

STUDI POTENSI DAN KARAKTERISTIK OUTPUT DAYA DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) UBRUG SUKABUMI

Eka Nur Ajiz ¹⁾, Didik Notosudjono ²⁾, Evyta Wismiana ³⁾

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ubrug dibangun pada tahun 1923 dengan daya terpasang 18,36 MW dengan tiga unit generator. Tiga unit generator tersebut digerakkan oleh tiga buah turbin air. Debit air yang digunakan untuk menggerakkan ketiga turbin dibutuhkan 31,7 m³/detik, dan tinggi jatuh total unit 1 dan 2 adalah 69 m sedangkan unit 3 adalah 69,4 m. Selama ini PLTA tersebut dari tahun ke tahun belum pernah di ketahui apakah potensi Energi yang ada pada PLTA tersebut sama setiap tahunnya dan bagaimana Karakteristik output daya PLTA tersebut. Tujuan dari penulisan adalah untuk mengetahui berapa besar potensi Energi dan karakteristik output daya yang ada di PLTA Ubrug Sukabumi. Lokasi PLTA Ubrug berada di Jl. Raya PL. Ratu Km 22, Desa Ubrug, Kec. Warung Kiara, Kab. Sukabumi Jawa Barat. Fasilitas teknik sipil yang ada diantaranya: bendungan, saluran penghantar, kolam tandon (bak penenang), pipa pesat (*penstock*) dan rumah pembangkit (*powerhouse*), sedangkan untuk peralatan mekanis dan elektrisnya menggunakan turbin dan generator. Berdasarkan hasil analisa PLTA Ubrug, total output daya yang dihasilkan ketiga unit generator pada jam 07.00 sebesar 15,206 MW, jam 10.00 sebesar 14,807 MW, jam 13.00 sebesar 16,138 MW dan pada jam 16.00 sebesar 16,647 MW, lebih kecil dari daya terpasang PLTA Ubrug sebesar 18,36 MW, karena debit air yang ada saat ini berkurang dari debit sebelumnya, karena faktor Daerah Aliran Sungai (DAS) yang telah beralih fungsi menjadi perumahan penduduk dan pembangunan industri sehingga berkurangnya daerah resapan air.

Kata kunci: Output Daya, Potensi Energi, PLTA, Ubrug Sukabumi.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah salah satu sumber energi listrik yang memanfaatkan air sebagai sumber listrik. Pembangkit ini merupakan salah satu sumber energi listrik utama yang ada di Indonesia. Keberadaannya diharapkan mampu memenuhi pasokan listrik bagi masyarakat Indonesia.

PLTA bekerja dengan cara merubah energi potensial (dari dam atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan bantuan turbin air) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik (dengan bantuan generator). Secara luas pembangkit listrik tenaga air tidak hanya terbatas pada air dari sebuah waduk atau air terjun, melainkan juga meliputi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air dalam bentuk lain seperti tenaga ombak.

PLTA Ubrug dibangun pada tahun 1923 dengan daya terpasang 18,36 MW dengan tiga unit generator. Tiga unit generator tersebut digerakkan oleh tiga buah turbin air. Pada kenyataan di lapangan hanya 2 unit turbin yang dapat dioperasikan bersamaan karena terbatasnya jumlah debit air karena faktor Daerah Aliran Sungai (DAS) yang telah beralih fungsi sehingga berkurangnya daerah resapan air.

1.2 Metodologi

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini menggunakan metode, yaitu :

- Tinjauan pustaka, dalam penulisan tugas akhir ini penulis mempelajari dan mengumpulkan data-data ketika melakukan studi kasus tentang Studi Potensi dan Karakteristik Output Daya di Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ubrug Sukabumi dan data-data secara teoritis bersumber dari buku-buku di perpustakaan, dokumen-dokumen yang berkaitan dengan judul penulisan tugas akhir yang diambil dan juga melalui browsing pada situs-situs internet yang berhubungan dengan penulisan tugas akhir ini serta berbagai sumber lainnya.
- Pengukuran, sebelum dilakukan analisa terlebih dahulu dilakukan pengukuran untuk mendapatkan data dilapangan.
- Analisa, dalam hal ini penelitian ditekankan bagaimana menganalisa sistem dengan menggunakan persamaan-persamaan dan data-data yang telah diperoleh dari studi literatur yang ada dengan menerapkan pada studi kasus.
- Diskusi dengan pembimbing, dalam penulisan tugas akhir ini juga melakukan diskusi dengan dosen pembimbing.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Potensi PLTA

