

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi dibutuhkan bagi kehidupan manusia, adapun salah satu energi yang dibutuhkan untuk kehidupan manusia yaitu energi listrik. Energi listrik sangat dibutuhkan oleh manusia untuk berbagai keperluan, baik itu untuk keperluan industri, dan infrastruktur lainnya. Energi listrik yang besar dan penggunaannya yang terus menerus tidak dapat tersedia secara alami. Oleh karenanya, dibutuhkan pembangkit listrik yang handal. Turbin tenaga uap menjadi pembangkit listrik pada seluruh Perusahaan pabrik minyak kelapa sawit, akan tetapi perawatan serta pemeliharaan pada turbin pembangkit jarang diperhatikan, ada kalanya turbin mengalami masalah hingga kerusakan sehingga mengurangi efisiensi turbin. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk menghitung efisiensi turbin yang digunakan.

Boiler merupakan unit mesin yang berfungsi mengubah air menjadi uap bertekanan (steam), uap bertekanan yang telah dihasilkan kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin sebagai pembangkit listrik. Pada dasarnya prinsip kerja boiler adalah perpindahan panas, dimana bahan bakar seperti fiber (serat) dan cangkang (shell) yang telah bercampur dengan udara dibakar langsung di dalam boiler, air yang telah dimurnikan dipompa melalui pipa-pipa ke dalam boiler. Intensitas panas yang tinggi dari pembakaran mengubah air yang telah dimurnikan di dalam pipa-pipa boiler menjadi uap panas bertekanan tinggi, yang kemudian digunakan sebagai penggerak turbin. Sebagai bahan bakar untuk

pemanasan boiler, cangkang sawit dan ijuk dibutuhkan. Cangkang, merupakan limbah yang dihasilkan dari pengolahan inti sawit dengan bentuk seperti batok kelapa namun berukuran kecil. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 50-90 kg atau 5-9% dari hasil pengolahan TBS per ton dengan kandungan kalori 4000-4500 kkal/kg.

Sedangkan serat merupakan limbah sawit yang dihasilkan dari pengolahan pemerasan buah sawit pada proses kempa (press) yang berbentuk pendek seperti benang dan berwarna kuning kecoklatan.. Setiap pengolahan 1 ton TBS menghasilkan 120-140kg atau 12-14% dari hasil pengolahan TBS per ton dengan 13 kandungan kalori sebesar 3000-3600 kkal/kg, (*Irfan Nadif, 2021*)

Turbin merupakan salah satu mesin konversi yang mengubah energi aliransuatu fluida menjadi energi gerak yang dapat dimanfaatkan. Mesin turbin terdiri dari beberapa bagian salah satunya rotor yang merupakan bagian berputar terdiri dari poros/ shaft dengan sudu – sudu di sekelilingnya. Tumbukan pada aliran fluida menyebabkan rotor berputar. Terdapat dua jenis turbin, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada turbin impuls, rotor berputar karena tumbukan dari fluida yang diarahkan oleh nosel. Sedangkan pada turbin reaksi rotor berputar karena tekanan fluida uap dari nosel yang keluar pada ujung – ujung sudu, (*Riyki Apriandi, 2016*).

Turbin uap mendistribusikan ke 3 bagian seperti melalui pipa-pipa rebusan, minyak dan pressan dimana digunakan untuk proses pengolahan. Namun sebelum dimanfaatkan untuk proses pengolahan, terlebih dahulu berfungsi untuk menghidupkan panel-panel listrik yang digerakkan oleh generator listrik sehingga

generator listrik memutarakan turbin uap. Sistem pembangkit listrik tenaga uap merupakan sistem pembangkitan energi listrik dari perubahan energi thermal yang dihasilkan oleh bahan bakar untuk memanaskan air. Mesin-mesin konversi energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik diantaranya yaitu turbin uap. Dimana turbin uap merupakan kelompok pesawat-pesawat konversi.

Dengan mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik pada nosel (turbin impuls) dan sudu-sudu gerak (turbin reaksi) dan diubah menjadi energi mekanik pada poros turbin. Dan dengan bantuan roda gigi reduksi dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dengan mekanisme yang digerakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, untuk transportasi, dan untuk pembangkit tenaga listrik, (*Joko Purnomo.2018*).

Pabrik kelapa sawit PT.Asam Jawa memiliki efisiensi turbin yang rendah. Sehingga efisiensi turbin uap menurun dan menyebabkan daya listrik yang keluar tidak sesuai dengan keluaran generator. karena itu dilakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi turbin uap sebagai penggerak generator, sehingga bias di manfaatkan bagi industry pabrik kelapa sawit.

Cengel & Boles (2015) – Thermodynamics: An Engineering Approach

Memperkenalkan ilmu termodinamika sebagai studi tentang energi dan perpindahan energi. Menjelaskan hukum pertama termodinamika: energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, hanya berubah bentuk. Mendefinisikan sifat sistem termodinamik (ekstensif vs intensif), serta besaran fisika seperti tekanan (gauge vs absolut), temperatur, dan volume. Memperkenalkan konsep proses

(perubahan dari satu keadaan ke keadaan lain) dan diagram P V untuk menggambarkan kerja yang dilakukan oleh sistem.

Moran & Shapiro (2010) – Fundamentals of Engineering Thermodynamics Menjabarkan prinsip-prinsip esensial dalam termodinamika teknik, mencakup sistem, batas, keseimbangan termal dan mekanis. Memperkenalkan alat bantu perhitungan serta pentingnya pendekatan kuantitatif untuk analisis energi.

Harahap, Simanjuntak & Nasution (2019) – Analisis Kinerja Turbin Uap Back Pressure pada PKS Menjelaskan pemanfaatan turbin jenis back-pressure di pabrik kelapa sawit untuk menghasilkan energi listrik sekaligus menyediakan uap untuk proses industri. Memaparkan pentingnya analisis efisiensi turbin dalam rangka optimasi penggunaan energi dan penghematan bahan bakar biomassa.

Rahmadani, Yusuf & Siregar (2021) – Studi Performa Generator Sinkron di PKS Mengulas hubungan antara kestabilan mekanik putaran turbin dan performa generator sinkron. Menekankan bahwa fluktuasi uap dapat berdampak pada kualitas daya listrik dan efisiensi keseluruhan sistem.

Tanjung, Pratama & Setiawan (2022) – Analisis Energi dan Eksergi Turbin Uap di PKS Memperkenalkan pendekatan analisis energi dan eksergi pada sistem pembangkit turbin uap. Menyoroti pentingnya mengidentifikasi titik kehilangan eksergi untuk peningkatan efisiensi sistem.

