

---

**OPTIMASI LP (LOW PRESSURE) AUXILIARY STEAM  
PADA DESALINATION PLANT UNTUK MENINGKATKAN  
PRODUKSI STEAM TURBINE PLTGU GRATI**

Deni Prasetyo<sup>1</sup>, Muhammad Agus Sahbana<sup>2</sup> dan Dadang Hermawan<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang  
Email : [Denipras72@gmail.com](mailto:Denipras72@gmail.com), [sahbana@widyagama.ac.id](mailto:sahbana@widyagama.ac.id), [dadang@widyagama.ac.id](mailto:dadang@widyagama.ac.id)

**Abstrak**

Desalination Plant, yaitu suatu peralatan yang berfungsi untuk menyuling air laut menjadi air tawar dengan proses pemanasan. Pengoperasian desalination plant pada sistem pembangkit berpengaruh pada hasil produksi yang dihasilkan oleh steam turbine. Adapun penggunaan steam yang digunakan adalah, HP (High Pressure) Auxiliary steam pada ejector yang berfungsi untuk membuat chamber menjadi vacuum, serta LP (Low Pressure) Auxiliary steam pada brine heater yang berfungsi untuk memanaskan air laut. Penggunaan HP (High Pressure) Auxiliary steam pada ejector menyebabkan pengurangan produksi listrik yang lebih besar pada steam turbine jika dibandingkan dengan penggunaan LP (Low Pressure) Auxiliary steam. Hal tersebut menyebabkan biaya untuk memproduksi distillate menjadi lebih mahal dan produksi listrik yang dihasilkan pada steam turbine tidak optimal. Saat ini pengoperasian desalination plant PLTGU Grati masih menggunakan HP (High Pressure) Auxiliary steam untuk membuat chamber desalination plant menjadi kondisi vacuum. Inovasi yang dilakukan adalah dengan mengganti penggunaan HP (High Pressure) Auxiliary steam dengan LP (Low Pressure) Auxiliary steam pada ejector desalination plant, dengan tujuan untuk menekan biaya distillate dan meningkatkan optimalisasi produksi listrik yang dihasilkan steam turbine. Penggunaan LP (Low Pressure) Auxiliary steam pada ejector terbukti bahwa nilai distillate, nilai condensate dan load setter dalam kondisi normal serta performa desalination plant tetap terjaga. Dengan optimasi pemanfaatan LP (Low Pressure) Auxiliary steam untuk ejector desalination plant dapat meningkatkan nilai produksi listrik dari steam turbine sebesar 26.761 kWh.

**Kata kunci :** desalination plant, HP (High Pressure) Auxiliary steam, LP (Low Pressure) Auxiliary steam, steam turbine

**Abstract**

*Desalination Plant, which is an equipment that functions to distill sea water into fresh water by a heating process. The operation of the desalination plant in the generating system affects the production results produced by the steam turbine. The steam used is HP (High Pressure) Auxiliary steam on the ejector which functions to make the chamber a vacuum, and LP (Low Pressure) Auxiliary steam on the brine heater which functions to heat sea water. The use of HP (High Pressure) Auxiliary steam at the ejector causes a greater reduction in electricity production in the steam turbine when compared to the use of LP (Low Pressure) Auxiliary steam. This causes the cost to produce distillate to be more expensive and the production of electricity generated in the steam turbine is not optimal. Currently, the operation of the desalination plant of the Grati PLTGU is still using HP (High Pressure) Auxiliary steam to make the desalination plant chamber into a vacuum condition. The innovation is to replace the use of HP (High Pressure) Auxiliary steam with LP (Low Pressure) Auxiliary steam at the ejector desalination plant, with the aim of reducing distillate costs and increasing the optimization of electricity production generated by the steam turbine. The use of LP (Low Pressure) Auxiliary steam on the ejector is proven that the distillate value, condensate value*

---

*and load setter are in normal conditions and the performance of the desalination plant is maintained. steam turbine of 26,761 kWh*