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah suatu sistem pembangkit energi listrik dengan cara memanfaatkan aliran dari air yang kemudian diubah menjadi energi listrik melalui putaran turbin dan generator.

Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah motor yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari air. (Suyitno M; 2014)

untuk mengetahui berapa besar daya yang dapat dibangkitkan oleh suatu pembangkit PLTMH atau PLTA dapat digunakan persamaan berikut: (A. Arismunandar dan S. Kuwahara; 2004)

$$P = g \times Q \times H \times \eta \times \rho \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

P = daya keluaran (KW)

Q = debit air per unit (m³/detik)

H = tinggi terjun air (m)

ρ = masa jenis air (1000 kg/m³)

η = efisiensi peralatan

g = gaya gravitasi (9,8 m/s²)

2.2 Kontruksi Bangunan Sipil PLTA

Potensi tenaga air didapat pada sungai yang mengalir di daerah pegunungan. Untuk dapat memanfaatkan potensi tenaga air dari sungai ini, maka di sungai tersebut perlu di bendung dan airnya disalurkan ke bangunan air PLTA. Ditinjau dari caranya membendung air, PLTA dapat dibagi menjadi dua katagori, yaitu : PLTA run *off river* dan PLTA dengan kolam tandon (*reservoir*).

PLTA *run off river*, air sungai dialihkan dengan menggunakan dam yang di bangun memotong aliran sungai. Air sungai ini kemudian disalurkan ke bangunan air PLTA. Sedangkan PLTA dengan kolam tandon (*reservoir*), aliran sungai dibendung dengan bendungan besar agar terjadi penimbunan air sehingga terjadi kolam tandon. (Suyitno M.; 2014)

1. Bendungan

Bendungan mempunyai dua dasar fungsi yaitu merupakan sebuah kolam penampung air yang mempunyai kesanggupan untuk menyediakan air dan menaikkan ketinggian tekanan air yang merupakan potensi dari air sungai. Secara normal suatu bendungan mempunyai kedua fungsi ini, misalnya mempunyai suatu ketinggian tekanan yang tinggi dan kesanggupan sebagai kolam penyimpanan yang besar. Atau sebaliknya mempunyai ketinggian tekanan yang tinggi tetapi kesanggupan menyimpan air kecil. (Suyitno M.; 2014)

2. Intake

Intake merupakan pintu air untuk masuknya aliran air menuju turbin melalui penstok. Kontruksi bangunan intake untuk mengambil air langsung dari sungai dapat berupa bendungan (intake dam) yang melintang sepanjang lebar sungai atau langsung membagi aliran air sungai tanpa dilengkapi bangunan. Pada sebagian besar bendungan, pintu kontrol pintu air juga dibuat untuk pengontrol debit air untuk berbagai keperluan, seperti : irigasi, *power generation*, navigasi, dan lain-lain. (M.M. Dandekar; 1991)

3. Filter (Saringan Sampah)

Untuk mencegah sampah memasuki mulut saluran, batang-batang besi (kisi-kisi) pada jarak tertentu ditempatkan pada posisi miring (pada suatu sudut antara 50-80 derajat dengan horizontal). Kisi-kisi digunakan untuk roda-roda francis yang kecil atau turbin-turbin francis dengan kecepatan rendah untuk mengetahui apakah benda kecil yang terapung atau ikan. Bila kisi-kisi digunakan untuk mencegah kehadiran ikan, maka dikenal sebagai kisi-kisi ikan. (M.M. Dandekar; 1991)