Yuliana (2020) – Evaluasi Efisiensi Energi di PKS Berbasis Biomassa

Menjelaskan potensi pemanfaatan limbah padat (fiber, cangkang, tandan kosong) sebagai bahan bakar boiler. Menerangkan relevansi pengelolaan boiler terhadap kestabilan suplai uap dan efisiensi turbin.

Wahyudi & Kurniawan (2021) – Pengaruh Pemeliharaan Terjadwal pada Efisiensi Turbin Membahas pentingnya perawatan berkala (preventive maintenance) dalam meningkatkan efisiensi operasional turbin. Menyampaikan bahwa pemeliharaan terjadwal dapat meningkatkan efisiensi hingga sekitar $\pm 5\%$.

Berdasarkan uraian diatas maka penulis mengambil judul mengenai “ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP SEBAGAI PENGGERAK GENERATOR PADA PABRIK KELAPA SAWIT PT. ASAM JAWA“ yang akan membahas tentang besarnya kapasitas daya turbin uap.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menganalisa daya yang ditransfer dari turbin uap ke generator pabrik kelapa sawit ?
2. Bagaimana menganalisa efisiensi turbin uap terhadap putaran generator ?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dari tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Perhitungan yang digunakan sebatas berada di ruangan pembangkit Turbin Elliot pabrik PT. Asam Jawa.
2. Menganalisa efisiensi turbin dan daya turbin Elliot DRY III yang digunakan pada PT. Asam Jawa

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk membahas pernyataan dalam kalimat penelitian yang menunjukkan hasil yang diperoleh setelah proses penelitian selesai.

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah :

1. Dapat menganalisis daya output tertinggi turbin uap.
2. Dapat menganalisis efisiensi tertinggi turbin uap terhadap kinerja generator.

1.5 Manfaat Penelitian

Laporan tugas akhir ini diharapkan bermanfaat bagi:

1. Membawa keuntungan bagi industri sebagai pertimbangan untuk meningkatkan daya dan efisiensi turbin uap di industri kelapa sawit.
2. Membawa keuntungan bagi industri sebagai pertimbangan untuk meningkatkan daya dan efisiensi turbin uap di industri kelapa sawit.
3. Sebagai pengembangan pengetahuan mahasiswa dan bahan referensi tambahan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan (Muhammad Syukrillah,dkk., 2019) yang berjudul **“ANALISIS PERHITUNGAN EFISIENSI ENERGI DI SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA (PLTBM) PT. HARJOHN TIMBER KUBU RAYA”** Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) PT. Harjohn Timber menggunakan generator turbin uap dengan kapasitas 7,5 MW. Faktanya, energi yang dihasilkan tidak statis pada daya pengenal generator turbin uap. Kondisi PLTBm saat ini telah beroperasi selama 13 tahun dan telah banyak terjadi insiden yang dapat menurunkan efisiensi peralatan pada umumnya dan khususnya efisiensi boiler, turbin, dan generator. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai spesifikasi kinerja komponen utama perangkat PLTBm dengan nilai efisiensi operasi rata-rata. Metode perhitungan yang digunakan adalah dengan menggunakan program aplikasi termodinamika ChemicaLogic SteamTab untuk mencari parameter nilai intalpi. Setelah dilakukan analisis, nilai efisiensi boiler sebesar 82%, efisiensi turbin uap dan generator sebesar 94,5%. Nilai kerja turbin tertinggi berdasarkan nilai kerja rata-rata, tepatnya pada bulan ke-9 penelitian, dengan nilai 5831 kW dari nilai spesifikasi 7088 kW. Sedangkan efisiensi operasi rata-rata generator tertinggi sebesar 93,78%, terjadi pada bulan ke- 2 penelitian dan terendah pada bulan ke-8 penelitian, dengan nilai 81,05%. Jika nilai operasi rata-rata efisiensi turbin dibandingkan dengan nilai yang ditentukan, efisiensi turbin di Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) PT. Harjohn Timber turun sebesar $\pm 12\%$. Sedangkan nilai rata-rata operasi generator mengalami penurunan tertinggi sebesar $\pm 13,5\%$ dan terendah $\pm 1,5\%$.

Adapun penelitian dari (Agus Noor Sidiq,2021) yang berjudul **“Perbandingan Efisiensi Turbin Uap Kondisi Aktual Berbasis Data Komissioning Sesuai Standard ASME PTC 6”**. Performa turbin uap merupakan suatu hal yang sangat penting untuk diketahui dan dianalisa untuk memahami kondisi aktual dibandingkan kondisi saat komissioning. Tujuan paper ini adalah untuk

memahami performa dengan melakukan perbandingan efisiensi turbin uap kondisi aktual berbasis data komissioning sesuai dengan kaidah ASME PTC 6. Dengan melakukan hal ini maka dapat diketahui performa aktual yang dialami oleh turbin uap tersebut, kondisi aktual inilah yang akan dibandingkan dengan data-data kommissioning sehingga nanti akan didapatkan selisih performa yang akan menjadi perhatian dalam perbaikan berkelanjutan pada turbin uap tersebut. Hasil pengamatan dilakukan pada PLTU Tarahan Unit 3 mengenai kondisi uap yang masuk ke turbin dalam hal ini tekanan dan temperaturnya, kondisi uap ekstraksi dan kondisi sisi exhaust yang akan mempengaruhi hasil analisa performa turbin uap tersebut.

Selanjutnya penelitian dari (Rolando Samosir,dkk,2019) yang berjudul **“ANALISA EFISIENSI ISENTROPIK TURBIN UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA (PLTBM)”**. Nilai spesifikasi turbin uap perlu diperhatikan terutama spesifikasi efisiensi isentropik (η) dan kerja turbin (W_t) terhadap kemampuan operasional turbin uap di PT. Harjohn Timber Desa Kuala Dua Kubu Raya. Penelitian ini mencari nilai spesifikasi dan operasi efisiensi isentropik dan kerja turbin menggunakan parameter data berupa laju aliran massa (\dot{m}), tekanan inlet (P_1), tekanan outlet (P_2) suhu inlet (T_1) dan suhu outlet (T_2) menggunakan aplikasi ChemicalLogic SteamTab dan metode interpolasi linier. Hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa spesifikasi efisiensi isentropik turbin adalah 64,60 % dan kerja turbin 7,081 MW.

Penelitian dari operasional efisiensi isentropik adalah selama 4 hari penelitian adalah 66,43 %, 65,4 %, 65,71 % dan 66,23 %. Penelitian dari operasional kerja turbin adalah 5501,43 kW, 2784,64 kW, 4999,58 kW dan 4895,08 kW. Rekomendasi yang di sarankan dari penelitian ini adalah perbaikan sensor- sensor turbin agar tidak terjadi kesalahan pembacaan dan juga perbaikan jalur pipa yang mengalirkan uap untuk meningkatkan kemampuan turbin uap.

