



BAB IX TUGAS KHUSUS

IX.1 Uraian Tugas Khusus

Dalam pelaksanaan praktek kerja lapang di PT. Petrokimia Gresik, penulis menargetkan untuk dapat mengetahui proses produksi dari asam sulfat dan melakukan perhitungan efisiensi steam turbin generator (STG) TP-6101 Pada Pabrik Asam Sulfat Dan Service Unit (SU).

IX.2 Latar Belakang

Proses produksi pada pabrik Petrokimia Gresik Departemen III B khususnya pada Service Unit (SU) utilitas pabrik asam sulfat diperlukan sejumlah energi penggerak peralatan proses. Pada unit produksi III B, terdapat dua jenis steam turbin generator (STG) yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yaitu extraction and condensing turbine (30-TP-6101) dan admission back pressure turbine (30-TP- 6301). Untuk unit 30- TP-6101 memiliki kapasitas sebesar 17,5 MW yang digunakan untuk kebutuhan unit produksi III B sedangkan unit 30-TP- 6201 memiliki kapasitas 12,5 MW yang digunakan untuk kebutuhan pabrik UBB. Steam turbine generator menggunakan saturated 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.

IX.3 Tujuan

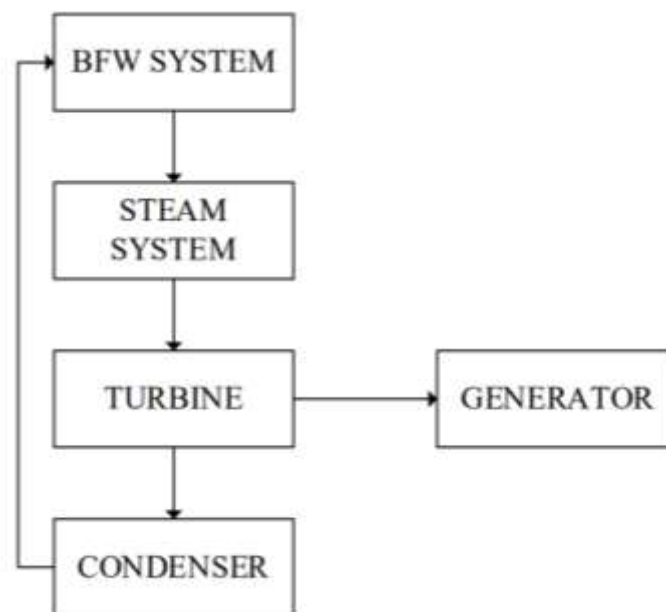
1. Mengevaluasi nilai efisiensi dari *steam turbine generator* (STG) TP - 6101 pada service unit utilitas Pabrik IIIB PT. Petrokimia Gresik
2. Membandingkan hasil efisiensi dari *steam turbine generator* (STG) TP - 6101 pada saat beroperasi selama 30 hari
3. Mengetahui faktor - faktor yang mempengaruhi pada perhitungan efisiensi *steam turbine generator* (STG) TP - 6101

IX.4 Manfaat

Manfaat yang didapatkan yaitu dapat mengetahui performa dari steam turbine generator (STG) TP-6101 sehingga diharapkan mampu untuk meningkatkan atau mengefisiensikan kebutuhan energi.

IX.5 Tinjauan Pustaka

IX.5.1 Deskripsi Proses Steam Turbine Generator



Gambar IX. 1 Blok Diagram Steam Turbine Generator (STG)

1. *Boiler Feed Water System*

Bahan yang masuk pada boiler feed water (BFW) system adalah air demin dari water treatment, chemical boiler water, kondensat dari pabrik asam sulfat, asam fosfat, dan turbine condensor. Kondensat masuk ke condensate drum untuk dipisahkan antara campuran steam dan kondensatnya menggunakan gaya gravitasi yang mengakibatkan kondensat jatuh ke bawah dan ditampung di condensate tank, sedangkan steam bergerak ke atas keluar melalui venting. Kondensat dari turbin condenser dan air demin dipompa masuk ke tangki kondensat. Air yang ada di dalam tangki kondensat dipompa menuju deaerator. Fungsi deaerator adalah untuk mengurangi kandungan oksigen, gas CO₂ terlarut dalam BFW dan menghilangkan



gelembung di permukaan air, menaikkan temperatur air umpan, serta sebagai tangki penyimpanan air untuk menyuplai kebutuhan BFW. Produk dari BFW yang bebas oksigen dan CO₂ terlarut ditampung di deaerator dan dimasukkan ke plant asam sulfat dan desuperheater steam.

