

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Relevan

Sebelum melakukan penelitian ini, penulis telah terlebih dahulu melakukan studi literatur untuk menambah informasi berdasarkan jurnal-jurnal yang relevan sebagai referensi. Selain jurnal, penulis juga menggunakan sumber lain seperti buku maupun artikel yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilaksanakan. Referensi yang pertama adalah penelitian yang dilakukan oleh Juliansyah, Aryanto, Tiaradia Ihsan yang merupakan publikasi *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)* Vol. 5 yang memiliki judul *Analisis Efektivitas Mesin Generator Set Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness (OEE) Dan Six Big Losses*. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode *Six Big losses*, yang dimana metode ini digunakan untuk mengidentifikasi sumber-sumber yang kehilangan produktivitas seperti mesin yang sudah mulai rusak, kemudian mesin yang berhenti bekerja dikarenakan adanya kendala kecil seperti sensor yang rusak[3]. Hasil dari penelitian ini membuktikan bahwa metode *Six Big Losses* yang merupakan metode serupa dengan *Pareto Losses* cukup efektif untuk menentukan kerugian-kerugian yang ada pada sebuah sistem.

Untuk referensi selanjutnya merupakan jurnal publikasi *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)* yang berjudul “*ROOT CAUSE ANALYSIS DAN ANALYTIC HIERARCHY PROCESS PENURUNAN PRODUKSI UAP YANG DIHASILKAN HRSG (HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR)*” yang dilakukan oleh Taufik Adriansyah dan Dzakiyah Widyaningrum. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis terhadap penurunan kualitas uap yang dihasilkan oleh HRSG menggunakan metode *Root Cause Analysis* (RCA). Berdasarkan penelitian tersebut, penyebab terjadinya penurunan produksi uap pada HRSG adalah adanya pengotoran pada bagian fin tube HRSG. Solusi dari permasalahan tersebut yaitu dilakukan pemeliharaan mesin HRSG secara rutin dengan menggunakan salah satu metode yaitu metode *Dry Ice cleaning* .[1]

Untuk penelitian selanjutnya yaitu jurnal yang berjudul “*Analisa Performa Heat Recovery Steam Generator Sebelum dan Sesudah Cleaning di PT Indonesia Power Tambak Lorok Semarang Menggunakan Software Matlab R.12 Pirolisis Getah Pinus*” yang

merupakan publikasi jurnal Saintekno: Jurnal dan Teknologi. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa terdapat beberapa penyebab terjadinya penurunan efisiensi HRSG dan dalam penelitian ini, didapatkan data bahwa efisiensi HRSG telah meningkat dalam beberapa bulan terakhir[4]. Namun belum memberikan persentase seberapa besar faktor tersebut menyebabkan penurunan efisiensi HRSG.

Kemudian untuk penelitian yang selanjutnya merupakan jurnal yang memiliki judul *“ANALISIS PERHITUNGAN EFISIENSI HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR (HRSG) TIPE VERTIKAL TEKANAN GANDA PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS UAP (PLTGU)”*. Penelitian ini dilakukan oleh Yusuf Dewantoro Herlambang, Supriyo, Teguh Aji Wibowo. Yang dimana penelitian ini dilakukan terhadap HRSG yang memiliki tipe vertikal dan memiliki tekanan ganda pada PLTGU. Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada penelitian tersebut, perbedaan efisiensi HRSG disebabkan karena adanya nilai parameter yang berbeda setelah dilakukannya pemeliharaan overhaule, yang dimana parameter tersebut meliputi perubahan massa gas buang, dan selisih suhu air umpan serta adanya selisih massa uap[5].

Penelitian selanjutnya adalah publikasi *“Journal of Multidisciplinary Research and Development”* Yang berjudul *“Analisis Resiko Komisioning dan Start Up pada Proyek Pembangkit Listrik, Studi Kasus Proyek Add On Combine Cycle”*. Dimana penelitian ini dilakukan oleh Putu Yuri Aristya Perwana, Ervina Ahyudanari. Penelitian ini menggunakan metode *Pareto Losses* untuk menentukan jumlah dan jenis kerusakan yang terjadi pada pembangkit listrik yang menggunakan prinsip Combine Cycle yaitu Unit HRSG. Penelitian ini terkhusus menentukan gangguan pada saat start up ketika mode Combine Cycle. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa terdapat 6 variabel risiko dikategorikan dengan variabel risiko kritis pada fase komisioning dan startup pada proyek add on combine cycle [6]. Berdasarkan penelitian tersebut, metode *Pareto Losses* cukup efektif digunakan dalam menganalisis risiko komisioning pada pembangkit listrik Combine Cycle tepatnya pada unit HRSG.

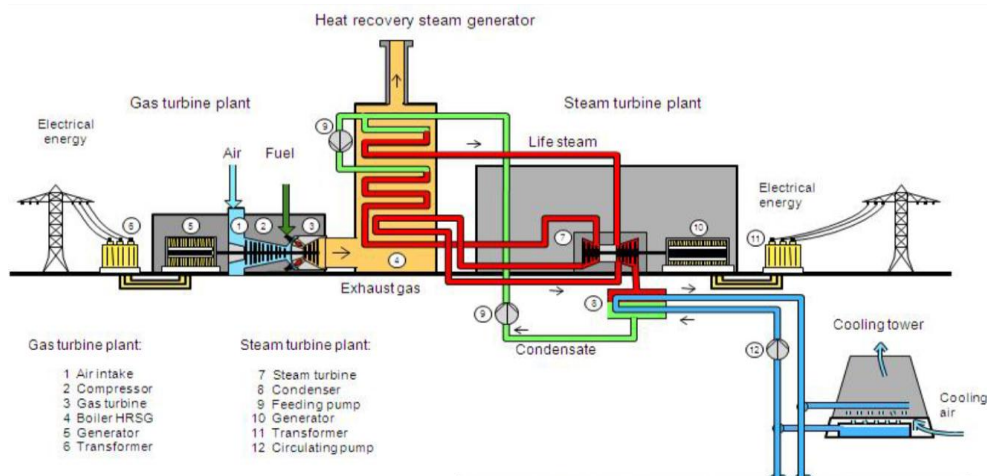
2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap adalah pembangkit listrik yang menggunakan metode *Combine Cycle*. Yang dimana metode ini digunakan dengan menggabungkan proses pada turbin gas dengan turbin uap, hal ini membuat PLTGU memiliki tingkat efisiensi yang baik dengan memanfaatkan gas panas dari turbin gas untuk menghasilkan uap. Pada prinsip kerja PLTGU sendiri tentu menggunakan konfigurasi, konfigurasi yang digunakan tentu berbeda-beda di setiap PLTGU, salah satu jenis konfigurasi yang digunakan pada beberapa PLTGU adalah konfigurasi 2-2-1 yaitu 2 Turbin Gas, 2 HRSG dan 1 Turbin Uap. Setelah Uap dihasilkan oleh HRSG, maka uap tersebut akan memutar turbin uap yang kemudian menghasilkan energi listrik[7]. Pada PLTGU Blok 2 Muara Karang menggunakan konfigurasi 2-2-3 yaitu 2 Turbin Gas, 2 HRSG, dan 3 Turbin Uap. Kekurangan dari PLTGU ini adalah dikarenakan penggunaan bahan energi yang menggunakan sumber dari alam langsung, yaitu gas alam dan uap air, sehingga hal ini membuat PLTGU memiliki tantangan dalam menanggulangi ketergantungan tersebut[8]. Sementara daripada itu, PLTGU sendiri memiliki keunggulan dibagian efisiensi dikarenakan pemanfaatan kembali oleh HRSG menggunakan gas buang dari Gas Turbin[9].

