

KETERSEDIAAN AIR TERHADAP OPERASIONAL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

Syahefudin Pangestu¹, Sapto Nisworo², Agung Trihasto³

Teknik Elektro Universitas Tidar Magelang

¹syahefudin.pangestu@students.untidar.ac.id, ²saptonisworo@untidar.ac.id,

³agungtrihasto@gmail.com

ABSTRAK

PLTA Garung yang terletak di kabupaten Wonosobo merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan potensi dari waduk Menjer. Selama ini menjadi persoalan terutama pada sektor PLTA dimana terjadi ketidakstabilan pada musim penghujan dan musim kemarau. Pola operasi waduk adalah acuan operasional suatu waduk yang mengatur volume ketersediaan air waduk agar dapat dikontrol pemakaiannya secara maksimal. Pada penelitian ini dengan menggunakan metode *compare means*. Bentuk analisis pemograman SPSS dengan perbandingan perhitungan teoritis dan pola operasi waduk selama 2 tahun 2019 dan 2020. Perhitungan dari pola operasi waduk Menjer, debit maksimum dan debit minimum sebagai batasan pengoperasian PLTA Garung,serta energi yang dihasilkan PLTA Garung. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hasil perbandingan rata-rata energi listrik perhitungan teoritis dan pola operasi waduk menggunakan metode *compare means* memiliki selisih 21,17 MWh. Dengan ketidakstabilan debit maksimum dan minimum dimana debit maksimum yang dibutuhkan $16\text{m}^3/\text{detik}$ dan debit minimum $8\text{m}^3/\text{detik}$ dengan elevasi terendah pada 1.177,40meter pada tahun 2020 dan elevasi tertinggi 1.182,25meter tahun 2020. Pada tahun 2019 PLTA Garung menghasilkan energi listrik sebesar 36.614,35 MWh,tahun 2020 sebesar 36.348,06 MWh. PLTA Garung selama 2 tahun rata-rata setiap tahun nya menghasilkan 36.481,205 MWh atau 36,48 GWh.

Kata kunci : *energi,PLTA,compare means,pola operasi waduk*

ABSTRACT

The Garung hydropower plant located in Wonosobo district is a power plant that utilizes the potential of the Menjer reservoir. So far, this has been a problem, especially in the hydropower sector, where instability occurs during the rainy and dry seasons. The reservoir operation pattern is an operational reference for a reservoir that regulates the volume of reservoir water availability so that its use can be controlled optimally. In this study using the compare means method. The form of SPSS programming analysis is a comparison of theoretical calculations and reservoir operating patterns for 2 years 2019 and 2020. Calculations from the Menjer reservoir operating pattern, maximum and minimum discharges as limits for the operation of the Garung hydropower plant, as well as the energy generated by the Garung hydropower plant. The results of the research that have been carried out show that the results of the comparison of the average theoretical calculation of electrical energy and the reservoir operating pattern using the compare means method have a difference of 21.17 MWh. With the instability of maximum and minimum discharge where the maximum required discharge is $16\text{ m}^3/\text{s}$ and the minimum discharge is $8\text{ m}^3/\text{s}$ with the lowest elevation at 1,177.40 meters in 2020 and the highest elevation at 1,182.25 meters in 2020. At In 2019, the Garung Hydroelectric Power Plant produced 36,614.35 MWh of electricity, in 2020 it was 36,348.06 MWh. Garung hydropower plant for 2 years on average each year produces 36,481.205 MWh or 36.48 GWh.

Keywords: *reservoir operation pattern, energy, hydropower, comparative means*

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan suatu pembangkit yang mengubah energi air perbedaan ketinggian (*head*) dan debit tertentu menjadi energi listrik. Perbedaan ketinggian yang dimiliki oleh air menyebabkan timbulnya energi potensial pada air. Proses aliran di dalam pipa (*peanstock*) dari perbedaan ketinggian tersebut menyebabkan energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Pada turbin energi kinetik air diubah menjadi energi mekanik yang memutar sudut turbin yang dikopel dengan generator untuk menghasilkan listrik.