Pada BFW perlu ditambahkan bahan kimia untuk meminimalisir terbentuknya kerak (scale) dan terjadinya korosi. Bahan kimia yang ditambahkan adalah:

- a. Oxygen Scavenger (Na₂SO₃) untuk membersihkan sisa-sisa oksigen yang tidak bisa dihilangkan atau lolos dari deaerator
- b. Amine untuk mengatur derajat keasaman BFW diinjeksikan pada outlet deaerator
- c. PO₄ sebagai scale inhibitor yang berfungsi untuk mencegah pertumbuhan unsur penyebab kerak.
- d. Anionic polymer sebagai dispersant atau penyebar mikro flok agar tidak menempel pada tube boiler. Selanjutnya dilakukan blowdown untuk membuang flok tersebut.

2. *Steam System*

Boiler feed water (BFW) dari deaerator dipompa masuk ke pabrik asam sulfat dengan ditambahkan oxygen scavenger (corrosion inhibitor) dan scale inhibitor. Kemudian masuk ke economizer pertama dan economizer kedua untuk menaikkan temperatur BFW dan masuk ke steam drum. Kalori untuk memanaskan BFW dihasilkan dari panas reaksi antara sulfur dengan udara di dalam furnace. Reaksi : $S(s) + O_2(g) \rightarrow SO_2(g) + 70960 \text{ kcal/kgmol}$ (Temperatur reaksi : 1042 °C)

Gas SO₂ dalam keadaan panas masuk ke tube untuk memanasi BFW di dalam lower drum sehingga menjadi steam saturated dan terjadi sirkulasi downcomer ke upper drum. Kapasitas produk steam sebesar 91 ton/jam. Saturated steam tersebut masuk ke steam superheater untuk dipanasi menjadi superheated steam. Resiko bila saturated steam masuk ke turbin adalah blade atau suhu turbin bisa terkikis atau terjadi abrasif. Produk dari steam superheater memiliki tekanan



36 kg/cm² dan temperatur 405°C kemudian dimasukkan ke unit power generation untuk menggerakkan Steam Turbine Generator (STG) dengan kapasitas 17,5 MW.

3. Turbin Generator

Turbin adalah mesin penggerak yang komponen utamanya berupa balingbaling atau kincir yang digerakkan oleh fluida kerja berupa air, uap air, atau gas di mana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Bagian turbin yang berputar dinamai rotor atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamai casing atau rumah turbin. Roda turbin terletak di dalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya (generator listrik, pompa, kompresor, baling-baling atau mesin lainnya).

4. Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya.

5. Condenser

Condenser adalah perangkat penukar panas (heat exchanger) yang berfungsi untuk mendinginkan uap yang lepas setelah memutar turbin dan masuk ke condenser untuk dirubah ke bentuk cair melalui pipa-pipa kecil (tube) yang didinginkan dengan menggunakan aliran air secara langsung (once through) atau menggunakan cooling water (closed cooling system). Uap yang telah berubah menjadi air kembali akan ditampung ke dalam hotwell untuk kemudian dipompa melalui vacuum unit condenser sebelum masuk ke condensate tank sekaligus berfungsi sebagai pendingin dari steam untuk menarik vacuum condenser yang keluar dari ejector. Hasil kondensasi di vacuum unit condenser masuk kembali ke turbin condenser.



IX.5.2 Steam Turbine Generator (STG) pada Unit Utilitas Pabrik Asam Sulfat IIB

Spesifikasi teknis steam turbine generator (STG) pada unit utilitas pabrik asam sulfat III B disajikan pada tabel II.1.

Tabel IX. 1 Pabrik Asam Sulfat IIB dengan Wuhuan Engineering Co.