4. Saluran Pengambil Air (*Headrace*)

Saluran-saluran pengambilan, seperti sarana-sarana pengambilan air, aliran permukaan sungai, juga pengambilan-pengambilan air dengan tinggi tekan rendah, tetapi selain mengarahkan air langsung ke turbin-turbin, di sini pengambilan air tersebut diizinkan sampai ke saluran-saluran pengalihan. (M.M. Dandekar; 1991)

Saluran pengambil air di bagi menjadi 2 bentuk yaitu:

- Saluran berpenampang persegi
Saluran berpenampang persegi, dinding sampingnya tegak, dan penggunaan saluran berpenampang persegi ini digunakan atas pertimbangan karena proses pembuatannya mudah, lebar lebih kecil untuk debit yang sama. Di bandingkan dengan bentuk trapesium. Dapat digunakan persamaan berikut: (A. Arismunandar; 2004)

$$A = L \times T \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

A = luas penampang aliran air (m²)

L = lebar penampang aliran air (m)

T = kedalaman (m)

- Saluran berpenampang trapesium
Saluran berpenampang trapesium, berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar. Sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi yang kecil, bentuk saluran ini dapat digunakan pada daerah yang masih cukup tersedia lahan.

(http://lorenskambuaya.blogspot.co.id/2014/05/bentuk-dan-dimensi-saluran-terbuka_18.html)

Untuk menentukan luas trapesium dapat digunakan persamaan berikut:

(Moch. Taufan B. Santiago; 2014)

$$A = (b + m \cdot h) h \dots\dots\dots (3)$$

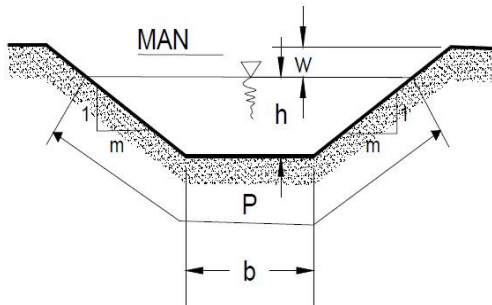
Dimana :

A = luas penampang saluran (m)

b = lebar dasar (m)

h = tinggi air (m)

m = kemiringan talud (nilai $m = 1,5$)



Gambar 1 Penampang Trapesium
(Moch. Taufan B. Santiago; 2014)

5. Saluran Pelimpah

Bagian dari bendungan dimana debit aliran banjir mengalir ke bagian hilir disebut pelimpah. Untuk memperoleh keuntungan penuh dari kapasitas tampung bendungan, pelimpah belum mulai berfungsi menyalurkan air sampai keadaan dimana air mencapai batas permukaan tertentu yang disebut permukaan daya tampung penuh. Air harus melampaui batas permukaan daya tampung penuh, baru pelimpah menjalankan fungsinya.

6. Bak penenang (Kolam Tandon)

Bak penenang berfungsi untuk :

- Mengendapkan pasir, batu, kerikil, atau tanah yang terbawa aliran air,
- Menampung air agar debit yang diinginkan tetap stabil.

Untuk luas bak penenang dapat disesuaikan dengan kebutuhan, dan yang harus diperhatikan untuk bak penenang adalah : rembesan air, air limpasan jangan sampai mengikis tebing yang mengakibatkan terjadinya longsor bangun tersebut dan untuk menjaga agar tidak terjadinya longsor pada tebing maka harus dipasang pondasi yang kuat.

Untuk menentukan besarnya volume yang ada pada bak penenang maka dapat digunakan persamaan berikut : (A. Arismunandar dan S. Kuwahara; 2004)

$$V = P \times L \times T \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

V = Volume air (m³)

P = Panjang bak penenang (m)

L = Lebar bak penenang (m)

T = Kedalaman bak penenang (m)

7. Tangki Pendatar (Surge Tank)

Tangki pendatar atau tangki lepas tekanan mendadak (*surge tank*) ditempatkan pada terminal terowongan tekan pada pusat listrik jenis bendungan bersaluran (dam *waterway type*), dan bertugas mengatur jumlah air untuk menyerap pukulan air (*water hammer*), apabila debit air pada turbin tiba-tiba berubah. (A. Arismunandar dan S. Kuwahara; 2004)

