

ANALISIS KINERJA TURBIN UAP UNIT 1 DI CIREBON POWER

Fadel Gani Setiawan¹, Alvera Apridialianti Melkias¹, Slameto¹

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : fadel.gani.tken18@polban.ac.id, alveramelkias@polban.ac.id, salmeto2264@yahoo.com

Abstrak

Cirebon Power merupakan salah satu PLTU dengan tipe *supercritical* yang terletak di Jawa yang mempunyai kapasitas sebesar 660 MW. Komponen penting PLTU yang digunakan untuk membangkitkan listrik diantaranya adalah turbin uap yang berfungsi untuk merubah energi kalor menjadi energi mekanik. PLTU Cirebon Power menggunakan tipe turbin tandem compound, single reheat. Parameter kinerja dari turbin uap dapat ditinjau dari heat rate, efisiensi termal dan efisiensi isentropik. Turbine heat rate merupakan parameter yang menunjukkan jumlah energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kilowatt-hour (kWh) listrik. Efisiensi adalah rasio kerja yang dilakukan oleh mesin dengan total kerja yang dimasukkan ke dalam mesin. Untuk mencari parameter-parameter tersebut dapat menggunakan metoda langsung. Nilai turbin heat rate aktual terendah ada pada bulan Januari sebesar 7909,33 kJ/kWh dan tertinggi pada bulan April sebesar 8116,52 kJ/kWh. Efisiensi termal tertinggi pada bulan Januari sebesar 45,52% dan tertinggi pada bulan April sebesar 44,36%. Efisiensi isentropik turbin LP sebesar 90,53-91,10%, turbin IP sebesar 86,46-86,76%, turbin HP dengan nilai 81,25 – 82,73%.

Kata Kunci:

Turbin Uap, PLTU *Supercritical*, Turbine Heat Rate, Efisiensi Termal Turbin, Efisiensi Isentropik Turbin

1. PENDAHULUAN

Listrik menjadi energi yang paling banyak digunakan manusia pada zaman ini dalam menunjang kehidupan sehari-hari. Manusia memerlukan energi listrik untuk berbagai kegiatan sehari-hari baik itu dalam industri, layanan publik, hingga rumah tangga. Energi listrik diproduksi dari berbagai macam pembangkit, salah satunya ialah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

PT Cirebon Power merupakan konsorsium multinasional memiliki Pembangkit Listrik *Supercritical* dengan kapasitas unit 1 sebesar 1x660 MW. PLTU ini telah menghasilkan 5 TWh listrik pertahun melalui sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali (Jamali).

Mesin di PLTU yang mengkonversi energi kalor menjadi energi mekanik yaitu turbin uap. Energi mekanik yang dihasilkan turbin selanjutnya dirubah menjadi energi listrik melalui generator. Turbin uap yang digunakan di PLTU Cirebon Power adalah jenis *Turbine Tandem Compound, Single Reheat*.

PLTU Cirebon Power telah membangkitkan listrik sejak tahun 2012 secara kontinyu. Penggunaan secara terus-menerus dapat mempengaruhi kinerja turbin uap. Performa dari suatu turbin dapat diketahui dengan menghitung efisiensi isentropik, efisiensi termal turbin dan *turbine heatrate*.

Turbin merupakan salah satu bagian terpenting pada PLTU untuk membangkitkan energi listrik. Tipe turbin yang digunakan di PLTU Cirebon Power yaitu *Turbine Tandem Compound, Single Reheat*. Pada tahun 2019 terdapat penurunan laju alir dan temperatur fluida. Kinerja dari turbin dapat dihitung dengan perhitungan dengan metoda langsung. Parameter yang mempengaruhi kinerja turbin yaitu laju alir massa fluida, temperatur fluida, dan tekanan fluida.