Project Name	Wuhuan Engineering Co.
Installation Location	Gresik (Indonesia)
Type No.	6-8 MC 6 E
Serial No.	VO1890
Year	2014
Steam Turbine Item No.	30-TP-6101
Max Power	18100 kW
Rated	20588 kVA
Inlet Steam Pressure	Nominal: 35,5 kg/cm ² g, Design: 42,9 kg/cm ² g
Inlet Steam Temperature	Nominal: 405°C, Design: 425°C
Exhaust Steam Pressure	0,11 kg/cm ² g
Extraction Steam Pressure	Nominal: 12,24 kg/cm ² g, Design: 15,0 kg/cm ² g
Nominal Speed	6242 rpm
Max Continuous Speed	6242 rpm
First Critical Speed	3600 rpm
Second Critical Speed	9580 rpm
Overspeed Trip	6866 rpm
Efficiency	0,7740
Flow Steam Inlet	91 t/h



IX.5.3 Spesifikasi Peralatan Pendukung

Peralatan Pendukung pada unit steam turbine generator (STG) TP-6101 antara lain :

- *Oil Pump*
- *Emergency Oil pump*
- *Vacuum oil purifier*
- *Condensate extraction pump*
- *Steam Condensate pump*
- *Turbine condenser*
- *Vacuum unit condenser*
- *Hogging ejector*
- *Hogging ejector ke-1*
- *Holding ejector ke-2*
- *Gland steam ejector*
- *Flash tank*
- *Lube oil tank*
- *Steam condensate tank*
- *Exciter*
- *Gear box*
- *Electric turning gear*
- *Exhauster*
- *Oil filter*
- *Condensate tank*
- *Deaerator*
- *Dump condenser*

IX.5.4 Parameter Operasi

Parameter Operasi pada Unit steam turbine generator (STG) TP-6101 antara lain:

- Tekanan Inlet
 - Rated : 36,3 bars a
 - Normal : 35,8 bars a



- Suhu Inlet
 - Rated* : 36,3 °C
 - Normal : 35,8 °C
- Tekanan pada *controlled extraction*
 - Rated* : 10,82 bars a
 - Normal : 10,82 bars a
- Flow pada *Controlled extraction*
 - Rated* : 19000 kg/h
 - Normal : 11500 kg/h
- Entalpi pada *controlled extraction*
 - Rated* : 715,6 kcal/kg
 - Normal : 720,1 kcal/kg
- Suhu pada *controlled extraction*
 - Rated* : 276 °C
 - Normal : 284,5 °C
- Suhu pada *turbine exhaust*
 - Rated* : 48,87 °C
 - Normal : 48,64°C
- Tekanan pada *turbine exhaust*
 - Rated* : 0,11 bars a
 - Normal : 0,109 bars a
- Flow pada *turbine exhaust*
 - Rated* : 71500 kg/h
 - Normal : 70200 kg/h
- Entalpi pada *turbine exhaust*
 - Rated* : 566,6 kcal/kg
 - Normal : 568,9 kcal/kg
- Moisture pada *turbine exhaust*
 - Rated* : 9,04%
 - Normal : 8,62%
- Suhu water inlet pada *turbine exhaust*



Rated : 31°C

Normal : 31 °C

- Kecepatan putaran turbin

Rated : 6230 tr/min

Normal : 6230 tr/min

IX.6 Data Teknis

Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi steam turbine generator (STG) terdiri dari 2 macam data yaitu data primer dan data sekunder

a. Data Primer

Data Primer adalah data yang diperoleh dari bagian Departemen III B unit Utilitas Pabrik Asam Sulfat berupa spesifikasi alat steam turbine generator (STG) TP-6101, daya keluaran turbin/generator, tekanan inlet dan outlet, suhu inlet dan outlet, serta laju alir massa, Data yang diperoleh adalah data selama bulan Juni 2022

b. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber lain seperti literatur, bahan kuliah seperti rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan efisiensi perhitungan *steam turbin generator* (STG), dan *superheated dan saturated steam table*.

Tabel IX. 2 Data Primer dari Control Room Unit Utilitas Pabrik Sulfat IIIB

Hari	T Inlet	P Inlet	T Outlet	P Outlet	Mass Flow	Beban Generator
	TI-6109	PI-6113	TT-6120	PI-6110	FT-6102	
	deg C	kg/cm ² .g	(°C)	kg/cm ² .g	ton/jam	MW
1	411	38.7	65	0.1	53.8	10.803
2	411	38.7	66	0.1	53.8	11.987
3	399	38.7	61	0.1	49.7	11.056
4	399	38.7	57	0.1	54.2	12.057
5	399	38.8	57	0.11	51.7	11.525
6	398	38.8	65	0.12	56.8	13.015