Pembahasan tentang energi potensial pembangkit perencanaan PLTA pada bendungan lubuk ambacang provinsi riau memanfaatkan bangunan air menjadi multifungsi merupakan bentuk pengemaman sumber daya air yang bisa dilakukan dengan hasil studi debit yang layak sebesar $200 \text{ m}^3 / \text{detik}$ dapat membangkitkan rata-rata tahunan $824.979,71 \text{ MWh}$ [1].

Pengaruh ketidakstabilan debit pada pembangkitan listrik tenaga air. Don saefal srayar meneliti pengaruh ketidakstabilan debit dan curah hujan terhadap produksifitas energi yang dihasilkan dengan metode diskriptif dengan pendekatan kualitatif di PLTA jelok yang diperoleh debit air rata-rata sebesar $8,14 \text{ m}^3 / \text{detik}$ menghasilkan listrik $21,37 \text{ MW}$ [2].

Pembahasan pola operasi waduk yang optimal analisis optimasi pola operasi waduk gajah mungkur memenuhi kebutuhan energi adanya kecenderungan penurunan fungsi akibat sedimentasi. Sebab itu perlunya perencanaan serta pola operasi waduk yang optimal dan dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya. Dengan menggunakan metode model stokastik bantuan program solver. Menghasilkan rata-rata produksi tahunan mengalami kenaikan sebesar $22,98\%$ [3].

Penerapan optimasi pola operasi waduk sebagai dasar pembangkitan PLTA

waduk Jatiluhur dengan menggunakan metode mock sebagai dasar perhitungan debit andalan untuk derah tangkapan DAS waduk Jatiluhur dengan ketersediaan air pada waduk Jatiluhur dengan hasil $814.399,963 \text{ m}^3 / \text{tahun}$ dengan RMSE $0,063341 \%$ [4].

Pembahasan tentang operasional optimilisasi jangak menengah PLTA Ketenger menggunakan linear programing keterbatasan air dan pasokan air yang terbatas menimbulkan permasalahan optimasi operasional diformulasikan kedalam program *linier programing* dan diselesaikan dengan software optimasi tomlab. Hasil simulasi dengan periode 720 jam (1 bulan) mengalami kenaikan daya sebesar $68, \text{MWh}$ ($2,3\%$) jika dibandingkan bulan tersebut [5].

Pembahasan tentang rugi-rugi energi potensial, analisis terhadap faktor *head loss* terhadap daya dihasilkan PLTA Saguling yang memilii diameter dan luas penampang yang berbeda-beda. Bangunan sipil yang ada di PLTA adalah *peanstock* aliran air yang ada di dalam saluran pipa tertutup hasil dari penelitian faktor head loss semakin besar nilai *head loss* yang dihasilkan maka semakin kecil daya yang dihasilkan hasil head loss setiap penstock juga berbeda-beda karena setiap penstock memiliki perbedaan [6].

Dalam menghitung ketersediaan air terhadap operasional pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Memiliki data debit *inflow* PLTA selama 2 tahun yaitu tahun 2019 dan tahun 2020 dari pola operasi waduk yang nanti akan dikerucutkan kedalam periode. Dalam periode adalah debit rata 10 sampai 11 hari per satu periode sehingga perhitungan daya dihasilkan dari data pola operasi waduk serta spesifikasi PLTA Garung.

METODE PENELITIAN

Pengoperasiaan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan memanfaatkan energi potensial pada air waduk atau aliran sungai menjadi energi mekanik melalui turbin dari perubahan energi mekanik menjadi energi listrik dengan generator untuk menghasilkan energi listrik.

Metode yang digunakan metode *compare means* dengan aplikasi SPSS merupakan pengujian dua sampel atau lebih yang berpasangan serta dapat diartikan sebagai sampel dan sebuah subjek yang sama namun mengalami pengukuran atau perhitungan yang tidak sama atau berbeda. Sampel atau subjek yang diambil data perhitungan pola operasi waduk dan perhitungan teoritis.

