

PROSES PEMBANGKIT LISTRIK 15 MW PADA WASTE HEATS RECOVERY SYSTEM DI PT. CEMINDO GEMILANG, TBK.

Deva Adelya Prestanty
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Bagus Dwi Cahyono
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Email: 2283200023@untirta.ac.id

Korespondensi penulis: 2283200023@untirta.ac.id

Abstract

The need for electrical energy consumption is very high and all human activities use electrical energy. Electricity is also very much needed in industry, because almost all tools use electricity. Because the use of electricity is very large at PT. Cemindo Gemilang built a WHRS (Waste Heats Recovery System) unit to supply electricity. This study aims to determine how the working principles and work processes on WHRS. The method used is by observation and interviews to find out how the process at the WHRS. The conclusion is that the Waste Heats Recovery System is a power plant that uses residual heat or flue gas as a substitute for coal to heat water in the boiler.

Keywords: *Boiler, Turbine, Waste Heats Recovery System.*

Abstrak

Kebutuhan akan konsumsi energi listrik sangat tinggi dan semua aktivitas manusia banyak yang menggunakan energi listrik. Listrik juga sangat dibutuhkan pada industri, karna seluruh alat hampir semua menggunakan listrik. Karna penggunaan listrik sangat besar pada PT. Cemindo Gemilang membangun unit WHRS (*Waste Heats Recovery System*) untuk menyuplai listrik. Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana prinsip kerja serta proses kerja pada WHRS. Metode yang digunakan yaitu dengan observasi dan wawancara untuk mengetahui bagaimana proses pada WHRS tersebut. Hasil kesimpulan yaitu *Waste Heats Recovery System* ini merupakan pembangkit listrik yang menggunakan sisa panas atau *flue gas* sebagai pengganti batu bara untuk memanaskan air pada boiler.

Kata kunci: *Boiler, Turbine, Waste Heats Recovery System.*

LATAR BELAKANG

Di zaman modern seperti sekarang ini, kebutuhan akan konsumsi energi listrik sangat tinggi, semua aktivitas manusia membutuhkan energi listrik. tidak hanya di masyarakat, di dalam industri juga berperan penting energi listrik ini, karena terdapat beberapa bahkan hampir seluruh alat sudah menggunakan energi listrik sebagai sumber utamanya, salah satunya PT. Cemindo Gemilang yang bergerak di bidang industri pengolahan semen.

Apabila pabrik menggunakan energi langsung dari PLN akan menyebabkan anggaran biaya konsumsi listrik sangat tinggi, maka dari itu untuk menekan biaya energi listrik di bangunlah unit *power plant* dan WHRS (*Waste Heats Recovery System*) untuk menyuplai energi listrik ke area *cement plant*, dengan di bangun unit pembangkit ini dapat menekan anggaran biaya untuk energi listrik.

Prinsip kerja WHRS (*Waste Heats Recovery System*) hampir sama dengan PLTU konvensional yakni mengubah energi mekanik (*steam* memutar *turbine*) menjadi listrik. Pada PLTU energi panas umumnya bersumber dari energi panas dari proses pembakaran batu bara. Namun, pada WHRS energi panas bersumber dari gas buang atau *flue gas* yang tersedia dalam kiln atau *calciner*. Kiln atau *calciner* merupakan suatu alat yang berfungsi untuk memanaskan bahan baku semen pada suhu tinggi atau kalsinasi dalam suatu proses berkelanjutan, temperatur berkisar dari 1000 - 1350°C, dengan bahan bakar batu bara.

Teknologi untuk memanfaatkan panas buang dari sisa gas buang atau *flue gas* produksi semen sudah dibuat sejak tahun 2018 oleh PT. Cemindo Gemilang dengan menggunakan siklus pemanfaatan panas buang dari proses pembuatan semen. Untuk pembangkitan daya baru terpasang dengan kapasitas produksi listrik mencapai 15 MW ada pada 2 *line*.

