

ANALISIS PENGARUH PEMBEBANAN GENERATOR TERHADAP EFISIENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) UBP SURALAYA UNIT I-IV

Su'adi¹, Ramadoni Syahputra², Muhamad Yusvin Mustar²

Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Barat, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183, Telp: 0274-387656 Fax. 0274-387646
Email: masadie.9696@gmail.com

ABSTRACT

The Steam Power Plant (PLTU) is a power plant that controls the kinetic energy of steam to produce electricity. The PLTU is one of the most constrained operational plants because the energy conversion process in the PLTU is quite long and in each process the ability to deal with changes in load is not the same. The process is carried out by filling the water into the boiler then the water gets heat from the combustion of coal which will later get superheater vapor with high temperature and high pressure to be able to drive turbines and generators. Therefore, in the process of energy conversion, a power plant is expected to be able to deal with changes in load so that it can minimize wasteful in the use of fuel so the result is is better efficacy. In this Final Project the method that used is Calculation of Turbine Heat Rate, Calculation of Efficiency Boiler, Calculation of Gross Plant Heat Rate, and Thermal Efficiency Gross Calculation. From the calculation and analysis, it is found that the highest generator efficiency is at a load of 400 MW, which is 42.7940%, which is the maximum load.

Keywords: PLTU, Conversion, Energy, Coal, Load, Efficiency.

I. PENDAHULUAN

Sudah kita ketahui bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau yang disingkat (PLTU) merupakan unit pembangkit yang terbesar dalam sistem, karena secara teknis ukuran kapasitasnya juga yang paling besar. Hal tersebut menyebabkan bahwa dalam mengoperasikan sistem tenaga listrik kendala operasi yang dihadapi PLTU sangat diperlukan adanya perhatian khusus. Secara teknis kebetulan juga PLTU paling banyak kendala operasinya, hal tersebut disebabkan karena proses pengkonversian energi yang terjadi di PLTU cukup panjang dan pada tiap bagian pada jalur proses perubahan energi tersebut, tidak sama kemampuannya untuk menghadapi perubahan beban.

Apabila aliran energi listrik yang diminta sistem kepada generator PLTU berubah, maka perubahan tersebut oleh alat kontrol dalam PLTU harus juga diikuti dengan pengaturan yang merubah aliran entalphy, aliran bahan bakar, aliran kalori dan udara. Begitu juga pada aliran air yang bertugas sebagai media pembawa entalphy dalam air, juga harus disesuaikan oleh sistem kontrol PLTU melalui pompa pengisi Air Ketel.

Mengingat proses pengkonversian energi yang panjang pada PLTU, maka kemampuan sebuah PLTU untuk menghadapi perubahan beban dalam sistem sangat tergantung pada besarnya tempat

penyimpanan energi, misalnya pada ruang bakar dan drum ketel. Dampak dari lambatnya kemampuan sebuah PLTU untuk menghadapi perubahan beban maka akan menyebabkan pemborosan bahan bakar sehingga akan berpengaruh terhadap efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tersebut.

Maka melihat dari kondisi tersebut penulis harus melakukan penelitian yang tujuannya agar didapatkan beberapa manfaat yang pertama ialah untuk mengetahui nilai efisiensi pada PLTU tersebut pada beban rendah, sedang, dan maksimum, dan yang kedua juga agar dapat mengetahui bagian-bagian apa saja yang dapat mempengaruhi efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tersebut. Dan penulis mengambil judul tentang "Analisis Pengaruh Pembebanan Generator Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

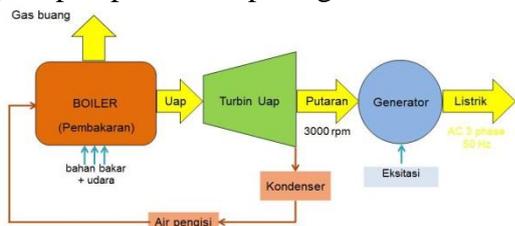
II. DASAR TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengendalikan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang di hubungkan ke turbin dimana untuk memutar turbin diperlukan energi kinetik dari uap panas atau kering.

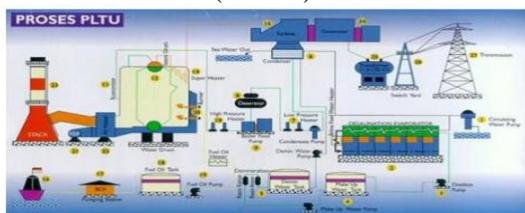
PLTU memiliki beberapa komponen utama antara lain turbin uap, boiler, kondensor dan

generator. Semua komponen tersebut terintegrasi menjadi satu kesatuan sistem unit yang bekerja untuk dapat menghasilkan energi listrik. Komponen-komponen pada pembangkit listrik tenaga uap dapat dilihat pada gambar 2.1:



Gambar 2.1 Komponen PLTU

Berikut merupakan skema proses pembakaran Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU):



Gambar 2.2 Proses Pembakaran PLTU

- Langkah pertama ialah mengisi air ke *boiler* sampai seluruh permukaan pemindah panas penuh. Dan di dalam *boiler*, air tersebut akan mendapatkan panas dengan menyerap gas panas hasil dari pembakaran bahan bakar batubara, HSD serta udara sehingga menjadi uap dan uap tersebut dapat memutar turbin.
- Langkah kedua ialah, uap yang dihasilkan dari *boiler* tersebut yang berupa uap yang bertekanan tinggi dengan temperatur tertentu maka selanjutnya akan diarahkan untuk memutar turbin HP (*High Pressure*), IP (*Intermediet Pressure*) dan LP (*Low Pressure*) sehingga menghasilkan energi mekanik yang berupa putaran.
- Kemudian generator akan di kopel langsung oleh turbin sehingga ketika turbin berputar maka akan menghasilkan energi listrik dari terminal *output* generator.
- Langkah ke empat, uap yang telah terpakai untuk memutar turbin tadi selanjutnya akan masuk ke kondensor untuk di dinginkan kembali dengan menggunakan air asin atau air laut yang di pompa menggunakan pompa CWP (*Circulation Water Pump*) agar berubah menjadi air melalui proses kondensasi. Air kondensat ini kemudian dipanaskan secara bertahap menggunakan pemanas (*heater*), menggunakan uap ekstraksi melalui LPH1, LPH2, Daerator, HPH4 dan HPH5. Air *demin* tersebut digunakan kembali sebagai air pengisi

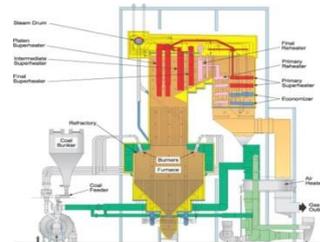
boiler. Dan setelah itu prosesnya kembali ke awal terus-menerus atau berulang-ulang.

