus tertutup. Karena seluruhnya digunakan untuk menggerakkan turbin, maka akan menghasilkan daya listrik yang cukup besar. Dari pemaparan di atas jelas bahwa sistem pembangkit tenaga uap adalah suatu hal yang sangat vital dalam proses produksi CPO dan PKO. Di dalam sistem ini, turbin adalah salah satu alat yang sangat mempengaruhi kinerja dari keseluruhan sistem. Oleh sebab itu, dalam tugas akhir ini penulis melakukan analisa terhadap salah satu turbin uap yang ada di Pabrik Kelapa Sawit Tanjung Garbus Pagar Merbau, PTPN II.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun hal-hal yang menjadi rumusan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Menjelaskan kebutuhan daya untuk pengolahan kelapa sawit.
2. Menghitung daya yang diperoleh generator
3. Menghitung efisiensi turbin uap

1.3. Tujuan Perancangan Turbin Uap

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Mengetahui prinsip kerja turbin uap.
- b. Melakukan perhitungan daya yang di hasilkan turbin uap.
- c. Mengetahui dan memahami aplikasi ilmu yang ada pada Turbin Uap dan sistem pembangkit tenaga yang paling optimal guna memperoleh daya mekanis turbin yang paling maksimal dan juga nilai efisiensi yang paling maksimal.

1.4. Manfaat perancang turbin uap

- Dapat mengetahui fungsi dari Turbin Uap.
- Menambah wawasan penulis tentang Turbin Uap
- Semoga dapat berguna bagi pembaca, sebagai bahan perbandingan bagi para pembaca.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian umum Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energikinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang akan digerakkan. Tergantung pada jenis mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industri, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi. Pada proses perubahan energi potensial menjadi energi mekanisnya yaitu dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara.

Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian di tambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya seperti bantalan, kopling dan sistem bantu lainnya agar kerja turbin dapat lebih baik. Sebuah turbin uap memanfaatkan energi kinetik dari fluida kerjanya yang bertambah akibat penambahan energi termal.

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanisme yang digerakkan turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, seperti untuk pembangkit listrik.

2.2. Sejarah Perkembangan Turbin Uap

Ide dari turbin uap mula-mula timbul pada kira-kira 120 BC, oleh orang yang bernama HERO dari Alexandria yang pada mulanya membuat prototype turbin uap, dengan prinsip turbin reaksi. instalasi ini terdiri dari sebuah bejana yang berisi air yang dipanaskan dengan dapur pemanas. Uap yang terjadi dimasukkan ke dalam bola penampung uap dipancang pada tiang yang berporos sehingga bola dapat diputar. Pada bola terdapat beberapa pipa pemancar . akibat keluarnya uap melalui pipa pemancar tersebut berputarlah bola itu, disebabkan adanya reaksi uap yang keluar.

Pada tahun 1890 seorang insinyur swedia bernama GUSTAV DE LAVAL membuat turbin satu tingkat, dengan kapasitas 5 hp. Berhasilnya pembuatan turbin ini pada tahun 1870, mula-mula ia membuat eksperimen dengan pipa pemancar, tapi bukan untuk turbin uap tetapi untuk pengeringan pasir. Ia menghitung besarnya uap dari tekanan tinggi menjadi kecepatan tinggi. Sebagai alat ekspansi digunakan nozzle kemudian konvergen divergen nozzle. Melalui beberapa percobaan tentang nozzle, ia melihat tenaga reaksi dari pesawat Hero. Ia sangat tertarik dengan itu kemudian dia membuat roda berputar. Dari tenaga putar ini, Ia teringat kejadian masa lalu dalam beberapa hasil percobaannya. Pada tahun 1882 ia mempunyai penemuan tentang pemisah sentrifugal yang sangat baik, sehingga ia menggemari beberapa gerakan itu dengan kecepatan yang tinggi. Roda gigi menimbulkan suara gaduh dan memerlukan tenaga untuk memutarannya. Tenaga listrik belum dapat dipakai untuk mengerjakan.

Akhirnya ingatannya kembali pada kejadian nozzle, dan hal itu dihubungkan dengan pemisah sentrifugal tadi dari kombinasi kedua hal tersebut de laval menemukan turbin aksi satu tingkat tekanan dan satu tingkat kecepatan. Akan tetapi kecepatan putar pada turbin sangat cepat yakni 40.000 putaran per menit. beberapa agregat syarat dari model yang pertama rontok, disebabkan gaya sentrifugalnya dan getaran yang terjadi. Selanjutnya DE LAVAL menghitung poros fleksibel dengan teliti untuk mengikuti putaran turbin itu. Di industri turbin DE LAVAL banyak dipakai untuk menggerakkan generator. Pada tahun 1884, seorang *inggris* yang bernama CA Parson menemukan turbin dengan prinsip reaksi. Turbin ini dipakai pada beberapa kebutuhan pada lapangan industri. Kecepatan uap yang mengalir melalui turbin reaksi dengan banyak tingkat ini relative sangat rendah, yakni 100-200 m/detik.

Perkembangan selanjutnya, dimulai pada tahun 1898, dengan dasar dari turbin DE LAVAL, maka oleh Charles Gordon Cutis (insinyur Amerika) dapat mengurangi kecepatan putar turbin dengan jenis turbin aksi yang dibuat dengan beberapa tingkat kecepatan satu tekanan. Pada tahun 1990 turbin ini didemonstrasikan di Amerika. Turbin tersebut mempunyai dua sudu jalan, di antara kedua sudu jalan tersebut dipasang sudu antar yang dipasang mati pada rumah turbin, sehingga putaran sudu antar seakan-akan berlawanan dengan putaran sudu jalan. Untuk turbin dengan dua tingkat kecepatan dan satu tingkat tekanan dibuat pula oleh Lenin Nevsky. Hampir semua turbin dikonstruksi dengan turbin radial, artinya aliran uap dimasukkan sejajar dengan poros turbin.