Prinsip pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merubah energi potensial dengan perbedaan ketinggian air yang masuk lewat peanstock lalu memutar turbin serta merubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan bantuan generator.

$$P = \eta \times Q \times H$$

Keterangan sebagai berikut :

P = daya yang dikeluarkan secara teoritis

η = efisiensi turbin bersama generator

Q : debit air (m³/det)

H : tinggi jatuh air efektif (m)

Daya keluaran dan generator dapat diperoleh dan perkalian efisiensi generator dan turbin. Tinggi jatuh efektif dapat diperoleh dengan cara mengurangi tinggi jatuh total adalah tinggi jatuh efektif selisih antar elevasi muka air pada bangunan atau waduk maupun sungai.

$$H_{eff} = EMAW - TWL - h_l$$

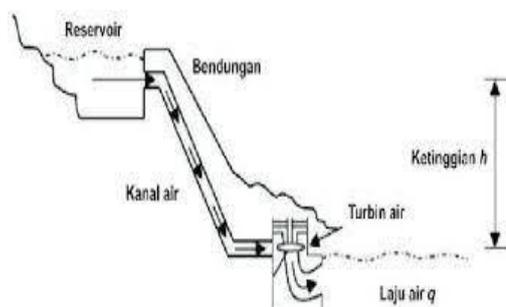
Keterangan sebagai berikut :

H_{eff} : tinggi jatuh efektif (m)

$EMAW$: elevasi muka air waduk

TWL : tail water level

h_l : total kehilangan tinggi tekan (m)



Gambar 1 Tinggi jatuh

Kehilangan tinggi tekan akibat gaya gravitasi dibagi menjadi 2 yaitu kehilangan pada saluran terbuka dan kehilangan pada saluran tertutup.

$$h_1 = \frac{v^2}{2g}$$

Keterangan sebagai berikut :

h_1 : kehilangan tinggi tekan (m)

v : kecepatan air masuk (m/det)

g : percepatan gravitasi (m/det²)

Generator AC atau arus bolak-balik atau biasanya disebut generator sinkron /serempak atau alternator adalah sumber utama dari energi listrik yang merubah dari energi mekanik menjadi energi listrik. Efisiensi generator merupakan perbandingan energi daya keluaran dan masukan generator. Masukan generator sama dengan daya yang dihasilkan oleh turbin, karena turbin dengan generator dikopel dan bekerja secara bersama.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

η : efisiensi

P_{out} : daya keluaran (kW)

P_{in} : daya masukan (kW)

Energi yang dapat dihasilkan dari debit pembangkitan maksimum atau debit puncak disebut *plant peak dischrger* dengan kapasitas yang terpasang atau *installed capacity*. Energi yang dihasilkan berupa produksi tahunan maupun bulanan. Dihasilkan produksi energi tahunan atau bulanan dapat dihitung dengan sebagai berikut:

$$E = 9,8 \times \eta \times Q \times H \times t \times n$$

Perhitungan diatas perhitungan produksi energi tahunan jika perhitungan hanya daya dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = P \times t \times n$$

Keterangan sebagai berikut

E : energi tiap satu periode (kWh)

P : daya pembangkitan (kW)

t : waktu operasi (jam)

n : jumlah hari dalam periode

Statistik adalah suatu kumpulan data atau fakta, umumnya berbentuk angka yang disusun di dalam tabel atau bentuk diagram.

Menggambarkan suatu persoalan, umumnya statistik sering digunakan suatu penelitian diberbagai banyak bidang contohnya ekonomi, bisnis, manufaktur, pemasaran, dan masih banyak lainnya. Adanya statistik akan di dapatkan suatu pengambilan keputusan kesimpulan dan memudahkan dalam suatu proses pengambilan suatu keputusan. Salah satu alat perhitungan komputasi yang umum digunakan dalam analisis statistik adalah SPSS (*Statistical Package for the Social Science*).