Pada PLTGU, terdapat dua jenis siklus termodinamika yang digunakan, yaitu Siklus Rankine dan Siklus Brayton, Siklus rankine adalah siklus yang energi panas atau thermal menjadi energi lainnya yang menggunakan fluida, Siklus ini melibatkan perubahan fase dari fluida, di mana fluida cair seperti air dipanaskan hingga menjadi uap dan kemudian di kondensasi dengan cara didinginkan kembali menjadi air[10]. Sedangkan siklus brayton adalah siklus yang menggunakan fluida gas seperti udara untuk melakukan proses kompresi untuk menggerakkan turbin. Pada siklus brayton sendiri, udara yang digunakan untuk menggerakkan turbin masih memiliki energi panas yang tersisa setelah digunakan menggerakkan turbin.[11]. Dalam penggunaan siklus brayton, menjaga temperatur udara

merupakan hal sangat penting dilakukan, dikarenakan temperatur udara yang stabil sangat diperlukan agar siklus brayton bekerja dengan maksimal pada PLTGU[12].



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU)

Gambar 2.1 merupakan siklus kerja yang ada pada PLTGU, berdasarkan siklus tersebut, dapat dilihat bahwa prinsip kerja pada PLTGU menggunakan mode Combine Cycle, dengan memanfaatkan kembali gas buang dari turbin gas, dan mendinginkan uap sisa dari turbin uap untuk diubah menjadi air kembali.

2.2.2. Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

HRSG merupakan sebuah unit yang bekerja dengan memanfaatkan gas buang dari gas turbin untuk menghasilkan uap panas yang akan menggerakkan Steam Turbin. Penggunaan HRSG sendiri memiliki Keuntungan seperti meningkatkan efisiensi dengan memanfaatkan sisa gas panas dari turbin gas sebagai sumber energi panas sehingga tidak memerlukan bahan bakar *eksternal*[13].

HSRG merupakan unit yang berperan penting dalam mode *Combine Cycle* dikarenakan fungsinya yang memanaskan air menjadi uap menggunakan gas panas dari gas turbin. HRSG sendiri memerlukan suhu berkisar 500°C – 600°C untuk memanaskan air agar berubah menjadi uap bertekanan tinggi (*High Pressure*) dan 240°C untuk uap yang bertekanan rendah (*Low Pressure*). Selain dari penggunaan bahan bakarnya yang

efisien, proses pada HRSG ini juga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca karena penggunaan gas buang yang tidak dibuang percuma.

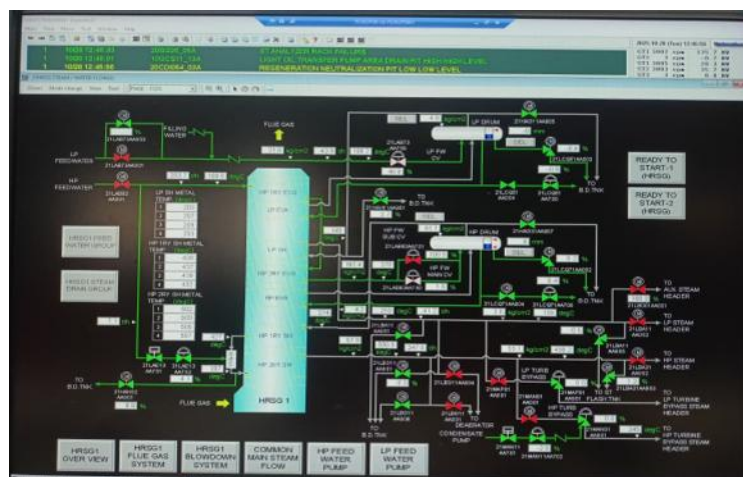


Gambar 2. 2 Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

Berikut bentuk dari HRSG dapat dilihat pada gambar 2.2. Pada Gambar tersebut dapat dilihat bentuk daripada HRSG yang merupakan sekumpulan komponen yang didalamnya terdapat pipa-pipa pemanas air.

2.2.3. Komponen-komponen HRSG

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat skema rincian pada jalur HRSG, pada tampilan HMI tersebut terdapat data suhu maupun tekanan uap dan air yang ada pada jalur .



Gambar 2. 3 Tampilan HMI HRSG

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat skema rincian pada jalur HRSG, dimana pada tampilan HMI tersebut terdapat data suhu maupun tekanan uap dan air yang ada pada jalur HRSG. Berdasarkan Gambar 2.3 Tersebut dapat dilihat urutan-urutan dari tiap-tiap komponen utama HRSG yang dimana di mulai dari Economizer, Evaporator, Superheater. HRSG Sendiri memiliki 4 komponen utama, yang pertama adalah Economizer, Evaporator, Superheater, dan Steam Drum. Proses pemanasan air menjadi uap pun harus melalui komponen ini terlebih dahulu, secara garis besar, prosesnya adalah air dari deaerator masuk ke Economizer untuk dipanaskan terlebih dahulu, kemudian air tersebut masuk ke Evaporator untuk dirubah menjadi uap, namun kondisi uap yang dihasilkan dari Evaporator masih dalam kondisi jenuh, kemudian uap jenuh tersebut akan dialirkan ke Superheater dan kemudian di alirkan untuk menggerakkan Turbin Uap. Tampilan HMI HRSG pada gambar 2.3 merupakan tampilan HMI dari HRSG blok 2 pada PT. PLN Nusantara Power UP Muara Karang, yang dimana pada tampilan tersebut dapat dilihat bahwa setiap komponen pipa pemanas memiliki suhu dengan titik didih tertentu. Berikut penjelasan dari masing-masing komponen:

2.2.3.1 Economizer

Economizer adalah salah satu komponen utama HRSG yang menjadi tempat pertukaran energi panas pertama kali, yang dimana pada komponen *Economizer* ini, suhu uap yang dihasilkan masih tergolong rendah. Atau dengan kata lain, sebelum masuk ke tahap selanjutnya, air yang dipompa dari *Feedwater Pump* akan di panaskan terlebih dahulu pada *Economizer*. Yang dimana di dalam *Economizer* , terdapat pipa-pipa yang dirangkai untuk mengalirkan air yang akan dipanaskan terlebih dahulu. Letak dari pipa-pipa *Economizer* sendiri berada pada bagian paling atas HRSG, yang dimana ketika gas buang dari turbin mengalir dari bagian bawah HRSG dan mencapai pipa-pipa *Econimizer*, maka suhu gas yang digunakan akan berkurang energi panasnya sehingga air yang berada pada pipa *Economizer* tidak langsung berubah menjadi Uap namun hanya dipanaskan lebih awal. Sehingga ketika air yang sudah dipanaskan kembali di alirkan ke *Evaporator*, maka energi panas yang dibutuhkan untuk proses pengubahan air menjadi uap tidak terlalu besar.[14]



Gambar 2. 4 Economizer

Bentuk dari Economizer dapat dilihat pada gambar 2.4. Berdasarkan gambar tersebut, pipa pada economizer cenderung lebih kecil dan lebih rapat. Proses kerja economizer ditentukan oleh fluida seperti gas, sehingga untuk melakukan pemanasan pada economizer, kecepatan aliran gas sangat diperlukan,

2.2.3.2 *Evaporator*

Selanjutnya adalah *Evaporator*, yang dimana komponen ini merupakan komponen yang berfungsi untuk mengubah air yang sudah dipanaskan di *Economizer* menjadi uap, namun uap pada *Evaporator* ini masih dalam kondisi jenuh, yang dimana uap tersebut masih memiliki kelembapan yang cukup tinggi.