8. Penstok (Pipa Pesat)

Pipa tekan yang dipakai untuk mengalirkan air dari bak penenang ke turbin air disebut pipa pesat. Adapun fungsi pipa pesat adalah mengalirkan air dari bak penenang ke dalam turbin. Untuk menentukan luas penampang pipa pesat dapat digunakan persamaan berikut:

(Jalaludin Almahalli; 2009)

$$A_n = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

Dimana :

A_n = Luas penampang pipa pesat (m²)

D = Diameter pipa (m)

- Untuk menentukan Kecepatan dalam aliran pipa pesat dapat digunakan persamaan berikut:

(R. Permatasari; 2008)

$$V = \left(\frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}\right) \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

V = Kecepatan dalam aliran (m/det)

Q = Debit aliran (m³/det)

D = Diameter pipa pesat (m)

- Untuk menentukan Tebal pipa pesat dapat digunakan persamaan berikut:

(M.M. Dandekar : 1991)

$$t = \frac{pR}{S\eta - (0,6p)} + \epsilon \dots\dots\dots (7)$$

Di mana:

t = Ketebalan pipa (cm)

p = Tekanan (kg/cm²)

R = Jari-jari internal (cm)

S = Tekanan desain (1.000kg/cm³)

η = Faktor efisiensi pengelasan (0,85)

ε = Faktor korosi (0,15 cm)

- Losses (kehilangan inggi tekan) pada saluran penstok akibat saringan (trashrack) dapat digunakan persamaan berikut : (Jurnal Ilmiah PLTMH Yogi Suryo Setyo Putro)

$$h_s = k_t \left(\frac{t_k}{b_k}\right)^{4/3} \sin \alpha \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (8)$$

h_s = kehilangan tinggi tekan akibat saringan (m)

k_t = koefisien kehilangan energi karena bentuk kisi (0,5 untuk bentuk persegi/ tegak, 0,05 untuk bentuk yang dibulatkan)

t_k = tebal kisi (m)

b_k = jarak kisi (m)

α = sudut pemasangan

v = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9,8 m/s²)

- Losses (kehilangan tinggi tekan) pada saluran penstock akibat pemasangan dapat digunakan persamaan berikut:

$$h_p = K \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

h_p = Kehilangan tinggi tekan akibat pemasangan (m)

K = Koefisien kecepatan (0,95)

- Losses (kehilangan tinggi tekan) pada saluran penstock akibat belokan dapat digunakan persamaan berikut:

$$h_b = K_b \times \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

h_b = Kehilangan tinggi tekan akibat belokan (m)

K_b = Koefisien belokan (0,67 dengan belokan 50°)

9. Bangunan Sentral (*Power House*)

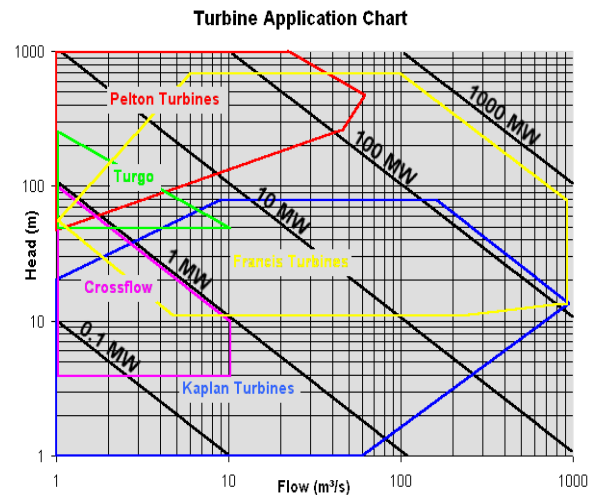
Bangunan sentral (*power house*) adalah nama umum bagi fasilitas yang berisikan turbin air, generator dan mesin-mesin pembantu lainnya. Ada berbagai macam bangunan sentral menurut bagiannya yang terletak di atas tanah dan menurut bentuk pondasi turbin air dan generator. (A. Arismunandar dan S. Kuwahara; 2004; 46)

10. Saluran Pembuang (*tailrace*)

Saluran bawah (*tailrace*) adalah sebuah saluran yang dilalui oleh air yang ke luar dari turbin air, terus ke sungai atau ke laut. Saluran ini biasanya terdiri dari waduk awal (*forebay*) yang dihubungkan dengan pipa lepas (*draft tube*), saluran bawah dan pintu keluar (*outlet*).

