

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **II.1. Boiler**

Boiler merupakan suatu wadah yang berfungsi sebagai pemanas air, panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau steam. Steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali, menghasilkan tenaga yang menyerupai bubuk mesiu yang mudah meledak, sehingga boiler merupakan peralatan yang harus dikelola dengan baik. Bahan bakar yang digunakan untuk memanaskan boiler bisa berupa gas, minyak dan batu bara. Sedangkan menurut Djokosetyardj M.J (1990), boiler merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan uap/steam untuk berbagai keperluan. Jenis air dan uap air sangat dipengaruhi oleh tingkat efisiensi boiler itu sendiri. Pada mesin boiler, jenis air yang digunakan harus dilakukan demineralisasi terlebih dahulu untuk mensterilkan air yang digunakan, sehingga pengaplikasian untuk dijadikan uap air dapat dimaksimalkan dengan baik.

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. 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. Air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi steam disebut air umpan. Dua sumber air umpan adalah:

- (1) Kondensat atau steam yang mengembun yang kembali dari proses dan
- (2) Air makeup (air baku yang sudah diolah) yang harus diumpankan dari luar ruang boiler dan plant proses. Untuk mendapatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi, digunakan economizer untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada gas buang.

### **A. Komponen Boiler**

Komponen boiler adalah seperangkat alat atau unit proses yang merupakan bagian dari boiler. Setiap komponen memiliki fungsi yang berbeda, dan terhubung dengan komponen lainnya sesuai alur prosesnya.

1. Makeup Water Heater
  - a) Berfungsi sebagai pemanasan tahap awal
  - b) System pemanasannya menggunakan steam
  - c) Tujuannya untuk meningkatkan efisiensi system
  - d) Air hasil makeup water heater selanjutnya masuk ke deaerator
2. Deaerator
  - a) Berfungsi untuk menghilangkan  $O_2$  secara mekanik
  - b)  $CO_2$  dan  $NH_3$  yang tidak terionisasi juga ikut terbuang
  - c) Prinsip kerjanya dengan menaikkan temperature dan agitasi (spray, tray) sehingga gas lebih mudah lepas . gas yang terlepas dari air selanjutnya ditiup engan steam sehingga lebih cepat keluar melalui vent(output gas)
3. Feed Water Economizer
  - a) Berupa tube-tube heat exchanger yang simple
  - b) Merupakan tahap terakhir dari system boiler feed water
  - c) Berfungsi untuk membantu pemanasan awal

Tiga komponen awal tersebut disebut komponen pre-boiler. Tujuan utamanya adalah untuk menghasilkan air umpan boiler (feed water boiler) yang aman sehingga tidak menimbulkan masalah scale atau korosi pada boiler.

#### 4. Boiler Steam And Mud Drum

Dari feed water economizer kemudian masuk ke komponen boiler inti, yaitu steamdrum dan mud drum. Feed water masuk ke dalam boiler steam drum. Karena suhunya lebih rendah dibanding air yang ada dalam boiler maka feed water turun ke bawah menuju mud drum (lower drum). Pengotor yang masih terdapat dalam feed water, dengan bantuan bahan kimia khususnya scale inhibitor maka akan mengendap didasar drum. Kotoran yang terakumulasi dalam mud drum harus dikeluarkan dengan perhitungan blowdown boiler yang tepat.

Selanjutnya, air dalam boiler akan mendapatkan pemanasan disisi api. Api yang makin panas akan naik ke atas (steam drum) dan menjadi uap (steam), selanjutnya dikeluarkan menuju komponen boiler berikutnya.