KAJIAN TEORITIS

Waste Heats Recovery System merupakan sebuah pembangkit listrik yang memiliki prinsip kerja seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap yang membedakan hanya sumber panasnya saja, jika pada PLTU panas bersumber dari batu bara sedangkan pada *Waste Heats Recovery System* panas bersumber dari sisa panas atau *flue gas* pada *cement plant*. Ada beberapa alat yang digunakan untuk mendukung proses kerja pada *Waste Heats Recovery System*, di antaranya yaitu :

A. Boiler

Boiler merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memanaskan air agar dapat di ubah dari air menjadi uap. Boiler terdiri atas dua bagian penting yaitu bagian pemanas air diatas suhu awal dan bagian proses pembentukan menjadi uap kering. Pada boiler panas yang dihasilkan dari pemanfaatan sisa gas buang atau *flue gas* pada kiln.

Boiler atau ketel uap merupakan gabungan yang kompleks dari pipapipa penguapan (*evaporator*), pemanas lanjut (*superheater*), pemanas air (*ekonomiser*) dan pemanas udara (*air heater*). Pipa-pipa penguapan (*evapurator*) dan pemanas lanjut (*superheater*) mendapat kalor langsung dari proses pembakaran bahan bakar, sedangkan pemanas air (*economiser*) dan pemanas udara (*air heater*) mendapat kalor dari sisa gas hasil pembakaran sebelum di buang ke atmosfer.

Boiler yang digunakan untuk pembangkit uap di pembangkit listrik ini merupakan tipe pipa air, yang terdiri dari *steam drum* di bagian atas dan mud drum berada di bagian bawah. Dua buah drum tersebut terhubung dengan pipa-pipa, jenis pipa tersebut ada pipa reser dan pipa *down comer* yang merupakan pipa pembangkit uap yang menerima energi panas yang dihasilkan dari pemanfaatan sisa gas buang atau *flue gas* pada kiln (Mustangin, M. Dkk, 2018).

Proses pemanasan air menjadi uap yang bertekanan (*steam*) menggunakan dua buah boiler, yaitu AQC (*Air Quenching Cooler*) boiler dan SP (*Suspension Preheater*) boiler. Pemanasan di AQC boiler dengan memanfaatkan sisa panas pada *cooler*, sedangkan pemanasan pada SP boiler dengan memanfaatkan sisa panas pada *preheater*.

Proses pemanasan air menggunakan boiler hingga menjadi uap kering, yaitu :

1. *Water heater* yang berfungsi untuk pemanasan awal temperatur air diatas suhu awal.
2. *Economizer* yang berfungsi untuk memanasi kembali air pada boiler sebelum masuk pada steam drum.
3. *Steam drum* yaitu wadah penampung air yang telah di panaskan pada water heater dan economizer dan juga berfungsi untuk memisahkan antara air dengan uap basah.
4. *Evaporator* berfungsi sebagai pemanasan temperatur air pada steam drum untuk menjadikan air tersebut menjadi uap basah.
5. *Super heater* berfungsi sebagai pemanasan uap basah dari steam drum dan evaporator dengan temperatur tinggi sehingga uap tersebut berubah menjadi uap kering.

B. Turbine

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 berporos dengan generator yang di hubungkan dengan mekanisme yang digerakan.

Turbin uap merupakan salah satu jenis mesin yang menggunakan metode external combustion engine (mesin pembakaran luar). Pemanasan fluida kerja (uap) di lakukan diluar sistem. Prinsip kerja dari suatu instalasi turbin uap secara umum adalah di mulai dari pemanasan air pada ketel uap. Uap air hasil pemanasan yang bertemperatur dan bertekanan tinggi selanjutnya digunakan untuk menggerakkan poros turbin. Uap yang keluar dari turbin selanjutnya dapat di panaskan kembali atau langsung di salurkan ke kondensor untuk didinginkan. Pada kondensor uap berubah kembali menjadi air dengan tekanan dan temperatur yang telah menurun. Selanjutnya air tersebut dialirkan kembali ke ketel uap dengan bantuan pompa. Dari penjelasan di atas dapat di simpulkan bahwa turbin uap adalah mesin pembangkit yang bekerja dengan sistem siklus tertutup (Mustangin, M. Dkk, 2018).