7	401	38.6	64	0.11	56.4	12.53
8	SHUTDOWN					
9						
10	404	38.4	64	0.11	49.4	12.005
11	401	38.8	65	0.1	49.3	10.992
12	401	38.9	62	0.11	49.3	11.001
13	401	38.8	69	0.11	49.3	10.975
14	401	38.8	68	0.11	49.6	10.992
15	401	38.7	61	0.12	54.4	12.007
16	401	38.8	64	0.11	49.6	12.022
17	400	38.7	60	0.11	54.2	12.024
18	400	38.7	69	0.11	54.2	12.003
19	399	38.8	70	0.11	54.4	12.012
20	399	38.8	60	0.11	54.4	12.018
21	398	38.8	68	0.11	54.5	12.006
22	399	38.7	62	0.11	53.9	11.998
23	400	38.7	63	0.11	54.2	12.001
24	398	38.7	62	0.11	54.2	12.013
25	399	38.8	66	0.11	51.9	11.522
26	398	39	63	0.09	38.4	8.212
27	399	38.8	63	0.11	54	12.008
28	399	38.7	64	0.11	58.8	13.009
29	400	38.6	65	0.11	61.3	13.519
30	400	38.6	67	0.12	61.3	13.458
31	399	38.7	70	0.12	61.4	13.507

IX.6.1 Pengolahan Data

Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung efisiensi *steam turbine generator* (STG) yaitu dengan membandingkan hasil perhitungan efisiensi aktual dengan efisiensi desain. Data tekanan dan mass flow dikonversi menjadi kPa-abs



dan kg/s. Perhitungan dilakukan menggunakan rumus-rumus 2.4. Nilai entalpi dan entropi didapatkan dari data *superheated* dan *saturated steam table*.

IX.7 Hasil dan Pembahasan

IX.7.1 Konversi Tekanan dan Mass Flow

Tabel IX. 3 Konversi Tekanan dan Mass Flow Selama 30 Hari

Hari	P Inlet	P Outlet	Mass Flow
	PI-6113	PI-6110	FT-6102
	kPa - abs	kPa - abs	kg/s
1	3795.17	9.8	14.944
2	3795.17	9.8	14.944
3	3795.17	9.8	13.806
4	3795.17	9.8	15.056
5	3804.98	10.8	14.361
6	3804.98	11.8	15.778
7	3785.37	10.8	15.667
8	S D		
9			
10	3765.75	10.8	13.722
11	3804.98	9.8	13.694
12	3814.79	10.8	13.694
13	3804.98	10.8	13.694



14	3804.98	10.8	13.778
15	3795.17	11.8	15.111
16	3804.98	10.8	13.778
17	3795.17	10.8	15.056
18	3795.17	10.8	15.056
19	3804.98	10.8	15.111
20	3804.98	10.8	15.111
21	3804.98	10.8	15.139
22	3795.17	10.8	14.972
23	3795.17	10.8	15.056
24	3795.17	10.8	15.056
25	3804.98	10.8	14.417
26	3824.59	8.8	10.667
27	3804.98	10.8	15.000
28	3795.17	10.8	16.333
29	3785.37	10.8	17.028
30	3785.37	11.8	17.028
31	3795.17	11.8	17.056

IX.7.2 Mencari Nilai h_{out} dan h_{in} dari Superheated dan Saturated Steam Table