#### 5. Superheater Boiler

Fungsinya untuk meningkatkan temperature steam yang dihasilkan oleh boiler. Steam yang dihasilkan oleh steam drum boiler disebut steam basah atau saturated steam dengan temperature umumnya 250°C. Steam yang dihasilkan oleh superheater boiler disebut steam kering atau superheated steam dengan temperature mencapai 340°C

#### 6. Attemperator

- a) Fungsinya untuk control temperature superheated steam
- b) Prinsip kerjanya dengan pengaturan spray air murni secara otomatis

### **B. Waste Heat Boiler**

Waste Heat Boiler B-1104 merupakan salah satu komponen penting yang terdapat didalam unit produksi asam sulfat Departemen Produksi IIIA PT. Petrokimia Gresik, yang berfungsi sebagai penghasil steam dengan memanfaatkan gas buang dari proses pembakaran SO<sub>2</sub> didalam furnace. Alat ini memiliki tipe shell and tube, dimana boiler terdiri dari suatu bejana tertutup yang berisi air demin yang kemudian dipanaskan dari luar menggunakan gas buang dari pembakaran SO<sub>2</sub> dalam furnace.

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. Dalam hal ini umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem steam, sedangkan sistem steam mengumpulkan dan mengontrol produksi steam dalam boiler. 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..

Dalam furnace digunakan temperature reaksi 1042 °C, dimana sisa panas gas dari pembentukan SO<sub>2</sub> digunakan sebagai pemanas Boiler Feed Water (BFW). Boiler Feed Water (BFW) dari BFW Pump dialirkan menuju ke 2<sup>nd</sup> economizer (E-1204) untuk dilakukan pemanasan tahap awal. BFW keluar dari 2<sup>nd</sup> economizer (E-1204) kemudian dialirkan menuju 1st economizer (E-1203) untuk dilakukan pemanasan lanjutan. Lalu BFW masuk ke Waste Heat Boiler (B-1104) dengan tekanan 42 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu keluar 255°C menjadi saturated steam. Kemudian saturated steam masuk ke steam superheater (E-1102) dengan tekanan 38,2 kg/cm<sup>2</sup> berubah menjadi superheated steam dengan laju alir 91,03 ton/jam tekanan 35 kg/cm<sup>2</sup>, dan suhu 400°C. Steam ini dialirkan ke unit utilitas untuk menggerakkan turbin generator di Departemen Produksi IIIA.

Energi kalor yang dihasilkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (low pressure/LP), dan tekanan- temperatur tinggi (high pressure/HP), dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*boiler* komersial dan *boiler* industri), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar *generator* sehingga menghasilkan energi listrik (*power boilers*).

### **C. Jenis Proses Pembuatan Asam Sulfat**

Pada dasarnya, asam sulfat dibuat dengan 2 macam proses, yaitu :

1. Chamber Process
2. Contact Process

Contact Process Pada proses kontak terdapat 2 macam cara, yaitu :

- a. Single Contact Absorber Adalah proses kontak yang hanya menggunakan sebuah absorber untuk memproduksi asam sulfat dengan kadar 98% - 99,5%.

Jalannya proses : Sulfur padat dicairkan dalam sulfur melter yang kemudian dipompa ke sulfur burner. Didalam sulfur burner terjadi pembakaran dengan udara panas yang didapat dari drying tower sehingga menghasilkan gas  $\text{SO}_2$ . Gas  $\text{SO}_2$  yang dihasilkan kemudian didinginkan dengan heat waste boiler I sebelum masuk ke converter. Pada converter stage I,  $\text{SO}_3$  yang terbentuk didinginkan dengan cara dilewatkan heat waste boiler II, kemudian masuk ke converter stage II, lalu masuk ke converter stage III dan selanjutnya ke converter stage IV. Keluar dari converter stage IV gas  $\text{SO}_3$  didinginkan dengan economizer, kemudian dialirkan ke absorber. Didalam absorber terjadi reaksi absorpsi gas  $\text{SO}_3$  dengan air membentuk asam sulfat. Asam sulfat yang terbentuk didinginkan didalam acid cooler tank dan kemudian ditampung di acid storage tank sebagai produk dengan kandungan asam sulfat 98% - 99,5%.

- b. Double Contact Absorber Merupakan proses kontak dengan menggunakan dua buah absorber untuk menghasilkan asam sulfat dengan konsentrasi 98% - 99,5%.

