

Simulasi *Gatecycle* Pengaruh *Off Service High Pressure Heater* terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap 200 MW PT. PJB Gresik

Akbar Kurnia dan Prabowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: prabowo@me.its.ac.id

Abstrak—Salah satu cara meningkatkan efisiensi sebuah pembangkit listrik tenaga listrik menambahkan *feedwater heater* yang berjenis *High Pressure Heater* (HPH). HPH berfungsi meningkatkan temperatur air yang akan dipanaskan di dalam *boiler*, sehingga pemasukkan bahan bakar lebih sedikit dibandingkan tanpa HPH. Namun dalam kondisi aktual, HPH sering menghadapi masalah sehingga dilakukan perbaikan yang mengharuskan HPH *off service*. Diperlukan studi lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh *off service* HPH terhadap performa pembangkit. Penelitian ini memvariasikan *off service* HPH menggunakan analisa termodinamika dengan bantuan software *Gatecycle*. Semua perhitungan menggunakan parameter input tekanan dan temperature uap yang sama pada boiler dengan memvariasikan jumlah laju bahan bakar. Berdasarkan *Piping and Instrumentation Diagram* (PID) dan data *properties* dari PT. PJB Gresik, permodelan dilakukan di dalam *Gate cycle* sehingga dapat dilakukan pemvariasian sebanyak tujuh variasi *off service* HPH. Hasil penelitian yang didapatkan adalah pengaruh komposisi *off service* HPH terhadap pembangkit berupa efisiensi boiler, daya pembangkit, *heat rate*, dan efisiensi pembangkit. Semakin banyak jumlah HPH dalam kondisi *off service*, semakin tinggi efisiensi boiler, namun semakin rendah efisiensi pembangkit. HPH yang paling berdampak buruk terhadap efisiensi pembangkit ketika dalam kondisi *off service* adalah HPH kedua.

Kata Kunci—*Gatecycle*, *High Pressure Heater*, *off service*, performa pembangkit.

I. PENDAHULUAN

SIKLUS rankine merupakan siklus ideal untuk menjelaskan proses pembangkit listrik tenaga uap. Sebuah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) terdiri dari beberapa komponen yang mempunyai masing-masing fungsi. *Feedwater heater* berguna untuk menaikkan temperatur air yang akan dipanaskan di dalam *boiler*, sehingga konsumsi bahan bakar yang digunakan berkurang. Sumber energi *feedwater heater* berasal dari hasil ekstraksi turbin uap, dimana pelepasannya dapat menurunkan daya yang dihasilkan oleh turbin.

Sebuah PLTU dapat ditambahkan beberapa *feedwater heater*. Namun, dalam kondisi aktual *feedwater heater* sering menghadapi masalah sehingga harus dilakukan perbaikan, yang mengharuskan *feedwater heater* dalam kondisi *off service*. Dalam hal ini diperlukan studi lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh *off service feedwater heater* terhadap performa pembangkit.

Salah satu produsen listrik yang menggunakan jenis pembangkit listrik tenaga uap adalah PT PJB Gresik. Di PT PJB Gresik sebenarnya terdapat tiga jenis pembangkit listrik yaitu PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTU

(Pembangkit Listrik Tenaga Uap), dan PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Pada PLTU akhir ini yang ditinjau adalah pada bagian PLTU khususnya unit pembangkit tiga pada PT PJB Gresik. Pada unit pembangkit tiga, berdasarkan tekanan operasinya terdapat dua jenis *feedwater heater* yaitu *High Pressure Heater* dan *low pressure heater*.

Efisiensi pembangkit dapat ditingkatkan dengan menambahkan *economizer* pada boiler, selain itu dapat dilakukan penambahan *feedwater heater* untuk meningkatkan temperatur air yang akan dipanaskan pada boiler. Sumber energi untuk pemanasan *feedwater heater* berasal dari ekstraksi turbin uap. Analisa dalam penelitian ini bermaksud mengetahui pengaruh *off service feedwater heater* bagian *High Pressure Heater* pada pembangkit tenaga uap terhadap performa pembangkit secara keseluruhan.