2.3 Tinjauan Umum Turbin

Turbin termasuk mesin tenaga atau mesin konversi energi dimana hasil energinya dimanfaatkan mesin lain untuk menghasilkan daya. Di dalam turbin terjadi perubahan energi potensial uap menjadi energi kinetik yang kemudian diubah kembali menjadi energi mekanik pada poros turbin, selanjutnya energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada generator. Energi mekanis yang dihasilkan dalam bentuk putaran poros turbin dapat secara langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Turbin uap digunakan sebagai penggerak mula PLTU, seperti untuk menggerakkan pompa, compressor dan lain-lain. Jika dibandingkan dengan penggerak generator listrik yang lain, turbin uap mempunyai kelebihan lain antara lain:

1. Penggunaan panas yang lebih baik.
2. Pengontrolan putaran yang lebih mudah
3. Tidak menghasilkan loncatan bunga api listrik
4. Uap bekasnya dapat digunakan kembali untuk proses. Siklus yang terjadi pada

2.4. Prinsip Kerja Turbin Uap

Secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut :

- Uap masuk ke dalam turbin melalui nosel. Di dalam nosel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetik dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu

turbin itu dibelokkan ke arah mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.

- Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak.
- Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak. Maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.
- Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.

2.5. Klasifikasi Turbin Uap

Turbin uap dibagi menjadi bermacam-macam jenis menurut konstruksinya, proses panas dalam kondisi awal dan akhir yang dipakai didalam industri.

1. Menurut jumlah tingkat tekanan :

- Turbin uap tingkat tekanan tunggal atau untuk beberapa tingkat tekanan kecepatan, pada umumnya digunakan untuk menggerakkan kompresor
- Turbin dresser rand dengan satu tingkat, dibuat untuk kapasitas bertenaga kecil sampai yang lebih besar.

2. Menurut arah aliran uapnya :

- Turbin aksial dimana uap mengalir pada arah sejajar melalui sumbu turbin.
- Turbin radial dimana uap mengalir pada arah tegak lurus melalui arah sudu turbin.

3. Menurut jumlah silinder :

- Turbin silinder tunggal.
- Turbin silinder ganda

- Turbin Impulse
- Turbin silinder tiga
- Turbin dengan silinder lebih dari tiga (multi silinder)

4. Menurut Konstruksi Porosnya :

- Turbin as tunggal (turbin multi silinder) yang rotornya dipasang pada satu poros yang sama dan dihubungkan ke generator tunggal.
- Turbin multi aksial, turbin dengan as rotor yang dipisahkan untuk tiap silinder ditempatkan sejajar satu dengan yang lain.

5. Menurut metode pengaturan:

- Turbin dengan pengaturan pencekikan (throtling) dimana uap segar masuk melalui satu atau lebih (tergantung daya yang dihasilkan), katup pencekik yang dioperasikan serempak.
- Turbin dengan pengaturan nozzle (pemancar) dimana uap masuk melalui dua atau lebih pengatur pembuka (opening regulator) yang berurutan.
- Turbin dengan pengaturan langkah (by-pass governing) dimana uap di alirkan ke tingkat pertama jugalangsung dialirkan ke satu, dua atau bahkan tiga tingkat menengah turbin tersebut.

6. Menurut prinsip kerja uap :

- Turbin dresser rand (turbin aksi) dimana energy potensial uap diubah menjadi energy kinetik sehingga menjadi energi listrik.
- Turbin reaksi aksial , dimana ekspansi uap antara sudu-sudu jugasudu-sudu gerak pada tingkat-tingkat terjadi pada luas yang sama.
- Turbin reaksi radial atau tanpasudu – sudu pengarah yang diam.

7. Menurut pemakaian uap bekas :

- Turbin kondensasi regulator, turbin uap tekanan yang lebih kecil dimasukkan ke kondensor.

- Turbin kondensasi satu atau dua penarik tingkat dari tengah dengan tekanan tertentu untuk proses dan pemanasan dalam industri.
- Turbin tekanan belakang, uap bekas digunakan untuk tujuan pemanasan dalam industri.
- Topping adalah turbin uap bekas untuk menggerakkan turbin dibelakangnya.
- Turbin tekanan rendah dimana uap bekas mesin adalah uap torak, mesin kempa, mesin press dipakai untuk turbin yang digunakan membangkitkan tenaga.

8. Menurut besarnya tekanan uap masuk.

- Turbin tekanan rendah memakai uap pada tekanan $1,2 \div 2$ atm.
- Turbin tekanan sedang (medium) memakai uap pada tekanan sampai 40 atm.
- Turbin tekanan sedang(medium) memakai uap pada tekanan sampai lebih dari 40 atm.
- Turbin tekanan sangat tinggi dengan uap bertekanan 170 atm dan temperature 550°C atau lebih.
- Turbin tekanan super kritis pada tekanan lebih dari 225 atm.