Jalannya proses : Sulfur padat dicairkan didalam sulfur melter, kemudian dipompa ke sulfur burner. Didalam sulfur burner sulfur cair dibakar dengan udara kering dari drying tower sehingga terbentuk gas  $\text{SO}_2$ . Gas  $\text{SO}_2$  didinginkan terlebih dahulu sebelum masuk converter. Konverter terdiri dari bed katalis, 3 bed merupakan konversi tingkat pertama dan bed ke 4 merupakan konversi tingkat ke 2. Setiap tingkat

konversi (konversi tingkat pertama dan konversi tingkat kedua) masing masing mempunyai penyerap, yaitu absorber I dan absorber II. Sebelum masuk kedalam absorber gas  $\text{SO}_3$  didinginkan terlebih dahulu di economizer. Didalam absorber terjadi reaksi absorpsi gas  $\text{SO}_3$  dengan air membentuk asam sulfat. Asam sulfat yang terbentuk didinginkan dan kemudian ditampung di acid storage tank sebagai produk dengan kandungan asam sulfat 98% - 99,5%.

Kedua proses diatas menggunakan bahan baku sulfur, serta mempunyai prinsip pembuatan yang hampir sama, yaitu pembuatan gas sulfur dioksida, mengubah sulfur dioksida menjadi sulfur trioksida dengan penambahan oksigen berlebih dengan bantuan katalis, kemudian mereaksikan sulfur trioksida dengan air membentuk asam sulfat. Pada Contact Process terdapat 2 macam cara :

1. Single Contact Absorber Yaitu proses kontak yang hanya menggunakan sebuah absorber. Gas sulfur trioksida yang keluar dari converter, langsung didinginkan di economizer, kemudian dilewatkan absorber dan keluar produk asam sulfat.
2. Double Contact Absorber Yaitu proses kontak dengan menggunakan dua buah absorber. Gas sulfur trioksida yang keluar dari converter stage 3 didinginkan di economizer, kemudian dilewatkan absorber I dan gas dikembalikan ke converter stage 4. Keluar dari converter stage 4, gas masuk ke economizer kemudian dilewatkan absorber II dan keluar produk asam sulfat.

Pemilihan Proses pembuatan asam sulfat yang digunakan adalah proses kontak, yaitu double contact absorber, dengan pertimbangan sebagai berikut :

1. Konversi pembentukan  $\text{SO}_3$  lebih besar dibandingkan proses chamber maupun single contact.
2. Jumlah gas  $\text{SO}_3$  yang terserap atau terabsorpsi lebih banyak dibandingkan proses chamber maupun proses single contact.
3. Asam sulfat yang dihasilkan mempunyai konsentrasi yang lebih pekat dibandingkan dengan proses chamber maupun proses single contact.

4. Jumlah asam sulfat yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan proses chamber maupun proses single contact. (Shreve, 1973)

#### **D. Bahan Baku Pembuatan Asam Sulfat**

Bahan baku yang digunakan dalam proses pembuatan asam sulfat adalah belerang, oksigen, air dan katalis vanadium pentaoksida sebagai bahan pembantu. Dimana belerang dan vanadium pentaoksida di impor langsung dari Singapura, sedangkan oksigen di dapat dari udara bebas. Untuk air yang digunakan didapat dari sumur bor yang melalui tahap pengolahan.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Bahan Baku Pembuatan Asam Sulfat

No.	Komponen	Bentuk	Warna	Bau	Titik didih (°C)	Titik Leleh (°C)
1.	Belerang	Padatan	Kuning	Menyengat	444.6	120
2.	Sulfur Dioksida	Gas	-	-	-10.0	-75.5
3.	Sulfur Trioksida	Gas	-	-	16.83	44.6
4.	Oksigen	Gas	-	-	-183	-218,4
5.	Vanadium Pentaoksida	Padatan	Kuning	-	1750	800
6.	Air	Cairan	-	-	100	-