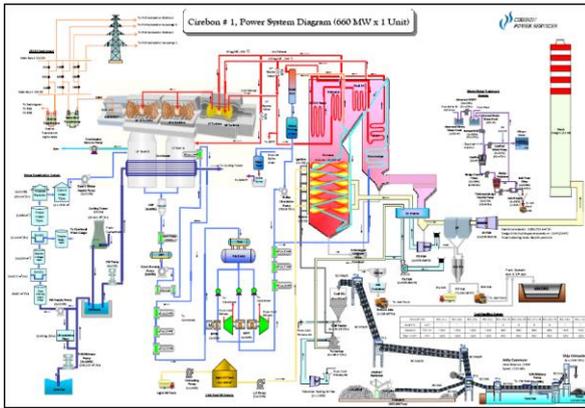
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PLTU Superkritikal

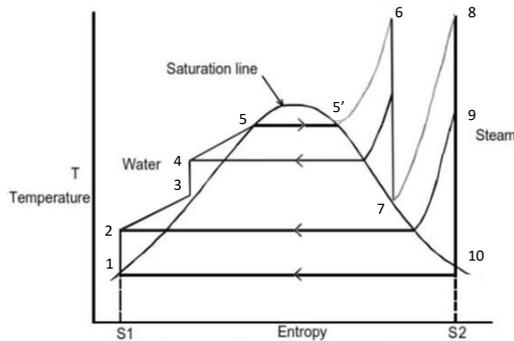
PLTU atau Pembangkit Listrik Tenaga Uap adalah pembangkit listrik yang menggunakan energi kinetik dari uap yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Fluida kerja pada PLTU yaitu air dan bahan bakarnya menggunakan batu bara.

Cirebon Power merupakan PLTU batubara superkritikal yang memiliki kelebihan efisiensi pembangkit yang lebih besar, beban emisi serta biaya bahan bakar yang lebih rendah. Efisiensi pembangkit merupakan perbandingan antara energi listrik yang dihasilkan dengan energi bahan bakar yang masuk. *Heat rate* (HR) dapat digunakan sebagai parameter lain untuk performa pembangkit, dimana heat rate merupakan laju energi bahan bakar yang digunakan pembangkit untuk membangkitkan energi listrik. Satuan dari heat rate dapat berupa kJ/kWh, kcal/kWh, atau btu/kWh. PLTU superkritikal menggunakan boiler superkritikal yang dapat memanaskan air pada tekanan konstan di atas tekanan kritis (22,1 MPa dan 374 °C). sehingga uap yang dihasilkan tidak memiliki perbedaan fasa antara gas dan cair karena densitas massa yang sama. Boiler superkritikal tidak dilengkapi dengan drum karena tidak membutuhkan separasi yang memisahkan uap fasa cair dengan fasa gas.

Siklus Rankine untuk PLTU Cirebon Power menggunakan siklus rankine dengan pemanasan ulang terjadi di reheater boiler sedangkan siklus rankine dengan rankine regenerative terjadi di economizer. Diagram T – s untuk pembangkit PLTU Cirebon Power Unit 1 dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar II. 1 Diagram Skematik pada PLTU



Gambar II. 2 Diagram T-s Siklus Rankine Reheat Regenerative Di PLTU Cirebon Power

Keterangan gambar:

- 1) Proses 1 – 2 : Penaikan tekanan pada air menggunakan *condensate extraction pump*.
- 2) Proses 2 – 3 : Pemanasan air menggunakan *low pressure heater*.
- 3) Proses 3 – 4 : Penaikan tekanan air menggunakan *boiler feed pump*.
- 4) Proses 4 – 5 : Pemanasan air menggunakan *high pressure heater*.
- 5) Proses 5 – 5' : Pemanasan air menjadi uap pada *wall tube* di dalam *boiler*.
- 6) Proses 5' – 6 : Pemanasan uap air menjadi uap panas lanjut pada *superheater*.
- 7) Proses 6 – 7 : Proses ekspansi pada turbin *high pressure*.
- 8) Proses 7 – 8 : Pemanasan kembali uap yang keluar dari turbin *high pressure* di *reheater*.
- 9) Proses 8 – 9 : Ekspansi uap yang keluar dari *reheater* pada turbin *intermediate pressure*.
- 10) Proses 9 – 10 : Ekspansi uap pada turbin *low pressure*.
- 11) Proses 10 – 1 : Pendinginan uap menjadi air di dalam *condenser*.

2.2 Turbin Uap

Komponen konversi energi utama dari pembangkit listrik tenaga uap adalah turbin uap. Fungsi turbin uap adalah untuk mengubah energi termal uap menjadi energi listrik melalui generator yang dikopel. Sistem turbin pada PLTU terdiri dari dua komponen terpisah, yaitu turbin uap yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik, serta generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Umumnya, turbin dikopel langsung ke generator. PLTU Cirebon Power menggunakan turbin uap jenis *tandem compound, single reheat*. Jenis turbin *tandem*

compound memiliki pengaturan multi-silinder di mana beberapa mesin yang berjalan pada poros yang sama dihubungkan secara seri ke generator. Turbin ini memiliki bagian *high-pressure* dan *intermediate-pressure* serta dua bagian *double-flow low-pressure*.