**Keywords:** desalination plant, HP (High Pressure) Auxiliary steam, LP (Low Pressure) Auxiliary steam, steam turbine

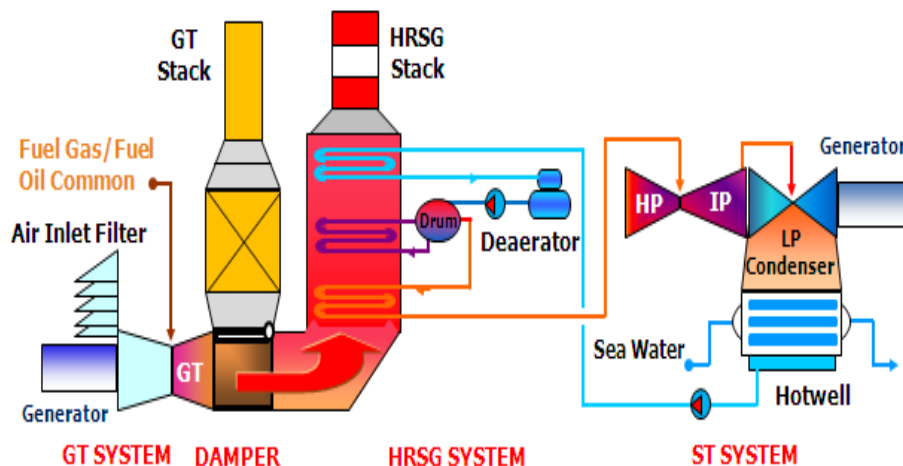
## PENDAHULUAN

PLTGU Grati merupakan salah satu unit pembangkit listrik termal yang memiliki total daya mampu sebesar 1360 MW dan dikelola oleh PT. Indonesia Power Grati POMU. Di dalam proses pengoperasian unit pembangkit termal tidak akan terlepas dari suatu peralatan alat bantu, terutama *desalination plant*. *Desalination plant* adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk menyuling air laut menjadi air tawar dengan proses distilasi. Distilasi yang dilakukan pada *desalination plant* menggunakan pemanas berasal dari LP (*Low Pressure*) *Auxiliary Steam* dan HP (*High Pressure*) *Auxiliary Steam* yang dihasilkan oleh *Heat Recovery Steam Generator*. HP (*High Pressure*) *Auxiliary Steam* pada *ejector* berfungsi untuk membuat kondisi *vacum* pada *chamber* dengan tujuan untuk menurunkan titik didih air, adapun penggunaan LP (*Low Pressure*) *Auxiliary Steam* pada *brineheater* berfungsi agar air laut panas (Setiawan Hari, dkk, 2011).

Pengoperasian *Desalination Plant* dapat berpengaruh terhadap produksi listrik yang dihasilkan oleh Turbin Uap. Hal ini terjadi karena, penggunaan HP (*High Pressure*) *Auxiliary Steam* dan LP (*Low Pressure*) *Auxiliary Steam* mengurangi jumlah aliran uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin. Energi panas pada HP *Auxiliary Steam* lebih besar dibandingkan dengan LP (*Low Pressure*) *Auxiliary Steam*. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), energy kinetic uap air digunakan untuk menggerakkan turbin, kemudian turbin dikopel dengan poros generator, maka akan dibangkitkan energy listrik. Supaya proses siklus pembangkitan energy listrik berjalan sesuai dengan yang diharapkan, maka pemrosesan uap tahap demi tahap dari mulai bahan air hingga uap kering harus diproses dengan sangat teliti. Untuk membantu mengurangi biaya operasi, penggunaan uap agar jangan banyak terbuang setelah memutar turbin maka dibuatlah uap pembantu (*Auxiliary Steam*). Untuk saat ini pengoperasian *Desalination Plant* di PLTGU Grati masih menggunakan HP (*High Pressure*) *Auxiliary Steam* pada *ejector* untuk membuat *chamber* menjadi kondisi *vacuum* (Santoso, H, 2018).

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), energy kinetic uap air digunakan untuk menggerakkan turbin, kemudian turbin dikopel dengan poros generator, maka akan dibangkitkan energy listrik. Supaya proses siklus pembangkitan energy listrik berjalan sesuai dengan yang diharapkan, maka pemrosesan uap tahap demi tahap dari mulai bahan air hingga uap kering harus diproses dengan sangat teliti. Untuk membantu mengurangi biaya operasi, penggunaan uap agar jangan banyak terbuang setelah memutar turbin maka dibuatlah uap pembantu (*Auxiliary Steam*) (Morris, C., & Robinson, A. 2015). Diperlukan suatu kajian untuk menganalisa efektifitas penggunaan HP (*High Pressure*) *Auxiliary Steam* menjadi LP (*Low Pressure*) *Auxiliary Steam* di *ejector* *Desalination Plant* dengan tujuan mengurangi pemakaian energi HP (*High Pressure*) *Auxiliary Steam* agar dapat meningkatkan nilai produksi listrik yang dihasilkan oleh turbin uap dengan tidak merubah keandalan *Desalination Plant*, (Setiawan Hari, dkk, 2011). Dalam penelitian ini dapat diketahui kinerja *Desalination Plant* dengan merubah supply *ejector* dari penggunaan HP (*High Pressure*) *Auxiliary Steam* menjadi LP (*Low Pressure*) *Auxiliary Steam* dan kenaikan produksi energy listrik (kWh) turbin uap saat *Desalination Plant* menggunakan suplai *ejector* dari LP (*Low Pressure*) *Auxiliary Steam*

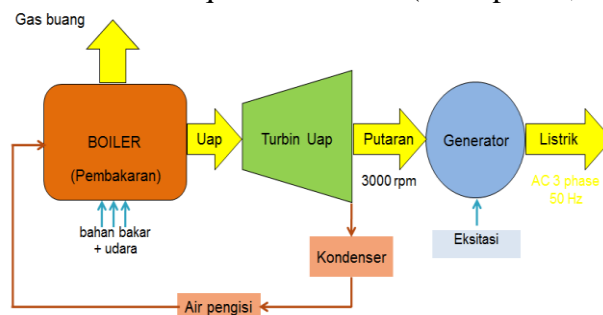
PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas & Uap) merupakan suatu instalasi peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi panas hasil pembakaran menjadi energi listrik. Pada dasarnya, sistem PLTGU merupakan penggabungan antara PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) dan PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). PLTG memanfaatkan pembakaran yang terjadi di ruang bakar antara gas alam dan udara kemudian gas panas tersebut akan menghantam blade turbin sehingga akan memutar turbin dan generator yang berfungsi mengubah menjadi energi listrik. Gas panas setelah memutar turbin kemudian dialirkan ke HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) untuk memanaskan air menjadi uap jenuh kering. Uap jenuh kering ini yang kemudian menggerakkan turbin uap dan generator.



**Gambar 1. Skema Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap**

### Prinsip Kerja Turbin Uap

Turbin uap merupakan salah satu jenis mesin yang menggunakan metode external combustion engine (mesin pembakaran luar). Prinsip kerja turbin uap menggunakan prinsip keras ikus Rankine. Siklus Rankine adalah siklus termo dinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Siklus ini dinamai untuk mengenang ilmuwan Skotlandia, William John Maquorn Rankine (Parkapahan, Sahat.Ir, 1994).