Sumber : Perry's Chemical Engineering's Hand Book

Tabel 2.2 Sifat Kimia Bahan Baku Pembuatan Asam Sulfat

No.	Komponen	BM (gr/mol)	Spgr (gr/cm <sup>3</sup> )	Kelarutan
1.	Belerang	32.06	2.046	Hygroskopis
2.	Sulfur Dioksida	64.06	1.434	Larut dalam air
3.	Sulfur Trioksida	80.06	1.923	Tidak larut dalam air
4.	Oksigen	32	1.14	-
5.	Vanadium Pentaoksida	181.9	3.357	Larut dalam asam dan alkali
6.	Air	18	1.004	Berfungsi sebagai pelarut

Sumber : Perry's Chemical Engineering's Hand Book

### **E. Proses Pembuatan Asam Sulfat**

Dalam pembuatan material terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Asam sulfat merupakan bahan yang penting untuk industri. Pembuatan asam sulfat pada abad sekitaran 18 dan 19 masih menggunakan Chamber process, dimana oksidasi nitrogen sebagai katalis homogen untuk oksidasi sulfur dioksida. Produk yang dihasilkan pada proses ini memiliki kadar konsentrasi yang rendah rendah, yaitu 78% asam sulfat dan kurang dapat digunakan untuk proses industri pada umumnya yang dalam skala besar. Sebelum abad 20, Chamber process diganti dengan proses kontak. Penggunaan proses kontak dilakukan karena banyak proses industri yang memerlukan asam sulfat dengan konsentrasi tinggi untuk pembuatan zat warna sintetik dan bahan kimia anorganik lainnya. Pada abad 19, proses kontak pertama kali dibuat dengan menggunakan katalis platinum dan dikembangkan sebelum Perang Dunia I untuk membuat campuran asam sulfat dengan asam nitrat sebagai bahan peledak. Proses yang dilakukan melalui 3 tahapan, yaitu:

#### **1. Pembakaran Belerang**

Proses produksi asam sulfat diawali dengan peleburan sulfur (S) yang digunakan sebagai bahan baku utama dengan menggunakan steam yang dialirkan pada coilcoildi Sulfur Melter pada tekanan  $4 \text{ kg/cm}^2$ . Kemudian sulfur cair dipompakan dari Sulfur Melter melalui pipa-pipa dan disemprotkan ke dalam Furnace. Di dalam Furnace terjadi pembakaran belerang dengan udara.

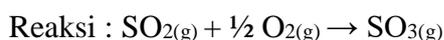


Udara yang digunakan disuplai oleh Main Blower yang sudah mengalami proses pengeringan. Proses pengeringan udara dilakukan di Drying Tower dengan menggunakan asam sulfat sirkulasi dengan konsentrasi 93%-98%. Proses pengeringan udara tersebut dimaksudkan untuk mencegah korosi oleh gas pada pembakaran dan untuk menghilangkan kandungan air dalam udara. Proses pembakaran belerang cair menjadi  $\text{SO}_2$  dengan temperature pembakaran kurang lebih  $750\text{-}770 \text{ }^\circ\text{C}$ . Gas hasil pembakaran di Furnace kemudian dialirkan ke Boiler melalui tube-tube untuk mengambil panasnya yang berguna untuk menghasilkan steam untuk mencairkan belerang di Sulfur Melter, sebagian gas yang lain dialirkan

ke Heat Exchanger bersama dengan gas keluar dari Boiler yang telah diambil panasnya. Di dalam Heat Exchanger gas didinginkan dengan menggunakan udara yang di suplai oleh Blower. Setelah itu aliran gas mengalami proses penyaringan dan penstabilan suhu gas di Hot Gas Filter.

## 2. Oksidasi Katalitik SO<sub>2</sub> Menjadi SO<sub>3</sub> dengan Bantuan Katalis

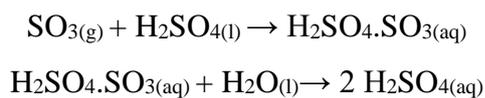
Dari Hot Gas Filter aliran gas masuk ke Converter. Converter ini terdiri dari empat bed katalis V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Aliran gas masuk ke setiap bed diatur pada temperature 425-440°C. Dengan bantuan katalis ini aliran gas tersebut (SO<sub>2</sub>) diubah menjadi gas SO<sub>3</sub>. Reaksi ini merupakan reaksi eksoterm sehingga gas tersebut harus didinginkan pada tahap-tahap katalis. Aliran gas keluar bed I dan bed II didinginkan dalam 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> Heat Exchanger. Sedangkan aliran gas dari bed III langsung masuk ke bed IV karena perbedaan temperature gas keluar dan bed III dan bed IV sudah kecil.