9. Menurut pemakaian dalam industri :

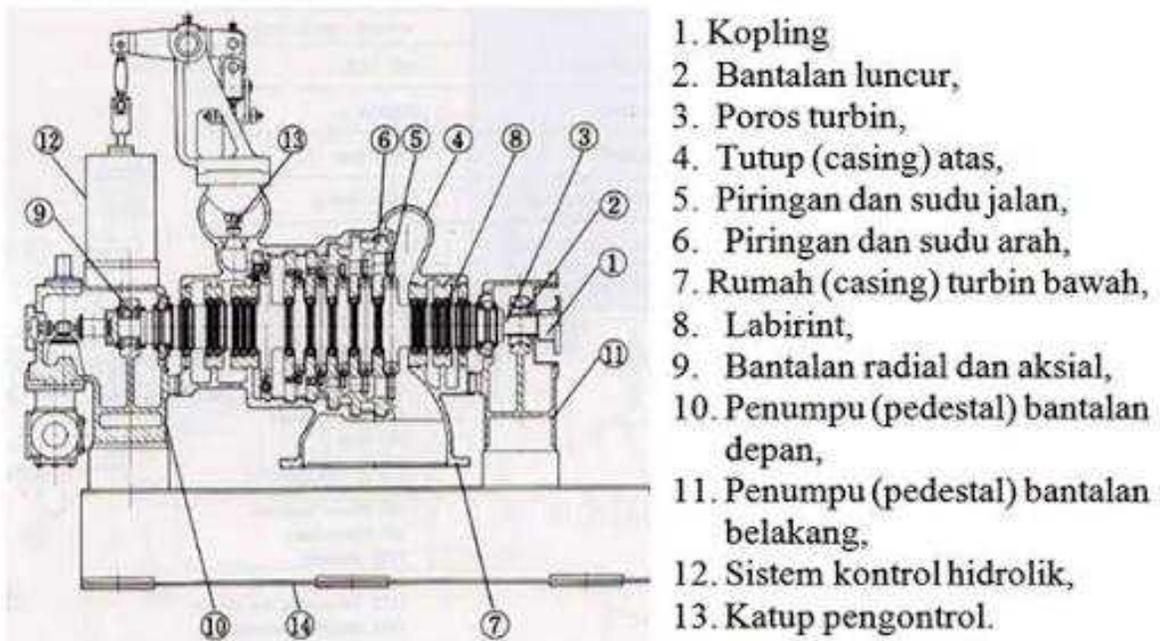
- Turbin tetap dengan putaran konstan sangat diutamakan untuk menggerakkan alternator.
- Turbin uap dengan putaran konstan adalah untuk menggerakkan generator listrik agar menghidupkan aliran listrik yang berada di panel listrik.
- Turbin uap dengan kecepatan variable adalah untuk menggerakkan turbo blower, sikulator udara dan pompa.
- Turbin non stasioner (tidak tetap) dengan kecepatan variabel, digunakan untuk mesin-mesin uap seperti kapal, kereta api (lokomotif).

2.6. Pemilihan Jenis Turbin

Dalam merencanakan suatu turbin uap, sangat dibutuhkan kecermatan dalam penentuan jenis turbin supaya kelangsungan operasi pabrik tidak mengalami kerugian yang sangat besar. Penentuan jenis turbin ini sangat penting, sebab bukan hanya dari faktor teknis tetapi juga dari faktor ekonomis. Turbin uap dreseer rand sangat cocok untuk pompa untuk sejumlah alasan. Pertama adalah kemampuannya untuk beroperasi mempercepat jangkauan.

2.7. Komponen Utama Turbin Uap

Secara umum bagian-bagian turbin uap dapat dilihat seperti gambar berikut :



Gambar 2.1. Komponen Turbin Uap

1. Kopling

Kopling merupakan komponen yang berfungsi sebagai penghubung antara mekanisme turbin uap dengan mekanisme yang digerakkan.

2. Bantalan Luncur

Bantalan Luncur adalah bagian yang berfungsi untuk menyokong kedua ujung poros dan banyak menerima beban.

3. Poros Turbin

Poros Turbin merupakan sebagai komponen utama tempat dipasangnya cakram-cakram sepanjang sumbu.

4. Tutup (casing) Atas

Tutup (casing) Atas merupakan sebagai penutup bagian-bagian utama turbin.

5. Piringan Sudu Jalan

Piringan Sudu Jalan adalah beberapa sudu yang berfungsi menerima dan merubah energi *steam* yang masuk menjadi energi kinetik yang akan memutar generator.

6. Piringan Sudu Arah

Piringan Sudu Arah merupakan sudu-sudu dalam turbin yang berfungsi untuk menerima dan mengarahkan kemana selanjutnya *steam* yang masuk .

7. Rumah (casing) Turbin Bawah

Rumah (casing) Turbin Bawah adalah suatu wadah berbentuk menyerupai sebuah tabung dimana *rotor* ditempatkan.

8. Labirint

Labirint adalah bagian turbin yang mempunyai fungsi yang sama dengan *gland packing*, yaitu menyekat apabila terjadi kebocoran baik uap ataupun oli.

9. Bantalan Radial dan Aksial

Bantalan Radial adalah bagian turbin yang berfungsi untuk menahan gaya radial atau gaya tegak lurus rotor.

Bantalan Aksial adalah bagian turbin yang berfungsi untuk menahan atau menerima gaya aksial atau gaya sejajar terhadap poros yang merupakan gerakan maju mundurnya poros rotor.

10. Penumpu (pedestal) bantalan depan

Penumpu (pedestal) bantalan depan adalah salah satu komponen yang berfungsi sebagai bantalan untuk menumpu poros depan.

11. Penumpu (pedestal) bantalan belakang

Penumpu (pedestal) bantalan belakang adalah salah satu komponen yang berfungsi sebagai bantalan untuk menumpu poros belakang.

12. Sistem Kontrol Hidrolik

Sistem Kontrol Hidrolik adalah fasilitas yang digunakan dengan menggunakan media penghantar cairan fluida untuk mendapatkan yang lebih besar dari sumber daya yang dikeluarkan.