**Gambar 2. Prinsip Kerja Turbin Uap**

Uap masuk kedalam turbin melalui nosel dengan aliran yang diatur oleh governor valve. Didalam nosel energy panas dari uap dirubah menjadi energy kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk kedalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar daripada saat masuk kedalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan kesudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang disekeliling rodaturbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin. Poros

turbin yang berputar akan memutar poros generator karena saling terhubung. Di generator inilah energy kinetic dari putaran poros dirubah menjadi energy listrik. Setelah melewati turbin, uap yang bertekanan dan bertemperatur tinggi tadi muncul menjadi uap bertekanan rendah. Panasakan diserap oleh kondensor menyebabkan uap berubah menjadi air yang kemudian dipompakan kembali menuju boiler untuk diproses menjadi uap kembali untuk menggerakkan turbin kemudian sisa panas dibuang oleh kondensor mencapai setengah jumlah panas semula yang masuk. Hal ini mengakibatkan efisisensi thermodinamika suatu turbin uap bernilai lebih kecil dari 50%. Turbin uap yang modern mempunyai temperatur boiler sekitar 500<sup>0</sup>C sampai 600<sup>0</sup>C dan temperatur kondensor 20<sup>0</sup>C sampai 30<sup>0</sup>C. . Siklus ini berlangsung secaraterus – menerus (J. Moran & N. Shapiro, 2004).

### Heat Rate dan Efisiensi Turbin Uap

*Heat rate* yaitu menjelaskan seberapa besar energi input yang dibutuhkan untuk menghasilkan energy listrik dari generator. Semakin besar nilai *Heat Rate* maka semakin jelek efisiensi pembangkit tersebut, dan sebaliknya semakin kecil nilai *Heat Rate* maka semakin efisien pembangkit tersebut. Untuk mengetahui performa atau efisiensi suatu pembangkit perlu dilakukan uji hate rate.

Berdasarkanbuku manual desain Grati Combine Cycle Power Plant 1 x 500 MW + 300 MW heat rate turbinuap PLTGU Grati adalah sebagai berikut:

$$\text{Heat Rate} = \frac{(\text{HP Steam Flow} \times 1000 (\text{HP Steam entalphy} - \text{Gland Condenser entalphy}) + (\text{LP Steam Flow} \times 1000 (\text{LP steam entalphy} - \text{Gland Condenser entalphy}))}{\text{ST Product (kWh)}} \quad (1)$$

$$\text{Efisiensi Turbin Uap} = \frac{\text{Konstanta kW ke kcal} \times 100}{\text{Heat Rate Steam Turbin}} \dots\dots\dots (2)$$

HP Steam Flow	[t/h]
LP Steam Flow	[t/h]
HP Steam Entalphy	[kCal/kg]
LP Steam Entalphy	[kCal/kg]
Gland Condenser Entalphy	[kCal/kg]
ST Product	[kW]
Konstanta (kW ke kcal)	= 860kCal/kW

### Pengertian Sea Water Desalination

Pada satu sistem unit pembangkit termal khususnya untuk PLTU atau PLTGU diperlukan alat bantu unit (*auxiliary equipment*) yang disebut *Desalination Plant*. Kapasitas *desalination plant* disesuaikan dengan kebutuhan air penambah yang diperlukan unit pembangkit tersebut.

*Desalination plant* adalah suatu peralatan yang berfungsi mengolah air laut yang mempunyai conductivity diatas 50.000 µmhos/cm menjadi air tawar (*fresh water*) yang mempunyai conductivity sekitar 10 µmhos/cm.

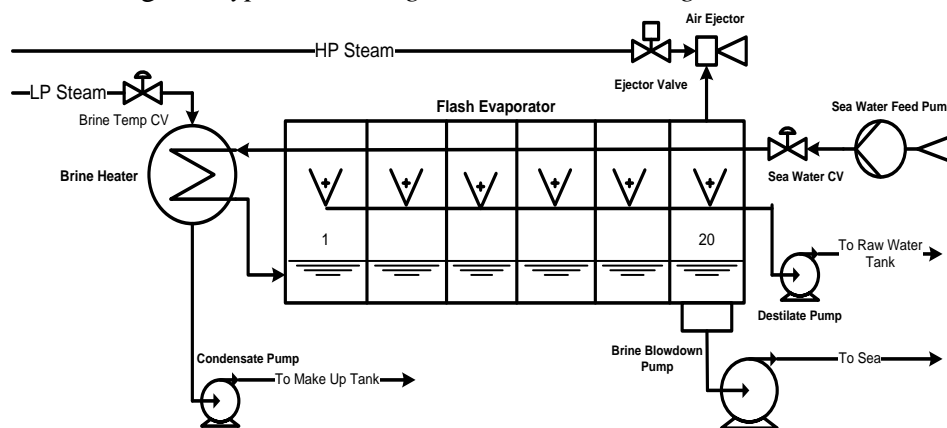
Berdasarkan prinsip kerja *desalination plant*, maka *desalination plant* dibagi tiga metode proses pengolahan air yaitu sebagai berikut:

- a) Proses *Freezing* (Pembekuan)  
 Proses pengolahan air laut dengan cara mendinginkan air laut sampai temperatur tertentu, sehingga airnya akan membeku membentuk es, sedangkan garam-garamnya belum membeku karena titik bekunya lebih rendah.
- b) Proses *Filtrasi (Reverse Osmose)*

Proses pengolahan air laut dengan cara melewati air laut ke saringan. Saringan berupa selaput permiabel, dimana air bisa lolos melewati selaput Permiabel sedangkan garam-garam tidak bisa lolos disebabkan karena garam-garam mempunyai ukuran partikel-partikel yang lebih besar.

c) Proses *Vaporizing* (Penguapan)

Proses pengolahan air laut dengan cara memanaskan air laut sampai temperatur tertentu, sehingga sebagian air laut akan menguap. Uap air yang terbentuk kemudian didinginkan sehingga mengembun menjadi distilat yang mempunyai *conductivity* yang rendah ( $\pm 10 \mu\text{mhos/cm}$ ). Sedangkan air laut yang tidak menguap dan banyak mengandung garam-garam dibuang dengan pompa *blowdown*. Proses *vaporizing* paling banyak digunakan karena paling ekonomis. Gambar 2.2 berikut merupakan skematik Diagram *Type Multi-Stage Flash Once-Through*.