Gambar 1. Turbine



Turbin terdiri dari poros, yang memiliki satu atau lebih disk yang di pasang pada baling-baling yang bergerak, dan selubung di mana sudu stasioner dan nozel di pasang. Poros dalam casing menggunakan bantalan secara vertikal dan beban keliling oleh bantalan dorong aksial yang menahan gerakan aksial yang di sebabkan oleh aliran uap melalui turbin. Segel di dalam casing untuk mencegah uap melewati sudu turbin (Mustangin, M. Dkk, 2018).

Pada intinya prinsip kerja turbin uap adalah menerima energi kinetik dari superheated vapor (uap kering) yang di dikeluarkan oleh nosel sehingga sudu-sudu turbin terdorong secara anguler atau bergerak memutar. berikut penjelasan prinsip kerja :

1. Uap masuk kedalam turbin melalui nosel. Didalam nosel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis 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 kearah mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.
2. 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.

3. 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 (Dwiaji & Utama, 2020).

C. Generator

Generator sinkron (sering disebut alternator) adalah mesin listrik arus bolak balik yang menghasilkan tegangan dan arus bolak balik (alternating current atau AC) yang bekerja dengan cara merubah energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik dengan adanya induksi medan magnet. Perubahan energi ini terjadi karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet dengan kumparan generator (Anthony, 2018).

Prinsip kerja generator sinkron, Generator dapat menghasilkan energi listrik karena adanya pergerakan relatif antara medan magnet homogen terhadap kumparan jangkar pada generator (magnet yang bergerak dan kumparan jangkar diam, atau sebaliknya magnet diam sedangkan kumparan jangkar bergerak). Jadi, jika sebuah kumparan diputar pada kecepatan konstan pada medan magnet homogen, maka akan terinduksi tegangan sinusoidal pada kumparan tersebut.

Medan magnet homogen ini bisa di hasilkan oleh kumparan yang di aliri arus DC atau oleh magnet tetap (Anthony, 2018).



Gambar 2. Generator

D. Motor Induksi

Motor induksi adalah adalah motor listrik bolak balik (AC) yang putaran rotornya tidak sama dengan putaran medan stator, dengan kata lain putaran rotor dengan putaran medan stator terdapat selisih putaran yang disebut slip. Pada umumnya motor induksi di kenal ada dua macam berdasarkan jumlah fasa yang di gunakan, yaitu: motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa (Atman, Zulfahri, & Situmeang, 2016).

Motor induksi pada dasarnya mempunyai 3 bagian penting, yaitu :

1. Stator : Merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.
2. Celah : Merupakan celah udara, tempat berpindahnya energi dari stator ke rotor.
3. Rotor : Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor (Anthony, 2018)

Pada umumnya motor induksi dikenal ada dua macam berdasarkan jumlah fasa yang digunakan, yaitu :

1. Motor Induksi 1 Fasa

Motor induksi satu fasa adalah satu jenis dari motor-motor listrik yang bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik. Motor induksi terdiri atas kumparan stator dan kumparan rotor yang berfungsi membangkitkan gaya gerak listrik akibat dari adanya arus listrik bolak-balik satu fasa yang melewati kumparan-kumparan tersebut sehingga terjadi suatu interaksi induksi medan magnet antara stator dan rotor (Sihombing, Siregar & Sibarani, 2020).

Konstruksi motor induksi satu fasa hampir sama dengan konstruksi motor induksi tiga fasa, yaitu terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk silinder dan simetris. Di antara rotor dan stator ini terdapat celah udara yang sempit (Atmam, Zondra & Yuvendus, 2020).