2.3 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah, dalam hal tersebut air memiliki energi potensial. Di dalam turbin energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin. Roda turbin dihubungkan dengan generator yang mengubah energi mekanis (gerak) menjadi energi listrik. (Arismunandar Wiranto; 1980)



Gambar 2 Diagram Aplikasi Berbagai Jenis Turbin (Head vs Debit)
(Hasbi, Isa Muhammad Said; 2014)

2.4 Generator

Generator adalah sumber tegangan listrik yang diperoleh melalui perubahan energi mekanik menjadi energi listrik. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul GGL induksi. Generator mempunyai dua komponen utama, yaitu bagian yang diam (*stator*) dan bagian yang bergerak (*rotor*). (Aji nurmawan; 2015)

2.5 Debit Air

Debit air merupakan jumlah air yang mengalir persatuan waktu. Debit di pengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya oleh curah hujan, keadaan geologi, temperatur dan lain-lain. Debit dapat berubah dari hari ke hari dan dari musim ke musim. Dan pengukuran debit sungai sangat penting untuk dapat menentukan tenaga yang dihasilkan oleh pusat listrik tenaga air. Debit air dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = V \times A \dots\dots\dots (11)$$

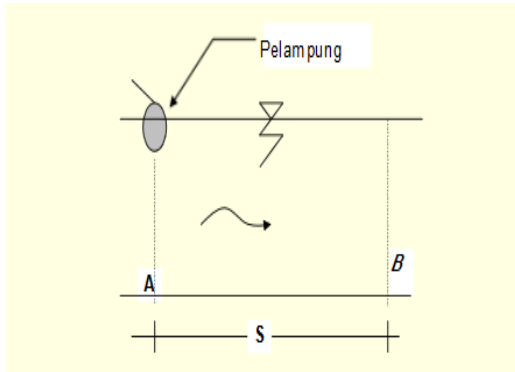
Dimana :

Q = debit air (m³/detik)

V = kecepatan aliran air (m/detik)

A = luas penampang sungai (m²)

Pengukuran debit air dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang mengalir persatuan waktu melalui permukaan sungai dan pengukuran tersebut dapat dilakukan dengan cara pengukuran debit dengan pelampung yang dapat dilihat seperti gambar berikut :



Gambar 3 Pengukuran Debit Air dengan Pelampung (Irdarmadim; 2016)

Kecepatan (V) adalah hasil pembagian antara panjang saluran/aliran (S) dibagi dengan waktu (T), maka kecepatan yang dibutuhkan oleh pelampung dapat dihitung dengan persamaan berikut : (Moch. Taufan B. Santiago; 2014)

$$V = \frac{S}{T} \dots\dots\dots (12)$$

Keterangan :

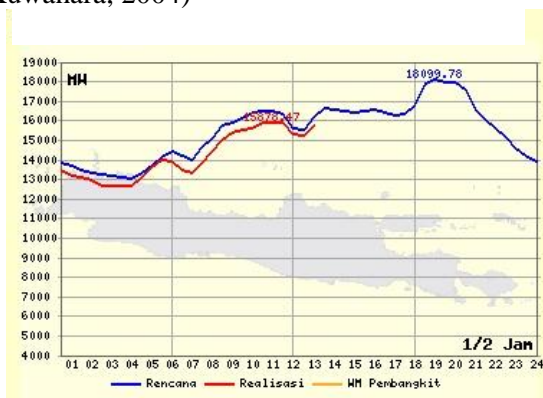
V = Kecepatan aliran pelampung (m/det)

S = jarak dari titik A ke titik B (m)