**Gambar 3. Skematik diagram multistage flash desalination type**

Pada gambar diatas, diagram sederhana *flash destillation*, bertingkat 20 (dua puluh) yang ada di PLTGU Grati. Tiap-tiap tingkat terdiri dari 2 (dua) ruangan, yaitu ruangan penguapan dan ruangan pengembunan.

Air laut dipompa dan dilewatkan kedalam pipa-pipa penukar kalor dengan ruangan kondensasi (sebagai pendingin) dan sekaligus juga dipanaskan oleh uap yang timbul diruang penguapan. Selanjutnya air laut dipanaskan didalam pemanas air laut (*brine heater*) dan dimasukkan kedalam ruang penguapan (*flash chamber*) tingkat pertama (stage 1) dan diteruskan sampai tingkat ke-20.

Proses destilasi tersebut diatas adalah *sistem once through*. Sistem tersebut membutuhkan sejumlah besar volume air laut yang dipompa oleh SWFP (*Sea Water Feed Pump*), flow dikontrol oleh Sea Water Flow CV dan pada stage 20 air laut yang tidak menguap dipompa oleh Brine Blow Down Pump untuk disalurkan lagi ke laut. Steam yang digunakan untuk memanasi air laut di Brine Heater akan mengembun dan ditampung menjadi air kondensat yang disebut dengan *Condensate Water*. Air ini dipompa oleh *Condensate Pump* dimasukan lagi ke dalam Make Up Water Tank. Batasan *conductivity* air tersebut adalah  $10 \mu\text{mhos/cm}$ , yang dikontrol oleh *Condensate Three Way Valve CV* bila hasilnya lebih dari itu maka akan dibuang (dump).

## METODE PELAKSANAAN

Persiapan penelitian dilakukan pada saat desalination plant operasi dengan merubah supply ejector dari penggunaan *HP (High Pressure) Auxiliary Steam* menjadi *LP (Low Pressure) Auxiliary Steam*.

Langkah yang harus dilakukan dalam persiapan penelitian antara lain:

1. Persiapan Peralatan
  - a. Memastikan *Desalination plant* beroperasi.
  - b. Memastikan kondisi *Control valve LP (Low Pressure) Auxiliary Steam* Normal.
  - c. Memastikan kondisi *Control valve HP (High Pressure) Auxiliary Steam* Normal.
  - d. Memastikan parameter operasi *Desalination plant* aman untuk dilakukan penelitian.
2. Persiapan Personil  
Untuk melakukan kegiatan *LP (Low Pressure) Auxiliary Steam*. Memerlukan bantuan operator untuk memastikan kondisi dilapangan normal ketika proses pengujian berlangsung. Jumlah personil yang dibutuhkan 3 orang operator lokal.

### Prosedur Pengambilan Data

1. Pengambilan data Ketika unit operasi *Combine Cycle 3.3.1* (3 Unit *Gas Turbine*, 3 Unit *HRSG* & 1 Unit *Steam Turbine*)
2. Kondisi Beban *Gas Turbine* 100 MW (Beban Maksimum)
3. Data diambil tiap 15 menit
4. *Load Setter Desalination* 60%, 70%, 80% & 90%

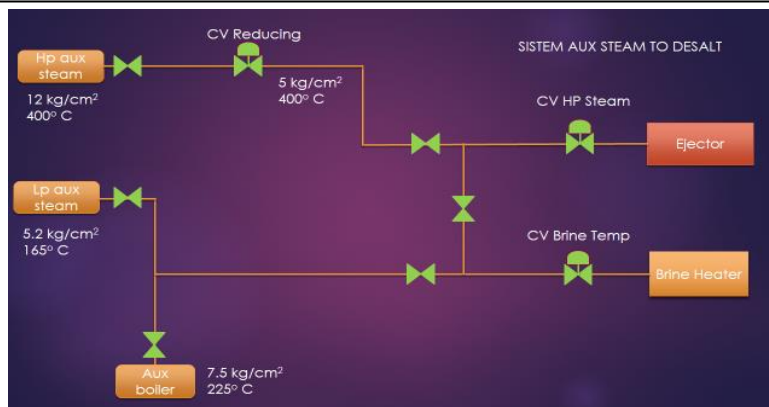
### Spesifikasi *Desalination Plant* PLTGU Grati

Manufacture Type	Sasakura Engineering , Japan Multistage Flash Evaporator	
Total Stage		20 Stage
Sea Water Supply	Temperatur	30° C
	Pressure	4 kg/cm <sup>2</sup>
	Flow	440 T/h
Steam for Brine Heater	Temperatur	150° / 260° C
	Pressure	3 / 7 kg/cm <sup>2</sup>
	Flow	6.8 / 6.1 T/h
Steam For ejector	Temperatur	490° / 260° C
	Pressure	5 / 7 kg/cm <sup>2</sup>
	Flow	0.41 / 0.5 T/h
Distillate Water	Temperatur	39° C
	Pressure	2 kg/cm <sup>2</sup>
	Flow	41.67 T/h
Condensate Water	Temperatur	49,5° C
	Pressure	2 kg/cm <sup>2</sup>
	Flow	6.8 / 6.1 T/h