Metode *compare means* merupakan pengujian dua atau lebih sampel yang berpasangan diartikan sebagai sebuah sampel dengan data atau subjek yang sama tetapi mengalami perlakuan atau pengukuran secara berbeda-beda.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah pembangkit listrik yang merubah energi potensial dari waduk atau sungai menjadi energi listrik dengan komponen utamanya turbin air dan dari energi listrik dengan bantuan generator. Penelitian dari ketersediaan air terhadap operasional PLTA adalah untuk menghitung perhitungan energi listrik dari pola operasi waduk pada PLTA Garung agar mengetahui perbandingan nilai rerata energi listrik PLTA Garung baik secara teoritis (*fix head*) maupun secara pola operasi waduk (*variatif head*).

a. Efisiensi generator

Dari data spesifikasi turbin, diketahui nilai daya keluaran sebesar 13.200 kW, debit sebesar 8,02 m³/detik, dan tinggi jatuh 2,307 meter berdasarkan dari data diatas sebagai berikut :

$$P_T = 9,8 \times Q \times H$$

$$13.200 = 9,8 \times 8,02 \times 2,307$$

$$\eta_T = 72,80$$

Berdasarkan persamaan dengan daya semu sebesar 15000 KVA faktor daya sebesar 0,9 dan daya keluaran turbin yang merupakan daya masukan ($P_T = P_{in}$) sebesar 13.200 kW, maka didapatkan efisiensi generator sebagai berikut :

$$\eta_G = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\eta_G = \frac{15000 \times 0,9}{13.200}$$

$$\eta_G = 1,022$$

Efisiensi pembangkit didapatkan dari hasil perkalian antara efisiensi turbin dengan efisiensi generator dengan perhitungan :

$$\eta = \eta_T \times \eta_G$$

$$\eta = 72,80 \times 1,022$$

$$\eta = 74,4$$

$$\eta = 0,74$$

b. Penentuan head loss

Penentuan head loss Dengan diameter pipa pesat sebesar 2,6 meter, maka didapatkan luas penampang sebagai berikut :

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2$$

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times 2,6^2$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,76$$

$$A = 5,30 \text{ m}^2$$

Dari data spesifikasi turbin diketahui bahwa debit rata-rata sebesar 16m³ dan luas penampang sebesar 5,30 m², maka didapatkan kecepatan air masukan sebesar :

$$Q = V \times A$$

$$16 = V \times 5,3$$

$$V = \frac{16}{5,3}$$

$$V = 3,01 \text{ meter/detik}$$

Didapatkan nilai kecepatan air pada pipa pesat sebesar 3,01 meter/detik, maka dengan nilai head loss atau kehilangan tinggi tekan adalah :

$$hl = \frac{v^2}{2g}$$

$$hl = \frac{3,01^2}{2 \times 9,8}$$

$$hl = \frac{9,0601}{19,6}$$

$$hl = 0,462 \text{ m}$$

c. Perhitungan energi

Energi yang dapat dihasilkan dari debit pembangkitan maksimum atau debit puncak disebut *plant peak dischrger* dengan kapasitas yang terpasang atau *installed capacity*. Energi yang dihasilkan berupa produksi tahunan maupun bulanan. Dihasilkan

produksi energi tahunan atau bulanan dapat dihitung dengan sebagai berikut

Tabel 1 Hasil pola operasi waduk dan teoritis

Tahun	TOTAL PRODUKSI ENERGI LISTRIK (MWh)	
	Pola Operasi Waduk	Teoritis
2019	36.614,35	36.336,60
2020	36.348,06	36.309,71

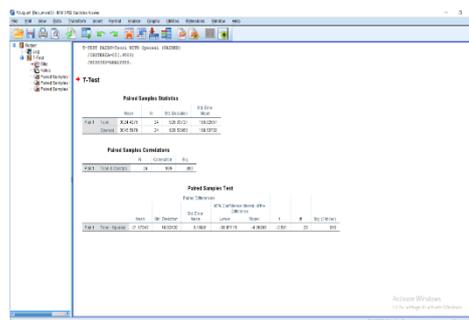
Dari tabel 1 diatas, terdapat perbandingan nilai total energi antara perhitungan teoritis dengan perhitungan pola operasi waduk. Hal ini dapat menggunakan data perbulan pada setiap tahunnya baik pada perhitungan teoritis maupun perhitungan pola operasi waduk, maka dapat dilakukan analisis.

d. Perhitungan statistik menggunakan SPSS

Pada tabel 1 total produksi energi listrik setiap bulannya terdapat perbandingan nilai total energi yang terbangkit antara perhitungan teoritis dengan perhitungan pola operasi waduk. Hal ini dapat dibuktikan dengan menggunakan perhitungan statistik yaitu dengan menggunakan pemrograman statistika SPSS. Dengan menginputkan data produksi setiap bulannya, total data yang digunakan sebanyak 24 data dari perhitungan total energy listrik terbangkit pola operasi waduk dan perhitungan teoritis, maka dapat dilakukan analisis.