Selanjutnya penelitian dari Edy Saputro, Aqli Mursadin (2021) berjudul **“ANALISIS EFISIENSI TURBIN UAP UNIT 1 DI PT. PJB UBJOM PLTU PULANG PISAU KALIMANTAN TENGAH”**, Turbin uap adalah salah satu jenis mesin konversivenergi yang dapat mengubah dari energi aliran fluida menjadi energi gerak kinetik, yang dapat dimanfaatkan. Ada 2 bagian utama dari pltu, bagian utama

yang pertama adalah rotor, rotor merupakan bagian turbin uap yang aktif bergerak dan terdiri dari rotor untuk high pressure, middle pressure dan low pressure, setiap rotor ditopang oleh 2 bantalan jenis journal / bantalan luncur, bagian kedua adalah sudusuduvturbin, sudu-suduvyang dipasang disekeliling rotor membentuk suatu piringan. Tumbukan aliran fluida pada sudu-sudu menyebabkan rotor berputar.secara singkat prinsip kerja turbin energi panas di ubah terlebih dahulu menjadi energi kinetik ,proses ini terjadi pada nozel enelgi kinetik di transformasi menjadi energi putar dari rotor turbin yang hanya terjadi pada sisi sudu sudu yang berputar/rotor karena adanya perbedaan tekanan akibat nozel dan kecepatan meningkat dan menabrak sudu rotor yang terdapat pada turbin sehingga memutar.

Selanjutnya penelitian dari Fakrizal Novansyah,dkk,(2022) berjudul **“ANALISA EFISIENSI TURBIN UAP PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP KAPASITAS 7,5 MW”**. Dari penelitian yang telah dilakukan di PT Mega Surya Eratama dapat disimpulkan bahwa besarnya daya turbin pada saat keadaan beban generator normal adalah sebesar 12.323,4 kJ/s. dan besarnya daya turbin pada saat beban generator turun adalah 6.184,31 kJ/s. Selanjutnya, efisiensi turbin pada saat beban generator normal adalah 61,27 % dan pada saat beban generator turun adalah 52,4 %. Hal-hal yang dapat disarankan terkait penelitian ini adalah perbaikan sensorsensor alat instrumentasi perlu dilakukan agar data yang diperoleh dari penelitian ini lebih akurat.

Untuk meningkatkan laju aliran massa diperlukan perbaikan jalur-jalur pipa yang digunakan untuk menyuplai uap ke turbin agar daya turbin meningkat, perbaikan dan pengecekan valve terutama pada sisi valve drainase, agar tidak terjadi loses steam yang menyebabkan penurunan efisiensi turbin karena valve kurang menutup maksimal ketika turbin beroperasi dalam kondisi normal.

Selanjutnya dari Briliana Kurniasari,dkk,(2017). Yang berjudul **“ANALISA EFISIENSI TURBIN GENERATOR BERDASARKAN KUALITAS DAYA PADA PLTU PABRIK GULA MADUKISMO”**. PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup yang merupakan penggunaan fluida yang sama secara berulang-ulang. Berikut ini merupakan tahapan sirkulasinya secara singkat, yaitu.Pertama air diisikan ke boiler hingga mengisi penuh seluruh luas

permukaan pemindah panas. Didalam boiler air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap. Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran. Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator. Keempat, uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk didinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian digunakan lagi sebagai air pengisi boiler.

Selanjutnya pada penelitian Fadel Gani Setiawan, dkk (2022). Yang berjudul **“ANALISIS KINERJA TURBIN UAP UNIT 1 DI CIREBON POWER”**. PT Cirebon Power merupakan konsorsium multinasional memiliki Pembangkit Listrik Supercritical dengan kapasitas unit 1 sebesar 1x660 MW. PLTU ini telah menghasilkan 5 TWh listrik pertahun melalui sistem interkoneksi Jawa-Madura- Bali (Jamali). Mesin di PLTU yang mengkonversi energi kalor menjadi energi mekanik yaitu turbin uap. Energi mekanik yang dihasilkan turbin selanjutnya dirubah menjadi energi listrik melalui generator. Turbin uap yang digunakan di PLTU Cirebon Power adalah jenis Turbine Tandem Compound, Single Reheat. Penelitian ini dilakukan tanpa adanya studi lapangan secara langsung dikarenakan adanya pandemi Covid-19. Oleh karena itu proses yang dilakukan yaitu perhitungan dengan data aktual dan data desai yang ada di PLTU Cirebon Power Unit 1. Data- data yang diperlukan untuk menghitung kinerja turbin uap yaitu Daya generator (kW), Tekanan uap masuk turbin (bar), Temperatur uap masuk turbin ($^{\circ}\text{C}$), Tekanan uap keluar turbin (bar), Temperatur uap masuk turbin ($^{\circ}\text{C}$), Laju alir massa fluida (kg/h). nilai efisiensi termal tertinggi yaitu pada bulan Januari sebesar 45,52% dan efisiensi termal terendah ada pada bulan April dengan nilai 44,36%. Nilai efisiensi termal desain untuk turbin uap yaitu sebesar 45,84%. Efisiensi termal yang dihasilkan turbin uap dapat dikatakan baik, karena berada dalam nilai yang wajar. Untuk pembangkit berkapasitas besar nilai efisiensi termal yaitu berada dalam kisaran 35- 50%. terlihat bahwa turbin yang memiliki efisiensi isentropik dari ketiga turbin relatif konstan. Turbin yang memiliki

efisiensi isentropik tertinggi yaitu turbin LP dengan nilai efisiensi tertinggi pada bulan Januari yaitu 88,59% dan efisiensi terendah pada bulan April yaitu 87,71%. Turbin IP memiliki nilai efisiensi yang relatif konstan paling konstan dibanding kedua turbin lainnya yaitu pada kisaran 86,46-86,76%. Efisiensi isentropik terendah terdapat pada turbin HP dengan nilai 81,25 – 82,73%. Efisiensi isentropik merupakan perbandingan antara kerja turbin aktual dengan kerja turbin ideal. Kerja turbin ideal dapat diketahui dengan menggunakan diagram mollier. Standar untuk nilai efisiensi turbin uap yaitu sebesar 70-90%.