2.2 Proses Pembakaran Batubara

Proses pembakaran batu bara umumnya membutuhkan sebuah tempat penyimpanan dan peralatan untuk penanganannya. Batubara yang masih berbentuk bongkahan-bongkahan besar tersebut akan diperkecil dengan menggunakan mesin pemecah (*crusher*). Kemudian batubara tersebut akan disimpan di tempat terbuka sampai nantinya batubara tersebut diperlukan atau akan digunakan. *Belt conveyors* mengangkut batubara dari tempat pembongkaran (*unloading*) kemudian menuju ke tempat pemecahan (*crusher house*), setelah itu ditimbun di tempat penyimpanan yang selanjutnya akan diproses di tempat pembakaran. Batubara akan terbakar dengan mudah dan juga efisien seperti gas jika dibuat dalam bentuk serbuk atau diameter yang cukup kecil. Selain itu jika digunakan dalam bentuk serbuk, batubara akan mempunyai keuntungan-keuntungan yang mana antara lain:

- Dapat digunakan batubara dengan segala macam ukuran.
- Dapat melayani perubahan beban dengan baik.
- Kebutuhan akan kelebihan udara pembakaran (*excess air*) rendah sehingga konsumsi daya untuk kipas lebih rendah.
- Suhu pembakaran lebih tinggi.
- Efisiensi *thermal* lebih baik sehingga menghasilkan biaya operasi dan biaya pemeliharaan yang cukup rendah.

Kemudian serbuk batubara tersebut didorong oleh udara primer menggunakan bantuan *primary air fan* (PA fan) sampai ke ruang pembakaran. Pembakar (*burner*) batubara serbuk menerima serbuk batubara kering dan udara primer kemudian mencampurnya dengan udara pembakaran utama dari *forced draft fan* (FD fan) sehingga dalam proses tersebut menghasilkan nyala api didalam tanur. Sistemnya dapat dilihat seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Proses Pembakaran Batubara.

Menyinggung poin 5 diatas. Untuk mendapatkan nilai *Efficiency Thermal* maka harus dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *Efficiency GPHR* (*Gross Plant Heat Rate*)

terlebih dahulu. GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) atau laju panas yang masuk ke *Boiler*, laju panas yang masuk kedalam siklus uap tentu berbeda dengan laju panas yang masuk ke *Boiler*. Setiap *Boiler* memiliki nilai efisiensi sehingga tidak 100% panas yang masuk ke *Boiler* akan terserap kedalam siklus uap, sehingga jika dihitung secara *thermal* saja dari *Turbine Heat Rate* dalam menghitung bahan bakar yang dibutuhkan tentunya tidak akan cukup untuk menghasilkan daya (kW). Berikut rumus untuk menghitung GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) :

$$\text{Gross Plant Heat Rate (GPHR)} = \frac{\text{Turbine Heat Rate}}{\text{Efficiency Boiler}} = \text{kCAL/kWh}$$

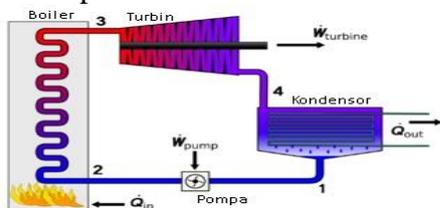
Kemudian setelah nilai dari GPHR sudah diketahui langkah selanjutnya melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *Efficiency Thermal*. *Thermal* efisiensi merupakan suatu perhitungan yang menunjukkan kemampuan atau kondisi unit secara keseluruhan di dalam menghasilkan daya dan bahan bakar yang dipakai. Berikut rumus untuk menghitung efisiensi *Thermal* :

$$\text{Thermal Efficiency Gross [100\%]} = \frac{860 \text{ kCal (Konversi:1 kWh)}}{\text{Turbine Heat Rate}} \times 100\%$$

2.3 Siklus Rankine

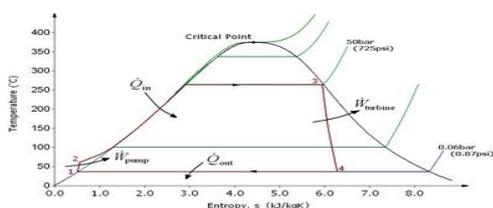
Siklus Rankine adalah siklus yang mengkonversikan energi panas menjadi kinetik, dan menjadi siklus standar dalam pembangkit energi tenaga uap (*steam power plants*). Siklus rankine ini merupakan perubahan panas menjadi kerja. Sumber panas untuk siklus rankine dapat berasal dari batubara, gas alam, minyak bumi, nuklir, bio masa dan panas matahari

Besarnya kerja dibutuhkan pompa, panas yang diberikan *boiler*, kerja yang dihasilkan turbin dan panas yang dibuang pada kondensor dapat diperhitungkan dengan bantuan tabel *Enthalpy-entropy* air-uap air.



Gambar 2.4 Proses Siklus Rankine

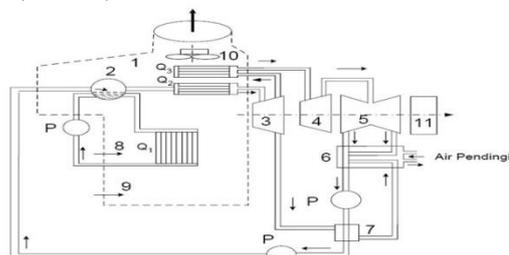
Contoh diagram siklus rankine :



Gambar 2.5 Diagram Siklus Rankine.