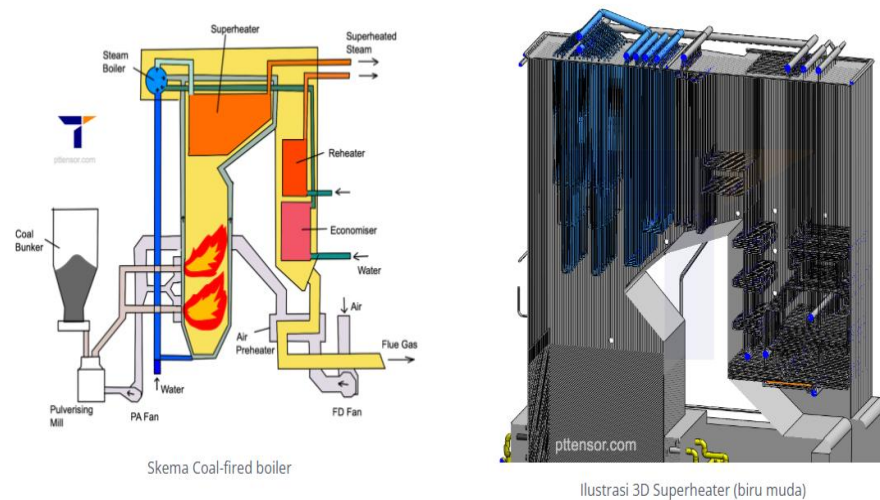
Gambar 2. 5 Evaporator

Di dalam bagian *Evaporator* ini, pipa-pipa terhubung satu sama lain untuk menerima aliran air yang sudah dipanaskan dari *Economizer*. Letak posisi dari *Evaporator* sendiri berada setelah *Economizer* dan lebih dekat ke sumber gas buang dari turbin, sehingga energi panas yang diterima lebih besar untuk melakukan proses perubahan air menjadi uap yang kemudian akan bergerak ke *Steam Drum* [15].

Gambar 2.5 merupakan bentuk dari *Evaporator* pada HRSG, yang dimana *Evaporator* ini memiliki bentuk yang lebih besar dan memiliki jarak yang lebih renggang dibandingkan dengan bentuk dari *Economizer*.

2.2.3.3 Superheater

Pada Gambar 2.6 dapat dilihat bentuk dari superheater adalah pipa yang lebih panjang dan berada tepat di bagian bawah HRSG sehingga menjadi komponen pertama yang terkena gas panas dari gas turbin.



Gambar 2. 6 Superheater

Tahap atau proses selanjutnya adalah proses perubahan uap jenuh yang dihasilkan pada *Evaporator* dan kemudian di alirkan melalui pipa-pipa yang ada didalam *Superheater* , yang dimana uap yang dihasilkan oleh di *Superheater* sudah berubah dari awalnya uap jenuh menjadi uap yang super kering dan panas. Uap super kering dan ber suhu tinggi tersebut lah yang digunakan untuk menggerakkan turbin uap nantinya. Suhu

uap yang dihasilkan pada *Superheater* sangat dipengaruhi oleh suhu gas buang yang berasal dari gas turbin[16]. Sehingga letak dari *Superheater* sendiri berada di dekat pembuangan langsung dari gas sisa turbin gas, sehingga energi panas yang berasal dari gas tersebut masih sangat tinggi.

Pada HRSG, terdapat 2 proses *Superheater* pada uap yang akan di alirkan menuju Turbin Uap pada Uap Tekanan Tinggi (*High Pressure Steam*). Ketika Uap dari *Evaporator* masuk ke *Superheater* yang pertama, maka uap yang tadinya masih jenuh akan dipanaskan menjadi uap yang panas dan kering namun masih belum stabil, maka uap tersebut akan di alirkan menuju *superheater* 2 untuk distabilkan agar sesuai dengan suhu yang diinginkan, yaitu berkisar $500^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$.

2.2.3.4 *Steam Drum*

Kemudian komponen selanjutnya adalah *Steam Drum*, yang dimana *Steam Drum* ini merupakan sebuah tabung yang berfungsi untuk menampur sisa air dan uap sementara sebelum uap digunakan untuk menggerakkan turbin uap, selain sebagai tempat penyimpanan uap dan air sementara, *Steam Drum* juga berfungsi untuk mengatur laju kecepatan dan tekanan aliran uap dan air tersebut agar tidak mengganggu sistem keamanan dan keandalan daripada sistem[17].



Gambar 2. 7 Steam Drum

Pada gambar 2.7 sendiri dapat dilihat bahwa bentuk dari steam drum sendiri adalah menyerupai tabung yang berukuran besar, jika sebuah HRSG menggunakan 2 jenis uap, maka steam drumnya ada 2, dan jika jenis uap yang digunakan ada 3 maka untuk steam drum yang digunakan juga ada 3 buah.

Steam Drum sendiri terbagi berdasarkan jenis uap yang digunakan oleh HRSG itu sendiri, jika HRSG menggunakan 3 jenis uap yaitu Uap bertekanan tinggi (*High Pressure*) dan Uap Tekanan Menengah (*Intermediate Pressure*) dan Uap bertekanan rendah (*Low Pressure*) maka Steam drum yang digunakan akan ada 2, yaitu Steam drum HP dan Steam drum LP. Dengan kata lain, masing-masing jenis uap akan di alirkan dan di tampung secara terpisah. Dikarenakan HRSG Blok 2 PT.PLN Nusantara Power UP Muara Karang sendiri menggunakan 2 jenis tekanan uap seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, maka Steam drum yang digunakan juga ada 2 jenis, yaitu HP Drum dan LP Drum.