Tabel IX. 4 Nilai h_{in} , S_{in} , h_g , h_f , S_g , S_f Selama 30 Hari

Hari	H in	S in	Hg	Hf	Sg	Sf
------	------	------	----	----	----	----



	(kJ/kg)	(kJ/kg.K)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg.K)	(kJ/kg.K)
1	3243.66	6.837	2618.273	272.027	7.833	0.891
2	3243.66	6.837	2620.026	276.216	7.817	0.902
3	3215.6	6.796	2611.258	255.271	7.894	0.844
4	3215.6	6.796	2604.244	238.515	7.956	0.798
5	3215.42	6.796	2604.244	238.515	7.956	0.798
6	3213.08	6.792	2618.273	272.027	7.833	0.891
7	3220.46	6.803	2616.519	267.838	7.848	0.879
8	SHUTDOWN					
9	SHUTDOWN					
10	3227.81	6.813	2616.519	267.838	7.848	0.879
11	3220.12	6.803	2618.273	272.027	7.833	0.891
12	3219.95	6.803	2613.012	259.460	7.879	0.856
13	3220.12	6.803	2625.287	288.784	7.771	0.937
14	3220.12	6.803	2623.534	284.595	7.786	0.926
15	3220.29	6.803	2611.258	255.271	7.894	0.844
16	3220.12	6.803	2616.519	267.838	7.848	0.879
17	3220.29	6.799	2609.505	251.082	7.910	0.832
18	3220.29	6.799	2625.287	288.784	7.771	0.937
19	3215.42	6.796	2627.041	292.973	7.756	0.949
20	3215.42	6.796	2609.505	251.082	7.910	0.832



21	3213.08	6.792	2623.534	284.595	7.786	0.926
22	3215.6	6.796	2613.012	259.460	7.879	0.856
23	3217.94	6.799	2614.765	263.649	7.864	0.867
24	3213.25	6.792	2613.012	259.460	7.879	0.856
25	3215.42	6.796	2620.026	276.216	7.817	0.902
26	3212.73	6.792	2614.765	263.649	7.864	0.867
27	3215.42	6.796	2614.765	263.649	7.864	0.867
28	3215.6	6.796	2616.519	267.838	7.848	0.879
29	3218.11	6.799	2618.273	272.027	7.833	0.891
30	3218.11	6.799	2621.780	280.405	7.802	0.914
31	3215.6	6.796	2627.041	292.973	7.756	0.949

Tabel IX. 5 Nilai h_{out} Selama 30 Hari

Hari	H_{out} (kJ/kg)
1	2281.800
2	2287.817
3	2244.061
4	2220.707
5	2220.707
6	2266.580
7	2264.131
8	SHUTDOWN



9	
10	2267.633
11	2270.093
12	2252.273
13	2294.163
14	2288.111
15	2246.376
16	2264.131
17	2239.346
18	2292.978
19	2285.749
20	2238.191
21	2284.568
22	2249.951
23	2257.027
24	2248.790
25	2273.728
26	2254.699
27	2255.863
28	2261.796
29	2268.922



30 2280.905

31 2285.749

IX.7.3 Menghitung Kerja Reversible dan Aktual Steam Turbine (STG)

Tabel IX. 6 Kerja Reversible dan Kerja Aktual pada Steam Turbine Generator
(STG) Selama 30 Hari

Hari	W Reversible	W Aktual
1	-961.860	-722.877
2	-955.843	-802.104
3	-971.539	-800.837
4	-994.893	-800.834
5	-994.713	-802.515
6	-946.500	-824.894
7	-956.329	-799.787
8	SHUTDOWN	
9		
10	-960.177	-874.858
11	-950.027	-802.661
12	-967.677	-803.318
13	-925.957	-801.420
14	-932.009	-797.806
15	-973.914	-794.581
16	-955.989	-872.565
17	-980.944	-798.642
18	-927.312	-797.247
19	-929.671	-794.912
20	-977.229	-795.309
21	-928.512	-793.057



22	-965.649	-801.351
23	-960.913	-797.114
24	-964.460	-797.911
25	-941.692	-799.214
26	-958.031	-769.875
27	-959.557	-800.533
28	-953.804	-796.469
29	-949.188	-793.938
30	-937.205	-790.356
31	-929.851	-791.941

IX.7.4 Menghitung Efisiensi *Steam Turbine Generator* (STG)