Dari hasil perhitungan statistika menggunakan program SPSS dengan metode *Paired Samples T Tes*, perbandingan antara data Perhitungan Teoritis dengan data Pola Operasi Waduk, dapatkan hasil diantara kedua data tersebut tidak memiliki selisih perbedaan nilai rata-rata yang tidak signifikan. Hal ini dapat dibuktikan dengan angka signifikansi pada Gambar 2 (*Sig. 2-tailed test* = 0,016) dimana angka tersebut merupakan peluang tingkat perbedaan antar kedua variable tersebut sebesar 1%.

Pada nilai persamaan rata-rata kedua variable tersebut hanya terdapat perbedaan rata-rata sebesar 21,170 (*Mean* pada Variabel Teori – Variabel Operasi = 21,170). Maka dengan adanya selisih rata – rata tersebut, energi keluaran pada PLTA Garung.



Gambar 2 Hasil perbandingan dengan SPSS

e. Pembahasan

Ketersediaan air terhadap operasional pembangkit listrik tenaga air (PLTA) penelitian ini meliputi perhitungan daya yang dihasilkan pola operasi waduk dengan membandingkan perhitungan teoritis. Menggunakan metode *compare means* dengan aplikasi SPSS, Metode *compare means* merupakan pengujian dua atau lebih sampel yang berpasangan diartikan sebagai sebuah sampel dengan data atau subjek yang sama tetapi mengalami perlakuan atau pengukuran secara berbeda-beda.

Penelitian dilakukan di PLTA Garung dengan daya terpasang 13,2 MW x 2, menggunakan 2 unit generator yang masing-masing berkapasitas 15000 KVA dan 2 turbin air. Keperluan transmisi digunakan 1 buah Trafo 6/22 KV dengan kapasitas 30 MVA. Jam operasional pembangkitan pada jam 17.00-22.00 WIB pada beban puncak (*peak load*). Waduk Menjer memiliki debit *inflow* rata-rata pada musim hujan sebesar 16 m³/s sedangkan pada musim kemarau 10m³/s. Data pola operasi waduk Menjer pada tahun 2019-2020 atau selama 2 tahun digunakan sebagai perhitungan PLTA Garung menghasilkan daya.

Menurut penelitian Don Saefal (2017) yang berjudul “Pengaruh Ketidakstabilan Debit Air Dan Curah Hujan Pada PLTA” hasil dari penelitian menunjukkan debit air berpengaruh terhadap produktivitas energi listrik yang dihasilkan. Semakin besar debit semakin besar pula daya yang dihasilkan sedangkan terhadap curah hujan tidak berpengaruh secara langsung terhadap produktivitas energi listrik yang dihasilkan. karena pola operasi cukup optimal. Dalam

penelitian tersebut dengan menggunakan metode dalam penelitian tersebut adalah metode diskriptif dengan pendekatan kuantitatif untuk mendeskripsikan data pada penelitian adalah data debit air dan curah hujan, terhadap produktifitas energi listrik dengan ketidakstabilan debit pola operasi waduk sangat berpengaruh dalam hasil daya yang dihasilkan PLTA.

Penelitian Cahaya Santoso Samosir (2016) yang berjudul "Optimasi Pola Operasi Waduk Untuk Memenuhi Kebutuhan Energi PLTA". Waduk Wonogiri diharapkan dapat memanfaatkan potensi air yang ada di waduk Gajah mungkur. Salah satunya untuk keperluan pemenuhan pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Tetapi ada penurunan fungsi pelayanan waduk akibat sedimentasi, oleh sebab itu diperlukan suatu penganturan perencanaan dan pengoperasian waduk untuk mendapatkan hasil yang optimal yaitu dengan menerapkan simulasi pola operasi waduk model stokastik dengan bantuan program *solver evolutionary*.