Dari converter aliran gas SO<sub>3</sub> masuk ke dalam SO<sub>3</sub> Cooler A untuk didinginkan. Kemudian didinginkan lebih lanjut ke SO<sub>3</sub> Cooler B setelah itu aliran gas tersebut masuk ke Absorbing Tower.

## 3. Absorpsi Gas SO<sub>3</sub>

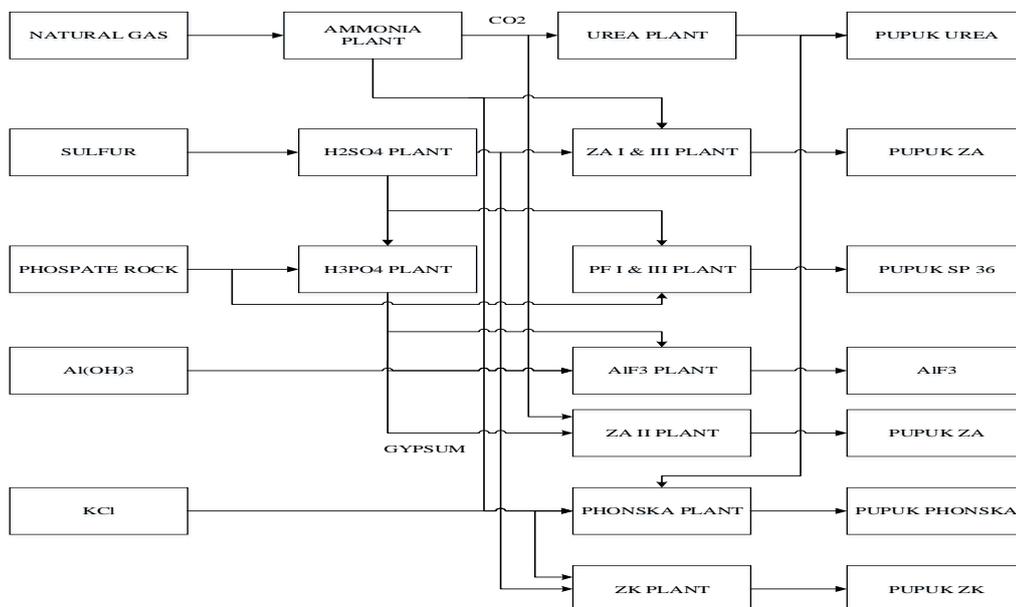
Di Absorbing Tower terjadi proses penyerapan gas SO<sub>3</sub> dengan menggunakan sirkulasi asam sulfat dengan konsentrasi 98-99% yang diatur di AT Pump Tank. Asam resirkulasi tersebut kemudian diencerkan dengan menambahkan air dan setelah itu baru dialirkan kembali ke dalam AT Pump Tank. Asam sulfat yang dihasilkan pada AT Pump Tank setelah mencapai level maksimum yang ditentukan, kemudian ditransfer dan ditampung di Sulphuric Acid Storage Tank. Reaksi yang terjadi di absorbing tower yaitu:



## F. Metode Pembuatan Asam Sulfat

1. Metode Manheim Process Contact process dipatenkan oleh Philips pada tahun 1931. Produk pertama yang dihasilkan oleh Emil Jacob Kreuznack (Jerman) dengan menggunakan pyrite sebagai sumber sulfur dioksida. Diantara tahun 1898 sampai tahun 1902, dimana dikenal dengan dengan Manheim process, digunakan peralatan converter dengan stage I diisi dengan ferri oksida dan diikuti dengan pengisian platinum di stage terakhir.
2. Metode Scroder Grillo Process Scroder Grillo Process menggunakan platinum yang mengandung sulfat sebagai katalis. Tahun 1915, ditemukan katalis yang efektif untuk contact process, yang dikembangkan oleh Badische (Jerman), yaitu vanadium. Katalis ini digunakan tahun 1926 di Amerika dan menggantikan katalis platinum.