T = Waktu tempuh pelampung (det)

2.6 Karakteristik Output Daya

Lengkung beban (*load curve*) menunjukkan variasi dari beban setiap saat. Bentuk lengkung beban tersebut tergantung dari jenis beban yang ada. Dalam banyak hal dipergunakan lengkung beban untuk 24 jam dalam sehari dan disebut lengkung beban harian. Demikian pula dipakai lengkung beban bulanan dan tahunan. Lengkung beban ini merupakan unsur dasar yang penting, bukan saja untuk operasi sistem tenaga, tetapi juga sebagai bahan perancangan, pertimbangan-pertimbangan ekonomis pembangkitan, dan sebagainya. Lengkung beban dapat dilihat pada gambar berikut : (A. Arismunandar dan S. Kuwahara; 2004)



Gambar 4 Lengkung Beban (Agus Praditya; 2011)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisa Kecepatan Air Saluran Penghantar

Pengukuran kecepatan aliran air, dilakukan sebanyak 3 kali pengukuran pada masing-masing titik, dengan jarak pengukuran 10 meter sehingga diperoleh kecepatan aliran air saluran penghantar (V) dari hasil pengukuran dapat dihitung dengan persamaan 12, misalnya pada saluran penghantar pada jam 07.00 di titik A dengan 3 kali percobaan, contoh pada percobaan 1 dengan jarak (S) sepanjang 10 meter dengan waktu (T) 14,32 detik maka :

$$V_1 = \frac{10}{14,32} = 0,698 \text{ m/det}$$

Jadi waktu kecepatan air dititik A pada percobaan 1 adalah 0,698 m/det pada jam 07.00, dengan cara yang sama dapat dihitung kecepatan air dititik A pada percobaan 2 dan percobaan 3 dan dengan cara yang sama dapat dihitung kecepatan aliran pada titik B dan titik C yang dapat dilihat pada tabel 1 hasil perhitungan kecepatan aliran air jam 07.00 berikut :

Tabel 1 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Air pada Saluran Terbuka Jam 07.00

Percobaan	Jarak (m)	Kecepatan aliran (m/det)		
		Titik A	Titik B	Titik C
1	10	0,698	0,688	0,684
2	10	0,686	0,677	0,677
3	10	0,691	0,684	0,696
Rata-rata		0,691	0,683	0,685

Sumber : Hasil Analisa Tahun 2017
kecepatan rata-rata aliran air di saluran penghantar dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_r = \frac{0,691 + 0,683 + 0,685}{3} = 0,686 \text{ m/det}$$

Jadi kecepatan rata-rata aliran air disaluran penghantar adalah 0,686 m/det.

Hasil perhitungan kecepatan aliran air jam 10.00 dapat dilihat pada tabel 2 berikut :

Tabel 2 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Air pada Saluran Terbuka Jam 10.00

percobaan	Jarak (m)	Kecepatan aliran (m/det)		
		Titik A	Titik B	Titik C
1	10	0,672	0,669	0,667
2	10	0,668	0,655	0,671
3	10	0,677	0,667	0,677
Rata-rata		0,672	0,663	0,671

Sumber : Hasil Analisa Tahun 2017
kecepatan rata-rata aliran air di saluran penghantar dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_r = \frac{0,672 + 0,663 + 0,671}{3} = 0,668 \text{ m/det}$$

Jadi kecepatan rata-rata aliran air disaluran penghantar adalah 0,668 m/det.

Hasil perhitungan kecepatan aliran air jam 13.00 dapat dilihat pada tabel 3 berikut :

Tabel 3 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Air pada Saluran Terbuka pada Jam 13.00

percobaan	Jarak (m)	Kecepatan aliran (m/det)		
		Titik A	Titik B	Titik C
1	10	0,745	0,723	0,725
2	10	0,730	0,715	0,735
3	10	0,737	0,725	0,718
Rata- rata		0,737	0,721	0,726

Sumber : Hasil Analisa Tahun 2017 kecepatan rata-rata aliran air di saluran penghantar dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_r = \frac{0,737 + 0,721 + 0,726}{3} = 0,728 \text{ m/det}$$

Jadi kecepatan rata-rata aliran air disaluran penghantar adalah 0,728 m/det.