2.2.4. Jenis-Jenis HRSG

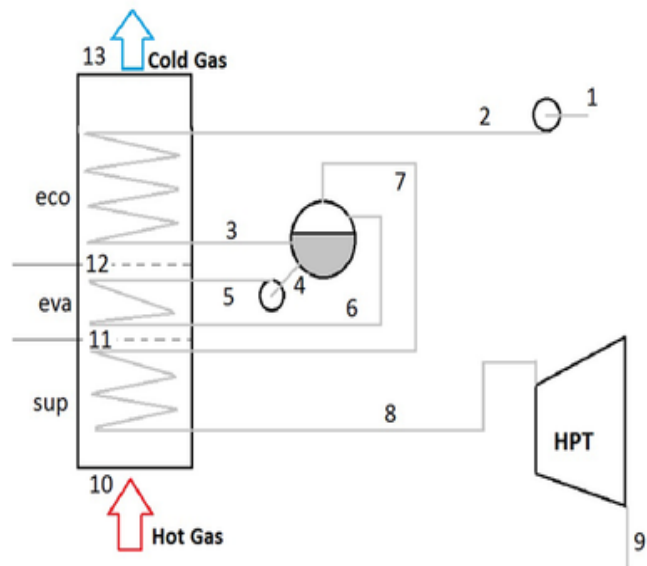
HRSG Sendiri dikelompokkan menjadi beberapa bagian, diantaranya adalah pengelompokan berdasarkan Tingkat Tekanan Uap dan kemudian pengelompokan berdasarkan Arah Aliran Gasnya. Berikut penjelasan dari kedua pengelompokan HRSG tersebut:

2.2.4.1. HRSG Berdasarkan Tingkat Tekanan Uap

Berdasarkan Tingkat Tekanan Uapnya, HRSG sendiri terbagi menjadi 3 jenis, yang pertama adalah Single Pressure HRSG, kemudian yang kedua adalah Dual Pressure HRSG, dan yang ketiga adalah Triple Pressure HRSG. Berikut penjelasan mengenai ketiga jenis HRSG berdasarkan Tingkat Tekanan Uap:

- Single Pressure HRSG

HRSG Tipe Single Pressure adalah HRSG yang hanya menggunakan 1 jenis uap saja, tekanan uap yang digunakan bisa berupa tekanan rendah (*Low Pressure steam*) saja atau tekanan tinggi (*High Pressure Steam*) saja. HRSG tipe ini memiliki tingkat efisiensi yang cukup untuk pembangkit listrik yang berukuran kecil. Komponen yang ada pada HRSG Tipe Single Pressure ini terdiri dari Economizer, Evaporator, dan Superheater seperti HRSG pada umumnya[18].

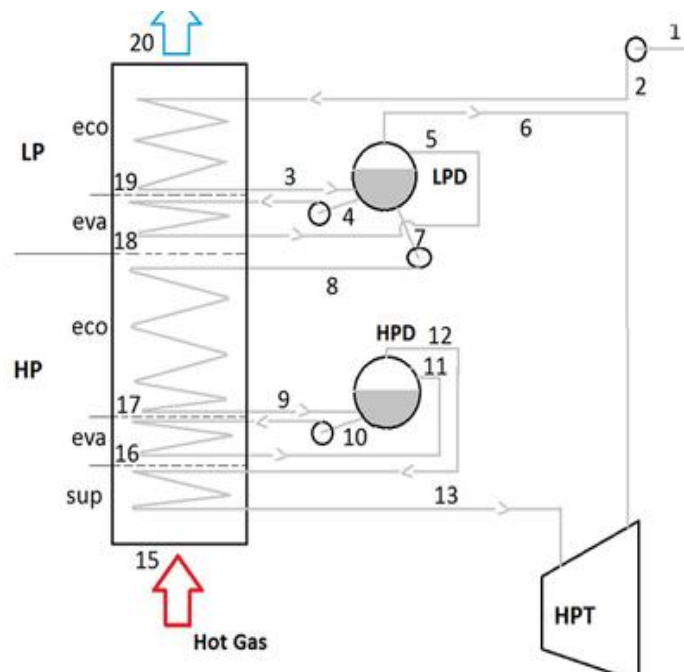


Gambar 2. 8 Single Pressure HRSG

Berdasarkan gambar 2.8, dapat dilihat bahwa pada HRSG single Pressure hanya memiliki 1 jenis tekanan uap saja, yaitu Uap HP, sehingga jenis HRSG ini hanya memiliki 1 steam drum dan 1 steam turbin saja.

- Dual Pressure HRSG

HRSG Tipe Dual Pressure merupakan salah satu tipe HRSG yang umum digunakan pada PLTGU di Indonesia, salah satu Unit Pembangkitan yang menggunakan HRSG Tipe Dual Pressure ini adalah PT. PLN Nusantara Power UP Muara Karang, dimana jenis tekanan yang digunakan adalah jenis tekanan rendah (*Low Pressure Steam*) dan tekanan tinggi (*High Pressure Steam*). HRSG Tipe Dual Pressure juga merupakan salah satu tipe HRSG yang efisien karena memiliki keseimbangan pada prinsip kerjanya, ketika uap bertekanan tinggi (*High Pressure Steam*) masuk ke Turbin uap khusus tekanan tinggi (HP Turbin), maka sisa uap yang masih memiliki energi tersebut akan digunakan untuk memutar turbin uap khusus tekanan rendah, sementara uap bertekanan rendah (*Low Pressure Steam*) akan langsung masuk ke turbin uap khusus tekanan rendah (LP Turbin). Uap tekanan tinggi (*High Pressure Steam*) tentu mendapatkan panas dan tekanan yang lebih tinggi sehingga menyebabkan panas pada uap bertekanan rendah (*Low Pressure Steam*) berkurang[19].



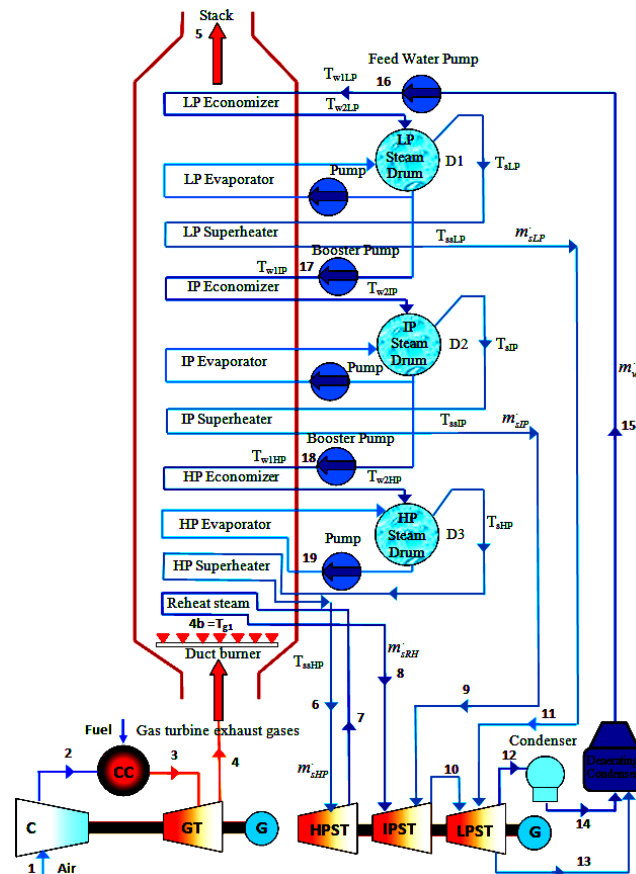
Gambar 2. 9 Dual Pressure HRSG

Pada Gambar 2.9 dapat dilihat bahwa untuk Dual Pressure HRSG memiliki 2 jenis tekanan uap saja, yaitu uap bertekanan tinggi atau *High Pressure* (HP) dan *Low Pressure* (LP), sehingga pada jenis HRSG ini, steam drum yang digunakan juga tentunya ada 2 , dan turbin uap yang digunakan tentunya akan ada 2 juga.