2.4 Komponen Utama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) terdapat komponen utama dan juga komponen atau peralatan penunjang. Bagian utama yang terdapat pada sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) antara lain:



Gambar 2.6 Komponen Utama PLTU

Keterangan gambar:

- | | | |
|---------------------------|----|----------------|
| 1. Boiler | P | :Pompa |
| 2. Drum | Q1 | :Pipa-pipa |
| 3. Turbin Tekanan Tinggi | Q2 | :Superhiter |
| 4. Turbin Tekanan Rendah | Q3 | :Pemanas Ulang |
| 5. Turbin Tekanan Rendah | | |
| 6. Kondensator | | |
| 7. Pemansan Awal | | |
| 8. Pembakaran Bahan Bakar | | |
| 9. Kipas Udara Masuk | | |
| 10. Kipas Gas Buang | | |
| 11. Generator | | |

2.5 Boiler (Katel Uap)

Boiler merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha). *Boiler* atau ketel uap adalah suatu alat yang berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap (*steam*). Uap diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. *Boiler* mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja.

Boiler merupakan suatu alat pengkonversi energi yang berbentuk bejana tertutup. Dimana energi yang dikonversikan tersebut merupakan energi reaksi kimia dari bahan bakar dengan oksigen menjadi energi panas, dimana energi panas tersebut digunakan untuk memanaskan air (*feed water*) hingga air berubah fasa menjadi uap.

Adapun rumus untuk menghitung *Efficiency Boiler* sebagai berikut :

[Aliran *Main Steam Flow* [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy Final Feed Water*] + Aliran *S/H Spray Water* [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy S/H Spray Water*] + Aliran *Hot Reheater* [*Enthalpy Hot Reheater* – *Enthalpy Cold Reheater*] + Aliran *Reheater Spray* [*Enthalpy Cold Reheater* – *Enthalpy Reheater Spray*]]/[Nilai Kalor x Batu Bara].

Cara menghitungnya ialah sebagai berikut :

1. Aliran *Main Steam Flow* x [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy Final Feed Water*]=
2. Aliran *S/H Spray Water* x [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy S/H Spray Water*]=
3. Aliran *Hot Reheater* x [*Enthalpy Hot Reheater* – *Enthalpy Cold Reheater*]=

Hasil dari perhitungan diatas kemudian dijumlahkan :

$$[[1] + [2] + [3]] =$$

Kemudian untuk perhitungan akhir untuk mendapatkan nilai efisiensi dari *Boiler* sebagai berikut :

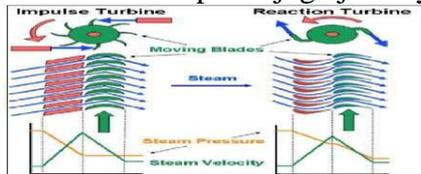
$$\frac{\text{Nilai Efficiency Boiler}}{\text{Nilai Kalor x Kebutuhan Batu Bara}} = \text{kCal/kWh.}$$

2.6 Turbin Uap

Turbin uap tersebut ialah berfungsi untuk mengkonversi energi panas yang dikandung oleh uap menjadi energi putar (energi mekanik). Poros turbin dikopel dengan poros generator sehingga ketika turbin uap berputar maka generator secara otomatis juga ikut berputar.

Uap yang telah melakukan kerja di turbin tekanan maka temperatur turun hingga kondisinya menjadi uap basah. Uap keluar turbin ini kemudian dialirkan kedalam kondensor untuk dikondensasikan atau didinginkan kembali agar menjadi air kondensat, sedangkan energi mekanik yang dihasilkan digunakan untuk memutar generator.

Gambar 2.7 dibawah ini menunjukkan karakteristik turbin uap dan juga jenisnya.



Gambar 2.7 Jenis Turbin dan Karakteristiknya

Turbine Heat Rate adalah banyaknya kalor (kCal) yang dibutuhkan siklus turbin didalam sistem untuk membangkitkan daya sebesar 1 kWh, satuannya adalah kCal/kWh. rumus untuk perhitungan *Turbine Heat Rate* (T.HR) ialah sebagai berikut :

$$T.HR = \frac{\{(Msf. h1) - (FFwf. h2) + (HRhf. h3) - (CRhf. h4) + (AuxSf. h5) - (SHSpf. h6)\}}{PG}$$

Dimana :

- Msf = *Main Steam Flow*
- FFwf = *Final Feed water Flow*
- HRhf = *Hot Reheater Flow*
- CRhf = *Cold Reheater Flow*
- AuxSf = *Auxiliary Steam Flow*
- SHSpf = *Superheater Spray Water Flow*
- PG = *Generators Output*
- h1 = *Enthalpy Main Steam Flow*
- h2 = *Enthalpy Final Feed Water Flow*
- h3 = *Enthalpy Hot Reheater*

- h4 = *Enthalpy Cold Reheater Flow*
- h5 = *Enthalpy Auxiliary Steam Flow*
- h6 = *Enthalpy Superheater Spray Flow*

Besarnya *Cold Reheat* (CRhf) Flow didapat dari :

$$CRhf = GMS - GSLH - GSSL - GDL1 - GGRS - GEX7$$

Dimana :

- GMS = *Main Steam Flow*
- GSLH = *Governor Valve HP Steam Leak*
- GSSL = *Governor Valve LP Steam Leak*
- GDL1 = *Dummy Leak 1*
- GGRS = *Gland Reg. Sup. Steam*
- GEX7 = *No. 7 Extraction Flow*

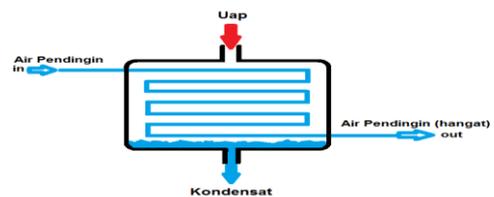
Untuk perhitungan akhir untuk mendapatkan nilai dari *Efficiency Turbine Heat Rate* ialah sebagai berikut :

$$\frac{\text{Nilai Turbine Heat Rate}}{\text{Nilai Aktual Beban}} = \text{kCal/kWh.}$$

2.7 Kondensor

Kondensor merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah uap menjadi air. Prinsip kerja kondensor ialah proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa-pipa (*Tubes*). Uap mengalir diluar pipa-pipa (*Shell Side*) sedangkan air sebagai pendingin mengalir didalam pipa-pipa (*Tube Side*).

Kondensor adalah suatu alat yang terdiri dari jaringan pipa dan digunakan untuk mengubah uap menjadi zat cair (air). dapat juga diartikan sebagai alat penukar kalor (panas) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida.