Dari perhitungan dan analisis pada pola operasi waduk Menjer dengan membandingkan perhitungan teoritis selama 2 tahun 2019-2020 dihasilkan rata-rata pertahun nya menghasilkan daya sebesar 36.481,20 MWh untuk pola operasi waduk, 36.338,15 MWh hasil daya untuk perhitungan teoritis. Hasil perbandingan menggunakan metode *compare means* dengan aplikasi SPSS pada kedua perhitungan tersebut dengan selisih sebesar 21,17 MWh.

KESIMPULAN

Perbandingan antara perhitungan teoritis dengan perhitungan pola operasi waduk Menjer menggunakan uji data *comapre means* dengan SPSS menunjukkan bahwa waduk Menjer masih dapat meningkatkan kebutuhan pembangkitan dan irigasi. Hal ini dapat dilihat dari perbedaan nilai rata-rataa *output* energi listrik pada kedua perhitungan tersebut dengan selisih sebesar 21,17 MWh, pada perhitungan teoritis (*fix head*) hanya mengandalkan perbedaan nilai debit dan jatuh efektif, sedangkan Pola Operasi Waduk (*variatif head*) mempertimbangkan nilai elevasi waduk serta jam operasional. Pada

musim kemarau tahun 2019 elevasi 1.182,25 masih di atas batas elevasi terendah untuk pembangkitan serta irigasi waduk Menjer dapat memenuhi pembangkitan pada tahun 2020 volume waduk mengalami penurunan hingga mencapai ketinggian elevasi 1.177,30 meter masih jauh dari batas elevasi terendah.. Produksi energi listrik yang dihasilkan PLTA Garung pertahun nya mencapai rata-rata sebesar 36.481,205 MWh atau 36,48 GWh.

Hasil penelitian ketersediaan air terhadap operasional pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang berstudi di PLTA Garung dimana menghitung pola operasi waduk Menjer menghasilkan daya untuk PLTA. Berdasarkan hasil dari penelitian didapatkan dengan debit maksimum yang dibutuhkan untuk pembangkitan $16,20 \text{ m}^3/\text{detik}$ minimum yang dibutuhkan untuk pembangkitan sebesar $8,10 \text{ m}^3/\text{det}$ daya yang dihasilkan optimal dengan pola operasi waduk saat ini sehingga bisa menjadi acuan operasional PLTA Garung. Operasional PLTA Garung yang hanya beroperasi 5 jam pada jam 17.00-22.00 WIB pada beban puncak, jika *outflow* waduk digunakan 24 untuk dapat menghasilkan daya yaitu rata-rata 50,66 Gwh dalam perhitungan pola operasi waduk selama 2 tahun guna mengoptimalkan sumber daya yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Don Saefal Srayar "Pengaruh Ketidakstabilan Debit Air Dan Curah Hujan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Pejengkolan terhadap Produktifitas Energi Listrik Yang dihasilkan" 2017.
- [2] Muhammad Nur Azmi, dkk " Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Pada Bendungan Lubuk Ambacang Kabupaten Kuantan Singing Provinsi Riau" 2018.
- [3] Cahaya Santoso Samosir "Optimasi Pola Operasi Waduk Untuk Memenuhi Kebutuhan Energi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)" 2018.

- [4] Rumboko Kalbuardhi “Analisis Ketersediaan Air Wasuk Jatiluhur Sebagai Dasar Penerapan Pola Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Air” 2018.
- [5] Winasis,dkk “Optimasi Jangka Menengah PLTA Memperhatikan Ketersediaan Air Menggunakan *Linear Programing* ”2018.
- [6] Irfan Muhammad Ramadon dan Adi Syuriadi “Analisi Faktor *Head Loss* Penstock Terhadap Daya Yang Dihasilkan Di PLTA Saguling “ 2018.
- [7] Marsudi Djiteng. (2006). “*Operasi sistem Tenaga Listrik*”.Jakarta:Erlangga.
- [8] PT.Indonesia Power UBP Mrica. 2009. *Standart Operating Procedure*. Mrica.