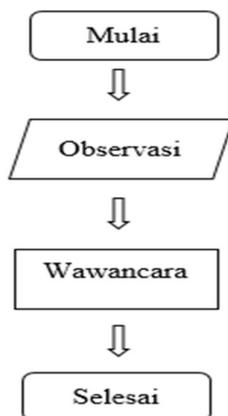
2. Motor Induksi 3 Fasa

Motor arus searah adalah mesin yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah tenaga menjadi tenaga mekanik atau tenaga gerak. Motor merupakan komponen yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Pada suatu waktu ketika motor memutar pemotongan kumparan rotor garis gaya magnet yang menyebabkan tegangan pada induksi kumparan telah terjadi berlawanan dengan tegangan penggerak motor. motor DC bekerja prinsipnya hampir sama dengan generator AC, dimana perbedaannya adalah pada konversi dayanya. Prinsip dasar dalam counter-current kawat ditempatkan di antara kutub magnet (AS), maka kawat itu akan bekerja pada gaya yang bergerak kawat (Permata, Hamid, & Pertiwi, 2018).

Motor induksi 3 fasa mempunyai konstruksi yang hampir sama dengan tipe motor listrik yang lain. Pada dasarnya ada 2 bagian, ialah stator, merupakan bagian yang tidak bergerak (berputar) serta rotor, bagian yang bergerak. Rotor posisinya terpisah dari stator dengan terdapatnya celah udara (gap) yang besarnya antara 0.4 mm – 4 mm, tergantung dari besarnya energy motor tersebut (Siburian, Jumari, & Simangunsong, 2020).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan yaitu observasi secara langsung dan melakukan wawancara dengan beberapa narasumber yang di dampingi langsung oleh pembimbing industri.



Gambar 3. Diagram Alur Metode Penelitian

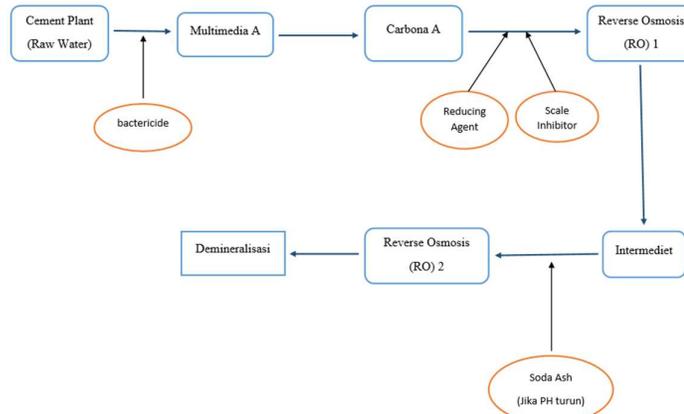
HASIL DAN PEMBAHASAN

Air yang digunakan berasal dari sungai Cimadur dan sungai Cidikit kemudian diolah pada WTP (*Water Treatment Plant*) yang bertujuan untuk mengolah air dari kualitas air baku terkontaminasi untuk mendapatkan perawatan kualitas air yang di inginkan dan sesuai dengan standar mutu.

Setelah dari WTP kemudian akan di olah kembali air tersebut pada demineralisasi agar dapat sesuai dengan standar yang di inginkan. Air tersebut sebelum masuk pada boiler di olah pada demineralisasi agar mencegah korsi atau berkarat, supaya boiler dapat bekerja secara maksimal. Berikut ini merupakan proses pembangkit pada WHRS (*Waste Heats Recovery System*).

A. Proses Demineralisasi

Pada demineralisasi bertujuan untuk membunuh bakteri, menghilangkan warna, bau, rasa, meningkatkan PH air serta untuk menurunkan oksigen pada air baku yang dapat mencegah terjadi korosi atau karat pada boiler.



