



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Uraian Proses

Departemen produksi pabrik IIIA merupakan kompartemen yang terbagi dalam beberapa bagian yakni *Sulphuric Acid & Service Unit*, *Phosporic Acid Unit*, *Ammonium Sulfate Unit*. Pabrik *Sulphuric Acid & Service Unit* sendiri membawahi beberapa unit yaitu :

1. Pabrik Asam Sulfat
2. *Power Plant Generation Unit*
3. *Demineralization Unit*
4. *Effluent Treatment*

##### II.1.1. Asam Sulfat

Kapasitas produksi unit SA I adalah 1800 MTPD ( $H_2SO_4$  cons 98,5%w). Proses yang digunakan untuk produksi asam sulfat adalah *Double Contact Double Absorption* (DCDA) dengan Lisensi Proses Hitachi Zosen/T.J. Browder. Bahan baku utama dalam produksi asam sulfat adalah belerang granulad. Selain belerang sebagai bahan baku utama, udara juga diperlukan dalam proses pembuatan asam sulfat yang berfungsi sebagai penyuplai oksigen dalam proses *SO<sub>2</sub> generation*. Selain asam sulfat unit ini juga memproduksi *Superheated Steam* dengan kapasitas 91 ton/jam (*Medium Pressure Steam* 34 kg/cm<sup>2</sup>).

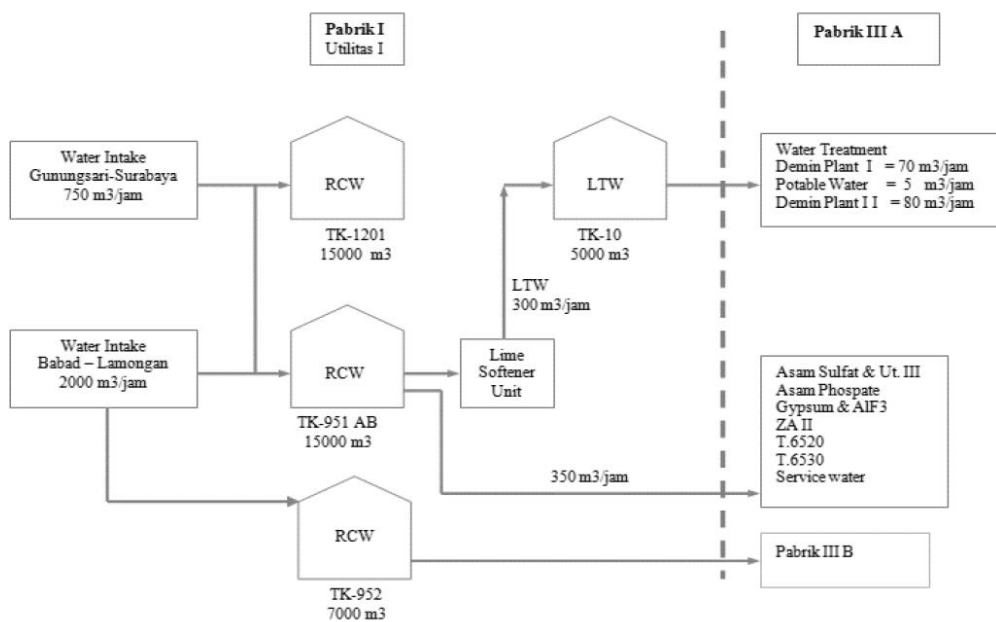
##### II.1.2. Service Unit

Power generation plant Pabrik Produksi III A Petrokimia Gresik terdiri dari dua turbin uap yang masing-masing digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Kedua turbin tersebut terdiri dari *Back Pressure Admission Turbine* (TP-6101) yang didorong dengan menggunakan *High Pressure Steam* 35 kg/cm<sup>2</sup> dan *Extraction Condensing Turbine* (TP-6102) dengan LPS 10 kg/cm<sup>2</sup>.

Kapasitas produksi untuk Back Pressure Admission Turbine adalah 8,5 MW dan untuk Extraction Condensing Turbine adalah 11,5 MW.

### II.1.3. Demineralization Unit

Power generation plant Pabrik Produksi III A Petrokimia Gresik terdiri dari dua turbin uap yang masing-masing digunakan untuk menggerakkan generator listrik. Kedua turbin tersebut terdiri dari *Back Pressure Admission Turbine* (TP-6101) yang didorong dengan menggunakan *High Pressure Steam* 35 kg/cm<sup>2</sup> dan *Extraction Condensing Turbine* (TP-6102) dengan LPS 10 kg/cm<sup>2</sup>. Kapasitas produksi untuk Back Pressure Admission Turbine adalah 8,5 MW dan untuk Extraction Condensing Turbine adalah 11,5 MW.