Gambar 2.8 Cara Kerja Kondensor

Secara umum terdapat dua jenis kondensor yaitu *surface condenser* dan *direct contact condenser*. Berikut klasifikasi kedua jenis kondensor tersebut:

1. *Surface Condenser*
2. *Direct Contact Condenser*

2.8 Generator

Generator adalah salah satu jenis mesin listrik yang digunakan sebagai alat pembangkit energi listrik dengan cara mengonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Pada generator, energi mekanik didapat dari penggerak mula yang bisa berupa mesin diesel, turbin, baling-baling dan lain-lain. Pada pembangkit-pembangkit besar, salah satu alat konversi yang sering digunakan yaitu generator sinkron 3 *phase*.

Menurut teori listrik, GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi yang dihubungkan pada kumparan dalam medan magnet ialah :

$$E = 4,44 \cdot f \cdot \phi \cdot N \text{ (Volt)}$$

$$E = 2,22 \cdot f \cdot \phi \cdot Z \text{ (Volt)}$$

Dimana :

E : GGL Induksi (Volt).

F : Frekuensi Listrik (Hz).

Φ : Besarnya Fluks Magnet (Weber).

N : Jumlah Lilitan.

Z : Jumlah Sisi Lilitan.

$$f = \frac{P \cdot n}{120}$$

Dimana :

f : Frekuensi Listrik.

P : Banyaknya Kutub Magnet.

N : Putaran Generator Permenit.

Jadi jika nilai f tersebut dimasukkan ke persamaan diatas maka :

$$E = 4,44 \cdot \frac{P \cdot n}{120} \cdot \phi \cdot N \text{ (Volt)}$$

Karena nilai P dan N tidak berubah pada generator maka harga-harga yang tidak berubah akan dijadikan menjadi suatu ketetapan yang kita sebut dengan Konstanta (K), sehingga persamaan lebih mudah untuk dipahami.

$$E = K \cdot n$$

Dimana :

E : GGL induksi (Volt).

K : Konstanta (K).

Φ : Besarnya Fluks Magnet (Weber).

Penyediaan listrik terdiri atas sistem tiga fase, dan juga terdapat tiga pasangan elektromagnetik yang terpisah serta tiga set kumparan yang juga terpisah

III. METODOLOGI PENGUJIAN

Adapun diagram alir ataupun tahap-tahap yang hendak dilakukan dalam penelitian seminar ini adalah sebagai berikut.



Gambar 3.2 Alur Penulisan Tugas Akhir

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

Dapat kita ketahui bahwa alur pendistribusian tenaga listrik tersebut ialah dari Indonesia Power menuju Pusat Pengatur Beban (P2B), dari P2B ialah menuju ke Gardu Induk, kemudian ke PLN, dan terakhir ke Konsumen (Rumah Tangga, Kawasan Industri, dsb). Penyediaan jumlah energi listrik pada Indonesia Power Unit Pembangkitan Suralaya tergantung dari

permintaan beban Pusat Pengatur Beban (P2B), yang dimana besarnya nilai perubahan pembebanan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) pada Indonesia Power tersebut harus mengikuti permintaan dari pihak Pusat Pengatur Beban (P2B). Perubahan pembebanan tersebut mempengaruhi unjuk kinerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sehingga efisiensi PLTU tersebut akan berbeda sesuai dengan perubahan beban. Maka PLTU akan dapat diketahui pada saat pembebanan berapa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tersebut memiliki nilai efisiensi tertinggi, yaitu dari perubahan pembebanan tersebut.

4.2 Perhitungan Nilai Efisiensi

1. Perhitungan Saat Berada Pada Pembebanan 200 MW

a. Perhitungan Nilai Turbine Heat Rate

Turbine Heat Rate ialah banyaknya kalor (kCal) yang dibutuhkan siklus *turbine* didalam sistem untuk membangkitkan daya sebesar 1 kWh, dan diketahui bahwa satuannya kCal/kWh.

Untuk menghitung nilai pada *Turbine Heat Rate* maka rumus yang digunakan ialah seperti berikut :

$$T. HR = \frac{\{(Msf \cdot h1) - (FFwf \cdot h2) + (HRhf \cdot h3) - (CRhf \cdot h4) + (AuxSf \cdot h5) - (SHSpf \cdot h6)\}}{PG}$$

Dimana :

Msf = *Main Steam Flow*

FFwf = *Final Feed water Flow*

HRhf = *Hot Reheater Flow*

CRhf = *Cold Reheater Flow*

AuxSf = *Auxiliary Steam Flow*

SHSpf = *Superheater Spray Water Flow*

PG = *Generators Output*

h1 = *Enthalpy Main Steam Flow*

h2 = *Enthalpy Final FeedWater Flow*

h3 = *Enthalpy Hot Reheater*

h4 = *Enthalpy Cold Reheater Flow*

h5 = *Enthalpy Auxiliary Steam Flow*

h6 = *Enthalpy Superheater Spray Flow*

1. *Main Steam Flow x Enthalpy*
 $653250 \text{ kg/jam} \times 814.18 \text{ kCal/kg} = 531863085 \text{ kCal.}$
2. *Flow Final Feed Water x Enthalpy*
 $637510 \text{ kg/jam} \times 206.37 \text{ kCal/kg} = 131562938.7 \text{ kCal.}$
3. *Hot Reheater Flow x Enthalpy*
 $60678 \text{ kg/jam} \times 843 \text{ kCal/kg} = 51151554 \text{ kCal.}$
4. *Cold Reheater Flow x Enthalpy*
 $606780 \text{ kg/jam} \times 733.80 \text{ kCal/kg} = 44525516.4 \text{ kCal.}$
5. *Superheater Spray Water Flow x Enthalpy*

$$5750 \text{ kg/jam} \times 122.05 \text{ kCal/kg} = 1922287.5 \text{ kCal.}$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[[1] - [2]] + [[3] - [4]] - [5]$$

$$[[400300146.3 \text{ kCal}] + [6626037.6 \text{ kCal}]] - [1922287.5 \text{ kCal}] =$$

$$[[406926183.9 \text{ kCal}]] - [1922287.5 \text{ kCal}] = 405003896.4 \text{ kCal.}$$

$$\frac{405003896.4 \text{ kCal}}{205000 \text{ kw}} = 1975.628763 \text{ kCal/kWh.}$$

b. Perhitungan Efficiency Boiler

Untuk menghitung Efficiency Boiler maka rumus yang digunakan ialah sebagai berikut :

[Aliran Main Steam Flow [Enthalpy Main Steam Flow – Enthalpy Final Feed Water] + Aliran S/H Spray Water [Enthalpy Main Steam Flow – Enthalpy S/H Spray Water]+ Aliran Hot Reheater [Enthalpy Hot Reheater – Enthalpy Cold Reheater] + Aliran Reheater Spray [Enthalpy Cold Reheater – Enthalpy Reheater Spray]]/[Nilai Kalor x Batubara].