Tabel IX. 7 Perhitungan Efisiensi Steam Turbine Generator (STG) Selama 30

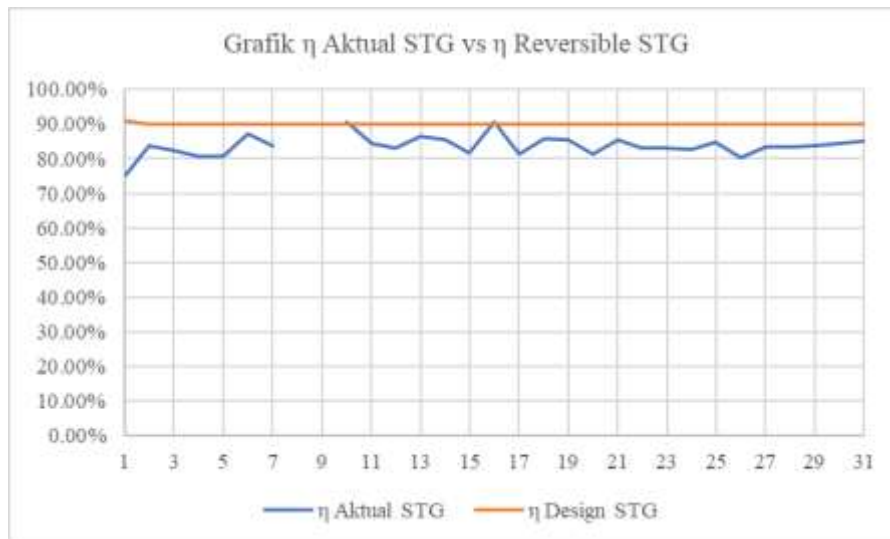
Hari		
Hari	Efisiensi Generator Aktual	Efisiensi Generator Design
1	75.15%	91%
2	83.92%	91%
3	82.43%	91%
4	80.49%	91%
5	80.68%	91%
6	87.15%	91%
7	83.63%	91%
8	SD	91%
9		91%
10	90.58%	91%
11	84.49%	91%
12	83.02%	91%
13	86.55%	91%
14	85.60%	91%



15	81.59%	91%
16	90.61%	91%
17	81.42%	91%
18	85.97%	91%
19	85.50%	91%
20	81.38%	91%
21	85.41%	91%
22	82.99%	91%
23	82.95%	91%
24	82.73%	91%
25	84.87%	91%
26	80.36%	91%
27	83.43%	91%
28	83.50%	91%
29	83.64%	91%
30	84.33%	91%
31	85.17%	91%

IX.7.5 Pembahasan

Laporan ini bertujuan untuk mengkaji efisiensi steam turbine generator (STG) 30-TP-6101 menggunakan perbandingan kerja aktual dengan kerja reversible di Steam Turbine Generator (STG). Data aktual yang digunakan untuk perhitungan neraca massa yaitu pada bulan Oktober 2022. Berikut ini adalah diagram batang efisiensi steam turbine generator (STG) 30-TP-6101.



Gambar IX. 2 Grafik η Aktual STG vs η Reversible STG

Berdasarkan diagram pada Grafik IV.1 terlihat nilai efisiensi Steam Turbine Generator (STG) 30-TP-6101 mengalami perubahan yang fluktuatif. Selama 30 hari pengamatan didapatkan nilai efisiensi terendah terjadi pada hari ke-1 yaitu pada efisiensi 75,15% dan efisiensi tertinggi terjadi pada hari ke-16 yaitu pada 90,61%. Sedangkan untuk efisiensi desain pada Steam Turbine generator (STG) 30-TP-6101 senilai 98,38. Efisiensi tidak bisa mencapai 100%, hal ini disebabkan 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.

Berdasarkan pada Tabel IV.5, didapatkan nilai rata-rata efisiensi Steam Turbine Generator (STG) 30-TP-6101 sebesar 83,78%. Untuk data yang didapatkan terkait nilai efisiensi generator secara desain yaitu sebesar 77,4%. Apabila dibandingkan dengan nilai efisiensi hasil perhitungan pada generator, nilai efisiensi Steam Turbine Generator (STG) 30-TP-6101 pada unit utilitas pabrik asam sulfat IIIB di PT. Petrokimia Gresik saat ini telah mengalami penurunan sebesar $\pm 6,22\%$.



Penurunan efisiensi ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya sudah melemahnya kemampuan kerja generator maupun meningkatnya rugi-rugi yang ada pada generator salah satunya adalah rugi-rugi yang ada pada generator adalah rugi-rugi mekaniknya. Rugi gesekan dapat disebabkan oleh gesekan bantalan dan gesekan udara (*windage*), yang disebabkan oleh turbulensi udara akibat rotasi jangkar. Faktor perawatan dapat mempengaruhi besarnya rugi gesekan. Pembersihan secara berkala pada pipa transmisi uap dan separator dapat mempengaruhi kinerja Steam Turbine Generator (STG). Selain rugi-rugi gesekan, faktor kebocoran uap pada pipa-pipa transmisi juga dapat menyebabkan penurunan efisiensi Steam Turbine Generator (STG).