Gambar II. 1 Water Distribution IPA – Pabrik IIIA

### II.1.4. Effluent Treatment

*Effluent treatment* terdiri dari *lime handling*, *primary & secondary effluent treatment*, dan *cushion pond*. Lime handling bertujuan untuk mengolah kapur (CaO) sebelum masuk ke proses. *Primary & secondary effluent treatment* bertujuan untuk penetralan acidic water (AW). *Cushion pond* bertujuan untuk



menampung acidic water dari PA, SA, Purifikasi Gypsum, dan AlF<sub>3</sub>. Dari *primary Effluent Treatment* menghasilkan NW (Neutralized Water) yang didistribusikan purifikasi gypsum sebanyak 26 m<sup>3</sup>/jam, unit AlF<sub>3</sub> 15 ton/jam. Sedangkan hasil dari *secondary ET* yaitu TW (Treated water) akan dibuang ke laut (33 m<sup>3</sup>/jam).

## II.2 Uraian Tugas Khusus

Dalam pelaksanaan Praktek Kerja Lapang di PT Petrokimia Gresik, penulis menargetkan untuk dapat mengevaluasi efisiensi kinerja dari *steam turbine generator* pada *Sulphuric Acid & Service Unit*. Proses evaluasi ini bertujuan agar departemen produksi IIIA dapat mengetahui performa dari *steam turbin generator* (TG-65) serta memperoleh kinerja dari *steam turbin generator* (TG-65) yang lebih efisien.

### II.2.1 Latar Belakang Tugas Khusus

PT Petrokimia Gresik terdiri dari tiga unit departemen produksi, yaitu departemen produksi I, departemen produksi II, dan departemen produksi III. Dalam pengembangan bisnisnya, departemen produksi III sendiri terbagi menjadi departemen produksi IIIA dan IIIB. Masing-masing departemen produksi pada PT Petrokimia Gresik memiliki unit utilitas untuk menyediakan bahan-bahan penunjang operasional pabrik seperti *cooling water*, *steam*, listrik, dan sebagainya. Unit utilitas pada pabrik IIIA menggunakan *power generation* sebagai penyuplai kebutuhan listrik di wilayah produksi IIIA. Secara umum, daya yang mampu dihasilkan oleh *power generation* ini adalah sekitar 20 MW. Daya tersebut diperoleh dari dua jenis turbin yang digunakan yaitu *back pressure turbine* (TG-65) dan *condensing turbine* (TG-66).

Saat ini, *condensing turbine* pada unit utilitas tidak beroperasi karena terdapat kerusakan pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) yang biasa digunakan untuk menstabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan generator. Sehingga untuk menghindari terjadinya *brownout* pada wilayah produksi IIIA



maka pada *unit power generation* ini hanya mengoperasikan *back pressure turbine* (TG-65). Selain turbin, komponen utama yang terdapat pada *unit power generation* adalah generator. Dimana generator berfungsi sebagai mesin pembangkit tenaga listrik dengan mengkonversi energi mekanis yang dihasilkan turbin menjadi listrik (Kurniasari, 2017). Gangguan efisiensi generator dapat berakibat fatal pada generator sehingga dapat menyebabkan generator tidak bekerja secara optimal dan sistem kelistrikan dapat mengalami *brownout*. Efisiensi pada generator sangat mempengaruhi kinerja *unit power generation*. Semakin besar efisiensi generatornya maka keandalan sistem juga semakin baik (Muharrir, 2019). Oleh karena itu dilakukan analisis efisiensi steam turbine generator untuk mengetahui performa turbin generator pada *unit power generation*.

## II.2.2 Rumusan Masalah Tugas Khusus

Berdasarkan uraian latar belakang maka didapatkan masalah yang dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana kinerja TG-65 selama bulan November 2022 melalui analisa efisiensi *steam turbin generator* (STG)
2. Faktor apa saja yang dapat mempengaruhi efisiensi *steam turbin generator* (STG) TG-65.

## II.2.3 Tinjauan Pustaka

### A. Boiler

Boiler merupakan sebuah ketel uap yang tertutup serta panas pembakaran diteruskan ke air sampai menjadi air yang beruap panas atau steam. Setelah itu uap panas tersebut dalam tekanan yang dimanfaatkan untuk suatu proses industri. Boiler secara umum didesain dengan menggunakan material baja untuk melakukan atau memindahkan (transmit/transfer) energi kalor yang berasal dari pembakaran bahan bakar (batu bara atau minyak) menuju bejana atau pipa-pipa fluida yang terdapat di dalam boiler. Perpindahan energi kalor dari suatu medium



ke medium lain di dalam boiler terjadi melalui tiga cara yaitu radiasi, konveksi dan konduksi. Perpindahan kalor ini hanya terjadi bila terdapat perbedaan temperatur di antara medium-medium tersebut.

Sistem kerja boiler terdiri dari sistem air umpan/air pengisi boiler, sistem uap, sistem bahan bakar serta sistem udara pembakaran dan gas buang. Sistem air umpan menyediakan air untuk boiler secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Sistem uap berfungsi untuk mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam boiler. Sistem bahan bakar merupakan semua peralatan yang digunakan dalam menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan energi panas yang dibutuhkan, seperti coal handling system pada berbahan batu bakar, oil handling system pada berbahan minyak, dan natural gas system pada boiler berbahan bakar natural gas. Sistem udara pembakaran dan gas buang merupakan semua peralatan yang digunakan dalam menyediakan udara sebagai suplai untuk pembakaran serta membuang dan mengontrol gas hasil pembakaran ke atmosfer (Djokosetyardjo, 2003).