1. Aliran Main Steam Flow x [Enthalpy Main Steam Flow – Enthalpy Final Feed Water].

$$653250 \text{ kg/jam} \times [814.18 \text{ kCal/kg} - 206.37 \text{ kCal/kg}] = [607.81 \text{ kCal/kg}] \times 653250 \text{ kg/jam} = 397051882.5 \text{ kCal.}$$

2. Aliran S/H Spray Water x [Enthalpy Main Steam Flow – Enthalpy S/H Spray Water].

$$15750 \text{ kg/jam} \times [814.18 \text{ kCal/kg} - 122.05 \text{ kCal/kg}] = [692.13 \text{ kCal/kg}] \times 15750 \text{ kg/jam} = 10901047.5 \text{ kCal.}$$

3. Aliran Hot Reheater x [Enthalpy Hot Reheater – Enthalpy Cold Reheater].

$$606780 \text{ kg/jam} \times [843 \text{ kCal/kg} - 733.80 \text{ kCal/kg}] = [109.2 \text{ kCal/kg}] \times 606780 \text{ kg/jam} = 66260376 \text{ kCal.}$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[[1] + [2] + [3]]$$

$$[397051882.5 \text{ kCal}] + [10901047.5 \text{ kCal}] + [66260376 \text{ kCal}] = 474213306 \text{ kCal.}$$

$$\frac{474213306 \text{ kCal}}{587474292 \text{ kCal}} = 0.08072069067 \text{ kCal.}$$

$$0.08072069067 \text{ kCal} \times 100\% = 8.072069067\%$$

c. Perhitungan Nilai GPHR (Gross Plant Heat Rate)

Untuk mendapatkan nilai dari GPHR (Gross Plant Heat Rate) maka dilakukan perhitungan seperti berikut :

Gross Plant Heat Rate (GPHR) =

$$\frac{\text{Turbine Heat Rate}}{\text{Efficiency Boiler}} \text{ (kCal/kWh).}$$

$$= \frac{1975.628763 \text{ kCal}}{80.72069067\%} = 2447.487437 \text{ kCal/kWh.}$$

Kemudian setelah nilai dari GPHR (Gross Plant Heat Rate) sudah diketahui

maka selanjutnya mencari presentase Thermal Efficiency Gross dengan memasukkan nilai hasil dari GPHR (Gross Plant Heat Rate) dengan cara menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Thermal Efficiency Gross } [100\%] = \frac{860 \text{ kCal}}{\text{Turbine Heat Rate}} \times 100\%$$

$$= \frac{860 \text{ kCal}}{1975.628763 \frac{\text{kCal}}{\text{kWh}}} \times 100\%$$

$$= 40.3530\%.$$

4.3 Tabel Hasil Perhitungan Dari Tiap Pembebanan.

No	Uraian Perhitungan	Turbine Heat Rate			
		200MW	260MW	300MW	400MW
1	Main Steam Flow x Enthalpy	5318630 85 kCal	6672057 73.3 kCal	7944332 00 kCal	10736076 11 kCal
2	Flow Final Feed Water x Enthalpy	1315629 38.7 kCal	1742557 22.9 kCal	2179027 54.4 kCal	31922066 9.5 kCal
3	Hot Reheater Flow x Enthalpy	5115155 4 kCal	6393274 16.6 kCal	7563988 96 kCal	10121261 70 kCal
4	Cold Reheater Flow x Enthalpy	4452551 6.4 kCal	5411141 57.5 kCal	6541066 38 kCal	88722976 1.6 kCal
5	S/H Spray Water Flow x Enthalpy	1922287 .5 kCal	2698359 .3 kCal	2066850 kCal	716720 kCal
6	Nilai Turbine Heat Rate.	1975.62 8763 kCal/k Wh	2269.87 4446 kCal/k Wh	2234.25 5047 kCal/k Wh	2135.0862 23 kCal/kWh

4.4 Tabel Hasil Perhitungan Efficiency Boiler Pada Setiap Beban

No	Uraian Perhitungan	Efficiency Boiler			
		200MW	260MW	300MW	400MW
1	Aliran Main Steam Flow x [Enthalpy Main Steam Flow – Enthalpy Final Feed Water].	3970518 82.5 kCal	4883563 87.2 kCal	5730587 50 kCal	7531855 79.4 kCal
2	Aliran S/H Spray Water x [Enthalpy Main Steam Flow – Enthalpy S/H Spray Water].	1090104 7.5 kCal	1443036 5.4 kCal	1039181 5.6 kCal	3308568 kCal

3	Aliran Reheater [Enthalpy Hot Reheater - Enthalpy Cold Reheater].	6626037 6 kCal	9821325 9.1 kCal	1030195 28 kCal	1248964 08 kCal
4	Nilai dari Efficiency.	80.7206 9067%	8.23914 305%	90.1621 3478%	88.8337 5747%

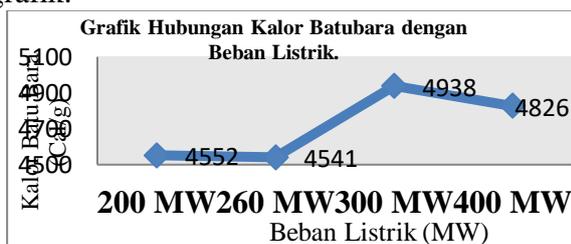
4.5 Analisis Perhitungan

Dari data yang sudah didapat dan dilakukan perhitungan seperti diatas, maka didapatkan beberapa parameter yang tidak lain dapat digunakan untuk membandingkan unjuk kerja pembangkit yang beroperasi pada beban yang bervariasi (200MW, 260MW, 300MW, dan 400MW). Parameter tersebut diantaranya ialah, nilai *turbine heat rate*, nilai *efficiency boiler*, nilai *GPHR (Gross Plant Heat Rate)*, *thermal efficiency gross*, nilai kalor batubara, jumlah batubara yang telah digunakan di pembangkitan pada tiap kWh. Parameter-parameter tersebut selanjutnya dapat di kelompokkan pada tabel 4.3:

4.6 Tabel Perhitungan Pada Setiap Beban

No	URAIAN	PEMBEBANAN			
		200MW	260MW	300MW	400MW
1	Nilai Kalor Batu Bara.	4552 Cal/g.	4541 Cal/g.	4938 Cal/g.	4826 Cal/g.
2	Konsumsi Bahan Bakar Ton/Jam.	129.058 5 Ton/Jam	160.636 Ton/Jam	154.186 5 Ton/Jam	205.590 5 Ton/Jam
3	Turbine Heat Rate kCal/kWh	1975.62 8763 kCal/kWh	2269.87 4446 kCal/kWh	2234.25 5047 kCal/kWh	2135.08 6223 kCal/kWh
4	Efficiency Boiler.	80.7206 9067%.	8.23914 305%.	90.1621 3478%.	88.8337 5747%.
5	GPHR (Gross Plant Heat Rate).	2447.48 7437 kCal/kWh	27549.8 8513 kCal/kWh	2478.04 1422 kCal/kWh	2403.46 2697 kCal/kWh
6	Thermal Efficiency Gross.	40.3530 %.	37.8875 %.	38.4915 %.	42.7940 %.

Setelah beberapa nilai sudah diketahui seperti yang tercantum pada tabel diatas, maka langkah selanjutnya ialah membuat grafik.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Kalor Batubara dengan Beban Listrik.

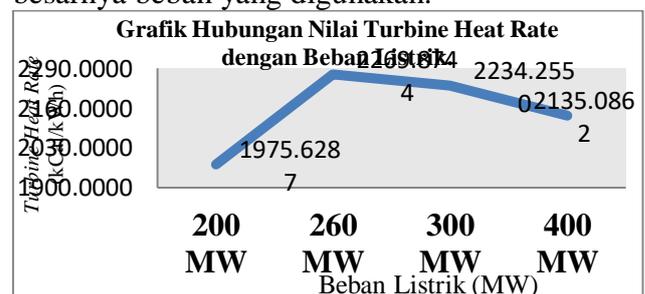
Dapat kita lihat pada gambar 4.1 nilai kalor tertinggi berada pada pembebanan 300MW yaitu 4928 Cal/g, dan nilai kalor terendah berada pada

pembebanan 260MW yaitu 4541 Cal/g. Pada saat pembakaran batubara pada waktu tersebut diketahui jenis batubara yang digunakan ialah jenis Berau, tetapi meskipun jenis batubara yang digunakan itu sama bukan berarti nilai kalor batubara pada tiap pembebanan yang dihasilkan pada saat pembakaran tersebut sama, semua itu dikarenakan pada setiap pembebanan jumlah batubara yang digunakan berbeda.



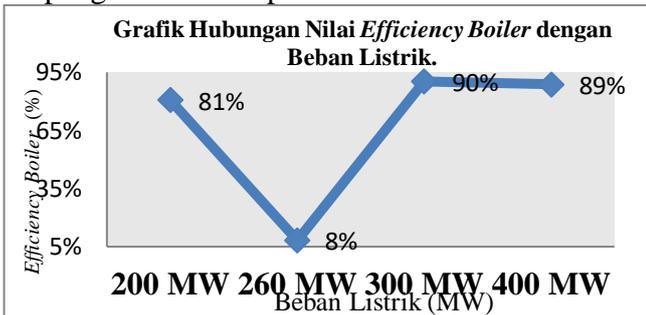
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Konsumsi Bahan Bakar dengan Beban Listrik

Pada gambar 4.2 kita lihat pada grafik tersebut bahwa konsumsi bahan bakar pada pembebanan 200MW sebesar 129,0585 Ton/Jam, dan pada pembebanan 260MW sebesar 160,636 Ton/Jam, disitu kita bisa menganalisa bahwa antara pembebanan 200MW dengan 260MW mengalami perbedaan jumlah konsumsi bahan bakar yang dimana pada pembebanan 200MW konsumsi bahan bakar lebih sedikit dibandingkan dengan pembebanan 260MW, semua itu dikarenakan pada pembebanan 200MW nilai kalor batubara lebih tinggi dibandingkan dengan pembebanan 260MW, selanjutnya juga bisa dilihat pada pembebanan 300MW dengan 400MW, dimana pada pembebanan 300MW konsumsi bahan bakar sebesar 154,1865 Ton/Jam, dan pada pembebanan 400MW sebesar 205,5905 Ton/Jam, dapat kita lihat pada grafik bahwa pada pembebanan 300MW konsumsi bahan bakar lebih sedikit dibandingkan pada pembebanan 400MW, dan semua itu juga dikarenakan pada pembebanan 300MW nilai kalor batubara lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalor pada pembebanan 400MW, dan juga nilai kalor pada pembebanan 260MW. Jadi semakin tinggi nilai kalor batubara maka konsumsi bahan bakar akan lebih sedikit pada tiap pembebanannya, akan tetapi tergantung pada besarnya beban yang digunakan.



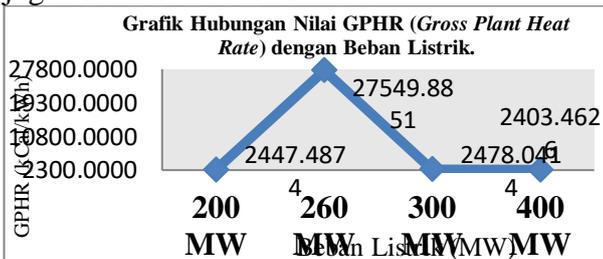
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Nilai *Turbine Heat Rate* dengan Beban Listrik.

Dapat kita lihat pada gambar 4.3 pada pembebanan 200MW nilai *turbine heat rate* ialah 1975,6287 kCal/kWh, pada pembebanan 260MW ialah 2269,8744 kCal/kWh, pada pembebanan 300 MW ialah 2234,2550 kCal/kWh dan pada pembebanan 400MW ialah 2135,0862 kCal/kWh. Kemudian dapat kita analisa bahwa nilai *turbine heat rate* tertinggi berada pada pembebanan 260MW, semua itu karena pada pembebanan 260MW batubara yang digunakan mempunyai nilai kalor yang sangat rendah dibandingkan dengan batubara pada pembebanan yang lain. Jadi nilai kalor pada batubara tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai *turbine heat rate*.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Nilai *Efficiency Boiler* dengan Beban Listrik.