PT Petrokimia Gresik merupakan pabrik pupuk terlengkap di Indonesia yang mampu menghasilkan produk pupuk dan prosuk non pupuk serta bahan kimia lainnya. Secara umum, PT Petrokimia Gresik dibagi menjadi 3 unit produksi, yaitu unit produksi I A dan I B, unit produksi II Adan II B serta unit produksi III A dan III B.



Gambar 2.1 Alur Proses Produksi PT Petrokimia Gresik

## **II.2. Uraian Tugas Khusus**

### **II.2.1. Latar Belakang**

Dalam melakukan Praktek Kerja Lapangan di PT. Petrokimia Gresik Departemen Produksi IIIA, kami mendapatkan tugas khusus untuk mempelajari dan mendalami mengenai kinerja alat boiler yang ada pada seksi asam sulfat unit SO<sub>2</sub> generation . Pada Departemen IIIA unit produksi asam sulfat terbagi menjadi 2 bagian, yakni seksi utilitas III dan seksi asam sulfat. Dimana seksi utilitas III ini berfungsi untuk menyediakan sarana dan prasarana yang dibutuhkan oleh seksi asam sulfat bahkan untuk unit produksi lain didepartemen III, yang meliputi penyediaan energy listrik, uap air panas, mengelola air limbah sisa proses dan lainnya. Sedangkan seksi asam sulfat berfungsi untuk memproduksi asam sulfat yang nantinya akan menghasilkan produk berupa asam sulfat dengan konsentrasi 98,5% yang akan digunakan sebagai suplay pada departemen produksi lainnya serta dipasarkan ke pabrik pabrik yang membutuhkan.

Dalam seksi asam sulfat unit SO<sub>2</sub> generation terdapat Waste Heat Boiler B-1104 (yang berfungsi untuk mengolah demin *water* yang telah dirubah menjadi Boiler Feed *Water* (BFW) menjadi *steam* dengan memanfaatkan sisa gas buang panas pembakaran SO<sub>2</sub> didalam furnace. Uap yang terbentuk akan digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin pembangkit tenaga (mesin uap, turbin uap), pemanasan dan proses lainnya. Untuk mempelajari dan mendalami mengenai kinerja Waste Heat Boiler B-1104 ini diperlukan adanya pemahaman lebih mengenai proses yang terjadi. Oleh karena itu berdasarkan data-data yang ada dapat dilakukan pendalaman mengenai Waste Heat Boiler B-1104.

### **II.2.2. Tujuan**

Tujuan dari tugas khusus ini, yakni untuk mempelajari dan mendalami mengenai proses kinerja alat Waste Heat Boiler B-1104 yang ada pada seksi asam sulfat unit SO<sub>2</sub> generation.

### **II.2.3. Manfaat**

Dari data mengenai Waste Heat Boiler B-1104 pada pabrik Asam sulfat unit SO<sub>2</sub> generation, diharapkan dapat diketahui proses yang terjadi secara keseluruhan sehingga pemahaman mengenai kinerja dari Waste Heat Boiler dapat tercapai.

### **II.2.4. Waste Heat Boiler**

Waste Heat Boiler B-1104 merupakan salah satu komponen penting yang terdapat didalam unit produksi asam sulfat Departemen Produksi IIIA PT. Petrokimia Gresik, yang berfungsi sebagai penghasil *steam* dengan memanfaatkan gas buang dari proses pembakaran SO<sub>2</sub> didalam furnace. Alat ini memiliki tipe *shell and tube*, dimana boiler terdiri dari suatu bejana tertutup yang berisi air demin yang kemudian dipanaskan dari luar menggunakan gas buang dari pembakaran SO<sub>2</sub> dalam furnace.