## B. Turbin dan Generator

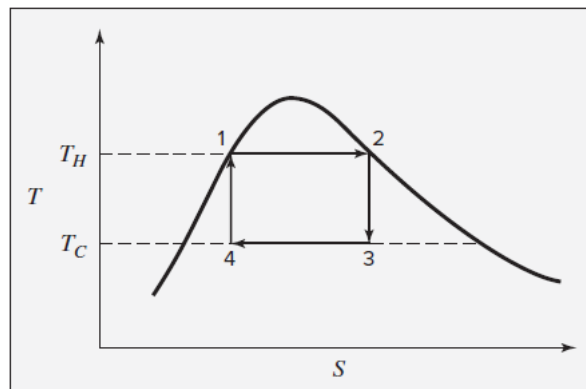
Steam dari boiler masuk ke dalam turbin. Pada proses ini terjadi konversi energi, di turbin energi kalor dikonversi menjadi energi mekanik kemudian energi mekanik dikonversi menjadi energi listrik pada generator. Untuk memutar turbin, steam pada inlet harus berenergi tinggi, ketika turbin menyerap energi dari fluida berenergi tinggi maka tekanan dan temperaturnya turun menuju outlet.

Turbin secara umum terdiri atas beberapa komponen yaitu *nozzle*, rotor, *blade impeller*, dan *shaft*. Pada saat steam berenergi tinggi masuk ke dalam nozzle, terjadi pressure drop dari  $P_0$  menjadi  $P_1$  karena bentuk *section nozzle* mengikuti perubahan arah dari *flow steam*. Volume spesifik steam naik dari  $V_0$  menjadi  $V_1$  dan laju alir steam naik dari  $F_0$  menjadi  $F_1$ . Steam dengan energi panas yang tinggi ( $C_1$ ), memiliki kecepatan relatif tinggi mengalir keluar dari *nozzle* dan masuk ke jalur rotor *blade*. Di dalam jalur rotor *blade* yang berliku liku, arah aliran steam berubah menjadi tenaga dorong kepada rotor *blade* dan

menimbulkan momen yang membuat rotor *blade* memutar sehingga memutar *main shaft*. Rotor *blade* mengeluarkan energi mekanik sebesar daya steam dalam rotor blade dan mendorong impeller. Saat steam meninggalkan rotor blade masih terdapat kecepatan putar rotor sebesar  $C_2$ . Kecepatan ini disebut juga sebagai *after speed*. Energi kinetik dari *after speed* ini disebut *after speed loss* (Fritz, 2005)

### C. Model Siklus Steam Power Plant

Terdapat dua jenis siklus yang umumnya diaplikasikan pada *steam power plant*, yaitu Siklus Carnot dan Siklus Rankine. Proses yang terjadi pada Siklus Carnot bersifat reversible yang terdiri dari dua langkah isotermal yang dihubungkan oleh dua langkah adiabatik. Langkah 1  $\rightarrow$  2 adalah penguapan isotermal yang terjadi dalam boiler pada temperature  $T_H$ , dimana panas dipindahkan ke air cair jenuh pada laju  $\dot{Q}_H$ , menghasilkan uap jenuh. Langkah 2  $\rightarrow$  3 adalah ekspansi adiabatik reversibel uap jenuh dalam turbin yang menghasilkan campuran dua fasa cairan dan uap jenuh pada  $T_C$ . Ekspansi isentropik ini diwakili oleh garis vertikal. Langkah 3  $\rightarrow$  4 adalah proses kondensasi parsial isotermal pada suhu  $T_C$  yang lebih rendah, di mana panas dipindahkan ke lingkungan dengan laju  $\dot{Q}_C$ . Langkah 4  $\rightarrow$  1 adalah kompresi isentropik di dalam pompa. Diwakili oleh garis vertikal, dibutuhkan siklus kembali ke asalnya, menghasilkan air cair jenuh pada titik 1. Daya yang dihasilkan oleh turbin, dimana  $\dot{W}_{turbin}$  jauh lebih besar daripada kebutuhan daya pompa  $\dot{W}_{pompa}$ .



Gambar II. 2 Siklus Carnot pada diagram TS

Output daya bersih adalah sama dengan perbedaan antara laju input panas di boiler dan laju pembuangan panas di kondensor. *Thermal efficiency* pada siklus ini yaitu :

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

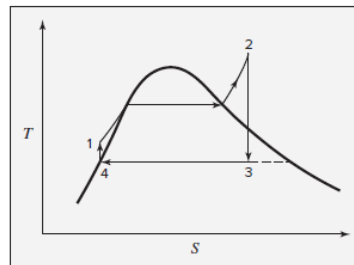
Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa  $\eta_{carnot}$  meningkat ketika  $T_H$  meningkat dan  $T_C$  menurun. Meskipun efisiensi mesin panas diturunkan oleh irreversibilitas, efisiensinya akan meningkat ketika suhu rata-rata di mana panas diserap dalam boiler dinaikkan dan ketika suhu rata-rata di mana panas dibuang di kondensor diturunkan.