- Triple Pressure HRSG

Pada tipe HRSG yang menggunakan Triple Pressure ini, jenis uap yang digunakan ada 3, yaitu Uap Bertekanan Tinggi (*High Pressure Steam*), Uap Tekanan Menengah (*Intermediate Pressure Steam*), dan Uap Bertekanan Rendah (*Low Pressure Steam*). HRSG Triple Pressure sendiri memiliki peran yang sama dengan HRSG Single Pressure dan Dual Pressure[20] . Namun yang membedakan ke 3 tipe ini adalah proses penggunaan uap yang lebih efisien dan kompleks, dimana Uap Bertekanan Tinggi (*High Pressure Steam*) masuk dan menggerakkan urbin uap khusus tekanan tinggi (HP Turbin) maka keluaran uap tersebut masih memiliki energi yang cukup dan dialirkan untuk menggerakkan turbin khusus uap menengah (IP Turbin), sementara Uap Tekanan Menengah (*Intermediate Pressure Steam*) akan langsung masuk ke IP Turbin, kemudian setelah semua uap itu digunakan dan dikeluarkan, maka sisa uap tersebut masih memiliki

energi yang cukup untuk menggerakkan turbin khusus uap bertekanan rendah (LP Turbin), sementara uap bertekanan rendah (*Low Pressure Steam*) akan langsung memutar turbin khusus uap bertekanan rendah (LP Turbin). Sehingga dari proses tersebut, semua uap yang dihasilkan digunakan dengan maksimal sehingga meningkatkan efisiensi pada HRSG.



Gambar 2. 10 Triple Pressure HRSG

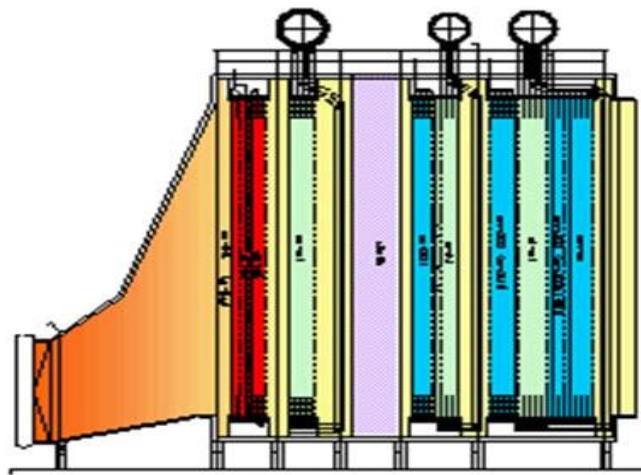
Untuk HRSG dengan 3 jenis uap, dapat dilihat pada gambar 2.10 yang dimana pada gambar tersebut terlihat bahwa jenis uap yang di gunakan adalah *High Pressure* (HP), lalu *Low Pressure* (LP), dan *Intermediate Pressure* (IP). Tentunya dengan 3 jenis uap yang digunakan, maka steam drum yang digunakan adalah 3 unit, dan begitu juga untuk turbin uap yang digunakan adalah sebanyak 3 unit.

2.2.4.2. HRSG Berdasarkan Arah Aliran Gas

Berdasarkan Arah Aliran Gas nya, HRSG Sendiri terbagi menjadi 2 jenis, yang pertama adalah HRSG Horizontal dan yang kedua adalah HRSG Vertikal, berikut penjelasan kedua jenis HRSG tersebut:

A. HRSG Horizontal

HRSG tipe horizontal adalah salah satu tipe HRSG yang dimana pipa-pipa komponennya disusun secara vertikal. Pada HRSG tipe ini memiliki keunggulan yang dimana gas dari Turbin mengalir secara mendatar. Pada tipe HRSG ini, jenis tekanan LP, IP, dan HP lebih mudah digunakan. Kekurangan dari Penggunaan HRSG tipe ini adalah harus membutuhkan lahan yang luas. Sementara kelebihan dari HRSG Tipe ini adalah perpindahan energi yang terjadi didalam pipa-pipa tersebut relatif optimal dikarenakan alirannya yang horizontal sehingga mengakibatkan penyerapan energi pada komponen-komponennya lebih maksimal.[14]



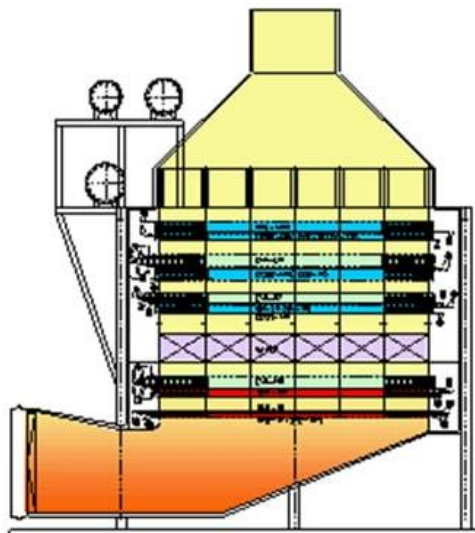
Gambar 2. 11 HRSG Horizontal

Pada Gambar 2.8 dapat dilihat, HRSG Horizontal dapat dilihat bentuk dari pipa-pipa nya tang tersusun secara horizontal, sehingga cenderung menggunakan lahan yang lebih luas.

B. HRSG Vertikal

HRSG tipe vertikal memiliki komponen pemanas yang disusun secara mendatar, yang dimana arah aliran gas yang mengalir keluar dari Gas turbin akan mengalir secara

vertikal. Pada tipe HRSG ini, *Steam drum* sendiri berada pada posisi atas HRSG. Salah satu kelebihan dari HRSG tipe ini adalah ukuran dimensi yang tergolong kecil sehingga tidak teralalu membutuhkan lahan yang luas. Namun Salah satu kekurangan penggunaan tipe HRSG ini adalah kegiatan pemeliharaan yang cenderung sulit dilakukan ke bagian dalam HRSG dikarenakan ruangnya yang cenderung sempit, sehingga menyulitkan teknisi ataupun pekerja dalam melakukan kegiatan pemeliharaan rutin[14].