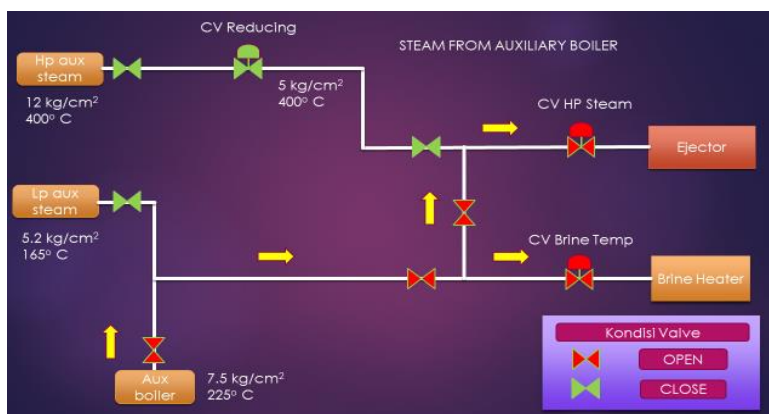
Sumber : PLTGU Grati

### Sistem Supply *Auxiliary Steam* ke *Desalination Plant*

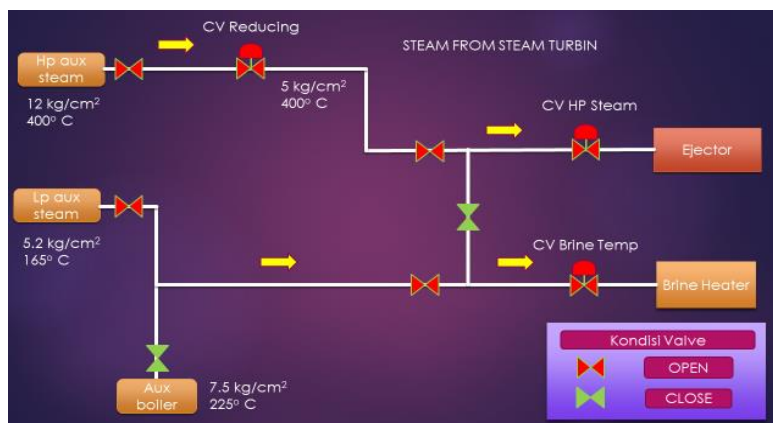
Kebutuhan uap pada sistem *desalination plant* digunakan untuk membuat *vacum* pada *flash stage evaporator* dan sebagai *heater* air laut. Pada sistem *Auxiliary Steam* di PLTGU Grati terdapat dua suplai yang digunakan untuk mensuplai kebutuhan unit. *Supply Auxiliary Steam* yang utama didapat dari *HP (High Pressure)* dan *LP (Low Pressure) steam* Turbin Uap. Sedangkan ketika Turbin uap tidak beroperasi, *Auxiliary Steam* di *supply* dari *Auxiliary Boiler*.



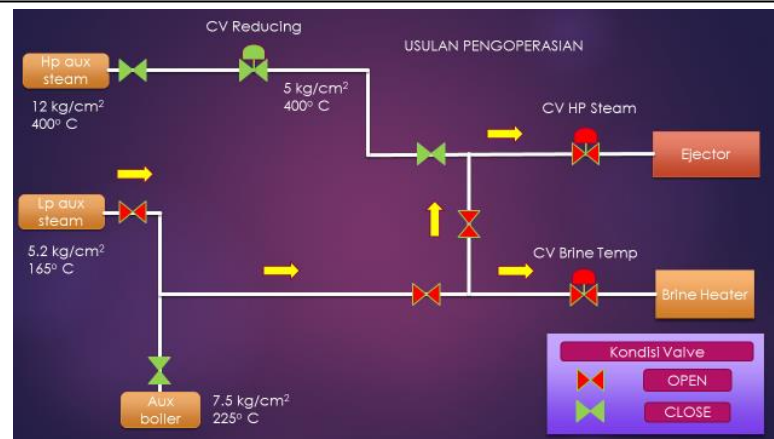
Gambar 4. Sistem Auxiliary Steam Desalination Plant



Gambar 5. Supply steam dari Auxiliary Boiler



Gambar 6. Supply steam dari Steam Turbin



Gambar 7. Perubahan Supply steam dari Steam Turbin

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dihasilkan metode pengoperasian *desalination plant* menggunakan supply dari *LP (Low Pressure) Auxiliary Steam*. Sehingga *HP (High Pressure) auxiliary steam* yang tidak digunakan di *ejector desalination plant* dapat dimanfaatkan untuk memaksimalkan *output power* turbin generator sehingga menaikkan produksi energy listrik pada *steam turbine*.

Data operasi beban *steam turbine*

Data ini diambil pada saat pola operasi unit 3.3.1 (3 *Gas Turbine*, 3 *Heat Recovery Steam Generator*, 1 *Steam Turbine*) dengan beban maksimum & Kondisi *Desalination plant* Stop.