Selanjutnya ditulis oleh Jamaludin dan Reza Pangestu Dh (2018). Yang berjudul **“ANALISIS PERHITUNGAN HEATRATE PADA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE TEST UNIT 1 DI PT. INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR”**. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Banten 3 Lontar Unit 1 merupakan pembangkit listrik dengan bahan bakar batubara yang memanfaatkan fluida kerja berupa uap (steam) untuk menggerakkan turbin yang bertindak sebagai penggerak mula yang kemudian turbin akan memutar rotor generator untuk menghasilkan listrik. Dalam proses produksi listrik, banyak terjadi proses konversi energi. Proses konversi energi sendiri merupakan proses perubahan energi berdasarkan perubahan bentuk dan sifatnya. Berawal dari energi kimia yang terkandung dalam batubara yang dikonversi menjadi energi kalor dalam proses pembakaran. Kemudian dikonversi lagi menjadi energi kinetik berupa aliran uap (steam), selanjutnya dikonversi menjadi energi mekanik melalui putaran turbin dan pada proses akhirnya energi mekanik tersebut dikonversikan menjadi energi listrik melalui generator. Pembangkit listrik tenaga uap termasuk dalam kategori “thermal plant”, karena pembangkit listrik ini memanfaatkan panas hasil pembakaran bahan bakar batubara dan udara furnace (tungku pembakaran) yang kemudian digunakan untuk memanaskan pipa-pipa berisi air/uap di dalam boiler. Dari hasil perhitungan dan Analisa heatrate dengan metode perhitungan turbine heatrate berdasarkan performance test pada unit 1 dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Nilai turbine heatrate terendah (terbaik) terdapat pada bulan Januari dengan nilai 8252.61 kJ/kWh sedangkan nilai turbine heatrate tertinggi (terburuk) terdapat pada bulan Maret dengan nilai 8911.99 kJ/kWh. Semakin kecil nilai heatrate maka akan

semakin baik efisiensi pembangkit, sebaliknya jika semakin tinggi (besar) nilai heatrate maka semakin buruk efisiensi pembangkit tersebut. Hasil nilai turbine heatrate berdasarkan performance test mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak begitu signifikan. Data diambil dari Central Control Room (CCR) pada PLTU Banten 3 Lontar dan hasil perhitungan performance test dari data CCR dengan cara perhitungan manual tidak berbeda jauh hasilnya.

Selanjutnya pada penulisan Dwi Cahyadi, Hermawan(2015).Yang berjudul **“ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI TURBINE GENERATOR QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU REMBANG”** Pada proses pembangkit listrik di PLTU Rembang, Jawa Tengah, daya rated yang dibangkitkan (rated output) oleh turbine generator sebesar 300MW. Hal ini berdasarkan pada desain awal yang tertera dalam manual book. Secara aktual, daya yang dibangkitkan tidak statik pada nilai rated. Kondisi saat ini PLTU Rembang telah beroperasi selama 5 tahun dan telah mengalami banyak permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi unit pada umumnya dan secara spesifiknya pada efisiensi turbine generator. Setelah kegiatan Kerja Praktek yang telah dilakukan pada PLTU 1 Jawa Tengah Rembang dapat disimpulkan bahwa : Proses pembangkitan listrik khususnya pada PLTU 1 Jawa Tengah Rembang terdiri dari siklus bahan bakar, siklus uap dan air, serta siklus pembakaran. Pada Unit 10 nilai efisiensi terendah terjadi pada hari ke-sembilan yaitu pada tanggal 10 Februari 2015 sebesar 90.75%, sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada hari kedua (3 Februari 2015) sebesar 95.93%. Pada unit 20, nilai efisiensi terendah terjadi pada hari ke-delapan (9 Februari 2015) sebesar 90.46%, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada hari ke-enam sebesar 94.66%. Turbine generator QFSN-300-2-20B mengalami penurunan efisiensi sebesar $\pm 5\%$ dari nilai efisiensi desain.

Selanjutnya ditulis oleh Muhammad Fauzi Zakaria (2018). Yang berjudul **“ANALISA ENERGI DAN EKSERGI TURBIN UAP PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP UNIT 2 TANJUNG AWAR-AWAR”** Dengan menggunakan metode analisa energi dan eksergi dapat digunakan sebagai alternatif untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar pada suatu pembangkit. Hilangnya energi dengan jumlah yang besar pada mesin pembangkit listrik dapat terjadi di salah satu atau lebih pada komponen mesin. Untuk mengetahui komponen-

komponen tersebut maka perlu dilakukan analisis di setiap komponen sistem pembangkit listrik tersebut. Metode ini telah banyak dilakukan oleh para ilmuwan dan perancang sistem untuk meningkatkan efisiensi pada pembangkit. melakukan analisa energi dan eksergi pembangkit listrik tenaga uap di Montazeri Iran kapasitas unit 200 MW.

Hasil dari analisa energi menunjukkan kehilangan energi terbesar terdapat pada kondensor sebesar 296,8 MW mencakup 69,8% energi total didalam system, kemudian besar kerugian energi dialami oleh peralatan turbin uap dan boiler. Analisa eksergi menunjukan boiler membuang eksergi terbesar 315,39 MW mencakup 85,66% dari total eksergi memasuki sistem pembangkit, kemudian besar kerusakan eksergi dialami oleh peralatan turbin uap dan kondensor. Hasil analisa energi sebagai berikut : Efisiensi isentropik rata-rata pada turbin uap didapatkan sebesar 91,48 % dengan laju kerugian energi rata-rata pada turbin uap sebesar 31,11 MW. Performa turbin uap dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dimana pengaruh lingkungan terbesar pada LP Turbin. Kondisi ini diperoleh pendingin kondensor mengalami kenaikan akibat terjadinya kenaikan temperatur lingkungan sehingga menyebabkan tekanan vakum pada kondensor turun. Hasil analisa eksergi sebagai berikut. Efisiensi eksergi rata-rata pada turbin uap didapatkan sebesar 94,08% dengan laju kerusakan eksergi rata-rata pada turbin uap sebesar 25,98 MW. Penurunan efisiensi eksergi disebabkan karena temperatur kenaikan lingkungan dan perubahan data operasi.

Perubahan data operasi ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti pembakaran bahan bakar di boiler, heating value bahan bakar, peralatan setiap pembangkit. Hasil evaluasi pemanfaatan energi sebagai berikut. Besar energi yang masuk sistem rata-rata sebesar 370,76 MW dari total besar eksergi sebagai potensi energi masuk sistem rata-rata sebesar 397,41 MW. Persentase energi yang masih dimanfaatkan oleh sistem rata-rata sebesar 93,30 % dengan besar peluang energi yang masih bisa ditingkatkan rata-rata 1,33% dari total potensi energi yang tersedia.