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*. Dalam hal ini umpan diperlukan sebagai bentuk pemeliharaan untuk mencegah terjadi kerusakan dari sistem *steam*, sedangkan sistem *steam* mengumpulkan dan mengontrol produksi *steam* dalam boiler. 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..

Dalam furnace digunakan temperature reaksi 1042 °C, dimana sisa panas gas dari pembentukan SO<sub>2</sub> digunakan sebagai pemanas Boiler Feed Water (BFW). Boiler Feed Water (BFW) dari BFW Pump dialirkan menuju ke 2<sup>nd</sup> economizer (E-1204) untuk dilakukan pemanasan tahap awal. BFW keluar dari 2<sup>nd</sup> economizer (E-1204) kemudian dialirkan menuju 1st economizer (E-1203) untuk dilakukan pemanasan lanjutan. Lalu BFW masuk ke Waste Heat Boiler (B-1104) dengan tekanan 42 kg/cm<sup>2</sup> dan suhu keluar 255°C menjadi saturated *steam*. Kemudian saturated *steam* masuk ke *steam* superheater (E-1102) dengan tekanan 38,2 kg/cm<sup>2</sup> berubah menjadi superheated *steam* dengan laju alir 91,03 ton/jam tekanan 35 kg/cm<sup>2</sup>, dan suhu 400°C. *Steam* ini dialirkan ke unit utilitas untuk menggerakkan turbin generator di Departemen Produksi IIIA.

Energi kalor yang dihasilkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan. Berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (low pressure/LP), dan tekanan- temperatur tinggi (high pressure/HP), dengan perbedaan itu pemanfaatan *steam* yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (*boiler* komersial dan *boiler* industri), atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar *generator* sehingga menghasilkan energi listrik (*power boilers*).

### II.2.5. Pembahasan

Data aktual dari WHB dan BFW yang digunakan pada PT Petrokimia Gresik dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 berikut:

**Tabel 2.3.** Data Spesifikasi Alat Waste Heat Boiler

Parameter	Shell		Tube	
	In	Out	In	Out
Fluida	BFW		SO <sub>2</sub>	
Flow rate (kg/hr)	92820		231854.6	
Temperature (°C)	248	248	1042	565
Jumlah pass	1		1	
Inside Diameter (mm)	2950		54.5	
Outside Diameter (mm)			63,5	
Jumlah tube	999			
Tebal tube	4.5			
Panjang tube (mm)	4300			
Pitch (mm)	80			
Tube Pitch	Triangular Pitch			

**Tabel 2.4.** Data Desain Aktual Alat Waste Heat Boiler

Data	Tube (SO <sub>2</sub> )			Shell (BFW)		
	Flowrate (kg/h)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	Flowrate (kg/h)	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)
Design	231854,6	1042	565	92820	248	248
1/07/2021	223282,82	897	534	75000	380	380

3/07/2021	225305,06	905	527	76000	374	374
4/07/2021	223479,67	903	524	76000	374	374
5/07/2021	223466,94	907	536	77000	378	378
6/07/2021	223480,99	909	529	76000	377	377
8/07/2021	223875,80	905	544	77000	379	379
9/07/2021	223232,43	903	532	77000	379	379

**Tabel 2.5.** Neraca Energi Waste Heat Boiler B-1104

Data	$\Delta T_{LMTD}$ °F	H0 btu/hr.ft <sup>2</sup> F	Hi0 btu/hr.ft <sup>2</sup> F	Uc btu/hr.ft <sup>2</sup> F	Ud btu/hr.ft <sup>2</sup> F	Rd Ft <sup>2</sup> .F/Btu
Design	807,874	2500	29122	2734,769	7,44185	0,134009
1/07/2021	701,715	2480	21137	2809,656	20,6069	0,048171
3/07/2021	734,475	2489	21429	2816,091	20,7935	0,047736
4/07/2021	737,974	2491	21575	2816,145	20,6250	0,048129
5/07/2021	716,846	2484	21223	2813,273	20,6239	0,048131
6/07/2021	739,203	2493	21595	2818,361	20,6252	0,048129
8/07/2021	690,623	2472	21581	2809,444	20,6616	0,048045
9/07/2021	719,489	2486	21297	2814,541	20,6022	0,048183