Penelitian terkait tentang pengaruh ekstraksi turbin uap pernah dilakukan oleh Yong Li dan Chao Wang (2012) [1]. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa proses ekstraksi turbin uap mengurangi efisiensi dari boiler, yaitu semakin besar ekstraksi berarti semakin besar penurunan efisiensi boiler, namun penurunan efisiensi boiler tidak selalu berbanding lurus dengan efisiensi pembangkit dan daya pembangkit yang dihasilkan. Hal ini dapat terjadi ketika ekstraksi turbin uap dilakukan dengan dan untuk tujuan yang tepat seperti menjadi sumber energi untuk *feedwater heaters*

Sedangkan pada penelitian yang lain, oleh Dendi Junaidi dkk [2] melakukan penambahan FWH untuk sebuah pembangkit listrik tenaga nuklir. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa penambahan FWH pada sebuah pembangkit dapat meningkatkan efisiensi pembangkit, namun penambahan FWH lebih dari tujuh buah pada pembangkit tidak akan memberikan peningkatan efisiensi yang signifikan, dan cenderung bisa mengurangi efisiensi dari pembangkit itu sendiri.

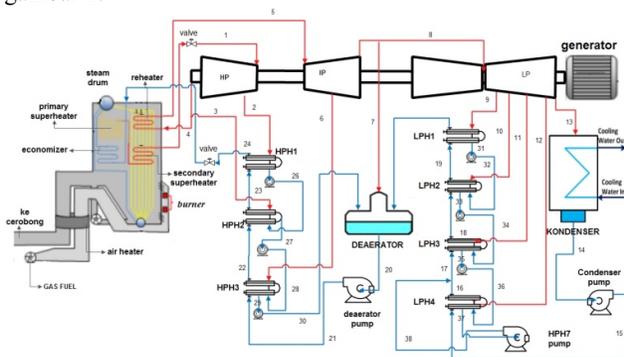
M. M. Rashidi, A. Aghagoli, dan M. Ali [3] dalam jurnal penelitian yang berjudul "*Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters*" menyimpulkan bahwa ketika tekanan HP turbin meningkat, entalpi keluaran turbin menurun dan beban kalor kondenser menurun karena entalpi inlet dan outlet pada kondenser konstan dan laju aliran massa menurun. Daya turbin dan kalor boiler awalnya meningkat sampai maksimum dan kemudian menurun karena tekanan inlet HP turbin meningkat. Hal tersebut dapat diperhatikan bahwa penurunan entalpi lewat turbin dan laju aliran massa ekstraksi meningkat seiring tekanan inlet HP turbin meningkat, sehingga daya keluaran turbin meningkat.

Namun, akibat perubahan gradien garis uap jenuh, daya turbin menurun dan hal tersebut menjelaskan perilaku dari efisiensi termal yang mana meningkat dan kemudian menurun seiring peningkatan tekanan ekstraksi turbin. Di dalam jumlah tertentu aliran massa ekstraksi dari turbin HP ke HPH akan menaikkan nilai efisiensi pembangkit sampai optimal namun akan semakin turun karena bila terlalu banyak yang diekstraksi justru mengurangi performa dari turbin tersebut karena fungsi awal dari uap yang untuk memutar turbin tidak tercapai optimal sehingga efisiensi secara keseluruhan akan menurun.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, untuk mengetahui pengaruh komposisi *off service* HPH terhadap performa pembangkit, analisa dilakukan menggunakan analisa termodinamika dan simulasi *Gatecycle*.

Tahap pertama adalah mendapatkan data teknis pembangkit listrik tenaga uap dan *Piping and Instrumentation Diagram* 200MW PT. PJB Gresik seperti gambar 1.



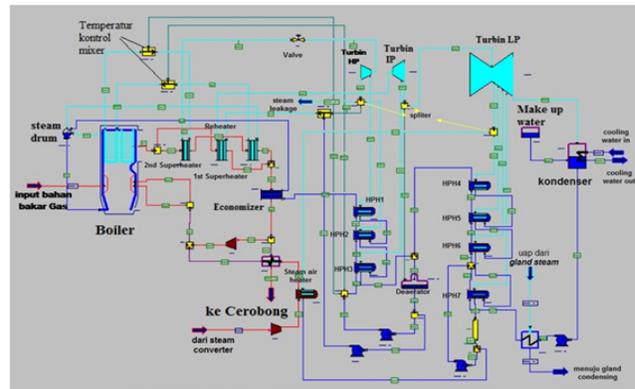
Gambar 1. PID Pembangkit Listrik Tenaga Listrik 200MW PT PJB Gresik