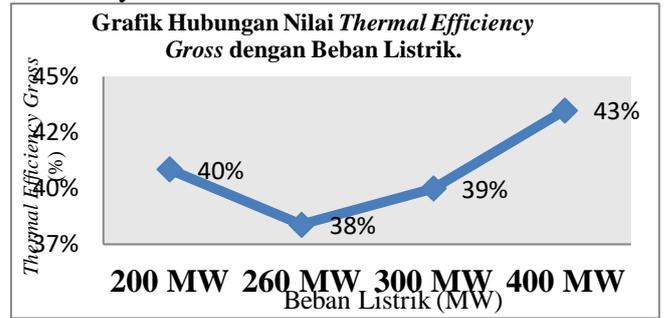
Dapat kita lihat pada gambar 4.4 pada grafik diatas pada fase pembebanan 260MW nilainya paling rendah yaitu 8,231%, dan diketahui semua itu dipengaruhi oleh nilai kalor batubara, yang mana pada pembebanan 260MW tersebut nilai kalor batubara hanya 4541 Cal/g, nilai kalornya merupakan nilai paling rendah dibandingkan pada pembebanan yang lain. Dan juga bisa karena faktor *burner*.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Nilai GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) dengan Beban Listrik.

Pada gambar 4.5 pada grafik diatas merupakan kebalikan dari gambar 4.4 *efficiency boiler*. Dimana pada grafik kali ini pada pembebanan 260MW nilai yang didapat merupakan nilai paling tinggi yaitu 27549,886kCal/kWh. Dan perlu diketahui pada perhitungan untuk mendapatkan nilai GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) ini ialah dengan cara membandingkan nilai *turbine heat rate* dengan *efficiency boiler*. Pada grafik diatas dapat dianalisa bahwa jika nilai *turbine heat rate* besar dan nilai dari *efficiency boiler* rendah maka nilai yang didapat pada GPHR (*Gross Plant Heat*

Rate) akan tinggi atau besar, dan begitu juga sebaliknya.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Nilai *Thermal Efficiency Gross* dengan Beban Listrik.

Pada grafik ini kita dapat menganalisa tentang efisien atau tidak efisien tiap-tiap fase pembebanan pada pembangkit tersebut. Dapat kita lihat pada grafik bahwa tiap fase pembebanan memiliki nilai yang berbeda yaitu pada pembebanan 200MW memiliki nilai *thermal efficiency gross* 40,3530%, pada 260MW memiliki nilai 37,8875%, pada beban 300MW memiliki nilai 38,4915% dan pada beban 400MW memiliki nilai 42,7940%. Disini dapat kita lihat bahwa pada pembebanan 260MW memiliki tingkat ke-efisiensi yang sangat rendah, semua itu dikarenakan pada saat pembangkit menggunakan sumber daya yang tidak sebanding dengan energi yang dibangkitkan. Tetapi meskipun pada tiap fase pembebanan memiliki nilai berbeda pembangkit tetap dikatakan efisien, karena pembangkit tidak dikatakan efisien atau tidak layak pakai jika nilai dibawah 30%.

4.7 Perhitungan Biaya Pembangkitan

Perhitungan biaya pembangkitan tiap kWh tersebut dapat dilakukan dengan cara seperti berikut :

$$\text{Rp/kCal} \times \text{GPHR (Gross Plant Heat Rate)}$$

1. Pembebanan 200 MW

Diketahui :

Nilai Kalor : 4552 kCal.

Harga Energi: 0.17574692 Rp/kCal.

Biaya Pembangkitan Tiap kWh :

$$\text{Harga Energi [Rp/kCal]} \times \text{GPHR [kCal/kWh]} =$$

$$= 0.17574692 \text{ Rp/kCal} \times 2447.4874 \text{ kCal/kWh.}$$

$$= \text{Rp. 430.138372.}$$

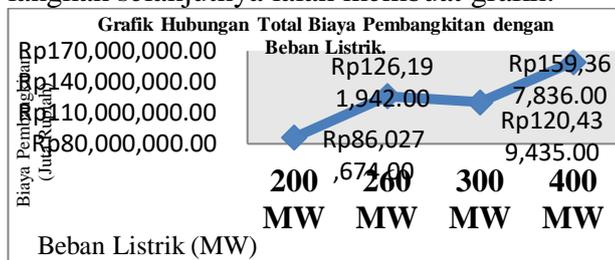
Total Biaya Pembangkitan :

$$\text{Rp. 430.138372} \times 200000 \text{ kWh} = \text{Rp. 86.027.674}$$

Setelah dilakukan perhitungan tentang biaya pembangkitan listrik pada tiap kWh pada tiap pembebanan, maka selanjutnya membuat tabel seperti berikut :

No	Uraian	Biaya Pembangkitan			
		200 MW	260MW	300MW	400MW
1	Nilai Kalor Batu Bara.	4552 kCal.	4541 kCal.	4938 kCal.	4826 kCal.
2	Harga Energi.	0.17574692 Rp/kCal.	0.17617265 Rp/kCal	0.16200891 Rp/kCal	0.165769 Rp/kCal.
3	Biaya Pembangkitan Tiap kWh.	Rp. 430.138372	Rp. 485.353626	Rp. 401.464786	Rp. 398.419591
4	Total Biaya Pembangkitan.	Rp. 86.027.674	Rp. 126.191.942	Rp. 120.439.435	Rp. 159.367.836

Setelah data sudah di *input* ke dalam tabel, langkah selanjutnya ialah membuat grafik.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dengan Beban Listrik.