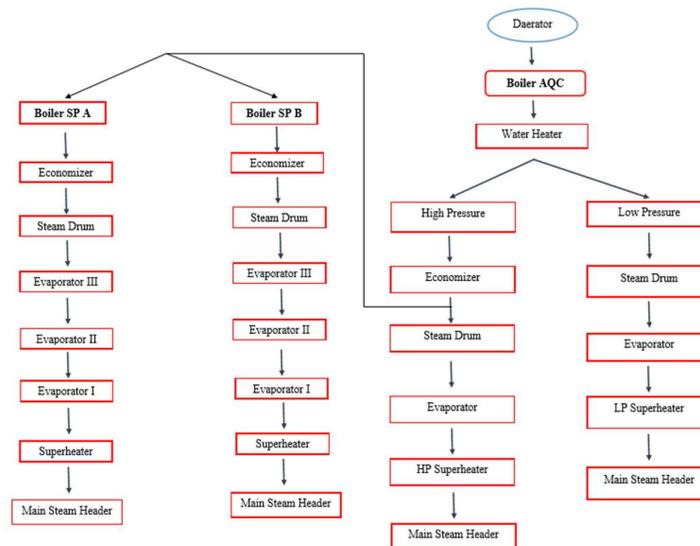
Gambar 4. Diagram Proses Pengolahan Air Pada Demineralisasi

Ada beberapa tahapan pengolahan air agar sesuai dengan standar mutu yang ada pada demineralisasi, yaitu:

1. *Raw Water*, digunakan untuk menampung air dari cement plant.
2. *Multimedia*, digunakan untuk menghilangkan kotoran pada air baku dengan menggunakan media pasir silika.
3. *Activated carbon*, digunakan untuk menghilangkan bau, warna, Fe, dan O_2 pada air baku.
4. RO (*Reverse Osmosis*) 1, digunakan untuk menghilangkan zat natrium atau sodium (Na), klorin (Cl). Sebelum masuk ke RO (*Reverse Osmosis*) diberi dua zat kimia, yaitu :
 - a. Scale Inhibitor, yang berfungsi agar tidak menjadi kerak pada dalam RO (*Reverse Osmosis*).
 - b. Redusing agent ($NaHSO_3$) Natrium Bisulfit, yang berfungsi untuk menghilangkan warna, rasa dan menurunkan kadar oksigen pada air baku.
5. *Intermediate water tank*
6. RO (*Reverse Osmosis*) 2, digunakan untuk menurunkan conductivity.
7. Demin, merupakan wadah air produk yang memiliki conductivity maximal 5.

B. Proses Boiler

Pada proses boiler bertujuan untuk mengubah air menjadi steam kering, panas pada boiler bersumber pada kiln. Boiler yang digunakan terdapat dua jenis boiler, yaitu AQC (*Air Quenching Cooler*) boiler dan SP (*Suspension Preheater*) boiler. Pemanasan di AQC boiler dengan memanfaatkan sisa panas pada *cooler*, sedangkan pemanasan pada SP boiler dengan memanfaatkan sisa panas pada *preheater*. Proses air yang akan mengalir pada boiler dari demineralisasi menuju boiler *feed pump* yang kemudian baru dialirkan masuk pada SP boiler dan AQC boiler.



Gambar 5. Diagram Proses Pada Boiler AQC & SP

Berikut ini ada beberapa tahapan pada boiler AQC dari dalam bentuk air hingga menjadi steam jenuh, yaitu :

1. *Water heater*, merupakan alat yang menggunakan termodinamika dengan menggunakan energi untuk memanaskan air diatas suhu awal. Setelah pemanasan pada *water heater* air tersebut terbagi menjadi dua, yaitu :
 - a. *High pressure*
 - b. *Low pressure*
2. *Economizer*, berfungsi untuk pemanasan air kembali sebelum air tersikulasi kembali menuju steam drum. *Economizer* hanya digunakan untuk *high pressure*.

3. *Steam drum*, berfungsi sebagai *reservoir* campuran air dan steam basah dan juga berfungsi sebagai pemisah antara uap basah dengan air. Di bawah ini merupakan *steam drum* yang digunakan pada PT. Cemindo Gemilang.