Turbin uap unit 1 di PLTU Cirebon Power memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel III.2 di bawah ini.

Tabel II. 1 Spesifikasi Turbin Uap Unit 1 PLTU Cirebon Power

Produsen	Doosan Heavy Industries & Construction
Generator Output at MGR	698,000 kW
Steam Flow to Main Steam Stop Valves at MGR	2.127.018 kg/h
Net Turbine Heat Rate at MGR	1.877 kcal/kWh
Maximum Continuous Generator Capacity at 5.27kg/C.m ² gage Hydrogen Pressure and 0.85 Power Factor	821.000 kVA
Minimum Stable Load under Full Automatic Control with One Boiler Feed Pump Operating	279.200 kW
The Power consumption for The Auxiliary Equipment in The Supplier's Main Turbine Scope at MGR	267 kW
Speed	3000 rpm
Number of Stages (HP/IP/LP)	9/8/6
Material of Blades	12Cr Alloy Steel

2.3 Turbine Heat Rate

Parameter yang biasa digunakan untuk menentukan performa termal keseluruhan dari turbin uap dan siklus air umpan disebut sebagai turbine heat rate. Turbine heat rate bisa didefinisikan sebagai perbandingan total energi kalor yang dibutuhkan untuk memutar turbin dengan daya listrik yang diproduksi generator. Satuan turbin heat rate adalah kJ/kWh.

$$THR_t = \frac{W_t(ht-hf) + W_{ss}(ht-hss) + W_r(hr-hcr) + W_{rs}(hr-hrs)}{\text{Generator Output}}$$

Dimana:

- THR_t = Turbine Heat Rate, kJ/kWh.
- W_t = Laju alir *main steam*, kg/h.
- h_t = Enthalpy *main steam*, kJ/kg.
- h_{fw} = Enthalpy air umpan, kJ/kg.
- W_{ss} = Laju alir *superheat spray*, kg/h.
- h_{ss} = Enthalpy *superheat spray*, kJ/kg.
- W_r = Laju alir *reheat steam*, kg/h.
- h_r = Enthalpy *reheat steam*, kJ/kg.
- h_{cr} = Enthalpy *cold reheat steam*, kJ/kg.
- W_{rs} = Laju alir *reheat spray*, kg/h.
- h_{rs} = Enthalpy *reheat spray*, kJ/kg.

Generator Output = Daya Generator, kW.

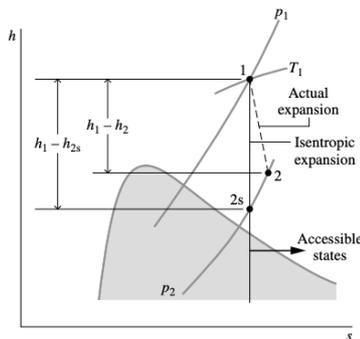
2.4 Efisiensi Termal Turbin

Efisiensi termal turbin merupakan parameter yang menyatakan derajat keberhasilan sistem turbin untuk mengkonversi energi dari panas ke kerja. Konversi untuk setiap 1 kWh sama dengan 3600 kJ, maka untuk mencari efisiensi termal dari turbin dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{th} = \frac{3600}{Heat\ Rate\ Turbin} \times 100\ %$$

2.5 Efisiensi Isentropik Turbin

Efisiensi isentropik adalah perbandingan antara kondisi aktual terhadap kondisi ideal dalam suatu proses (Moran, 2011). Umumnya efisiensi isentropik pada siklus dapat ditunjukkan pada diagram T-s. Untuk memudahkan pemahaman mengenai efisiensi isentropik turbin dapat menggunakan bantuan diagram mollier, dimana terdapat perbandingan antara ekspansi pada keadaan aktual dengan ideal.