13. Katup Pengontrol

Katup Pengontrol adalah katup pneumatik yang berfungsi untuk mengontrol laju aliran udara bertekanan yang masuk ke dalam silinder, sehingga gerakan piston dalam silinder bisa diperlambat ataupun dipercepat. *Katup Pengontrol*

2.8. Prinsip Dasar Turbin Uap

Salah satu jenis penggerak mula yang dipakai di industri adalah mesin kalor, yaitu suatu mesin yang menggunakan energi panas untuk melakukan kerja mekanik atau suatu mesin di mana energi panas dapat dirubah menjadi energi mekanik.

Energi itu sendiri dapat diperoleh akibat pembakaran bahan bakar, fisi bahan bakar nuklir atau proses yang lain. Dilihat dari cara memperoleh panas, maka mesin kalor dapat dibagi atas dua bagian, yaitu :

a. Mesin pembakaran luar (*External combustion engine*).

Ini berarti bahwa panas diperoleh dari proses pembakaran di luar mesin sendiri.

Contoh : mesin uap dan turbin uap.

b. Mesin pembakaran dalam (*Internal combustion engine*).

Ini berarti bahwa panas diperoleh dari proses pembakaran di dalam mesin itu sendiri.

Contoh : motor bensin, motor diesel, motor gas dan turbin gas.

Turbin atau turbine berasal dari kata *turbo* (Yunani) yang artinya *putar*. Dalam hal ini turbin mempunyai komponen utama berupa sudu-sudu atau kincir yang digerakan oleh aliran uap, gas atau air dan tidak ada torak yang digerakan oleh aliran. Aliran, gas air atau angin dapat terjadi di alam sebagai aliran udara, air dan berupa aliran sungai atau air terjun.

Turbin yang bekerja dengan aliran-aliran alamiah ini dipakai bila ada tenaga aliran atau energi alam tersedia. Akan tetapi aliran tersebut dapat kita buat misalnya uap dan gas.

Bilamana fluida kerjanya adalah uap, maka dinamai turbin uap atau *steam turbines*, yaitu pesawat penggerak yang mengubah *energi potensial uap* menjadi *energi kinetik*, yang selanjutnya diubah menjadi *energi mekanis* dalam bentuk putaran poros turbin.

Turbin uap pertama kali dibuat oleh *William Avery* (Amerika) pada 1831 untuk menggerakkan mesin gergaji. Selanjutnya teori berkembang mengikuti aplikasinya. *Parsons*, *Charles G. Curtis* dan *Carl Gustav Patrik* mengembangkannya dengan membuat turbin-turbin uap yang lain, dengan susunan sudu lebih dari satu baris.

2.9 Prinsip Kerja dan Klasifikasi Turbin Uap

2.9.1 Prinsip Kerja Turbin Uap

Skema dari sebuah sistem turbin uap tertutup dapat dilihat pada gambar 1. Sistem tersebut terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *ketel uap*, *turbin* yang menggerakkan beban, *kondensor* dan *pompa air ketel*. Dengan demikian turbin hanya merupakan salah satu komponen saja dari suatu sistem tenaga. Di dalam turbin, tekanan dan temperatur uap turun, selama itu uap meninggalkan turbin dan masuk ke dalam kondensor. Kondensor adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengembunkan uap dengan jalan mendinginkannya.

Air pengembunan yang terjadi di dalam kondensor disebut kondensat. Dengan pertolongan sebuah pompa air dari kondensor dialirkan ke ketel uap. Pompa tersebut biasanya diletakkan lebih rendah atau di bawah kondensor, oleh karena pada umumnya kondensor bekerja dengan tekanan vakum. Oleh karena ada kemungkinan kebocoran uap, maka perlu dimasukkan air tambahan (make up water), sebanyak 3-4 % kapasitas produksi uap atau lebih, sesuai dengan sistem yang dipergunakan.

Menurut hukum termodinamika, kerja yang dihasilkan oleh suatu proses siklus adalah sama dengan jumlah perpindahan kalor pada fluida kerja selama proses siklus tersebut berlangsung. Selanjutnya, secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut:

1. Uap masuk ke dalam turbin melalui nosel. Di dalam nosel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan.
2. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel, lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk kedalam nosel.
3. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkung dan dipasang di sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah di antara sudu-sudu turbin itu dibelokkan arahnya mengikuti lengkungan dari sudu turbin. perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong sudu dan kemudian memutar roda dan poros turbin.
4. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin, berarti hanya sebagian energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dapat dimanfaatkan, maka pada turbin umumnya dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak, arah kecepatan uap harus dirubah lebih dahulu.
5. Maka di antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.

2.9.2 Klasifikasi Turbin Uap

Turbin uap dapat diklasifikasikan dalam kategori yang berbeda-beda, misalnya :

a. Menurut jumlah tingkat tekanan.

- Turbin satu tingkat dengan satu atau lebih tingkat kecepatan yang biasanya berkapasitas kecil.
- Turbin nekatingkat yang biasanya dalam jangka kapasitas yang luas dari yang kecil hingga yang besar.

b. Menurut arah aliran uap.

- Aksial dan radial.

c. Menurut jumlah silinder.

- Tunggal, ganda atau lebih dari dua.

d. Menurut prinsip aksi uap.

- Turbin aksi atau turbin tekanan rata.
- Turbin reaksi atau turbin tekanan lanjut.

e. Menurut proses penurunan kalor.

- Turbin kondensasi.
- Turbin tanpa kondensasi.

f. Menurut kondisi uap pada sisi masuk.

- Turbin tekanan rendah, tekanan uap 1,2 sampai 2 ata.
- Turbin takanan menengah, tekanan uap sampai 40 ata.
- Turbin tekanan tinggi, tekanan uap di atas 40 ata.
- Turbin tekanan sangat tinggi, tekanan uap 170 ata atau lebih dari temperatur diatas 550°C.