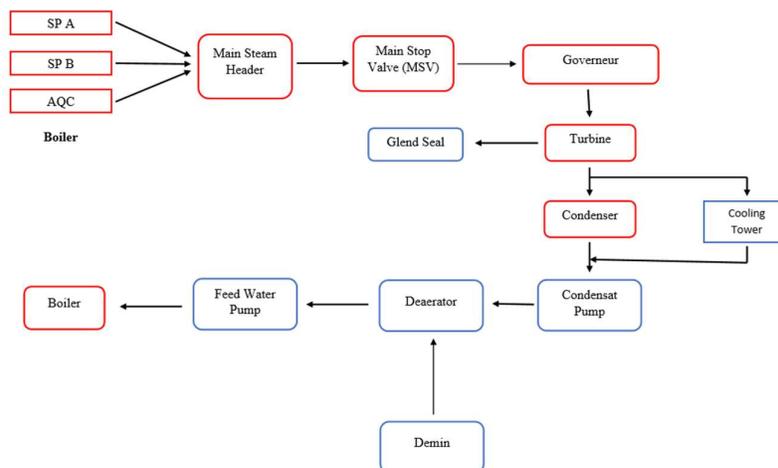
Gambar 6. Steam Drum

4. *Evaporator*, merupakan proses pemanasan air hingga menjadi uap. Uap air dan air di pisahkan oleh separator dan di alirkan ke tempat berbeda, uap air akan disalurkan menuju *superheater* sedangkan air yang tersisa akan di sirkulasikan kembali menuju *evaporator* untuk kembali di panaskan hingga menjadi uap.
5. *Superheater*, berfungsi untuk menaikkan suhu uap basah menjadi lebih tinggi dari suhu uap jenuh dari boiler agar menjadi uap kering. Uap kering digunakan agar sudu turbin tidak mudah korosi dan dapat menurunkan efisiensi pemakaian.
6. *Main steam header*, berfungsi sebagai penampung steam kering yang di hasilkan oleh AQC, SP A, dan SP B.

C. Proses Turbine

Sistem turbin uap merupakan salah satu jenis mesin panas yang mengkonversi sebagian panas yang diterimanya menjadi kerja. Sebagian panas lainnya dibuang ke lingkungan dengan temperatur yang lebih rendah. Dengan kata lain mengubah entalpi fluida menjadi energi mekanik.

Gambar 7. Diagram Proses Pada Turbine



Gambar di atas merupakan diagram proses pada turbine setelah proses perubahan dari air menjadi steam kering pada boiler. Kemudian steam tersebut di alirkan menuju turbine yang telah di hubungkan dengan generator, steam tersebut berfungsi untuk memutar sudu-sudu yang dapat membangkitkan listrik. Berikut ini merupakan proses kerja turbine yaitu :

1. *Main Steam Header*, berfungsi sebagai penampung steam kering yang di hasilkan oleh AQC (*Air Quenching Cooler*), SP (*Suspension Preheater*) A, dan SP (*Suspension Preheater*) B. Di bawah ini merupakan *main steam header* pada PT. Cemindo Gemilang.



Gambar 8. Main Steam Header

2. *Main Stop Valve (MSV)*, berfungsi untuk menutup dengan cepat aliran uap ke turbine bila dalam keadaan bahaya seperti kegagalan pada katup kontrol uap atau pada waktu kehilangan beban. Jika turbine sedang beroperasi bukaan MSV (*Main Stop Valve*) akan terbuka full.
3. *Governor*, berfungsi untuk mengontrol putaran turbine dan membatasi putarannya pada batasan tertentu dengan mengatur jumlah masuk steam pada