Pada penulisan Teguh Priambodo, M. Aan Auliq (2016). Yang berjudul **“ANALISA PERHITUNGAN EFISIENSI DAYA TURBINE GENERATOR SIEMENS ST-300 7 MW DI PTPN XI (Unit) PG. SEMBORO”**. Kondisi saat ini PLTU PG. Semboro telah beroperasi selama 2 tahun dan telah mengalami banyak

permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi unit pada umumnya dan secara spesifiknya pada efisiensi turbin generator. Efisiensi dari generator akan mempengaruhi kinerja dari sistem PLTU. Semakin besar efisiensi generatornya maka keandalan sistem juga semakin baik. Selama 2 tahun beroperasi, diperkirakan efisiensi generator mengalami penurunan akibat beberapa faktor seperti sering terjadinya derating (penurunan beban) atau trip (unit shutdown), faktor lamanya pemeliharaan, kesalahan dalam pengoperasian dan perawatan serta faktor-faktor lain. Berdasarkan grafik efisiensi Boiler PLTU PG. Semboro pada tanggal 1-10 November 2018 dengan nilai rata-rata Boiler Yoshimine sebesar 84.30%, Weltes 84.29%, dan Takuma 85.99% dengan perhitungan efisiensi menggunakan metode langsung atau input – output, pada dasarnya efisiensi boiler merupakan parameter performa kerja boiler pada setiap pembangkitan, pada PLTU PG. Semboro kondisi boiler masih dalam kondisi yang baik. Perhitungan berdasarkan kondisi di lapangan maka diperoleh efisiensi konversi energi di turbin sebesar 95.17%. Dengan menggunakan entalphi steam yang masuk ke turbin (h_1) dan entalphi steam yang keluar dari turbin (h_2) membandingkan dengan keadaan adiabatik sistem berdasarkan siklus Rankine. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6, terlihat nilai efisiensi daya turbin generator ST-300 7MW mengalami perubahan yang fluktuatif. Selama 10 hari pengamatan didapatkan nilai efisiensi terendah terjadi pada hari kesembilan (9 November 2018) sebesar 90.44% sedangkan nilai efisiensi tertinggi terjadi pada hari kelima (5 November 2018) sebesar 96.55%. Sedangkan untuk efisiensi desain didapat nilai efisiensi terbesar pada tanggal (5 November) senilai 98.44% dan terkecil pada tanggal (9 November) senilai 94.17%. Efisiensi pada generator tidak bisa mencapai 100%, hal ini disebabkan oleh rugi-rugi yang ada pada generator tersebut. Pada buku *Electric Machinery Fundamentals*, S.J. Chapman dijelaskan bahwa rugi-rugi generator meliputi rugi-rugi panas pada kumparan (winding) dan rugi-rugi pada inti generator (core), serta rugi-rugi mekanik akibat gesekan terhadap udara pada saat berputar. Rugi-rugi panas yang dihasilkan inti dan kumparan generator dipengaruhi oleh sistem pendinginannya (generator cooling system). Hal ini menyebabkan efisiensi pada generator dapat mengalami perubahan yang fluktuatif saat beroperasi.

Adapun teori yang digunakan untuk mendalami dan mendukung penelitian pada PT. Asam Jawa sebagai berikut :

2.1.1 Turbin Uap

Turbin uap merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik 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.



Gambar 2.1 Generator-Turbin

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.

2.1.2 Prinsip Kerja Turbin Uap

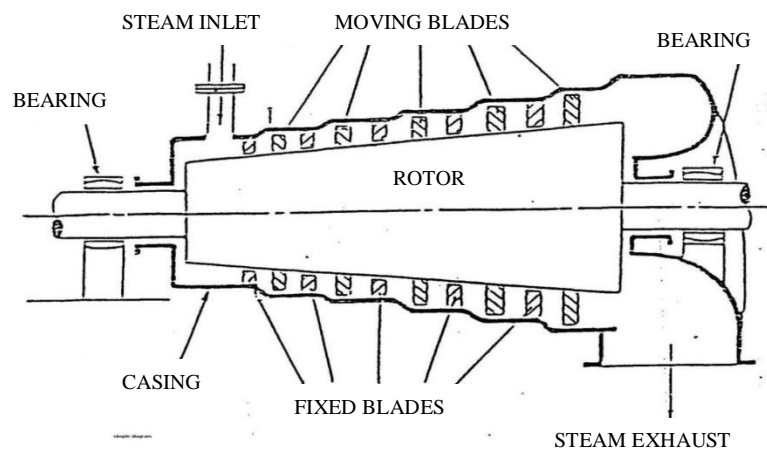
Secara singkat, prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut. Uap memasuki turbin melalui nosel, energi termal uap diubah menjadi energi kinetik di dalam nosel, menyebabkan uap mengembang. Tekanan uap keluar nosel lebih rendah daripada tekanan masuk nosel, tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih tinggi daripada tekanan masuk nosel. Uap yang keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang dipasang membentuk busur di sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah antara bilah turbin dibelokkan ke arah sepanjang kelengkungan bilah turbin. Perubahan kecepatan uap ini menciptakan gaya yang menggerakkan roda dan poros turbin untuk berputar.

Jika uap masih memiliki kecepatan tertentu saat keluar dari sudu turbin, berarti hanya sebagian energi kinetik uap yang diserap oleh sudu turbin yang bekerja. Turbin dipasang dalam beberapa baris sudu untuk memanfaatkan energi kinetik yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin. Sebelum memasuki baris kedua Blades of Movement. Maka antara baris kedua dan baris pertama sudu gerak dipasang sudu tetap (guide blade) yang berguna untuk merubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat. Kecepatan uap saat

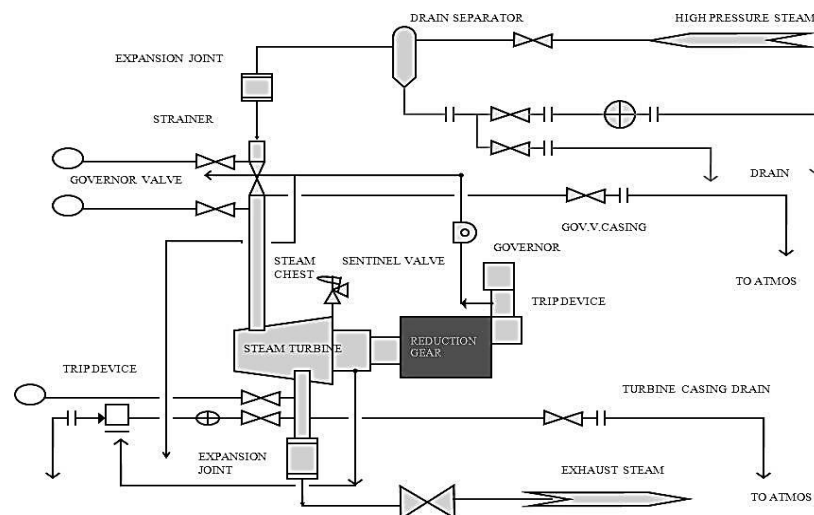
meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi Turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil, (Sularso dan Haruo Tahara, 2004).