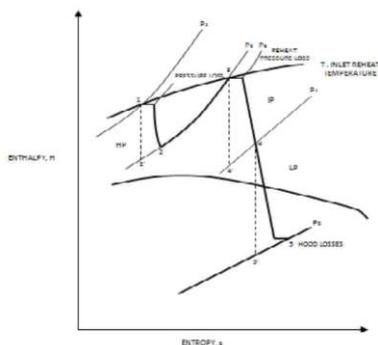


Gambar II. 3 Perbandingan antara ekspansi turbin aktual dan ideal

Berdasarkan gambar di atas maka efisiensi isentropik turbin dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{(h1 - h2)}{(h1 - h2s)} \times 100\ %$$

Pada pembangkit dengan kapasitas besar dengan siklus reheat terdapat tiga bagian turbin, yaitu turbin *high pressure* (HP), turbin *intermediate pressure* (IP), dan turbin *low pressure* (LP). Proses ekspansi turbin terlihat pada Diagram Mollier berikut:



Gambar II. 4 Diagram Mollier untuk ekspansi Turbin

Bersasarkan Gambar II.4 Efisiensi isentropik pada masing-masing turbin dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

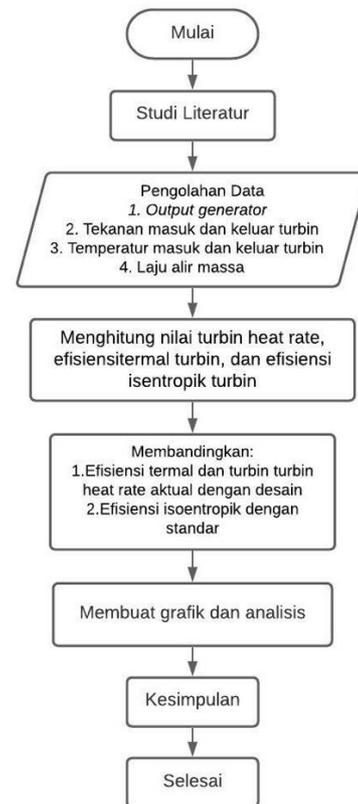
$$\eta_{HP} = \frac{(h1 - h2)}{(h1 - h2s)} \times 100\ %$$

$$\eta_{IP} = \frac{(h3 - h4)}{(h3 - h4s)} \times 100\ %$$

$$\eta_{LP} = \frac{(h4 - h5)}{(h4 - h5s)} \times 100\ %$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan tanpa adanya studi lapangan secara langsung dikarenakan adanya pandemi *Covid-19*. Oleh karena itu proses yang dilakukan yaitu perhitungan dengan data aktual dan data desai yang ada di PLTU Cirebon Power Unit 1. Data-data yang diperlukan untuk menghitung kinerja turbin uap yaitu Daya generator (kW), Tekanan uap masuk turbin (bar), Temperatur uap masuk turbin (°C), Tekanan uap keluar turbin (bar), Temperatur uap masuk turbin (°C), Laju alir massa fluida (kg/h). Adapun beberapa tahapan dilakukan pada penelitian untuk menentukan kinerja dari turbin uap unit 1 dapat dilihat pada diagram alir berikut.



Gambar III. 1 Tahapan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

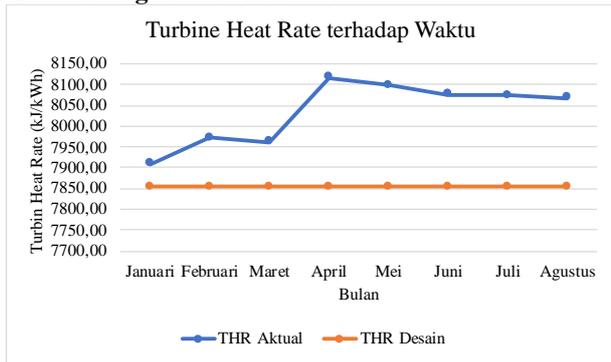
4.1 Perhitungan Data Desain Turbin Uap Unit 1

Nilai turbin *heat rate* desain dan efisiensi termal desain ditampilkan pada Tabel IV.1 di bawah ini.