Gambar 2. 12 HRSG Vertikal

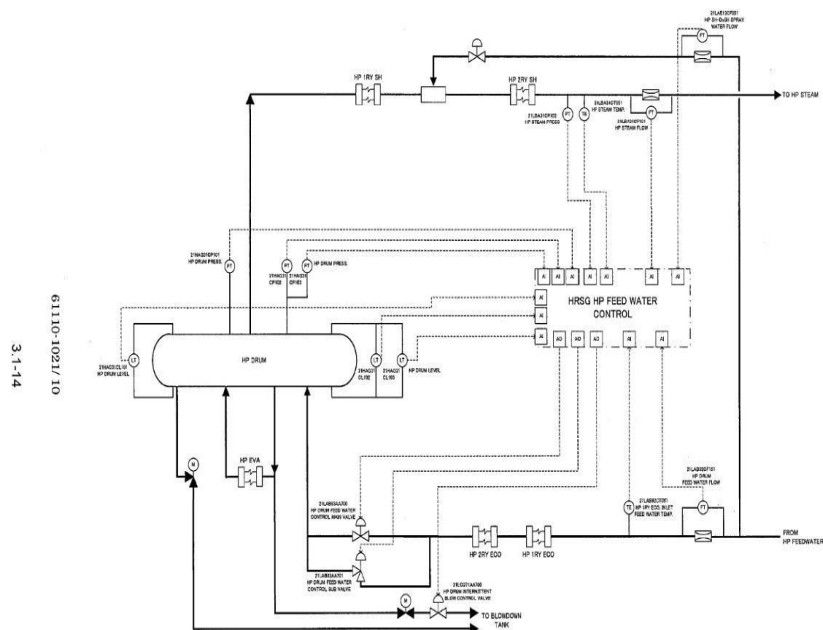
Pada gambar 2.9 dapat dilihat bahwa HRSG tipe vertikal memiliki bentuk pipa yang disusun secara vertikal. Selain itu Penggunaan HRSG Tipe ini juga digunakan oleh PT. PLN Nusantara Power UP Muara Karang terutama pada Blok 2 yang dimana tipe HRSG ini yang akan menjadi objek penelitian yang akan dilakukan.

2.2.5. Sistem Kontrol HRSG

Sistem kontrol HRSG merupakan sistem yang berfungsi untuk mengendalikan sistem-sistem yang ada pada HRSG. Sistem-sistem tersebut meliputi Sistem kontrol Level drum *High Pressure* (HP) dan *Low Pressure* (LP), kemudian Sistem kontrol Temperatur Steam HP, dan kemudian Sistem Kontrol Blowdown Tank. Semua Sistem pengontrolan ini diatur Oleh DCS. DCS (Distributed Control System) adalah sebuah sistem yang digunakan untuk memonitoring dan mengontrol sistem yang ada di lapangan melalui komputer.

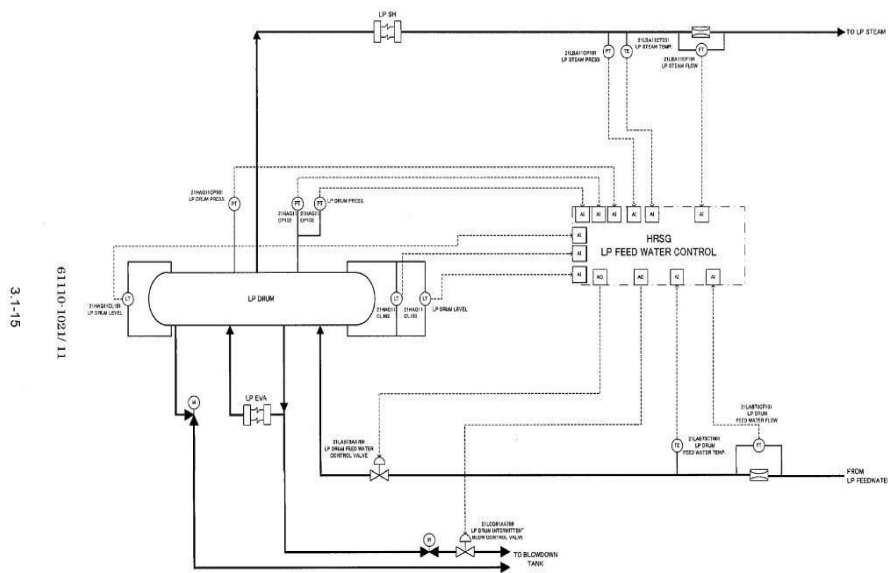
2.2.5.1. Sistem Pengontrolan Level Drum HRSG

Sistem Pengontrolan Level Drum HRSG merupakan salah satu sistem pengontrolan yang sangat penting dalam mengatur kualitas uap dan air yang berada pada drum yang digunakan, jika suatu HRSG menggunakan 2 jenis uap yang dimana jumlah Steam Drum nya akan ada 2, maka sistem pengontrolannya juga akan ada 2 jenis berdasarkan jenis uap yang ditampung oleh Steam Drum tersebut. Pada HRSG Blok 2 PT. PLN Nusantara Power UP Muara Karang sendiri menggunakan 2 jenis uap dan 2 jenis steam drum, maka untuk Sistem Pengontrolannya juga ada 2 jenis, yaitu Sistem Pengontrolan Level Drum HP dan Sistem Pengontrolan Level Drum LP.



Gambar 2. 13 Sistem Pengontrolan Level Drum HP

Gambar 2.13 merupakan diagram sistem Pengontrolan Level Drum HP yang berfungsi untuk mengendalikan nilai level air pada HP drum dari economizer sebelum air tersebut dipanaskan lebih lanjut ke evaporator.



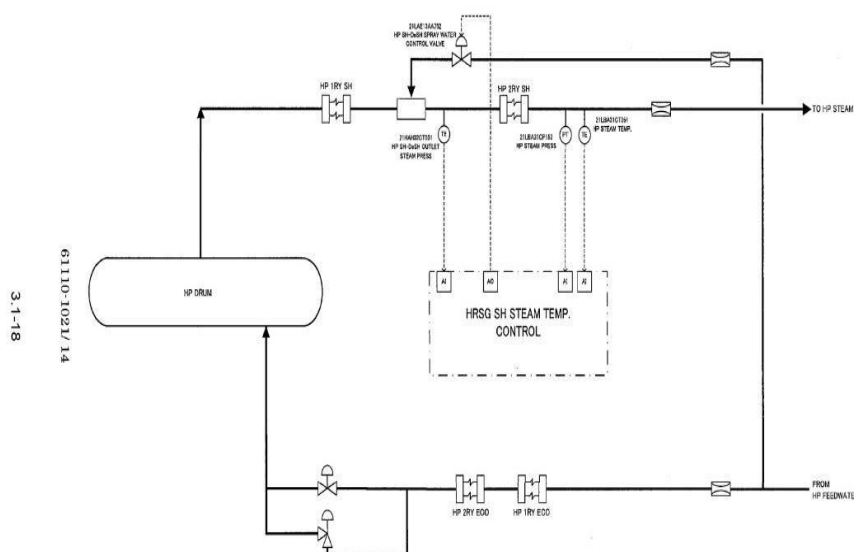
Gambar 2. 14 Sistem Pengontrolan Level Drum LP

Gambar 2.14 merupakan diagram Sistem pengontrolan Level Drum LP yang berfungsi untuk mengontrol nilai level dari air yang akan masuk ke Drum LP agar sesuai dengan nilai set point yang di butuhkan. Sama Halnya dengan Drum HP, Pengontrolan Nilai level drum LP diperlukan untuk menyeimbangkan antara Uap dengan Air agar tidak merusak peralatan dan mengganggu proses yang ada pada HRSG.