2.2 Bagian Utama Turbin Uap.

Secara garis besar adapun bagian utama dari Turbine Uap yaitu :



Gambar 2.2 Bagian Dalam



Gambar 2.3 Komponen-Komponen Utama Turbin

A. Casing

Casing adalah bagian yang diam merupakan rumah atau wadah dari rotor. Pada casing terdapat sudu-sudu diam yang dipasang melingkar dan berjajar terdiri dari beberapa baris yang merupakan pasangan dari sudu gerak pada rotor. Sudu diam berfungsi untuk mengarahkan aliran uap agar tepat dalam mendorong sudu gerak pada rotor.

B. Rotor

Rotor adalah bagian yang berutar terdiri dari poros dan sudu-sudu gerak yang terpasang mengelilingi rotor. Jumlah baris sudu gerak pada rotor sama dengan jumlah baris sudu diam pada casing. Pasangan antara sudu diam dan sudu gerak disebut tingkat (stage). Sudu gerak berfungsi untuk merubah energi kinetik uap menjadi energi mekanik.

C. Bantalan (Bearing)

Fungsi bantalan (bearing) adalah untuk menopang dan menjaga rotor turbin agar tetap pada posisi normalnya.

D. Katup Utama (Main Valve)

Katup utama turbin terdiri dari main stop valve (MSV) dan governor valve (GV). Main Stop Valve (MSV) berfungsi sebagai katup penutup cepat jika turbin trip atau katup pengisolasi turbin terhadap uap masuk. MSV bekerja dalam dua posisi, yaitu menutup penuh atau membuka penuh.

Turbin harus dapat beroperasi dengan putaran yang konstan pada beban yang berubah-ubah. Untuk membuat agar putaran turbin selalu tetap digunakan governor valve yang bertugas mengatur aliran uap masuk turbin sesuai dengan bebannya.

E. Reducing Gear

Reducing Gear adalah suatu bagian dari turbin yang biasanya dipasang pada turbin-turbin dengan kapasitas besar dan berfungsi untuk menurunkan putaran poros rotor dari 5.294 rpm menjadi 1.500 rpm.

Bagian-bagian dari Reducing Gear adalah :

1. Gear casing adalah penutup gear box dari bagian-bagian dalam reducing gear.
2. Pinion (high speed gear) adalah roda gigi dengan tipe helical yang putarannya merupakan putaran dari shaft rotor turbin uap.
3. Gear wheel (low speed gear) merupakan roda gigi tipe helical yang putarannya akan mengurangi jumlah putaran dari shaft rotor turbin yaitu dari 5.294 rpm menjadi 1.500 rpm.
4. Pinion bearing yaitu bantalan yang berfungsi untuk menahan atau menerima gaya tegak lurus dari pinion gear.
5. Pinion holding ring yaitu ring berfungsi menahan pinion bearing terhadap gaya radial shaft pinion gear.
6. Wheel bearing yaitu bantalan yang berfungsi menerima atau menahan gaya radial dari shaft gear wheel.
7. Wheel holding ring adalah ring penahan dari wheel bearing terhadap gaya radial atau tegak lurus shaft gear wheel.
8. Wheel thrust bearing merupakan bantalan yang berfungsi menahan atau menerima gaya sejajar dari poros gear wheel (gaya aksial) yang merupakan gerak maju mundurnya poros.

2.3 Efisiensi Turbin Uap

Pengertian efisiensi turbin adalah kemampuan turbin untuk merubah energi panas yang dikandung uap menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator. Dalam termodinamika, efisiensi termal adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan termal seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya. Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Output yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja, atau mungkin keduanya. Jadi apabila kapasitas pembangkit besar maka range efisiensi thermal juga akan semakin besar begitu pula sebaliknya. Ketika ditulis dalam presentase, efisiensi thermal harus berada antara 0% sampai 100 %. Faktor -faktor yang mempengaruhi besarnya kerugian di dalam turbin akan mempengaruhi efisiennya.

Untuk menghitung efisiensi pada turbin uap maka kita harus mengetahui nilai entalpi dan entropi pada siklus tersebut. Entalpi dalam termodinamika yang menyatakan jumlah energi dalam volume dan tekanan panas dari suatu zat. Satuan dari entalpi adalah joule, namun digunakan juga satuan British thermal unit dan kalori. Total entalpi (h) tidak bisa diukur langsung. Sama seperti pada mekanika klasik, hanya perubahannya yang dapat dinilai. Sedangkan Entropi adalah salah satu besaran termodinamika yang mengukur energi dalam sistem per satuan temperatur yang tak dapat digunakan untuk melakukan usaha entropi. Kerugian yang besar akan membuat efisiensinya rendah.

Perhitungan yang terlibat dalam efisiensi turbine uap :

- a. Daya steam masuk turbin

$$W_{Tin} = m_s \times h_3 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

W_{Tin} = daya steam masuk turbin

M_s = Laju aliran uap (kg/jam)

h_3 = Entalphi masuk turbin (kj/kg)

b. Daya steam keluar turbin

$$W_{Tout} = m_s \times h_4 \dots \dots \dots (2.2)$$

W_{Tout} = daya steam keluar turbin (Kw)

m_s = Laju aliran uap (kg/jam)

h_4 = Entalphi keluar turbin (kj/kg)

Setelah melakukan perhitungan daya steam masuk dan keluar turbin dilanjutkan dengan rumus efisiensi turbin :

$$\eta_{turbin} = \frac{W_{Tout}}{W_{Tin}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

η_{turbin} = efisiensi turbin

W_{Tout} = daya steam keluar turbin (Kw)

W_{Tin} = daya steam masuk turbin (Kw)