Tabel 2. Data Parameter Operasi HRSG

HRSG		Waktu (menit)				
		15	30	45	60	Average
PRESSURE HP STEAM (kg/cm <sup>2</sup> )	HRSG (1)	60.4	60.0	60.0	60.2	60.1
	HRSG (2)	61.5	61.0	61.1	61.2	61.2
	HRSG (3)	61.4	60.9	61.0	61.1	61.1
TEMPERATURE HP STEAM (°C)	HRSG (1)	478.9	477.6	477.1	477.4	477.9
	HRSG (2)	475.3	467.0	473.0	473.6	471.8
	HRSG (3)	492.8	491.9	491.6	491.9	492.1
FLOW HP STEAM (T/h)	HRSG (1)	156.6	157.8	156.3	156.7	156.9
	HRSG (2)	152.1	147.0	150.9	150.8	150.0
	HRSG (3)	158.6	159.4	157.9	158.3	158.6
PRESSURE LP STEAM (kg/cm <sup>2</sup> )	HRSG (1)	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
	HRSG (2)	5.3	5.4	5.3	5.3	5.3
	HRSG (3)	5.2	5.3	5.2	5.2	5.2
TEMPERATURE LP STEAM (°C)	HRSG (1)	159.8	159.9	159.9	159.9	159.9
	HRSG (2)	164.4	164.5	164.5	164.4	164.5
	HRSG (3)	161.1	161.2	161.2	161.2	161.2
FLOW LP STEAM (T/h)	HRSG (1)	47.9	48.7	48.6	48.6	48.4
	HRSG (2)	47.8	48.8	48.4	48.0	48.3
	HRSG (3)	48.4	48.4	48.4	48.6	48.4



**Tabel 3. Data Parameter Operasi Steam Turbine**

STEAM TURBINE		Waktu (menit)				
		15	30	45	60	Average
LOAD (MW)		158.6	157.5	157.7	157.9	157.925
HP Steam	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	60.6	60.1	60.2	60.4	60.325
	Temperature (°C)	480.9	479.6	479.1	479.6	479.8
	Flow (T/h)	467.3	464.2	465.1	465.8	465.6
LP Steam	Pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	5.19	5.21	5.19	5.2	5.1975
	Temperature (°C)	157.4	157.4	157.4	157.4	157.4
	Flow (T/h)	144.15	145.87	145.43	145.08	145.1325
Vacuum Condenser (mmHg)		688.2	688.2	688.2	688.2	688.2
Pressure Out CEP (kg/cm <sup>2</sup> )		13.33	13.48	13.42	13.46	13.4225
Temperature Out Gland Steam Condenser (°C)		46.3	46.4	688.2	688.2	688.2
CV Heating Dearator (%)		13.3	11.4	11.3	11.4	11.85

**Perhitungan daya Steam Turbine**

**Perhitungan Gross Heat Steam Turbine dengan desalination stop**

$$\frac{(HP\ Steam\ Flow \times 1000 (HP\ Steam\ entalphy - Gland\ Condenser\ entalphy) + LP\ Steam\ Flow \times 1000 (LP\ steam\ entalphy - Gland\ Condenser\ entalphy))}{ST\ Product\ (kWh)}$$

Mencari nilai enthalpy dari HP (High Pressure) Auxiliary Steam dan LP (Low Pressure) Auxiliary Steam menggunakan aplikasi steam table.

**Tabel 4. Konversi satuan kg/cm<sup>2</sup> ke Mpa**

	Kg/cm <sup>2</sup>	MPa
Hp steam	60.33	5.9159
LP Steam	5.20	0.5097
CEP out	13.42	1.3163

**Perhitungan desalination plant beroperasi dengan HP (High Pressure) auxiliary steam sebagai ejector**

$$\begin{aligned} Heat\ Rate &= (HP\ Steam\ Flow - Flow\ HP\ ejector \times 1000 (HP\ Steam\ entalphy - Gland\ Condenser\ entalphy) \\ &\quad + LP\ Steam\ Flow - Flow\ LP\ Brine \times 1000 (LP\ steam\ entalphy - Gland\ Condenser\ entalphy)) \\ Heat\ Rate &= ((465.6 - 0.51) \times 1000 (3375.8 - 195.43)) + ((145.13 - 6.9) \times 1000 (2760.5 - 195.43)) \\ Heat\ Rate &= (465090 (3180.37)) + (138230 (2565.07)) \\ Heat\ Rate &= (1479158283.3) + (354569626.1) \\ Heat\ Rate &= (1833727909.4)kj = 438260970.347\ kcal \\ kWh\ ST &= \frac{438260970.347\ kcal}{2802.553\ kcal} = 156379.191 \end{aligned}$$

Berkurangnya produksi Steam Turbine = 157925 – 156379.191= 1545.809 kWh

Dari data perhitungan gross heat rate energi dan daya steam turbine Ketika normal operasi dengan beban gas turbin maksimum (100 MW) dan kondisi desalination plant normal operasi dengan HP (High Pressure) Auxiliary Steam sebagai ejector maka nilai energi steam turbine menjadi 438260970.347 kcal, dan daya steam turbine menjadi 156379.191 kWh

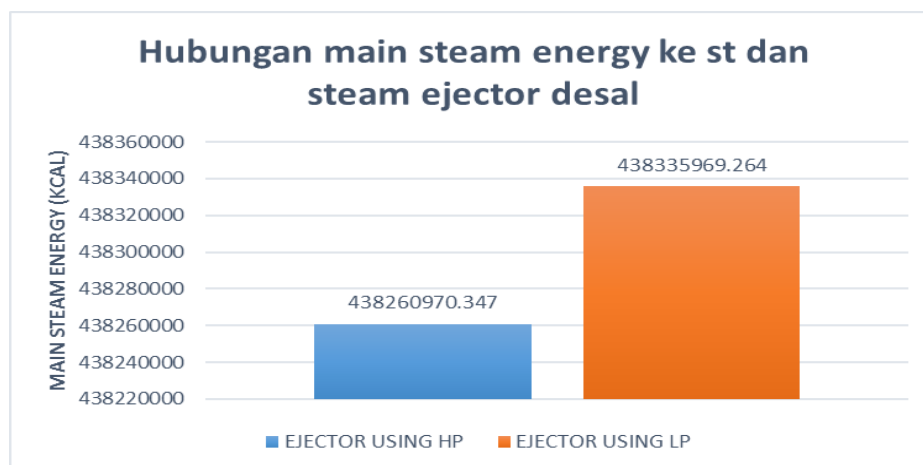
**Perhitungan desalination plant beroperasi dengan LP (Low Pressure) auxiliary steam sebagai ejector**