Tabel IV. 1 Nilai turbine heat rate dan efisiensi turbin desain

Turbine Heat Rate Design	Turbine Heat Rate Design	Efisiensi Design
kcal/kwh	kJ/kWh	%
1,877	7853,37	45,84

4.2 Perhitungan Turbin Heat Rate



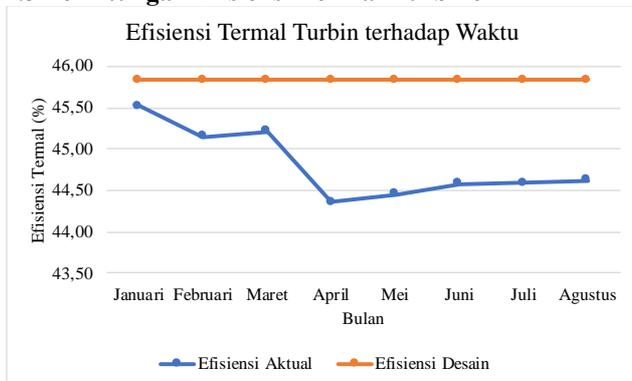
Gambar IV 1 Grafik Turbin Heat Rate

Turbin heat rate di PLTU Cirebon Power unit 1 pada pembebanan penuh terlihat mengalami kenaikan dan penurunan. Nilai turbin *heat rate* terbesar terjadi pada bulan April yaitu sebesar 8116,52 kJ/kWh. Sedangkan untuk nilai *heat rate* terkecil terjadi pada bulan Januari dengan nilai 7909,33 kJ/kWh.

Nilai turbine *heat rate* mengalami kenaikan yang cukup signifikan dari bulan April dan Maret. Kenaikkan turbin *heat rate* tersebut dikarenakan karena HP *heater* no. 8 yang mengalami kerusakan sehingga dari bulan April hingga Agustus nilai turbin *heat rate* lebih tinggi dibandingkan dari bulan Januari hingga Maret. Kerusakan HP *heater* no. 8 membuat temperatur dan laju alir massa air umpan yang masuk ke boiler mengalami penurunan. Akibatnya sistem turbin memerlukan kerja lebih besar untuk menghasilkan daya listrik.

Desain dari turbin *heat rate* yaitu 7853,37 kJ/kWh sedangkan turbin *heat rate* aktual yang dihasilkan yaitu sebesar 7909,33 kJ/kWh hingga 8116,52 kJ/kWh. Perbandingan antara turbin *heat rate* data desain dan data aktual yaitu sebesar 55,96 263,15 kJ/kWh hingga 263,15 kJ/kWh. Penurunan nilai turbin *heat rate* aktual dengan desain yaitu sebesar 0,71–3,35%. Turbine *Heat Rate* menunjukkan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memproduksi listrik sebesar 1 kWh. Performa dari turbin akan semakin tinggi ketika nilai turbin *heat rate* yang dihasilkan semakin kecil, karena semakin sedikit energi yang dibutuhkan turbin untuk menghasilkan energi listrik.

4.3 Perhitungan Efisiensi Termal Turbine

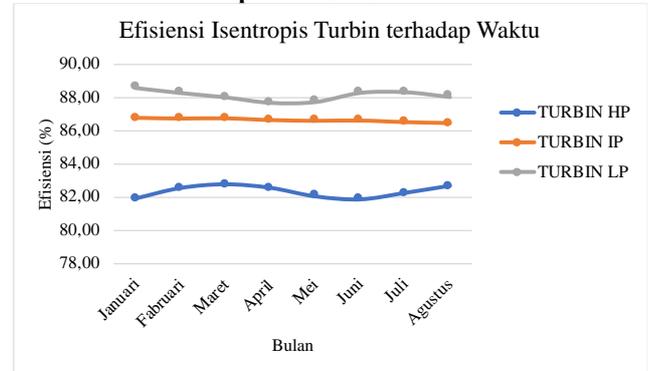


Gambar IV 2 Efisiensi Termal Turbin

Efisiensi termal aktual didapat berdasarkan nilai turbin *heat rate* yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar IV.2 nilai efisiensi termal tertinggi yaitu pada bulan Januari sebesar

45,52% dan efisiensi termal terendah ada pada bulan April dengan nilai 44,36%. Nilai efisiensi termal desain untuk turbin uap yaitu sebesar 45,84%. Efisiensi termal yang dihasilkan turbin uap dapat dikatakan baik, karena berada dalam nilai yang wajar. Untuk pembangkit berkapasitas besar nilai efisiensi termal yaitu berada dalam kisaran 35-50% (Borgnakke, 2014).