Dapat kita lihat pada gambar 4.7 kalau kita lihat pada grafik bahwa biaya terbesar pembangkitan pada tiap kWh tersebut berada pada pembebanan 400 MW yaitu Rp. 159,367,836 dan biaya terendah pada pembebanan 200 MW yaitu Rp. 86,027,674. Kalau kita perhatikan pada gambar 4.2 tentang grafik konsumsi bahan bakar yaitu sama, konsumsi bahan bakar terbanyak juga terjadi pada pembebanan 400 MW, selain itu juga kalau kita perhatikan pada grafik dimana pada pembebanan 200 MW kedua grafik (gambar 4.2 dan gambar 4.7) juga berada dibawah dan pada pembebanan 260 MW pada kedua grafik mengalami peningkatan, pada pembebanan 300 MW pada kedua grafik mengalami penurunan dikarenakan nilai kalor lebih besar daripada pembebanan sebelumnya, tetapi pada pembebanan 400 MW kedua grafik kembali naik dan tak lain semua itu dikarenakan nilai kalor lebih sedikit dari pembebanan yang sebelumnya. Maka dari semua itu kita dapat menganalisa bahwa, total biaya pembangkitan ini berdasarkan seberapa banyak bahan bakar yang digunakan, dan seberapa besar nilai kalor yang didapat.

Selain itu dapat kita ketahui bahwa nilai efisien pada pembangkit berada pada

pembebanan maksimum yaitu 400 MW, dan semua itu juga mempengaruhi biaya pembangkitan pada tiap kWh.

V. Kesimpulan dan Saran

1. Kesimpulan

- Perubahan beban sangat berpengaruh terhadap keefisienan PLTU, jika beban berubah misalnya dari 200MW ke 260MW dst, maka perubahannya juga harus diikuti oleh aliran enthalpy, bahan bakar, dll. Karena jika tidak maka tingkat keefisienan pada pembangkit tersebut sangat rendah, bahkan bisa tidak layak pakai.
- Pada *efficiency boiler*, boiler memiliki tingkat keefisienan tertinggi pada pembebanan 300MW yaitu 90,1621%, dan semua itu disebabkan oleh nilai batubara yang digunakan Nilai kalor batu bara sangat berpengaruh terhadap keefisienan suatu pembangkit termasuk keefisienan pada boiler.
- Thermal efficiency Gross* merupakan perhitungan akhir agar kita dapat mengetahui tingkat keefisienan suatu pembangkit pada setiap pembebanannya, setelah dilakukan perhitungan dan hasil yang didapatkan maka pada tiap pembebanan memiliki nilai efisiensi yang tidak lebih dari angka 50%, akan tetapi pembangkit tetap dikatakan efisien atau layak digunakan, karena pembangkit dikatakan tidak efisien atau tidak layak digunakan jika memiliki nilai dibawah 30%.
- Pada pembangkit selain nilai kalor pada batubara yang digunakan tingkat keefisienan juga dipengaruhi oleh sumber daya yang tidak sebanding dengan energi yang dibangkitkan.
- Dari perhitungan dan analisis yang sudah dilakukan maka dapat diketahui bahwa efisiensi pembangkit tertinggi ialah pada beban 400MW yaitu 42,7940%, dimana beban tersebut merupakan beban maksimal.
- Banyaknya biaya yang dikeluarkan oleh pembangkit ialah dipengaruhi oleh seberapa besar nilai kalor batubara yang digunakan dan seberapa banyak bahan bakar yang digunakan.

2. Saran

Berdasarkan dengan perhitungan yang dilakukan dan analisa maka diharapkan kepada pihak pembangkit listrik tenaga uap

(PLTU) Suralaya unit I-IV agar menggunakan batubara yang memiliki nilai kalor yang tinggi supaya pembangkit memiliki tingkat keefisienan yang tinggi dan juga supaya dapat meminimalisir biaya yang dikeluarkan. Semua itu agar mendapatkan keuntungan yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, Adhi, N. 2014. *“Analisa Pengaruh Kualitas Batubara Terhadap Biaya Pembangkitan (Studi Kasus Di PLTU Rembang)”*. Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung.
- Amrizal, A dan Andi, R.H. 2015. *“Evaluasi Heat Rate Dan Efisiensi Suatu PLTU Dengan Menggunakan Batubara Yang Berbeda Dai Spesifikasi Design”* Teknik Mesin, Universitas Trisakti Jakarta.
- Cahyadi, D., Hermawan. *“Analisis Efisiensi Turbin Generator QFSN-300-2-20B UNIT 10 dan 20 PT”*. PJB UBJOM PLTU Rembang.
- Jamal, A., Syahputra, R. (2016). *Heat Exchanger Control Based on Artificial Intelligence Approach. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, 11(16), pp. 9063-9069.
- Lintang, G. 2016. *“Analisis Pengaruh Perubahan Beban Generator Terhadap Efisiensi Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Aplikasi Pada PLTU Pangkalan Susu 2 x 220 MW)”*. Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara.
- PT. Indonesia Power UBP Suralaya, Perhitungan Efisiensi.
- Reynolds, W. C. And Henry C. Perkins. 1977. *“Engineering Thermodynamics”*. Translate by Filino Harahap. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sepannur Bandri, 2013. *“Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Karakteristik Generator Sinkron”*. PLTG Pauh Limo Padang.
- Sinulingga, A.A. 2009. *“Pengaruh Perubahan Beban Generator Listrik Terhadap Efisiensi Kinerja PLTU”*. Teknik Elektro. Universitas Sumatra Utara.
- Sudarto, Y. 1999. *“Kajian Teoritik Perhitungan Efisiensi PLTU Unit I Kapasitas 400 MW Di Paiton”*. Fakultas Teknik, Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Sunarwo, S. 2016. *“Analisa Heat Rate Pada Turbin Uap Berdasarkan Performance Test PLTU Tanjung Jati B Unit 3”*. Politeknik Negri Semarang.
- Syahputra, R. (2010). *Fault Distance Estimation of Two-Terminal Transmission Lines. Proceedings of International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (2nd APTECS)*, Surabaya, 21-22 Dec. 2010, pp. 419-423.
- Syahputra, R., (2012), *“Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik”*, LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
- Syahputra, R., (2012), *“Fuzzy Multi-Objective Approach for the Improvement of Distribution Network Efficiency by Considering DG”*, *International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, Vol. 4, No. 2, pp. 57-68.
- Syahputra, R., (2016), *“Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik”*, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). *Performance Analysis of Wind Turbine as a Distributed Generation Unit in Distribution System. International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT)*, Vol. 6, No. 3, pp. 39-56.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm. International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 10(2). pp. 293-304.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm. TELKOMNIKA*, 13(3). pp. 759-766.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2013), *“Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method”*. *International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS)*. 2013; pp. 224-229.