2.9.3. Turbin Impuls.

Pada turbin ini seluruh tekanan uap diubah menjadi kecepatan dalam satu pipa pancar, dengan kata lain uap hanya mengembang di dalam pipa pancar yang diam. Sedangkan selama melalui sudu-sudu gerak tekanan uap tetap, karena itulah maka disebut turbin tekanan rata atau tingkat kecepatan.

Keadaan aliran uap di dalam turbin tersebut di atas dapat diterangkan dengan menggunakan grafik tekanan dan kecepatan absolut seperti yang terlukis.

Dalam turbin impuls sederhana, uap diekspansikan di dalam satu nosel atau satu baris nosel yang masing-masing bekerja dengan tekanan yang sama. Dalam hal ini kecepatan uapnya naik. Setelah itu uap mengalir ke dalam baris sudu gerak dengan tekanan konstan. Tetapi kecepatan absolutnya turun karena energi kinetik uap diubah menjadi kerja memutar roda turbin.

Uap yang keluar dari turbin masih berkecepatan tinggi, oleh karena itu merupakan kerugian energi. Salah satu cara mencegah kerugian tersebut adalah dengan mengekspansikan uap secara bertahap di dalam turbin bertingkat ganda, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

Walaupun uap hanya diekspansikan di dalam nosel (baris sudu tetap pertama) dan selanjutnya tekanannya konstan, turbin tersebut masih termasuk dalam golongan turbin impuls karena di dalam baris sudu gerak tidak terjadi ekspansi (penurunan tekanan). Meskipun tekanan uap di dalam sudu geraknya konstan, kecepatan absolutnya turun karena sebagian dari energi uap diubah menjadi kerja memutar roda turbin. Kecepatan uap di dalam baris sudu tetap berikutnya tidak naik karena tekanannya konstan. Dalam hal tersebut terakhir sudu tetap dibentuk sedemikian rupa sehingga tidak terjadi ekspansi.

2.9.4. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, proses ekspansi (penurunan tekanan) terjadi baik di dalam baris sudu tetap maupun sudu geraknya. Turbin reaksi juga dinamai turbin *Parsons* sesuai dengan nama pembuatnya yang pertama, yaitu *Sir Charles Parsons*. Grafik tekanan dan kecepatan absolut dari uap di dalam turbin reaksi dapat dilihat pada gambar 4 dan 5.

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.

Adapun sebagai pendukung pusat listrik tenaga uap ini digunakan beberapa alat bantu (auxiliary equipments) untuk membantu proses siklus turbin uap berjalan dengan baik, seperti:

- Sistem pelumas (lube oil system).
- Sistem bahan bakar (fuel system).

- Sistem pendingin (cooler system).
- Sistem udara kontrol (air control system).
- Sistem udara servis (air service system).
- Sistem hidrolis (hydraulic system).
- Sistem udara tekan (air pressure system).
- Sistem udara pengkabutan (atomizing air system).

2.10. Prinsip Kerja Turbin Uap

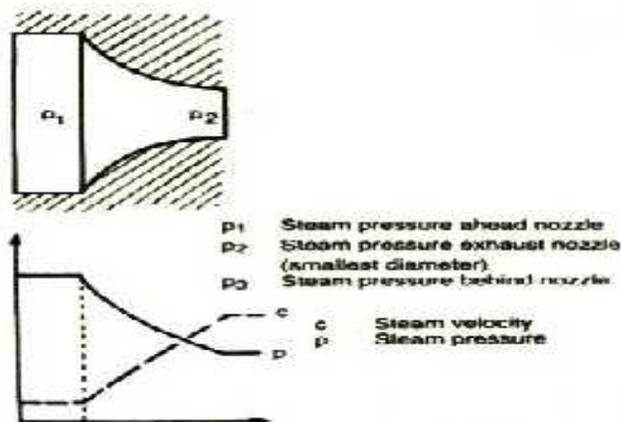
Prinsip kerja turbin uap, terletak pada perubahan energi panas yang terkandung di dalam uap air (keseluruhan sampai energi panas dalam uap air di sisi *exhaust* turbin) yang dikonversikan menjadi energi mekanik yang ditransmisikan ke rotor turbin. Hal ini terjadi di beberapa *stage* turbin uap yang berbeda. Satu *stage* turbin selalu terdiri atas bagian sudu-sudu melingkar yang diam/stasioner dan bagian sudu-sudu yang berputar/berotasi.

Energi panas di dalam uap air ditunjukkan oleh besaran entalpi (h).

$$h = u + p.V$$

u = energi internal,

$p.V$ = aliran kerja

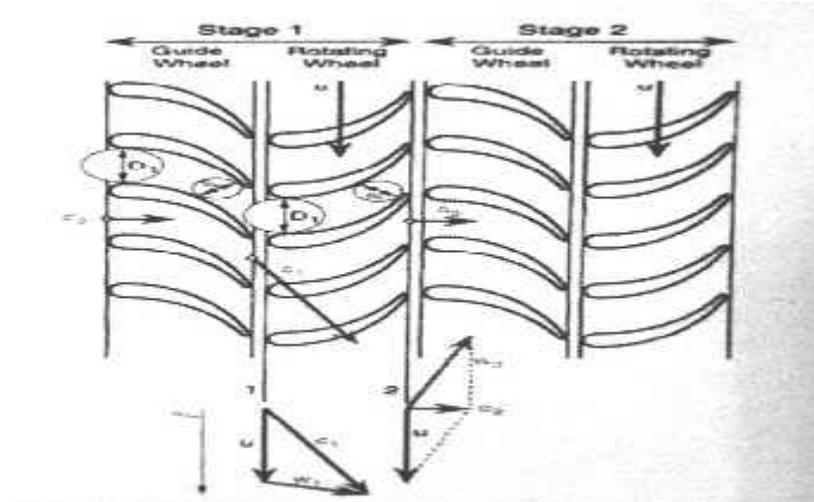


Gambar 2.2. Konversi Energi Panas Uap Air Menjadi Energi Kinetik

Pertama, energi panas harus dikonversikan menjadi energi kinetik, proses ini terjadi pada nozzle (lihat gambar di atas). Pada turbin uap, nozzle terpasang di sisi *casing* (sudu-sudu stator turbin) dan ditambah pada sisi sudu-sudu rotor, yang selanjutnya dikenal dengan *reaction*

stage/sisi reaksi. Pada nozzle, uap air mengalami penambahan kecepatan/akselerasi, dan akselerasi ini menyebabkan diferensial tekanan antara sisi sebelum nozzle dengan sesudah nozzle.