Tahap kedua dilakukan pemodelan kedalam *Gatecycle* berdasarkan data *properties* dan PID yang kita dapatkan. *Gatecycle* adalah sebuah *software* untuk membantu perhitungan desain sebuah PLTU. *Gatecycle* dapat melakukan analisa termodinamika pada berbagai macam jenis PLTU. Perhitungan yang dilakukan *Gatecycle* dengan asumsi kondisi operasi dalam keadaan tunak. Efek energi kinetik dan potensial diabaikan dalam perhitungan *software* ini.

Menjalankan *Gatecycle* dibutuhkan data operasi dari sebuah PLTU, dalam tugas akhir ini yang dipakai adalah data operasi PLTU PT. PJB Gresik Unit Pembangkit 3. Input data yang dibutuhkan dalam pemodelan sebuah PLTU adalah :

- Laju aliran bahan bakar (kg/s)
- Karakteristik bahan bakar
- Spesifikasi masing-masing peralatan
- *Piping and Instrumentation Diagram* PLTU

Pada penelitian ini dilakukan analisa pengaruh *off service* HPH dengan menjaga laju aliran massa keluar boiler tetap, dengan memvariasikan laju aliran bahan bakar pada boiler. Pemodelan PLTU dilakukan seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan pada *Gatecycle* Pembangkit PT. PJB Gresik Unit 3

Pada gambar 2 adalah proses membangun pembangkit pada *Gatecycle* diawali dengan memasukkan data yang kita peroleh dari desain asli pembangkit. Secara berurutan, data parameter yang kita masukkan diawali dari komponen boiler, turbin, *feedwater heater*, *deaerator*, *condenser*, dan *economizer*.

Setelah pemodelan, selanjutnya dilakukan perhitungan manual performa dari PLTU dengan acuan data yang didapatkan dari *software Gatecycle*. Perhitungan dilakukan dengan beberapa langkah, langkah pertama adalah mencari daya gross. Daya gross adalah daya hasil keluaran turbin, pada PLTU ini terdapat tiga turbin, yaitu turbin *high pressure*, *low pressure* dan *intermediate pressure*. Perhitungan dilakukan seperti dibawah ini.

$$Power\ Gross = Power\ Turbin\ HP + Power\ Turbin\ IP + Power\ Turbin\ LP \tag{1}$$

$$Power\ Turbin\ HP = \dot{m}_H (h_m s - h_{hph1}) + (\dot{m}_m s - \dot{m}_{hph1})(h_{hph1} - h_{o u}) \tag{2}$$

$$Power\ Turbin\ IP = \dot{m}_I (h_{i n} - h_{hph3}) + (\dot{m}_I n - \dot{m}_{hph3})(h_{hph3} - h_{o u}) \tag{3}$$

$$Power\ Turbin\ LP = \dot{m}_L (h_{i n} - h_{lph1}) + (\dot{m}_I n - \dot{m}_{lph1})(h_{lph1} - h_{lph2}) + (\dot{m}_I n - \dot{m}_{lph1} - \dot{m}_{lph2})(h_{lph2} - h_{lph3}) + (\dot{m}_I n - \dot{m}_{lph1} - \dot{m}_{lph2} - \dot{m}_{lph3})(h_{lph3} - h_{lph4}) + (\dot{m}_I n - \dot{m}_{lph1} - \dot{m}_{lph2} - \dot{m}_{lph3} - \dot{m}_{lph4})(h_{lph4} - h_{c o n}) \tag{4}$$

Selanjutnya setelah menghitung daya gross, dilakukan perhitungan *heat rate*. *Heat rate* adalah perbandingan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan pembangkit dibanding jumlah daya yang dihasilkan pembangkit, dimana pembangkit dikatakan baik ketika *heat rate* mempunyai nilai rendah. Perhitungan *heat rate* dilakukan seperti dibawah ini:

$$heat\ rate = \frac{\dot{m}_{bahan\ bakar} \cdot h_{bahan\ bakar}}{Power\ Gross} \tag{5}$$