$$\begin{aligned}
 \text{Heat Rate} &= \frac{(\text{HP Steam Flow} \times 1000 (\text{HP Steam entalphy} - \text{Gland Condenser entalphy})}{+ \text{LP Steam Flow} - \text{Flow LP Brine} - \text{Flow HP ejector} \times 1000} \\
 &\quad (\text{LP steam entalphy} - \text{Gland Condenser entalphy}) \\
 \text{Heat Rate} &= \frac{(465.6 \times 1000 (3375.8 - 195.43)) + ((145.13 - 6.9 - 0.51) \times 1000 (2760.5 - 195.43))}{(465600 (3180.37) + 137720 (2565.07))} \\
 \text{Heat Rate} &= (1480780272) + (353261440.4)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Heat Rate} &= (1834041712.4) \text{ kJ/h} = 438335969.264 \text{ kcal} \\
 \text{kWh ST} &= \frac{438335969.264 \text{ kcal}}{2802,553 \text{ kcal}} = 156405.952
 \end{aligned}$$

Berkurangnya produksi *SteamTurbine* = 157925 – 156405.952 = 1519.048 kWh

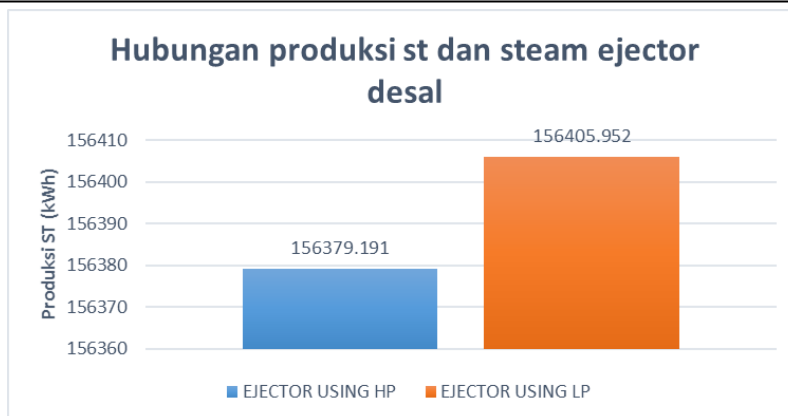
Dari data perhitungan gross heat rate energi dan daya steam turbine Ketika normal operasi dengan beban gas turbin maksimum (100 MW) dan kondisi desalination plant normal operasi dengan LP (Low Pressure) Auxiliary Steam sebagai ejector maka nilai energi steam turbine menjadi 438335969.264 kcal, dan daya steam turbine menjadi 156405.952 kWh



Gambar 8. grafik penggunaan energi steam

Dari gambar grafik diatas menunjukkan bahwa kebutuhan energi yang digunakan LP (Low Pressure) auxiliary steam sebagai ejector lebih kecil dibandingkan dengan HP (High Pressure) auxiliary steam sebagai ejector, Maka selisih energi ejector LP (Low Pressure) auxiliary steam sebagai ejector dengan HP (High Pressure) auxiliary steam sebagai ejector Sebagai Berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih energi ejector} &= \text{Energi LP (Low Pressure)} - \text{Energi HP (High Pressure)} \\
 &= 438335969.264 \text{ kcal} - 438260970.347 \text{ kcal} \\
 &= 74998.917 \text{ kcal}
 \end{aligned}$$



Gambar 9. grafik penggunaan produksi steam

Dari gambar grafik diatas menunjukkan bahwa kebutuhan produksi steam yang digunakan LP (*Low Pressure auxiliary steam*) sebagai ejector lebih kecil dibandingkan dengan HP (*High Pressure auxiliary steam*) sebagai ejector, Maka selisih produksi steam ejector LP (*Low Pressure auxiliary steam*) sebagai ejector dengan HP (*High Pressure auxiliary steam*) sebagai ejector Sebagai Berikut :

$$\begin{aligned} \text{Selisih produksi kWh} &= \text{Energi HP (High Pressure)} - \text{Energi LP (Low Pressure)} \\ &= 156405.952 - 156379.191 \text{ kWh} \\ &= 26.761 \text{ kWh} \end{aligned}$$

#### Data Kinerja Desalination Plant

Data kinerja desalination plant ini didapatkan dari laporan monitoring operasi desalination plant pada aplikasi *Mobile Online Data Access (MODA)* yang dapat di akses oleh seluruh pegawai khususnya bagian operasi. Data yang terlampir ini diambil ketika desalination plant normal operasi dengan menggunakan supply HP (*High Pressure Auxiliary Steam*) sebagai ejector (Data sebelum penelitian) dengan supply LP (*Low Pressure Auxiliary Steam*) sebagai ejector (Data sesudah penelitian)