Kedua, energi kinetik ditransformasikan menjadi energi putar dari rotor turbin yang hanya terjadi pada sisi sudu-sudu yang berputar/rotor.



Gambar 2.3. Vektor Kecepatan Pada Stage Turbin Uap Reaksi

Stage pada turbin memiliki perbedaan kecepatan, seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas. Pada tiap level digambar segitiga vektor kecepatan, satu di sisi inlet blade yang berputar, dan yang kedua di sisi outletnya. Kecepatan absolut (c) di inlet dan outlet besarnya berbeda, karena energi kinetik dari uap air dikonversikan menjadi energi mekanik pada rotor.

2.10.1. Efisiensi Isentropik

Efisiensi isentropik merupakan perbandingan antara kinerja aktual sebuah peralatan dan kinerja yang dapat dicapai dibawah keadaan ideal untuk keadaan masuk yang sama dan tekanan keluar yang sama.

2.10.2. Efisiensi Turbin Isentropik

Pemindahan kalor antara turbin dan lingkungan diabaikan, begitupula dengan efek energi kinetik dan potensial. Dengan asumsi-asumsi ini, neraca laju massa dan energi menjadi lebih sederhana, pada keadaan tetap, sehingga kerja per satuan massa yang melewati turbin adalah:

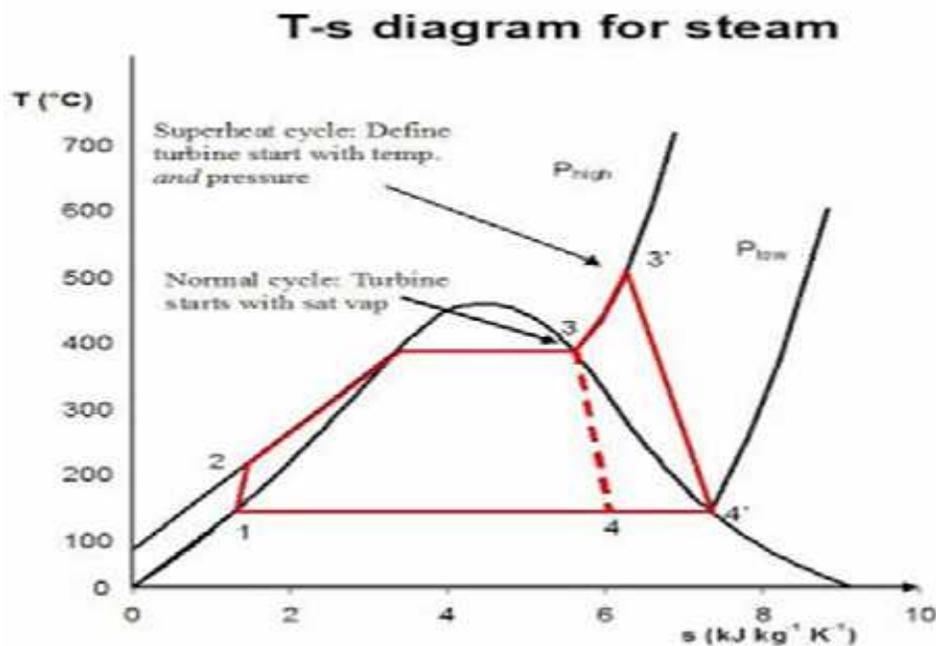
$$W \frac{cv}{m} = h_1 - h_2$$

Karena keadaan 1 tetap, entalpi spesifik dapat diketahui. Nilai maksimum untuk kerja turbin didapatkan dari nilai terkecil entalpi spesifik yang diizinkan pada keluar turbin. Hal ini dapat ditentukan dengan menggunakan hukum kedua. Keadaan keluar yang diizinkan dibatasi oleh:

$$\frac{cv}{m} = s_2 - s_1 = 0$$

Nilai maksimum untuk kerja turbin adalah:

$$\left(\frac{cv}{m}\right)_s = h_1 - h_2$$



Gambar.2.4. Perbandingan ekspansi nyata dan isentropik pada turbin

Efisiensi turbin isentropik didefinisikan sebagai :

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}$$

Dimana : h_1 = entalpi steam masuk

h_2 = entalpi steam keluar (nyata)

h_{2s} = entalpi steam keluar (jika ekspansi isentropik, $s_2s = s_1$)

Pembilang dan penyebut pada persamaan ini, keduanya digunakan untuk keadaan masuk dan tekanan keluar yang sama.

BAB III

PERHITUNGAN DAYA DAN KEBUTUHAN UAP UNTUK MEMUTAR TURBIN

3.1 Kebutuhan Daya Listrik Pada PKS

Pada pabrik pengolahan kelapa sawit, uap yang diperoleh dari ketel uap yang menggunakan bahan bakar cangkang dan serabut kelapa sawit. Uap panas lanjut yang dihasilkan ini kemudian dialirkan ke turbin uap untuk memutar generator dan menghasilkan aliran listrik. Uap bekas dari turbin uap di distribusikan ke unit-unit pengolahan kelapa sawit dengan menggunakan alat BPV (Back Pressure Vessel).