Setelah melakukan perhitungan *heat rate* selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi pembangkit. Sebaliknya dari *heat rate*, pembangkit dikatakan baik apabila memiliki efisiensi pembangkit yang tinggi. Perhitungan efisiensi pembangkit dilakukan seperti di bawah ini:

$$Efisiensi\ Pembangkit = \frac{Power\ Gross}{\dot{m}_{bahan\ bakar} \cdot h_{bahan\ bakar}} \tag{6}$$

Setelah perhitungan efisiensi pembangkit dilakukan, selanjutnya melakukan perhitungan efisiensi boiler. Efisiensi boiler dapat dilakukan seperti dibawah ini:

boiler efisiensi

$$\frac{[\dot{m}_{st} \cdot (h_{st} - h_{fd}) - (\dot{m}_{ssw} \cdot h_{ssw})] + [\dot{m}_{rh} \cdot (h_{rh2} - h_{rh1})]}{(\dot{m}_{gas} \cdot LHV_{gas})} \tag{7}$$

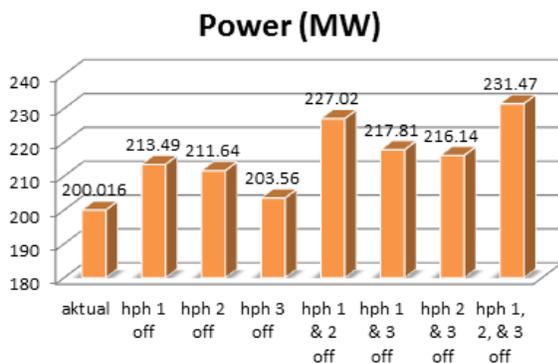
Setelah perhitungan dilakukan dengan data pada kondisi actual, langkah berikutnya adalah pemvariasian dengan tujuh variasi. PLTU PT PJB Unit Pembangkit 3 menggunakan tiga buah HPH dengan kondisi atual tiga buah HPH dalam kondisi aktif. Kemudian dilakukan simulasi di *Gatecycle* mengenai pengaruh *off service* HPH. Berikut adalah variasi dari tugas akhir yang akan dilaksanakan.

Tabel 1. Variasi yang Dilakukan pada Penelitian

Variasi	Kondisi
Variasi 1	HPH1 <i>off service</i> , HPH2, HPH3 <i>on service</i>
Variasi 2	HPH1, HPH3 <i>on service</i> , HPH2 <i>off service</i>
Variasi 3	HPH1, HPH2 <i>on service</i> , HPH3 <i>off service</i>
Variasi 4	HPH1, HPH2 <i>off service</i> , HPH3 <i>on service</i>
Variasi 5	HPH1, HPH3 <i>off service</i> , HPH2 <i>on service</i>
Variasi 6	HPH2, HPH3 <i>off service</i> , HPH1 <i>on service</i>
Variasi 7	HPH1, HPH2, HPH3 <i>off service</i>

III. HASIL DAN DISKUSI

Setelah dilakukan simulasi *Gatecycle* beserta perhitungan termodinamika, didapatkan hasil perbedaan performa setelah dilakuka pemvariasian *off service* HPH pada PLTU PT. PJB Gresik.



Gambar 3. Pengaruh variasi *off service* hph terhadap power

Pada gambar3 tersebut dapat dilihat bahwa tren grafik diawali dengan kondisi aktual pada PLTU PT PJB Gresik Unit 3 adalah dengan daya keluaran terendah dibandingkan dari semua variasi. Kondisi aktual daya yang dihasilkan adalah 200,016 MW. Variasi pertama dengan HPH 1 dalam kondisi *off service*, didapatkan daya sebesar 213, 49 MW. Hal ini terjadi karena daya untuk memutar turbin berkurang setelah ditambahkan ekstraksi pada HPH1.

Pada kondisi variasi pertama kondisi HPH1 dalam kondisi *off service*, terjadi peningkatan daya sebesar 213,49MW. Terjadi peningkatan daya dari kondisi aktual yang sangat signifikan. Ketika pada turbin diberikan ekstraksi menuju HPH pertama, entalpi terdistribusi menuju ekstraksi tersebut. Sehingga ketika HPH1 dalam kondisi *off*

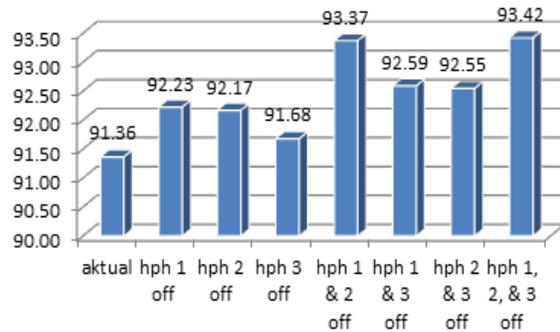
service entalpi yang seharusnya menuju HPH, dapat diteruskan untuk memutar sudu sudu turbin untuk menghasilkan daya yang lebih besar pada generator.