Sistem Pengontrolan Level Drum pada HRSG sangat penting untuk dijaga agar tekanan dan suhu uap dan air sesuai dengan kebutuha, jika terjadi perbedaan nilai suhu antara nilai input yang diberikan oleh DCS dan nilai suhu yang ditampilkan sensor maka hal ini bisa mengakibatkan terjadinya penyimpangan nilai yang dapat memicu level air maupun tekanan uap yang ada pada drum melebihi kapasitas drum atau berada dibawah titik minimum drum itu sendiri, hal ini dapat menyebabkan kerusakan alat seperti kebocoran pipa yang terhubung pada drum sehingga dapat mengakibatkan trip pada HRSG[21] . Selain daripada itu, apabila terjadi suatu kerusakan pada sistem pengontrolan level drum HP dan sistem pengontrolan LP maka efek yang terjadi adalah uap yang akan dihasilkan menuju turbin uap akan memiliki kualitas yang menurun, sehingga daya yang akan dihasilkan pada generator tentunya akan berbeda dengan yang seharusnya. Oleh karena itu sangat penting untuk tetap menjaga Sistem Pengontrolan Level Drum pada HRSG.

2.2.5.2. Sistem Pengontrolan *Temperature Steam HP*

Kemudian Sistem Pengontrolan yang selanjutnya adalah sistem pengontrolan Suhu Uap pada HP. Sistem Pengontrolan ini diperlukan untuk mengendalikan suhu Uap yang dipanaskan dari Superheater 1 menuju Superheater 2. Superheater sendiri berada pada posisi paling bawah pada HRSG, yang dimana hal ini menyebabkan komponen superheater terkena aliran gas buang panas dari Turbin gas sehingga Uap yang dihasilkan Uap yang super panas. Pada proses pemanasan uap pada superheater , terkadang uap yang dipanaskan melebihi suhu uap yang ditentukan, hal ini dapat memicu *thermal stress* yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan. Maka dari itu diperlukan adanya *Desuperheater* seperti *Spray Water* sebagai penurun suhu uap agar sesuai dengan nilai suhu yang dibutuhkan[22] .



Gambar 2. 15 Sistem Pengontrolan Temperature Steam HP

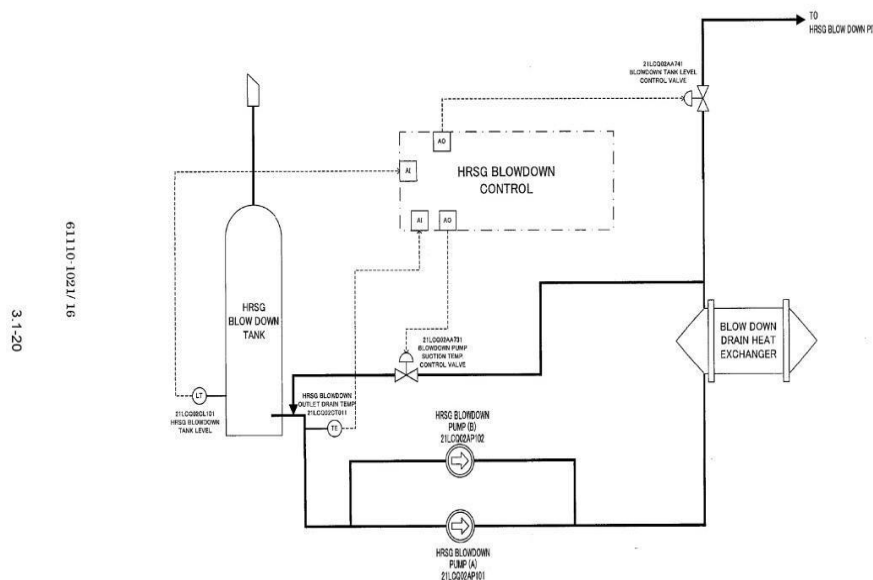
Gambar 2.15 merupakan Diagram sistem pengontrolan temperature steam HP yang berfungsi untuk mengatur suhu uap yang keluar dari superheater pertama untuk didinginkan menggunakan air dari HP feedwater pump sebelum masuk ke superheater yang kedua.

Desuperheater menggunakan air dari *HP Feedwater* agar suhu Uap dari Superheater 1 stabil sebelum masuk ke Superheater 2 untuk dipanaskan lagi agar suhu dan tekanannya sesuai untuk dialirkan ke turbin uap. Sistem Pengontrolan Temperatur

Steam ini hanya digunakan pada Tekanan Tinggi (*High pressure*) dikarenakan suhu yang diperlukan pada Uap HP itu sangat tinggi dengan kisarann 500°C – 600°C. Sedangkan Untuk Temperatur Uap LP sendiri biasanya berkisar 200°C. Maka dari itu Sistem Pengontrolan Temperature Steam HP sangat penting untuk di jaga.

2.2.5.3. Sistem Pengontrolan Blowdown Tank

Blowdown merupakan sebuah sistem yang dibuat untuk menjaga kadar air dan sebagai penampungan air sementara da HRSG dengan membuang air berlebih yang tidak digunakan [23]. Sistem Pengontrolan *Blowdown Tank* pada HRSG adalah sistem yang mengatur air yang berlebih dari Steam drum sebelum dibuang ke HRSG *Blowdown Pit*. Yang dimana sisa air dari Steam drum masih memiliki suhu yang tinggi, maka air tersebut akan di turunkan suhunya oleh *Blowdown Drain Heat Exchanger* sebelum akhirnya di alirkan ke HRSG *Blowdown pit* untuk ditampung sementara sebelum di olah kembali atau dibuang.



Gambar 2. 16 Sistem Pengontrolan Blowdown Tank

Gambar 2.16 merupakan diagram Sistem pengontrolan blowdown tank yang berfungsi untuk mengatur nilai air berlebih dari Steam drum sebelum akhirnya di buang.

2.2.5.4 DCS (Distributed Control System)



Gambar 2. 17 Distributed Control System (DCS)

DCS atau Distributed Control System merupakan bagian dari sistem kontrol yang berfungsi untuk menerima sinyal dari instrumen yang ada di lapangan dan kemudian di teruskan kepada penggerak utama seperti turbin. Proses pengiriman pada DCS harus mampu membaca nilai yang dikirimkan dari suatu alat dan dikirimkan ke penggerak yang dituju[24].

2.2.6. Alat-Alat Sistem kontrol dan Instrumentasi HRSG

Alat-alat sistem kontrol dan instrumentasi pada HRSG tidak jauh berbeda dengan peralatan di industri lain, yang dimana peralatan sistem kontrol dan instrumen pada HRSG yaitu seperti Transmitter, Gauge Indicator, Level Glass, Termocouple, Dan Valve. Namun setiap alat-alat tersebut mampu mengukur berbagai parameter tergantung dengan tipe-tipe alat masing-masing, contohnya pressure Transmitter hanya bisa mengukur tekanan. Berikut penjelasan dari setiap alat-alat yang ada pada sistem kontrol dan instrumentasi pada HRSG Blok 2 PT. PLN Nusantara Power UP Muara Karang:

1. Transmitter

Transmitter merupakan alat yang digunakan sebagai sensor untuk membaca nilai parameter yang ada pada suatu industri. Transmitter juga merupakan sebuah alat yang bekerja dengan cara mengolah sinyal berupa informasi menjadi output melalui sebuah

media[25]. Pada HRSG sendiri terdapat berbagai jenis Parameter yang diukur menggunakan Transmitter, seperti Tekanan, Level air, dan Jumlah laju aliran fluida (*Flow*). Transmitter yang mengukur tekanan disebut *Pressure Transmitter*, Transmitter yang mengukur ketinggian fluida (air) disebut *Level Transmitter*, Transmitter yang mengukur jumlah laju aliran fluida disebut *Flow Transmitter*.