Disamping listrik tenaga uap, kelapa sawit ini juga menggunakan pembangkit listrik tenaga diesel yang dihubungkan dengan generatornya sendiri dan kemudian setelah turbin uap beroperasi, beban yang ada pada motor diesel dipindahkan ke turbin uap, selain dari dua jenis pembangkit tadi, pabrik juga memakai tenaga listrik dari PLN untuk memenuhi kekurangan daya dari turbin uap.

Adapun besarnya daya listrik yang dibutuhkan pengolahan kelapa sawit ini dapat diuraikan sebagai berikut (dapat dilihat pada lampiran 1)

Tabel 3.1 Kebutuhan Daya Listrik pada Pabrik Kelapa Sawit

NO	STASIUN	Kebutuhan Daya Listrik (kVA)
1	Stasiun Penerima Buah	24,5
2	Stasiun Perebusan	11,5
3	Stasiun Penebah	47,2
4	Stasiun Kempa	198
5	Stasiun Minyak/ Klarifikasi	109,08
6	Stasiun Penimbunan minyak	20
7	Stasiun Pengutip Minyak Sawit	48
8	Stasiun Pengupas Biji	61,5
9	Stasiun Pengolahan Biji	103,7
10	Stasiun Ketel Uap	246,94
11	Stasiun Hopper Tandan Kosong	6
12	Stasiun Ripple Mill	119,05

13	Bengkel Umum	15,2
	JUMLAH	1010,67

3.2 Perhitungan Daya Generator dan Daya Turbin

Total kebutuhan listrik untuk PKS Tanjung Garbus PTPN II adalah 1010,67 kVA
 Secara teknis untuk menentukan daya generator perlu di perhitungkan rugi-rugi jaringan :

$$N_g = \text{Total kebutuhan listrik} \times \text{rugi-rugi jaringan}$$

Dimana :

$$\text{Rugi-rugi jaringan} = 5 \% \text{ ditentukan}$$

Maka :

$$N_g = 1 + 0,05 \cdot 1010,67$$

$$= 1061,2 \text{ kVA}$$

Sehingga daya neto yang harus disuplai turbin uap ke generator listrik adalah :

$$N_t = \frac{N_g}{g} \dots \dots \dots \text{lit 2 hal 208}$$

Dimana :

$$N_g = \text{Daya generator } 1061,2 \text{ kVA}$$

$$g = \text{Efisiensi generator (} 90 - 97 \% \text{)}$$

Maka :

$$N_t = \frac{1061,2}{0,97 \text{ s }_d 0,90}$$

$$= 1094 \text{ s }_d 1179,1$$

$$= 1100 \text{ kW (direncanakan)}$$

3.3 Penentuan Putaran Turbin

Unit generator listrik mempunyai :

- Jumlah kutub. P = 2
- Frekwensi. F = 50 Hz

Maka putaran generator

$$n_g = \frac{60f}{P} \dots \dots \dots \text{lit 4 hal 71}$$

$$n_g = \frac{60.50}{2}$$

$$= 1500 \text{ rpm}$$

Dengan menetapkan Putaran poros turbin $n = 5000$ maka reduksi roda gigi transmisi sebesar :

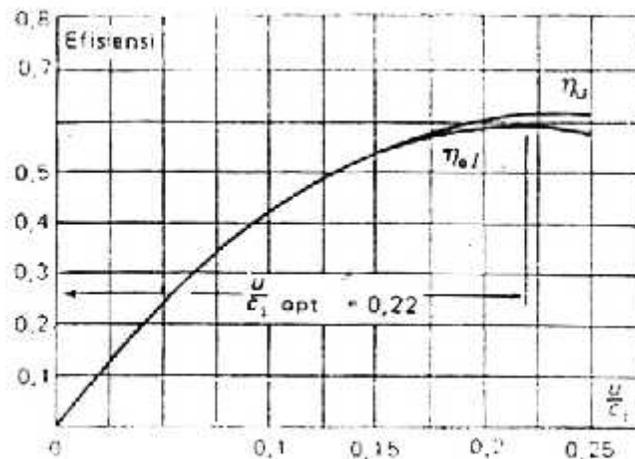
$$\frac{n_g}{n_t} = \frac{1}{i} \dots\dots\dots \text{lit 5 hal 216}$$