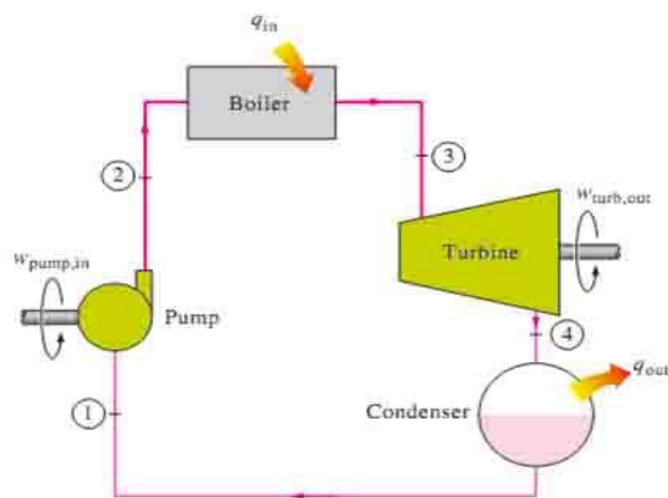
Faktor-faktor yang penyebab kerugian di dalam turbin diantaranya :

1. Kerugian uap pada saat meninggalkan moving blade
2. Kerugian pada nozel
3. Kerugian celah

4. Kerugian pada katup
5. Kerugian akibat kebasahan uap
6. Kerugian gesekan

2.4 Siklus Rankine

Siklus Rankine setelah diciptakan langsung diterima sebagai standar untuk pembangkit daya yang menggunakan uap (steam). Siklus Rankine nyata yang digunakan dalam instalasi pembangkit daya jauh lebih rumit dari pada siklus Rankine ideal asli yang sederhana. siklus ini merupakan siklus yang paling banyak digunakan untuk pembangkit daya listrik sekarang ini. Oleh karena itu digambarkan dengan diagram P - v dan T - s dengan garis yang menunjukkan uap jenuh dan cair jenuh. Seperti terlihat pada gambar 2.4. Sebagai berikut :



Gambar 2.4 Siklus Rankine Ideal

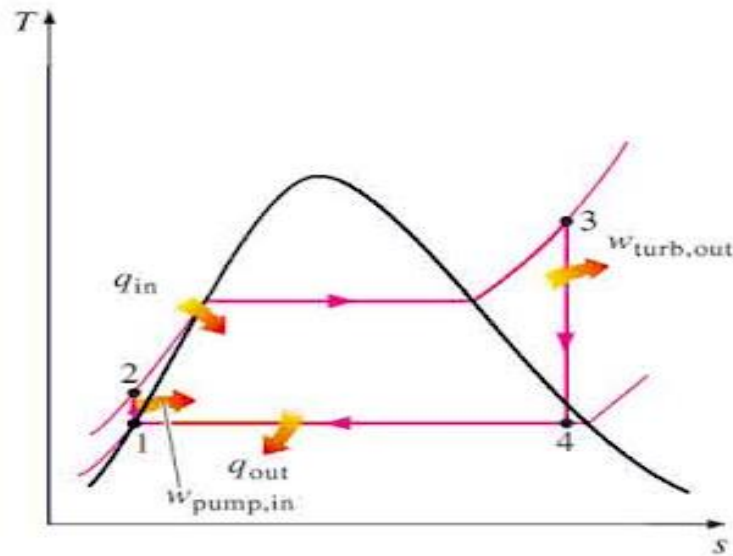
Terdapat 4 proses dalam siklus Rankine, setiap siklus mengubah keadaan fluida (tekanan dan wujud) sebagai berikut:

1. Proses 1 : Fluida dipompa dari bertekanan rendah ketekanan tinggi dalam bentuk cair. Proses ini membutuhkan sedikit input energi.

2. Proses2 : Fluida cair bertekanan tinggi masuk keboiler dimana fluida dipanaskan hingga menjadi uap pada tekanan konstan menjadi uap jenuh.
3. Proses 3 : Uap jenuh bergerak menuju turbin, menghasilkan energy listrik. kondensasi juga terjadi.
4. Proses 4 : Uap basah memasuki kondenser dimana uap diembunkan dalam tekanan dan temperatur tetap hingga menjadi cairan jenuh.

Siklus ideal yang terjadi didalam turbin adalah siklus Renkine ; Air pada siklus 1 dipompakan, kondisinya adalah isentropik $S_1 = S_2$ masuk ke boiler dengan tekanan yang sama dengan tekanan di kondenser tetapi Boiler menyerap panas sedangkan kondenser melepaskan panas, kemudian dari boiler masuk keturbin dengan kondisi super panas $h_3=h_4$ dan keluaran dari turbin berbentuk uap jenuh dimana laju aliran massa yang masuk ke turbin sama dengan laju aliran massa keluar dari turbin, ini dapat digambarkan dengan menggunakan diagram T- S berikut: pada gambar 2.6 yaitu Proses-proses yang terjadi dari diagram tersebut dapat kita lihat dibawah ini sebagai berikut:

1. Proses1-2 : Proses kompresi isentropis pada kompresor.
2. Proses2-3 : Proses pembakaran pada tekanan konstan (isobar) Didalam ruang bakar, adanya pemasukan panas.
3. Proses3-4 : Proses ekspansi isentropik padaturbin.
4. Proses4-1 : Proses pelepasan kalor pada tekanan konstan.



Gambar 2.5 Diagram T-S Siklus Rankine

Analisa pada siklus rankine menggunakan beberapa data, berdasarkan unit uap dan massa uap dapat dihitung berapa daya dan efisiensi thermal turbin dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1. Daya pompa

$$W_p = m (h_2 - h_1) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

W_p = Kerja Pompa (Kw)

m = Laju aliran uap (kg/jam)

h_2 = Entalphi masuk pompa (kj/kg)

h_1 = Entalphi keluar pompa (kj/kg)

2. Laju perpindahan panas ke fluida

- a. Fluida masuk

$$Q_{in} = m (h_3 - h_2) \dots\dots\dots(2.5).$$

Dimana :

Q_{in} = fluida yang masuk (Kw)

m_s = Laju aliran uap (kg/jam)

h_3 = Entalpi masuk turbin (kj/kg)

h_2 = Entalpi masuk pompa (kj/kg)

b. Fluida keluar

$$Q_{out} = m_s (h_4 - h_2) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

Q_{out} = fluida yang Keluar (Kw)

m_s = Laju aliran uap (kg/jam)

h_4 = Entalpi keluar turbin (kj/kg)

h_2 = Entalpi keluar pompa (kj/kg)

3. Daya steam turbin

a. Daya steam masuk turbin

$$W_{Tin} = m_s \times h_3 \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

W_{Tin} = daya steam masuk turbin

m_s = Laju aliran uap (kg/jam)

H_3 = Entalpi masuk turbin (kj/kg)

b. Daya steam keluar turbin

$$W_{Tout} = m_s \times H_4 \dots \dots \dots (2.8)$$

W_{Tout} = daya steam keluar turbin (Kw)

m_s = Laju aliran uap (kg/jam)