Gambar 2. 18 Transmitter

Bentuk dari Transmitter sendiri dapat dilihat pada gambar 2.14 yang dimana Transmitter ini menampilkan angka pengukuran secara digital dan real time pada layar display nya

2. Gauge Indicator

Gauge Indicator merupakan sebuah alat yang berfungsi sebagai penampil nilai suatu parameter yang ada di lapangan. *Gauge Indicator* pada umumnya menggunakan tipe yang analog. Pada HRSG sendiri, terdapat berbagai parameter yang di ukur menggunakan *Gauge Indicator*, diantaranya ada *Temperature*, dan Tekanan. *Gauge Indicator* yang mengukur tekanan disebut *Pressure Indicator (PI)*, *Gauge Indicator* yang mengukur suhu disebut *Temperature Indicator (TI)*.



Gambar 2. 19 Gauge Indicator

Bentuk dari Gauge Indicator sendiri dapat dilihat pada gambar 2.15, yang dimana untuk mengetahui nilai yang terukur adalah dengan membaca nilai secara manual dikarenakan gauge indicator ini masih bersifat analog.

3. Sight Glass Level Indicator

Sight Glass Level Indicator adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengukur ketinggian fluida pada tangki. Pada HRSG sendiri, Sight Glass Level Indicator digunakan untuk mengukur Level air yang ada *Steam Drum*.



Gambar 2. 20 Sight Glass

Bentuk dari Sight Glass sendiri dapat dilihat pada gambar 2.16, yang dimana sudah terdapat lampu LED untuk mengetahui Level air pada Steam drum.

4. Termocouple

Termocouple adalah salah satu sensor yang berfungsi untuk mendeteksi suhu yang ada pada titik atau jalur tertentu. Pada HRSG, termocouple diletakkan pada jalur-jalur aliran fluida, jalur tekanan uap sesudah superheater, di jalur feedwater dan di titik lainnya. Hal ini tentu dilakukan untuk memantau suhu parameter yang ada pada lapangan tersebut, suhu tersebut akan dikirim Transmitter dan kemudian ke DCS.



Gambar 2. 21 Termocouple

Termocouple sendiri memiliki bentuk yang kecil seperti yang ditampilkan pada gambar 2.17 sehingga Termocouple sendiri diletakkan pada posisi yang mudah terlihat dan tidak sulit dijangkau.

5. Valve

Valve merupakan aktuator yang berfungsi untuk mengatur tekanan aliran fluida pada suatu pipa atau proses, valve sering digunakan pada berbagai industri, salah satu jenis Valve yang sering digunakan pada HRSG adalah Control Valve. Control Valve adalah aktuator yang berfungsi mengendalikan serta membuka atau menutup laju aliran fluida pada suatu pipa dengan cara memberikan nilai setpoint yang ditetapkan, sehingga bukaan valve dapat divariasikan secara otomatis[26]. Selain Control Valve, terdapat jenis Valve lain yang digunakan di HRSG, yaitu Shut-off Valve, yang dimana valve ini hanya berfungsi untuk menutup dan membuka saja tanpa bisa memvariasikan seberapa besar bukaan yang diinginkan.



Gambar 2. 22 Control Valve



Gambar 2. 23 Shut-off Valve

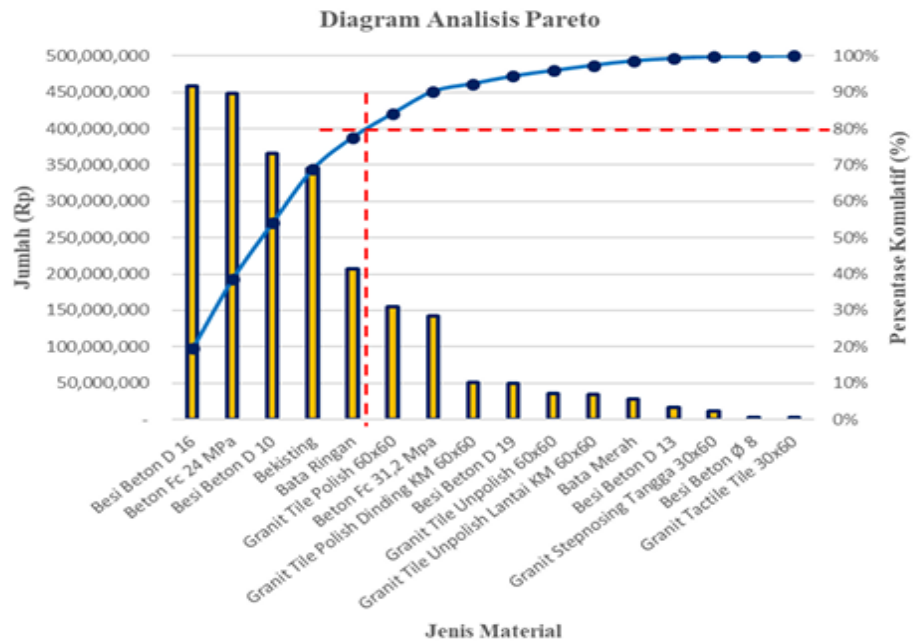
Bentuk dari Control Valve sendiri dapat dilihat pada gambar 2.18 yang dimana pada Control valve terdapat Posisioner, Regulator, Booster, Feedback dan Lock-off.

Sedangkan bentuk dari Shut Off Valve dapat dilihat pada gambar 2.19 yang dimana terdapat perbedaan komponen antara Shut Off Valve dan Control valve, pada shut Off valve sendiri tidak memiliki posisioner, booster, feedback, namun shut off valve memiliki komponen seperti Selenoid, regulator dan lock off.

2.2.7. Metode Pareto Losses

Metode Pareto Losses merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menjadi penyebab kerusakan suatu alat maupun sistem, yang dimana metode ini menggunakan prinsip 20-80 yang dimana 80% kerusakan disebabkan oleh

20% faktor[2]. Yang dimana ketika faktor-faktor tersebut sudah di tentukan, maka selanjutnya adalah dengan membuat diagram pareto.



Gambar 2. 24 Contoh Diagram Pareto Losses

Pada gambar 2.20 dapat dilihat contoh bentuk diagram Pareto yang berfungsi untuk menampilkan statistik dengan mengurutkan faktor-faktor yang paling dominan. Dalam menggunakan Metode Pareto Losses, terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk menganalisis lebih dalam faktor-faktor yang menjadi penyebab kerusakan dalam suatu sistem. Parameter dalam analisis tersebut adalah MTBF, MTTR, dan availability. MTBF merupakan sebuah parameter yang digunakan untuk menghitung waktu rata-rata kerusakan sebuah alat, sedangkan MTTR adalah parameter yang dibutuhkan untuk melakukan perbaikan terhadap alat yang mengalami kerusakan tersebut, sedangkan availability adalah seberapa besar presentase kesiapan alat tersebut untuk beroperasi[27].