Coefficient Clean Overall (Uc) adalah hantaran perpindahan panas dalam Coefficient Clean Overall (Uc) adalah hantaran perpindahan panas dalam keadaan bersih, sedangkan Coefficient Dirt Overall (Ud) adalah hantaran perpindahan *heat exchanger* dalam keadaan kotor. Secara teoritis nilai Uc harus lebih besar daripada nilai Ud. Hal ini dikarenakan perpindahan panas saat WHB dalam keadaan bersih lebih baik dari pada dalam keadaan kotor karena masih sedikitnya hambatan yang mengganggu saat proses perpindahan panas terjadi. Hasil perhitungan nilai rata-rata untuk Uc aktual sebesar 2809,656 Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.F ; 2816,089 Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.F ; 2816,139 Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.F ; 2813,273 Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.F ; 2818,361 Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.F ; 2809,444 Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.F ; 2814,541 Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.F sedangkan Uc desain 2734,769 Btu/hr.Ft<sup>2</sup>.F. Dari hasil yang ada menunjukkan bahwa Koefisien Clean Overall (Uc) pada keadaan actual sama dibandingkan pada keadaan desain. Hal ini

menandakan bahwa besarnya perpindahan panas dari keseluruhan alat dalam performa yang baik.

Nilai rata-rata Coefficient Dirt Overall (Ud) aktual sebesar 20,6069 Btu/hr.ft<sup>2</sup>.F ; 20,7935 Btu/hr.ft<sup>2</sup>.F ; 20,6250 Btu/hr.ft<sup>2</sup>.F ; 20,6239 Btu/hr.ft<sup>2</sup>.F ; 20,6252 Btu/hr.ft<sup>2</sup>.F ; 20,6616 Btu/hr.ft<sup>2</sup>.F ; 20,6022 Btu/hr.ft<sup>2</sup>.F sedangkan pada nilai Coefficient Dirt Overall (Ud) desain sebesar 7,44185 Btu/hr.ft<sup>2</sup>.F. Hal tersebut menunjukkan bahwa perhitungan tersebut tidak sesuai dengan teori dimana fouling factor (Rd) aktual lebih besar daripada fouling factor (Rd) desain. Fouling factor (Rd) aktual yang lebih besar merupakan parameter yang menunjukkan besarnya pengotor dalam alat penukar panas yang diakibatkan oleh pembentukan lapisan pengotor yang berdampak pada penambahan tahanan terhadap aliran panas. Lapisan ini terbentuk karena adanya produk korosi dari alat penukar panas maupun terdapat endapan yang berasal dari fluida kerja. Nilai Rd ini digunakan sebagai parameter perlu tidaknya heat exchanger dibersihkan. Seperti komponen atau mesin yang lain pada umumnya yang memiliki umur pakai, berlaku pula pada *heat exchanger*. Semakin lama *heat exchanger* digunakan akan menyebabkan pengotoran (fouling) pada bagian dalam heat exchanger tersebut. Lapisan pengotoran ini menyebabkan penambahan tahanan termal dan menyebabkan laju perpindahan panas pada heat exchanger berkurang, yang pada akhirnya akan berpengaruh pada kinerja dari heat exchanger secara khususnya, dan unit booster pada umumnya. Dari hasil tersebut membuktikan bahwa kinerja Waste Heat Boiler masih layak beroperasi. Akan tetapi perawatan harus tetap dilakukan untuk menjaga efisiensi kerja alat agar tetap pada kondisi optimal dalam jangka waktu lama. Dari hasil tersebut membuktikan bahwa kinerja Waste Heat Boiler masih layak beroperasi. Akan tetapi perawatan harus tetap dilakukan untuk menjaga efisiensi kerja alat agar tetap pada kondisi optimal dalam jangka waktu lama.