Efisiensi termal dari siklus Carnot baru yang diperoleh dapat berfungsi sebagai standar perbandingan untuk pembangkit listrik tenaga uap yang sebenarnya. Namun, kesulitan praktis hadir dalam pengoperasian peralatan yang dimaksudkan untuk melakukan langkah  $2 \rightarrow 3$  dan  $4 \rightarrow 1$ . Turbin yang menggunakan uap jenuh menghasilkan gas buang dengan kandungan cairan yang tinggi, yang menyebabkan masalah erosi yang parah. Yang lebih sulit lagi adalah desain pompa yang mengambil campuran cairan dan uap (poin 4) dan mengeluarkan cairan jenuh (poin 1). Untuk alasan ini, siklus alternatif diambil sebagai standar, setidaknya untuk pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Ini disebut siklus Rankine, dan berbeda dari siklus Gambar II.1 dalam dua hal utama. Pertama, tahap pemanasan  $1 \rightarrow 2$  dilakukan jauh melampaui penguapan sehingga menghasilkan uap super panas, dan kedua, tahap pendinginan  $3 \rightarrow 4$  menghasilkan kondensasi sempurna, menghasilkan cairan jenuh untuk dipompa ke boiler. Oleh karena itu, siklus Rankine terdiri dari empat langkah yang ditunjukkan pada Gambar II.2 dan dijelaskan sebagai berikut:

- a.  $1 \rightarrow 2$  Proses pemanasan tekanan konstan dalam boiler. Langkahnya terletak di sepanjang isobar (tekanan boiler) dan terdiri dari tiga bagian: pemanasan air cair subdingin hingga suhu jenuhnya, penguapan pada suhu dan tekanan konstan, dan pemanasan berlebih uap ke suhu jauh di atas suhu jenuhnya.
- b.  $2 \rightarrow 3$  Pemuaian uap adiabatik (isentropik) bolak-balik dalam turbin ke tekanan kondensor. Langkah biasanya melintasi kurva saturasi, menghasilkan

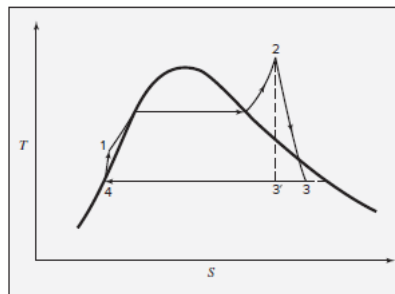
knalpot basah. Namun, superheating yang dilakukan pada langkah  $1 \rightarrow 2$  menggeser garis vertikal cukup jauh ke kanan pada Gambar 8.3 sehingga kadar airnya tidak terlalu besar.

- c.  $3 \rightarrow 4$  Proses tekanan konstan, suhu konstan dalam kondensor untuk menghasilkan cairan jenuh pada titik 4.
- d.  $4 \rightarrow 1$  Pemompaan reversibel, adiabatik (isentropik) dari cairan jenuh ke tekanan boiler, menghasilkan tekanan (*subcooled*) cairan. Garis vertikal (yang panjangnya dibesar-besarkan pada Gambar II.2) sangat pendek karena kenaikan suhu yang terkait dengan kompresi cairan kecil.



Gambar II. 3 Siklus Rankine pada Diagram TS

Pembangkit listrik sebenarnya beroperasi pada siklus yang menyimpang dari siklus Rankine karena langkah ekspansi dan kompresi yang tidak dapat diubah. Gambar II.3 mengilustrasikan efek dari irreversibilitas ini pada langkah  $2 \rightarrow 3$  dan  $4 \rightarrow 1$ . Garis tidak lagi vertikal tetapi cenderung ke arah peningkatan entropi. Gas buang turbin biasanya masih basah, tetapi dengan kadar air yang cukup rendah, masalah erosi tidak serius. Sedikit pendinginan kondensat di kondensor dapat terjadi, tetapi efeknya tidak penting.



Gambar II. 4 Simple Practical Power Cycle

(Vanness, 2018)





#### D. Prinsip Kerja Steam Turbine Generator (STG)

*Steam turbine generator* (STG) yang digunakan di unit utilitas pabrik asam sulfat berfungsi untuk mengkonversi energi kalor dalam bentuk steam menjadi energi mekanik dan mengkonversikannya ke dalam energi listrik. *Steam turbine generator* menggunakan *saturated* dan *superheated steam* sebagai fluida kerjanya. *Steam* yang masuk akan menggerakkan shaft yang menjadi penghubung antara turbin dan generator. Fungsi utamanya menyuplai kebutuhan listrik yang ada di sekitar *plant*.

*Steam Turbine* digerakkan dengan uap bertekanan tinggi yang dihasilkan oleh *Boiler* atau *Heat Recovery System Generator* (HRSG). Berbeda dengan turbin gas atau mikroturbin, *steam turbine* tidak mengkonsumsi secara langsung bahan bakar. Sebaliknya bahan bakar penggerak prosesnya adalah boiler api atau pabrik yang menghasilkan panas untuk HRSG.

Prinsip kerja dari steam turbine generator (STG) yaitu uap masuk ke dalam turbin melalui nozzle. Nozzle tersebut berfungsi mengubah energi panas dari uap menjadi energi kinetis. Tekanan uap pada saat keluar dari nozzle lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nozzle, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nozzle lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nozzle. Uap yang memancar keluar dari nozzle diarahkan ke sudu sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang di sekeliling rotor turbin. Uap yang mengalir melalui celah antara sudu turbin itu dibelokkan mengikuti arah lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar poros turbin yang menghasilkan energi mekanik (Dharu et al.,2018).