Jika dibandingkan dengan kondisi pada variasi pertama, variasi kedua memiliki daya lebih kecil sebesar 211,64 MW. Dimana variasi kedua adalah HPH 2 dalam kondisi *off service*. Jika dilihat pada ekstraksi kedua terletak setelah turbin *high pressure*. Nilai entalpi yang terekstraksi lebih kecil dibanding ketika dilakukan ekstraksi pada titik a yaitu sebesar 3007,44 (kJ/kg). Jadi pengaruh variasi kedua ketika HPH2 dalam kondisi *off service*, perubahan daya tidak sebesar ketika pada kondisi variasi 1. Hal ini karena nilai ekstraksi pada variasi kedua memiliki nilai entalpi yang tidak begitu besar.

Ekstraksi untuk HPH 3 terjadi pada turbin IP, dimana nilai entalpi tidak sebesar ketika pada turbin HP yaitu sebesar 3300,32(kJ/kg), hal ini mengakibatkan ketika variasi ketiga, dimana dengan kondisi HPH3 dalam kondisi *off service* dilakukan peningkatan daya dari kondisi aktual ketika dibanding dengan variasi pertama tidak begitu besar.

Pada variasi keempat, kelima dan keenam kenaikan daya dibanding kondisi aktual sangat berbeda, jauh lebih tinggi pada kondisi variasi ini. Hal ini dikarenakan pada variasi ini ada dua buah HPH yang dalam kondisi *off service*. Hal ini akan meningkatkan daya yang sangat besar. Begitu juga pada kondisi variasi ketujuh, dimana tiga buah HPH dalam kondisi *off service*. Terjadi kenaikan daya yang begitu signifikan.

Efisiensi Boiler (%)



Gambar 4. Pengaruh variasi *off service* hph terhadap efisiensi boiler

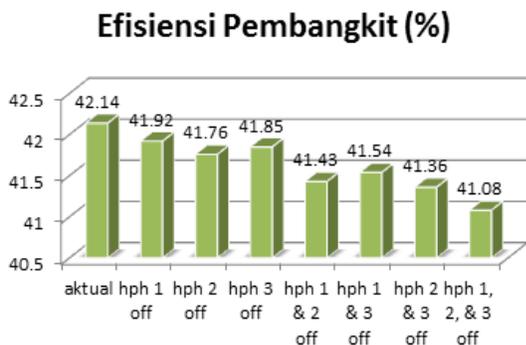
Pada variasi pertama ketika HPH1 dalam kondisi *off service*, terjadi peningkatan efisiensi boiler dibandingkan dengan kondisi aktual menjadi sebesar 92,23 %. Terjadi peningkatan efisiensi boiler pada kondisi variasi 1, hal ini terjadi karena nilai entalpi dan laju aliran massa pada fluida kerja yang masuk boiler terjadi penurunan, namun terjadi kenaikan pada laju aliran massa fluida yang akan memasuki reheater serta terjadi kenaikan jumlah laju aliran bahan bakar pada boiler. Hal ini membuat terjadi kenaikan nilai efisiensi boiler.

Pada variasi kedua ketika HPH 2 dalam kondisi *off service*, terjadi peningkatan efisiensi boiler dibandingkan dengan kondisi aktual menjadi sebesar 92,17%. Jika dibandingkan dengan variasi pertama, efisiensi boiler pada saat variasi kedua lebih rendah. Begitu juga pada variasi ketiga ketika HPH3 dalam kondisi *off service*.

Hal ini mempengaruhi variasi keempat, kelima dan keenam. Pada ketiga variasi ini dapat dilihat peningkatan efisiensi boiler dibandingkan dengan kondisi aktual ada kenaikan yang begitu tinggi, ini dikarenakan pada variasi ini

terdapat dua buah HPH dalam kondisi *off service*. Begitu juga pada saat variasi ketujuh dilakukan, boiler memiliki efisiensi tertinggi karena tidak ada HPH dalam kondisi *off service*.