4.4 Efisiensi Isentropik Turbine



Gambar IV 3 Efisiensi Isentropik Turbin

Turbin uap unit 1 terdiri tiga bagian yaitu turbin HP, turbin IP, dan turbin LP. Berdasarkan Gambar IV.3 terlihat bahwa turbin yang memiliki efisiensi isentropik dari ketiga turbin relatif konstan. Turbin yang memiliki efisiensi isentropik tertinggi yaitu turbin LP dengan nilai efisiensi tertinggi pada bulan Januari yaitu 88,59% dan efisiensi terendah pada bulan April yaitu 87,71%. Turbin IP memiliki nilai efisiensi yang relatif konstan paling konstan dibanding kedua turbin lainnya yaitu pada kisaran 86,46-86,76%. Efisiensi isentropik terendah terdapat pada turbin HP dengan nilai 81,25 – 82,73%. Efisiensi isentropik merupakan perbandingan antara kerja turbin aktual dengan kerja turbin ideal. Kerja turbin ideal dapat diketahui dengan menggunakan diagram *mollier*. Standar untuk nilai efisiensi turbin uap yaitu sebesar 70-90% (Moran, 2011), maka dari itu efisiensi isentropik turbin untuk ketiga turbin dapat dikatakan baik.

4.5 Perbaikan Turbin

PLTU Cirebon Power melakukan overhaul pada 20 Desember 2019 – 21 Januari 2020. Ketika *overhaul* dilakukan perbaikan dan pemeliharaan pada sistem PLTU, salah satu contohnya pada perbaikan HP *heater* yang sebelumnya sempat mengalami kerusakan. Berdasarkan data aktual setelah *overhaul* maka didapatkan hasil perhitungan untuk performa turbin uap sebagai berikut.

Tabel IV. 2 Hasil perhitungan berdasarkan data aktual setelah overhaul

TCHR (kJ/kWh)	η_{th} (%)	η_{HP} (%)	η_{IP} (%)	η_{LP} (%)
7888,49	45,73	81,07	86,53	89,09

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa maka diperoleh nilai turbin *heat rate* aktual terendah pada bulan Januari sebesar 7909,33 kJ/kWh dan tertinggi pada bulan April sebesar 8116,52 kJ/kWh. Efisiensi termal tertinggi pada bulan Januari sebesar 45,52% dan terendah pada bulan

April sebesar 44,36%. Efisiensi isentropik turbin LP sebesar 88,59-87,71%, turbin IP sebesar 86,46-86,76%, turbin HP dengan nilai 81,25 – 82,73%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Society of Mechanical Engineers (ASME) PTC 6 (1996). Performance Test Code 6 on Steam Turbine.
- [2] American Society of Mechanical Engineers (ASME) PTC 6A (2000). Appendix A to PTC 6 The Test Code for Steam Turbines.
- [3] Black & Veatch. 1996. *POWER PLANT ENGINEERING*. New York: Springer
- [4] Borgnakke & Sonntag. 2014. *Fundamentals of Thermodynamics Vol. Eight Edition*. United States of America: Don Fowley.
- [5] Cahyadi Dr. dan tim. 2015. *PLTU Batu Bara Superkritikal Yang Efisien*. Tangerang: Balai Besar Teknologi Energi
- [6] DH, Pangestu Reza dan Jamaludin. 2018. *ANALISIS PERHITUNGAN HEATRATE PADA TURBIN UAP BERDASARKAN PERFORMANCE TEST UNIT 1 DI PT. INDONESIA POWER UBOH UJP BANTEN 3 LONTAR*. Vol. 2, No. 1, Januari - Juni 2018; hlm. 45-50.
- [7] J. Moran, Michael dan Saphiro, Howard. 2011. *Fundamental of Engineering Thermodynamics, 7th edition*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- [8] Pamungkas, Bayu and Handayani, Sri Utami (2015). *ANALISA EFISIENSI ISENTROPIK TURBIN UAP PADA PLTU 1 JAWA BARAT INDRAMAYU*. Fakultas Teknik Mesin. Universitas Diponegoro, Semarang.
- [9] Satiti, Sekar. 2015. *ANALISIS PEFORMA PLTU VERSUS VARIASI BEBAN PADA TURBIN UAP MENGGUNAKAN SOFTWARE CYCLE TEMPO*. Jurusan Teknik Mesin. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.