#### E. Efisiensi Turbin Generator

Secara umum, efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara output terhadap input dalam suatu proses. Efisiensi merupakan salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi



energi atau proses transfer terjadi. Hukum pertama termodinamika berbunyi perubahan energi dalam sebuah sistem tertutup, sama dengan jumlah energi panas masuk ke dalam sistem ke lingkungan sekitarnya. Pengertian ini tergambar pada persamaan dasar berikut :

$$q - w = \Delta h + \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$-w = h_2 - h_1$$

$$w_{\text{turbin}} = h_1 - h_2$$

dimana

$q$  = energi panas yang masuk ke dalam sistem

$w$  = kerja spesifik keluar sistem

$\Delta h$  = perubahan entalpi

$\Delta E_k$  = perubahan energi kinetik

$\Delta E_p$  = perubahan energi potensial

Oleh karena sistem turbin uap tidak terjadi perubahan energi panas, energi kinetik, serta energi potensial fluida, maka untuk komponen  $q$ ,  $\Delta E_k$ , serta  $\Delta E_p$  dapat dihilangkan. Selanjutnya dapat menghitung daya turbin dengan mengalikan daya spesifik dengan *steam rate*.

$$W_{\text{aktual}} = m_s \times w_{\text{turbin}}$$

$$W_{\text{aktual}} = m_s \times (h_1 - h_2)$$

Dimana

$W_{\text{aktual}}$  = daya turbin actual (kW)

$m_s$  = massa alir uap masuk *steam turbine*, kg/h

$h_1$  = entalpi uap pada kondisi uap masuk turbin, kJ/kg

$h_2$  = entalpi uap pada kondisi uap keluar turbin, kJ/kg

Sedangkan untuk menghitung daya turbin teoritis (ideal) dapat digunakan persamaan berikut :

$$W_{\text{ideal}} = m_s \times (h_1 - h_{2s})$$

dimana

$W_{\text{ideal}}$  = daya turbin ideal (kW)

$m_s$  = massa alir uap masuk *steam turbine*, kg/h



$h_1$  = entalpi uap pada kondisi uap masuk turbin, kJ/kg

$h_{2s}$  = entalpi uap pada kondisi uap keluar turbin kondisi isentropis, kJ/kg

Untuk menghitung efisiensi total turbin dapat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{W_{aktual}}{W_{ideal}} \times 100\%$$

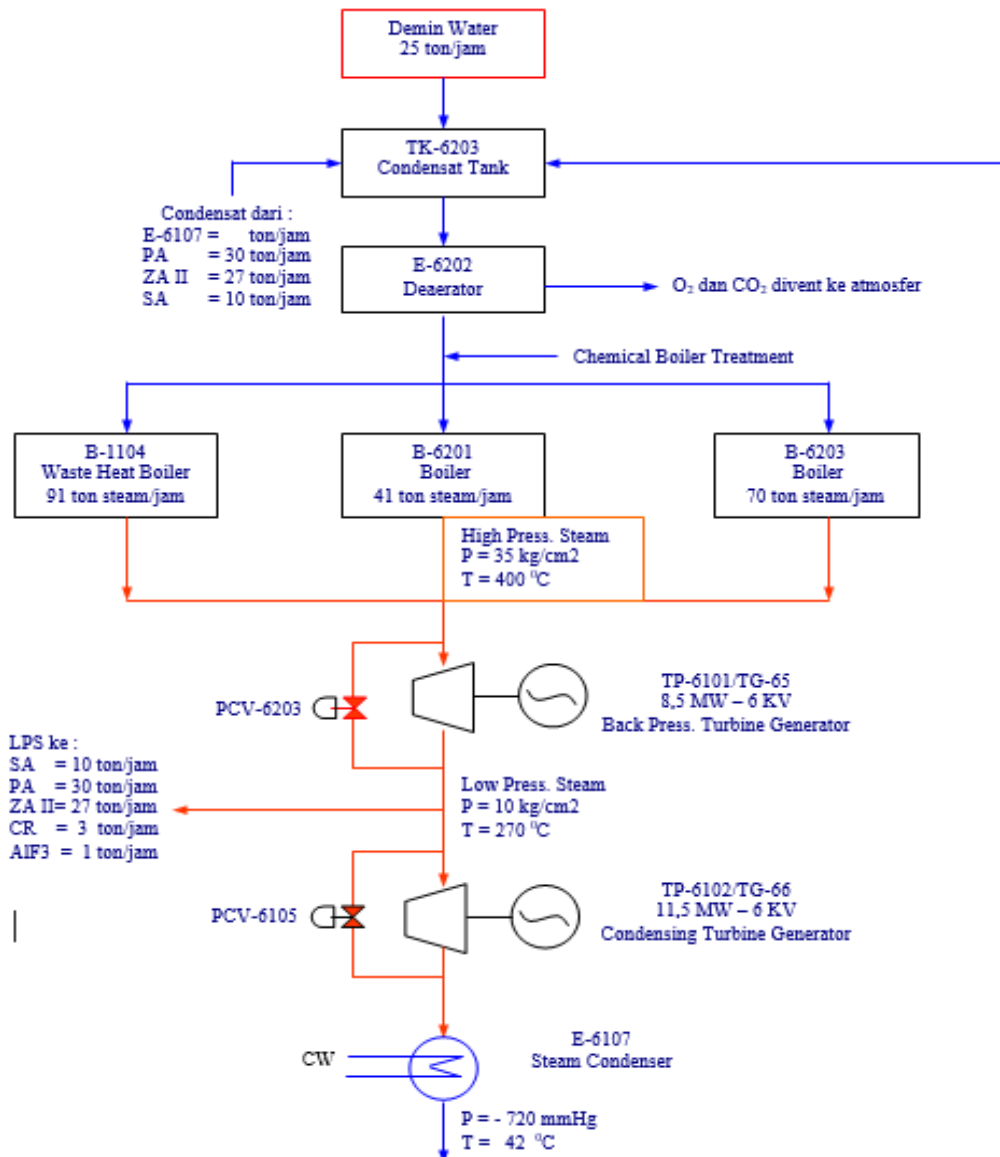
(Panji, 2021)