Tabel 5. Data Sebelum penelitian

LOAD SETTER (%)	FLOW DISTILLATE (T/h)	FLOW CONDENSATE (T/h)	SUPPLY STEAM TEMPERATURE ( $^{\circ}\text{C}$ )	SUPPLY STEAM PRESSURE ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	EJECTOR TEMP. ( $^{\circ}\text{C}$ )	EJECTOR PRESSURE ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
60	23.9	3.8	120	5.1	32	-0.88
60	24.1	3.6	120	5.1	29	-0.87
70	27.8	4.5	123	5.1	33	-0.87
70	28.3	4.3	120	5.1	29	-0.86
80	32.7	5.5	127	5.1	28	-0.87
80	32.8	5.7	128	5.1	31	-0.86
90	36.2	5.9	125	5.1	30	-0.88
90	35.7	6.1	127	5.1	30	-0.86

**Tabel 6. Data Sesudah penelitian**

LOAD SETTER (%)	FLOW DISTILLATE (T/h)	FLOW CONDENSATE (T/h)	SUPPLY STEAM TEMPERATURE ( $^{\circ}$ C)	SUPPLY STEAM PRESSURE ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	EJECTOR TEMP. ( $^{\circ}$ C)	EJECTOR PRESSURE ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )
60	23.5	3.7	121	5.1	32	-0.88
60	23.8	3.5	120	5.1	31	-0.87
70	27.7	4.5	122	5.1	33	-0.87
70	28.0	4.2	123	5.1	29	-0.86
80	32.3	5.4	127	5.1	30	-0.88
80	32.6	5.7	126	5.1	29	-0.86
90	36.0	5.8	125	5.1	31	-0.87
90	35.9	6.0	127	5.1	29	-0.86

Dari hasil perhitungan di atas, didapatkan hasil bahwa dengan menggunakan LP steam sebagai Ejector akan didapatkan efisiensi energi yang lebih besar, terdapat di perhitungan pada sub bab 4.2.3, dimana saat menggunakan *HP (High Pressure) Auxiliary Steam* sebagai ejector didapatkan Heat Rate sebesar 438335969.264 kCal, energi yang dapat dibangkitkan pada Steam turbin sebesar 156405.952 kWh dan penggunaan energi yang lebih sedikit yakni 1519.048 kWh

Pada saat menggunakan *HP (High Pressure) Auxiliary Steam* sebagai ejector akan mengurangi efisiensi energi untuk menghasilkan listrik, terdapat pada perhitungan sub bab 4.2.2 dimana saat menggunakan *HP (High Pressure) Auxiliary Steam* sebagai ejector didapatkan Heat Rate sebesar 438260970.347 kCal, energi yang dapat dibangkitkan pada ST sebesar 156379.191 kWh dan penggunaan energi yang lebih banyak yakni 1545.809 kWh , maka dengan hasil perhitungan diatas penggunaan *LP (Low Pressure) Auxiliary* sebagai ejector lebih direkomendasikan daripada menggunakan *HP (High Pressure) Auxiliary Steam* sebagai ejector, karena *HP (High Pressure) Auxiliary Steam* dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik ke steam turbin tanpa mengurangi performa ejector ke desalination plant.

## KESIMPULAN

1. Penggunaan *LP (Low Pressure) Auxiliary Steam* di ejector desalination plant dapat digunakan tanpa mengurangi nilai produksi distilate flow dan produksi condensate flow (masih dalam batas normal).
2. Penggunaan *LP (Low Pressure) Auxiliary Steam* di ejector desalination plant keuntungan nilai produksi listrik yang didapat dari steam turbine sebesar 26.761 kWh atau jika di rupiahkan dalam satu jam yaitu sebesar Rp 43.995 (1 kWh = Rp1.644)

## DAFTAR PUSTAKA

- Heavy Industries, M. (1995a). Manual Design Grati Combine Cycle Power Plant 1 x 500 MW + 300 MW. Yokohama.
- Heavy Industries, M. (1995b). Operation Grati Combine Cycle Power Plant 1 x 500 MW + 300 MW. Yokohama.
- J. Moran, M., & N. Shapiro, H. (2004). Termodinamika Teknik Jl. 2 (4th ed.). Jakarta: Erlangga.
- Marsudi, D. (2005). PembangkitanEnergi Listrik. Jakarta: Erlangga.
- Nugroho, A. (2004). UraianUmumTentangTeknologiDesalinasi. Jakarta: Erlangga.

- 
- Setiawan Hari, dkk (2011). Maintenance Manual for Desalination Plant Unit B, Sasakura Engineering
- Gurning, W. M. (2010). Perancanganturbinuapuntuk PLTPB denganDaya 5MW. Medan: Universitas Sumatera Utara
- Morris, C., & Robinson, A. (2015).Geothermal turbines – A maintener’s perspective.Proceedings World Geothermal Congress. Hal 1-10). Melbourne.
- Santoso, H. (2018). Optimalisasi untuk menghasilkan efisiensi ideal turbin uap pembangkit listrik tenaga biomassa kapasitas 20 MW. String, vol.3 No.(2), 181-188
- Aliewi, A., El-sayed, E., Akbar, A., Hadi, K. & Ar-rashed, M. 2017. *Evaluation ofdesalination and other strategic management options using multi-criteria decision analysis in Kuwait.*
- Elimelech, M. & Phillip, W., A. 2017. *The Future of Seawater Desalination: Energy, Technology, and the Environment. American Association for the Advancement of Science.*
- Ibrahima, Y., Arafat, H., A., Mezher, T. & Almarzooqi, F. 2018. *An integrated framework for sustainability assessment of seawater desalination.Department of Engineering Systems and Management, Khalifa University of Science and Technology.*
- Saif, Y. & Almansoori, A. 2016. *A capacity expansion planning model for integrated water desalination and power supply chain problem.* Department of Chemical Engineering, The Petroleum Institute, Abu Dhabi