$$\frac{1500}{5000} = \frac{1}{i}$$

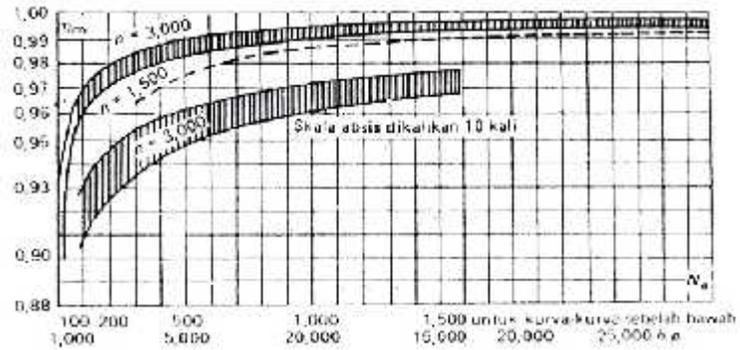
$$i = \frac{5000}{1500} = 3,33$$

3.4. Efisiensi Turbin

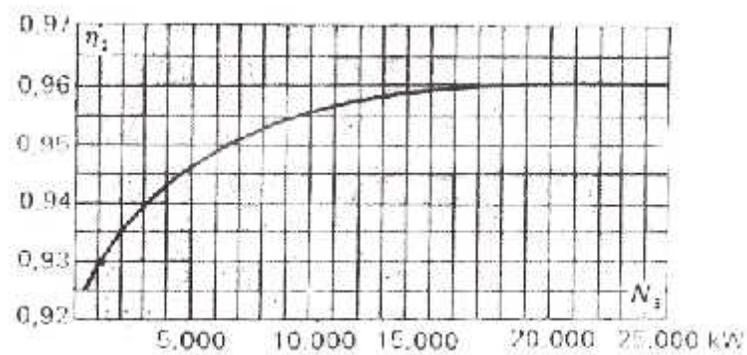
Efisiensi dalam relative (η_{oi}) untuk perhitungan sementara diambil sebesar 0,58 yang diperoleh dari grafik efisiensi turbin dengan dua tingkat kecepatan sebagai fungsi u/c_1 , untuk harga optimum sebesar 0,22.



Gambar 3.1 Efisiensi turbin dengan dengan dua tingkat kecepatan sebagai fungsi u/c_1



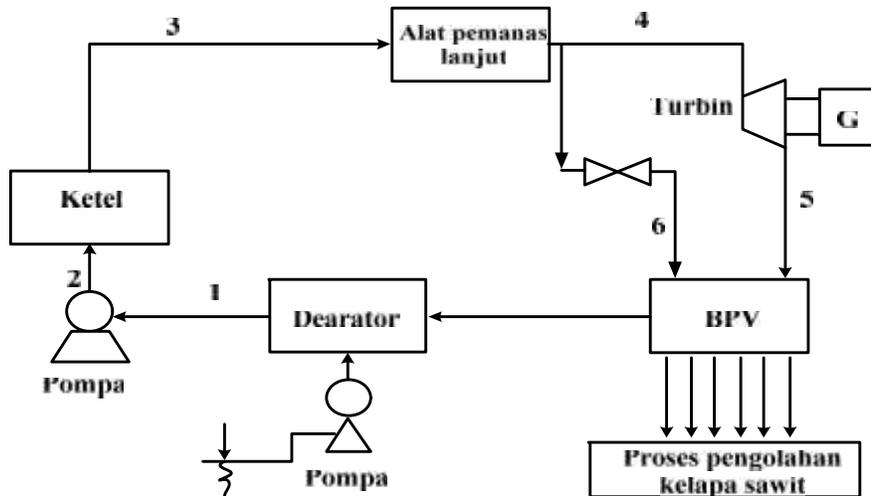
Gambar 3.2 Efisiensi Mekanis turbin



Gambar 3.3 Efisiensi generator menurut data elektrosila works

Dengan mengambil daya turbin yang di rencanakan sebesar 1100 kW, maka nilai-nilai dari berbagai efisiensi pada turbin dapat ditentukan dari gambar, untuk efisiensi generator (η_g) = 0,93 untuk efisiensi mekanis $\eta_m = 0,965$.

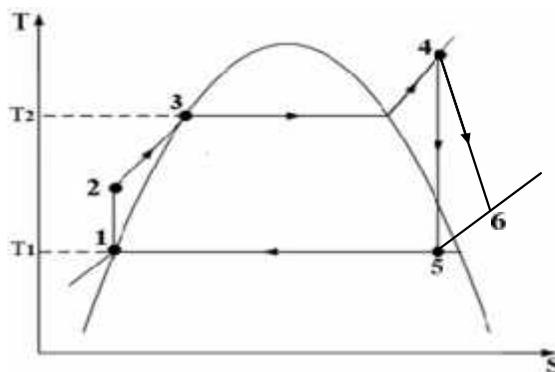
3.5 Menentukan Masa Aliran



Gambar 3.4 Instalasi Pembangkit Tenaga Uap

Untuk membangkitkan energi listrik pada generator listrik dibutuhkan sejumlah uap pada kondisi tertentu. Berdasarkan penetapan data spesifikasi rancangan didapat kondisi – kondisi uap sebagai berikut :

- Tekanan Uap Masuk turbin
- Tekanan uap keluar turbin
- Temperatur uap masuk



Gambar 3.5 Diagram T – S

Berdasarkan turbin yang ada di PKS, data – data yang di peroleh adalah sebagai berikut :

1. Tekanan Uap Masuk turbin (P_0) = 16 kg/cm²
2. Tekanan uap keluar turbin (P_1) = 3 kg/cm²

3. Temperatur uap masuk (T_1) = 280°C

Dari diagram moiller (lampiran 2) diperoleh Penurunan kalor (H_0) :

$$\begin{aligned} H_0 &= i_4 - i_{5t} \\ &= 2980 - 2650 \\ &= 330 \text{ kJ/kg} = 78,8 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

Penurunan Kalor teoritis yang terjadi pada nosel (H'_0)

$$H'_0 = i_4 - i'_{5t}$$

Diandaikan kehilangan tekanan pada katup-katup pengatur sama dengan 5% dari tekanan suplai P_1 sehingga tekanan sebelum memasuki nosel akan menjadi $P'_1 = 0,95 \times 16 = 15,2 \text{ kg/cm}^2$.

$$\begin{aligned} H'_0 &= 2980 - 2670 \\ &= 310 \text{ kJ/kg} = 74,04 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh massa alir uap untuk memutar turbin adalah sebagai berikut :

$$G = \frac{N_g}{H'_0 \cdot \text{oi} \cdot \text{m} \cdot \text{g}} \dots \dots \dots \text{lit 1 hal 84}$$

$$G = \frac{1100}{310 \times 0,58 \times 0,965 \times 0,93}$$

$$G = 6,8 \text{ kg/detik}$$

Sehingga dari perhitungan di atas di peroleh massa uap yang di butuhkan turbin adalah 6,8 kg/detik.