#### F. Turbine Generator pada Unit Utilitas Pabrik Asam Sulfat I (TG-65)

Demin water dan condensate dari TK-6203 diumpankan ke dalam deaerator untuk dinaikkan temperaturnya sampai 105°C, Sebagian uap dibuang ke atmosfer untuk mengeluarkan kandungan O<sub>2</sub> & CO<sub>2</sub>. Selanjutnya dengan *boiler feed water pump*, *steam* didistribusi ke B-6201 dan B-6203 menggunakan pompa P-6202 dan pompa P-6213 serta menuju B-6202 (*back up boiler*) bila B-6201 & B-6203 *shut down*. Produk yang dihasilkan oleh B-6201 & B-6203 berupa *high pressure steam* (HPS) dan *Low Pressure Steam* (LPS). *High Pressure Steam* (HPS) yang dihasilkan akan diumpankan menuju *steam turbine generator* TG-65. Sedangkan *low pressure steam* (LPS) yang dihasilkan akan diumpankan menuju :

- Steam turbine generator* TG-66
- Deaerator untuk proses *stripping*/ pemisahan gas CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>
- Unit asam sulfat sebagai *steam heater*
- Unit asam pospat untuk *steam heater*, *steam ejector*, dan *evaporator*
- Unit gypsum untuk pengeringan *purified gypsum* dan granulasi CR
- Unit AlF<sub>3</sub> untuk *crystallizer* dan *washing cloth centrifuge* SiO<sub>2</sub>/ AlF<sub>3</sub>
- Unit ZA II untuk *steam heater*, *steam ejector*, dan *evaporator*

Outlet boiler yang diumpankan ke turbin digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin. Energi kinetik dari *steam* kemudian diubah menjadi energi mekanis oleh turbin. Energi mekanis ini kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Daya yang dihasilkan oleh TG-65 yaitu sebesar 8,5 MW sedangkan daya yang dihasilkan oleh TG-66 yaitu sebesar 11,5 MW.



Gambar II. 5 Proses Produksi pada Power Plant Generation

## II.2.4 Evaluasi Efisiensi Steam Turbine Generator (TG-65)

### A. Pengumpulan Data

Data berikut diperoleh dari pengamatan dan laporan harian yang didapatkan dari *central control room* (CCR) selama tanggal 1 – 30 November 2022. Berikut data yang telah didapatkan :



Tabel II. 1 Data Kondisi Operasi TG-65

Hari	P inlet kg/cm_g	P outlet kg/cm_g	T inlet °C	T outlet °C	Mass Flowrate ton/jam	Beban Generator MW
1						
2						
3						
4						
5	34	10	400	274	71.3	5.00
6	34	10	397	276	81.2	4.90
7	34	10	395	274	83.1	5.00
8	34	10	396	275	81.9	5.10
9	34	10	396	274	82.6	5.10
10	34	10	395	270	92.2	5.80
11	34	10	386	260	97.2	6.30
12	34	10	401	275	94.3	5.80
13	34	10	383	256	106.1	6.90
14	34	10	384	259	100	6.40
15	34	10	393	266	100.3	6.40
16	34	10	389	263	101.1	6.30
17	34	10	390	262	113.3	7.30
18	34	10	387	260	109.3	7.10
19	34	10	382	255	106.8	7.10
20	34	10	377	252	115	7.50
21	34	10	399	271	115.9	7.50
22	34	10	382	256	117.2	7.50
23	34	10	383	256	111.3	7.20
24	34	10	404	274	112.7	7.40
25	34	10	391	262	111.7	7.30
26	34	10	396	267	111.4	7.20
27	34	10	390	262	110.7	7.10
28	34	10	384	259	104	6.70
29	34	10	388	268	86.3	5.30
30	34	10	389	261	109.5	7.30