Gambar 4, grafik menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah HPH maka semakin rendah efisiensi boiler. Hal ini dikarenakan pengaruh jumlah HPH terhadap jumlah laju aliran massa yang menuju reheater. Semakin banyak jumlah HPH dalam kondisi *off service*, maka semakin besar jumlah laju aliran massa pada reheater yang berdampak peningkatan efisiensi boiler



Gambar 5. Pengaruh variasi *off service* hph terhadap efisiensi pembangkit

Berdasarkan gambar 5, tren grafik dari kondisi aktual mengalami penurunan hingga pada variasi pertama dan variasi kedua. Hal ini terjadi karena adanya kenaikan jumlah bahan bakar untuk menjaga nilai *main steam* yang sama ketika variasi pertama dan kedua dilakukan. Meski dengan menambahkan bahan bakar untuk mendapatkan nilai *main steam* yang konstan, dapat meningkatkan daya yang dihasilkan, itu tidak berarti selalu terjadi profit. Karena ketika pada variasi pertama dan kedua jumlah bahan bakar yang ditambahkan lebih besar dari peningkatan daya yang dihasilkan, yang mengakibatkan penurunan efisiensi pada pembangkit sehingga terjadi kerugian yang menyebabkan terjadinya penurunan efisiensi pembangkit.

Di grafik nilai efisiensi variasi ketiga dimana HPH 3 dalam kondisi *off service* terjadi peningkatan efisiensi dibanding dengan pada variasi kedua ketika HPH2 dalam kondisi *off service*. Hal ini terjadi karena ketika variasi ketiga dilakukan jumlah perbandingan daya yang dihasilkan dengan jumlah pemasukan bahan bakar lebih tinggi dibandingkan ketika variasi kedua dilakukan. Pada variasi selanjutnya, variasi keempat, kelima, dan keenam terjadi penurunan efisiensi yang semakin buruk. Karena pada variasi ini ada dua buah HPH dalam kondisi *off service*. Begitu pula pada variasi ketujuh ketika semua HPH dalam kondisi *off service*. Terjadi penurunan efisiensi boiler yang sangat signifikan dibandingkan dengan kondisi aktual. Dapat disimpulkan dari tren grafik yang ada bahwa semakin banyak jumlah HPH dalam kondisi *off service*, maka semakin buruk efisiensi pembangkit.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pembahasan mengenai keseluruhan hasil simulasi dan perhitungan terhadap pengaruh *off service High Pressure Heater* terhadap performa pembangkit PLTU PT. PJB Gresik Unit 3 maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin banyak jumlah *High Pressure Heater* dalam kondisi *off service* akan menurunkan efisiensi

pembangkit, namun akan meningkatkan efisiensi boiler.

2. Dari ketiga buah *High Pressure Heater*, yang paling memberikan penurunan terbesar performa pembangkit ketika dalam kondisi *off service* adalah *High Pressure Heater* kedua.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M.Eng selaku dosen yang selalu membimbing, memberi motivasi dan banyak masukan yang baik hingga terselesaikannya artikel ilmiah ini. Bapak Dr. Ir. Budi Utomo Kukul Widodo, ME yang telah menjadi reviewer artikel ilmiah ini hingga selesai dan semua pihak yang karena bantuannya baik secara langsung maupun tidak langsung membantu penulis menyelesaikan artikel ilmiah ini.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Li, Yong & Wang Chao. Study on The Effect of Regenerative System on Power Type Relative Internal Efficiency of Nuclear Steam Turbine. 2012 International Conference on Future Electrical Power an Energy Systems, Energy Procedia 17 (2012) 906-912:2012.
- [2] DendiJunaidi, I Made Suardjaja, Tri AgungRohmat. Kesetimbangan Massa dan Kalor Serta Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap pada Berbagai Perubahan Bebandingan Menvariasikan Jumlah Feedwater Heater. Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta ; 2010
- [3] M. M. Rashidi, A. Aghagoli, M. Ali. Thermodynamic Analysis of a Steam Power Plant with Double Reheat and Feed Water Heaters. Creative Commons Attribution License ; 2014