H_4 = Entalpi keluar turbin (kj/kg)

c. Daya turbin

$$W_T = ms (H_3 - H_4) \dots\dots\dots(2.9)$$

W_T = Daya turbin (KW)

H_3 = Entalpi masuk turbin (kj/kg)

H_4 = Entalpi keluar turbin (kj/kg)

Adapun untuk mencari rumus entalphi yang tidak dapat dilihat di tabel termodinamika dan di aplikasi digital yaitu :

a) Entalpi masuk pompa (H_2)

$$H_2 = H_1 + w_{pump,in} \dots\dots\dots(3.0)$$

Dimana :

H_2 = Entalpi masuk pompa (kj/kg)

H_1 = Entalphi keluar pompa (kj/kg)

$w_{pump,in}$ = kerja spesifik pompa masuk

b) Entalphi kelua turbin (H_4)

$$H_4 = X_1 + X_4 \cdot h_{fg} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana ;

H_4 = Entalphi masuk turbin (kj/kg)

H_1 = Entalphi keluar pompa (kj/kg)

X_4 = Kualitas uap

h_{fg} = selisih hg dengan hf ini disebut juga entalpy penguapan

2.5 Generator

Generator listrik merupakan mesin yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari sumber energi mekanis. Prinsip kerja dari generator listrik diantaranya sebagai induksi elektromagnetik. Berdasarkan jenis arus listriknya, generator kemudian dibagi menjadi generator arus searah serta generator arus bolak-balik. Perbedaan keduanya ada pada penggunaan komutator pada generator arus searah beserta cincin selip pada generator arus bolak-balik. Proses kerja generator listrik dikenal juga sebagai pembangkit listrik. Generator listrik juga memiliki banyak kesamaan dengan motor listrik, namun motor listrik adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

Selain itu, generator juga mendorong muatan listrik untuk dapat bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, namun generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam lilitan kumparannya. Hal ini dapat dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang kemudian menciptakan aliran air tetapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik kemudian dapat berupa resiprokal maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin atau kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya juga matahari, udara yang dimampatkan, atau apa pun sumber energi mekanis yang lalu lalang. Adapun dua jenis generator yaitu.

a. Generator Searah

Dasar kerja dari generator arus searah adalah terjadinya peristiwa induksi elektromagnetik. Generator arus searah juga dapat menghasilkan kegalangan induksi ke satu arah dengan mengubah bentuk cincin terminalnya. Cincin terminal dalam

bentuk ini disebut juga sebagai cincin belah atau komutator. Generator arus searah hanya akan menggunakan komutator satu cincin yang terbelah dua, sehingga kemudian menghasilkan arus searah, sedangkan generator arus bolak-balik memiliki dua cincin yang terpisah.

Ketika gaya gerak listrik timbul, maka kontak dengan rangkaian beban kemudian berganti terminal, sehingga tegangan keluaran hanya memiliki satu tanda serta menghasilkan arus searah. Penambahan jumlah kumparan yang kemudian dihubungkan ke komutator dengan cincin komutator yang terdiri dari beberapa segmen, serta mampu mengurangi riak pada tegangan listrik arus searah.

b. Generator Arus Bolak-balik

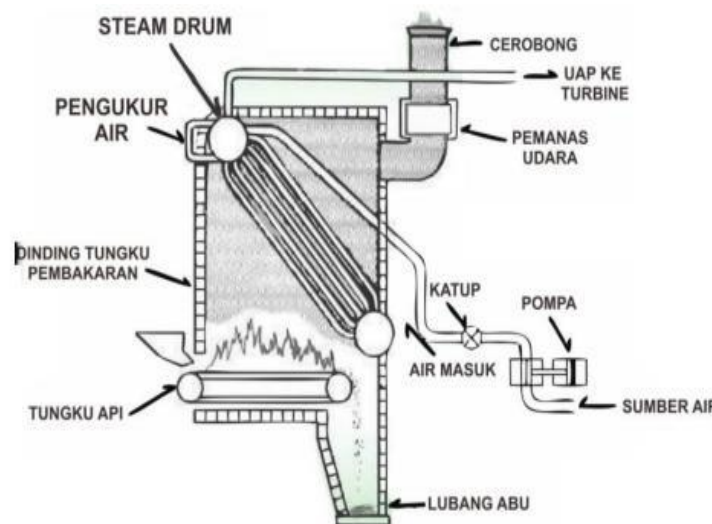
Sistem arus bolak-balik pertama kali dibuat oleh William Stanley di Great Barrington, Massachusetts. Proyek pembuatan sistem ini sendiri didanai oleh Westinghouse. Di saat yang bersamaan, sistem arus bolak-balik kemudian diperjualbelikan oleh Nikola Tesla. Penggunaan arus bolak-balik tersebut terus meningkat setelah C.S. Bradley membuat generator bolak-balik 3 fasa pada tahun 1887. Generator arus bolak-balik tiga fasa ini memiliki daya guna yang tinggi, sehingga digunakan sebagai pembangkit listrik secara umum di dunia sejak tahun 1900 Masehi.

Generator arus bolak-balik ini terdiri dari suatu kumparan serta lilitan kawat yang diputar di dalam medan magnet. Bagian dalam generator arus bolak-balik ini disebut juga sebagai armatur. Isi armature adalah silinder besi yang digunakan sebagai tempat bagi kumparan kawat untuk dililitkan. Selain itu, terminal generator juga memiliki dua cincin putar yang dihubungkan dengan beban listrik melalui

bushing yang terbuat dari tembaga lunak. Medan magnet kemudian dibentuk oleh magnet permanen atau elektromagnet. Energi untuk memutar armatur dapat berupa tenaga manusia, pembakaran, ataupun pada energi

2.6 Boiler

Boiler merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk uap panas atau steam berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Uap panas atau steam pada tekanan dan suhu tertentu memiliki nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi antara lain mass flow, tekanan dan suhu uap masuk boiler serta tekanan dan suhu uap keluar boiler. Tahap awal proses penentuan efisiensi boiler adalah data tekanan, suhu masukan dan keluaran boiler. Data tersebut diubah menjadi entalpi panas lanjut dalam satuan kJ/kg dan entalpi air umpan juga dalam kJ/kg untuk mendapatkan nilai energi keluar dan energi masuk.



Gambar 2.6 Boiler Turbin Uap

Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan steam yang akan digunakan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan temperatur rendah, dan tekanan temperatur tinggi dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin. Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem steam, dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai kran disediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan dari sistem air umpan, penanganan air umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem steam. Sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler.

Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan steam diatur menggunakan kran dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem, oleh karena itu bahan bakar yang digunakan untuk menjadi sumber panas boiler harus dipilih dengan baik. (Muslih Nasution, 2022)