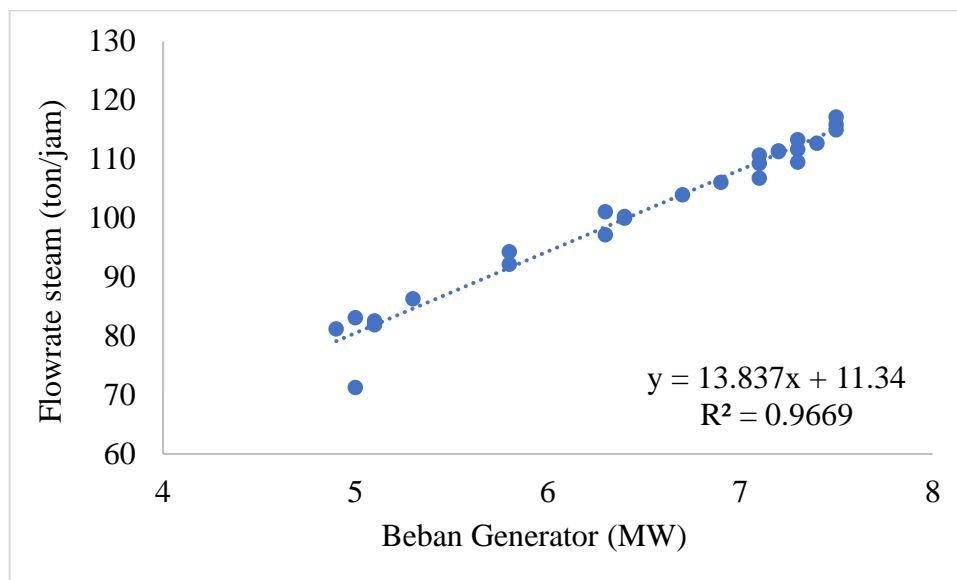


B. Hasil dan Pembahasan

Tabel II. 2 Hasil Perhitungan Efisiensi TG-65

Hari	$W_T$ ideal	$W_T$ aktual	Beban Generator	Efisiensi Turbin	Efisiensi Generator
	$m(h_{in} - h_s)$	$m(h_{in} - h_{out})$		$\frac{W_{aktual}}{W_{ideal}} \times 100\%$	$\frac{P_{aktual}}{P_{desain}} \times 100\%$
	MW	MW	MW	%	%
1					
2					
3					
4					
5	6.0299	4.5781	5.00	75.92%	58.82%
6	6.7551	4.9571	4.90	73.38%	57.65%
7	6.9675	5.0677	5.00	72.73%	58.82%
8	6.8742	4.9972	5.10	72.69%	60.00%
9	6.9330	5.0905	5.10	73.42%	60.00%
10	7.7305	5.8487	5.80	75.66%	68.24%
11	8.0173	6.1971	6.30	77.30%	74.12%
12	6.8545	6.0554	5.80	88.34%	68.24%
13	8.6933	6.8260	6.90	78.52%	81.18%
14	8.2303	6.3095	6.40	76.66%	75.29%
15	8.3916	6.4790	6.40	77.21%	75.29%
16	8.3942	6.4556	6.30	76.91%	74.12%
17	9.4173	7.3772	7.30	78.34%	85.88%
18	9.0251	7.0391	7.10	77.99%	83.53%
19	8.7411	6.8692	7.10	78.59%	83.53%
20	9.3288	7.2425	7.50	77.64%	88.24%
21	9.7914	7.5802	7.50	77.42%	88.24%
22	9.5923	7.4645	7.50	77.82%	88.24%
23	9.1194	7.1605	7.20	78.52%	84.71%
24	8.2129	7.5147	7.40	91.50%	87.06%
25	9.2944	7.3451	7.30	79.03%	85.88%
26	9.3503	7.3433	7.20	78.54%	84.71%
27	9.2012	7.2079	7.10	78.34%	83.53%
28	8.5595	6.5619	6.70	76.66%	78.82%
29	7.1577	5.1904	5.30	72.52%	62.35%
30	9.0917	7.1262	7.30	78.38%	85.88%

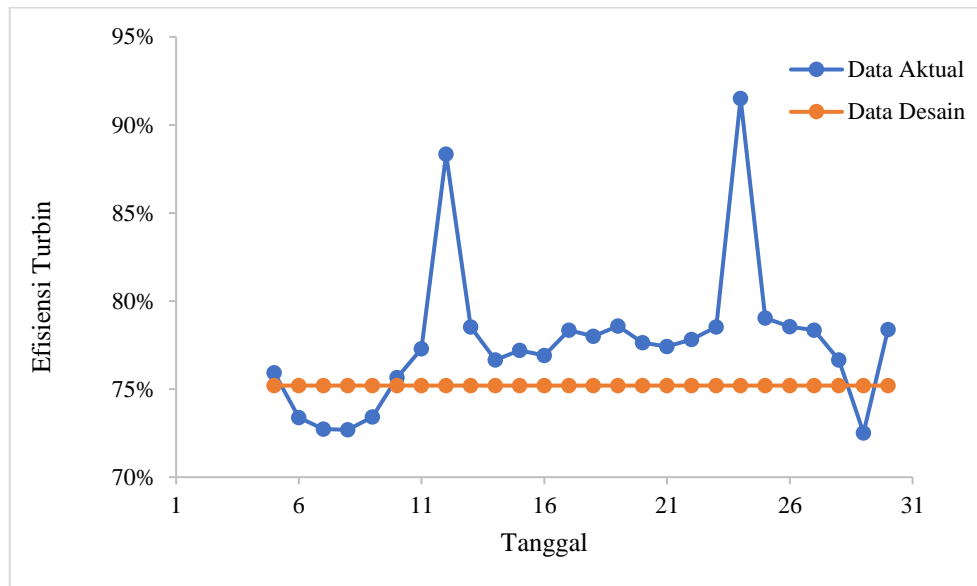
Selama bulan November 2022, beban yang dihasilkan oleh generator sekitar 4 – 7 MW per harinya dengan kebutuhan *steam* rata-rata yaitu 101, 015 ton/jam. Pengaruh kebutuhan *steam* terhadap beban yang dihasilkan generator disajikan pada gambar II.6