- turbine, pada setiap saat terjadi perubahan beban yang menyebabkan perubahan putaran turbine. Bukaan dapat di atur sesuai dengan kebutuhan.
4. Turbine, merupakan suatu penggerak mula yang berfungsi jika steam masuk ke dalam turbine perubahan kecepatan steam tersebut akan membuat sudu-sudu pada turbine berputar. turbine di hubungkan pada generator yang terdiri dari rotor dan stator pada rotor tersebut di hubungkan dengan *Shaft* Turbine sehingga berputar bersama-sama. Stator bars di dalam sebuah generator membawa arus hubungan output pembangkit. Arus DC (*Direct Current*) dialirkan melalui *Brush Gear* yang langsung bersentuhan dengan slip ring yang dipasang jadi satu dengan rotor sehingga akan timbul medan magnet (*flux*). Jika rotor berputar, medan magnet tersebut memotong kumparan pada stator sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul tegangan listrik sebesar 15MW.
 5. *Condenser*, merupakan suatu alat yang dapat di gunakan untuk mengkondensasikan uap hasil pembuangan eksitasi turbine menjadi titik-titik air (air kondensat) dan uap yang terkondensasi menjadi air di tampung, yang akan digunakan lagi pada boiler.
 6. *Condensat pump*, berfungsi untuk mensupply air kondensat yang berasal dari condenser menuju ke proses selanjutnya yaitu daerator dan feed water tank. *Condensate pump* berfungsi untuk menaikkan head air sehingga dapat tersupply ke daerator yang letaknya di ketinggian tertentu.
 7. *Gland seal*, berfungsi untuk menutup celah agar tidak ada udara yang masuk antara bagian statis dan putar dari turbine.
 8. *Deaerator*, berfungsi untuk menghilangkan gas panas (terutama oksigen) dari feed water sebelum memasuki boiler agar peralatan instalasi terhindar dari korosi.
 9. *Feed water pump*, berfungsi sebagai proses supply air bertekanan ke steam boiler. Berfungsi untuk menyuplai air pengisi dari daerator hingga ke boiler steam drum melalui high pressure heater dan economizer.

KESIMPULAN

Waste Heats Recovery System merupakan sebuah pembangkit listrik yang prinsip kerjanya seperti PLTU tetapi panasnya bersumber dari sisa panas atau *flue gas* bukan dari batu bara. Panas tersebut digunakan untuk memanaskan air pada boiler hingga menjadi uap kering. Jika steam masuk ke dalam turbine perubahan kecepatan steam tersebut akan membuat sudu-sudu pada turbine berputar. turbine di hubungkan pada generator yang terdiri dari rotor dan stator pada rotor tersebut di hubungkan dengan *Shaft* Turbine sehingga berputar bersama-sama. Stator bars di dalam sebuah generator membawa arus hubungan output pembangkit. Arus DC (*Direct Current*) dialirkan melalui *Brush Gear* yang langsung bersentuhan dengan slip ring yang dipasang jadi satu dengan rotor sehingga akan timbul medan magnet (*flux*). Jika rotor berputar, medan magnet tersebut memotong kumparan pada stator sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul tegangan listrik sebesar 15MW.

DAFTAR REFERENSI

- Anthony, Z. (2018). *Mesin Listrik Dasar*. Sumatra Barat : ITP Press.
- Atmam, Zondra, E., Yuwendius, H. (2020). Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Satu Fasa Akibat Perubahan Besaran Kapasitor. *Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri* Vol. 4 (2). 40-47.
- Dwiaji, Y. C., & Utama, D. M. (2020). Analisis Efisiensi Boiler Terhadap Pola Pengoperasian Sootblower di PLTU Suralaya. *Jurnal SIMETRIK* Vol.10 (1). 308-312.
- Mustangin, M dkk. (2018). *Turbin Uap Prinsip, Start-Up, Perawatan, Penunjangnya*. Yogyakarta : Poltek LPP Press.
- Permata, Endi., Hamid, M, A., & Pertiwi, R, R. (2018). Design Of Parking System Miniature Based Personal Computer Using Software Borland Delphi 6.0. *Jurnal VOLT* Vol. 3 (1). 49-57.
- Siburian, J., Jumari, Simangunsong. (2020). Studi Sistem Start Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode Start Delta Pada PT. Toba Pulp Lestari Tbk. *Jurnal Teknologi Energi Uda* Vol. 9 (2). 81-87.
- Sihombing, F., Siregar, L., & Sibarani, A. N. (2020). Studi Analisis Perubahan Putaran Motor Induksi 1 Fasa Akibat Output PLTS Aplikasi Kipas Angin. *Jurnal ELPOTECS* Vol. 3 (2). 7-14.