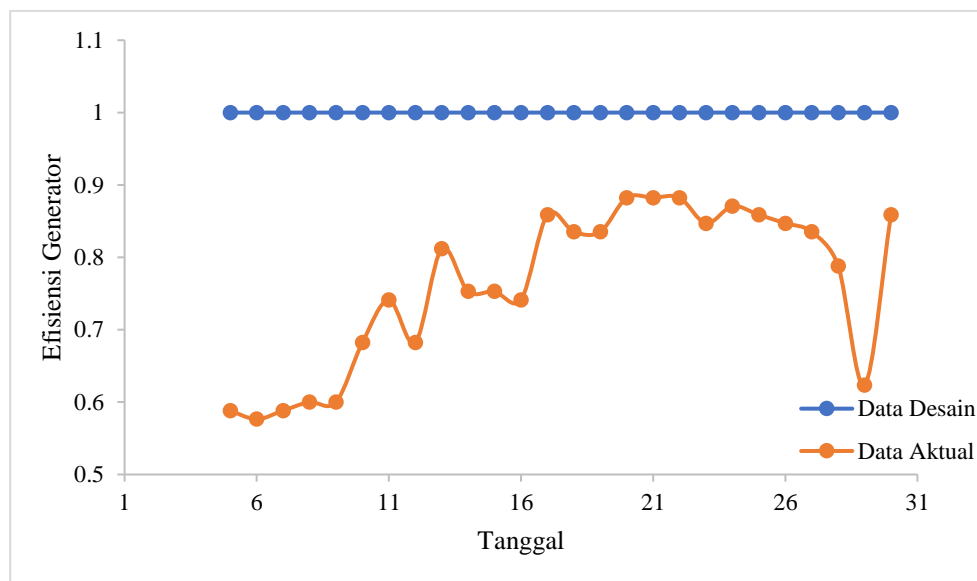
Gambar II. 6 Pengaruh Kebutuhan Steam Terhadap Beban Generator

Pada gambar II.5, dapat dilihat bahwa beban generator dipengaruhi oleh kebutuhan *steam* yang digunakan. Semakin tinggi *steam* yang dibutuhkan maka beban yang dihasilkan oleh generator akan semakin tinggi. Sehingga dari gambar II.5 diperoleh persamaan linear untuk mencari kebutuhan *steam* sesuai dengan beban yang diinginkan yaitu  $y = 13.837x + 11.34$ . Dimana  $y$  merupakan variabel kebutuhan *steam* dan  $x$  adalah variabel beban generator dalam satuan MW.

Efisiensi didefinisikan sebagai rasio antara keluaran (*output*) terhadap masukan (*input*) dalam suatu proses yang direpresentasikan sebagai persentase (%). Efisiensi dapat digunakan untuk menunjukkan performa dari suatu peralatan. Pada unit power plant generation, efisiensi turbin diperoleh dari perbandingan antara daya actual turbin ( $W_{\text{aktual}}$ ) dibandingkan dengan daya ideal ( $W_{\text{ideal}}$ ). Performansi dari TG-65 selama bulan November pada gambar II.6 dan gambar II.7



Gambar II. 7 Kurva Perbandingan Efisiensi Turbin Aktual dengan Efisiensi Turbin Desain



Gambar II. 8 Kurva Perbandingan Efisiensi Generator Aktual dengan Efisiensi Generator Desain

Pada gambar II.6 dan gambar II.7 dapat dilihat performansi TG-65 selama bulan November 2022 optimal pada efisiensi 75 – 80%. Performansi dipengaruhi oleh *massflow steam*, temperature inlet dan outlet turbin. Efisiensi TG-65 paling tinggi berada pada tanggal 24 November yaitu efisiensi turbin sebesar 91,5% dan efisiensi generator sebesar 87,06%. Hal ini dikarenakan





kebutuhan *steam* yang digunakan mendekati kondisi desain sehingga efisiensi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Efisiensi dari turbin-generator tidak bisa mencapai 100%, karena dipengaruhi oleh rugi-rugi yang ada pada *Steam Turbine Generator* (STG) tersebut. Menurut S.J. Chapman pada bukunya yang berjudul *Electric Machinery Fundamentals*, dijelaskan bahwa rugi-rugi generator meliputi 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.