Hasil perhitungan kecepatan aliran air jam 16.00 dapat dilihat pada tabel 4 berikut :

Tabel 4 Hasil Perhitungan Kecepatan Aliran Air pada Saluran Terbuka pada Jam 16.00

percobaan	Jarak (m)	Kecepatan aliran (m/det)		
		Titik A	Titik B	Titik C
1	10	0,749	0,745	0,748
2	10	0,764	0,757	0,761
3	10	0,735	0,747	0,756
Rata- rata		0,749	0,749	0,755

Sumber : Hasil Analisa Tahun 2017 kecepatan rata-rata aliran air di saluran penghantar dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_r = \frac{0,749 + 0,749 + 0,755}{3} = 0,751 \text{ m/det}$$

Jadi kecepatan rata-rata aliran air disaluran penghantar adalah 0,751 m/det.

3.2 Analisa Penampang Aliran Air

Luas penampang aliran air saluran penghantar dengan lebar dasar (b) 2 meter, tinggi air (h) 2,2 meter dan kemiringan (m) 1,5 dapat dihitung dengan persamaan 2.5 berikut :

$$A = (b + m \cdot h) \cdot h = (2 + 1,5 \cdot 2,2) \cdot 2,2 = 11,66 \text{ m}^2$$

Jadi dari hasil analisa tersebut didapat luas aliran air disaluran penghantar sebesar 11,66 m², dengan kedalaman air 2,2 meter.

3.3 Analisa Debit Air Saluran Penghantar

Setelah didapatkan luas penampang (A) pada saluran air yaitu 11,66 m² dan kecepatan rata-rata (V) aliran air saluran penghantar pada jam 07.00, 10.00, 13.00 dan 16.00 maka debit air saluran penghantar dapat dihitung dengan persamaan 11 berikut :

- Debit air pada jam 07.00 dengan kecepatan air 0,686 m/det

$$Q = V \times A = 0,686 \times 11,66 = 7,998 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi dari hasil analisa tersebut didapat debit air saluran penghantar pada jam 07.00 sebesar 7,998 m³/det.

- Debit air pada jam 10.00 dengan kecepatan air 0,668 m/det

$$Q = V \times A = 0,668 \times 11,66 = 7,788 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi dari hasil analisa tersebut didapat debit air saluran penghantar pada jam 10.00 sebesar 7,788 m³/det.

- Debit air pada jam 13.00 dengan kecepatan air 0,728 m/det

$$Q = V \times A = 0,728 \times 11,66 = 8,488 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi dari hasil analisa tersebut didapat debit air saluran penghantar pada jam 13.00 sebesar 8,488 m³/det.

- Debit air pada jam 16.00 dengan kecepatan air 0,751 m/det

$$Q = V \times A = 0,751 \times 11,66 = 8,756 \text{ m}^3/\text{det}$$

Jadi dari hasil analisa tersebut didapat debit air saluran penghantar pada jam 16.00 sebesar 8,756 m³/det.

3.4 Analisa Bak Penenang (Kolam Tandon)

Dengan melihat lokasi dan melakukan pengukuran maka didapat luas kolam tandon atau bak penenang dengan luas kolam tandon kecil 18.450 m² dan luas kolam tando besar 32.850 m², sehingga luas total kolam tandon sebesar 51.300 m², dan kedalaman kolam (T) 5 m. Apabila bak penenang diasumsikan terisi penuh, maka volume kolam tandon dapat dihitung dengan persamaan 4 berikut:

$$V = \text{Luas} \times T = 51.300 \times 5 = 256.500 \text{ m}^3$$

Jadi volume kolam tandon dengan kedalaman 5 m adalah 256.500 m³.

Tetapi dalam pelaksanaannya tinggi air didalam kolam tandon diasumsikan 4 meter, karena untuk faktor keamanan kolam tandon dan batas

maksimum limpasan pada kolam tandon itu sendiri. Sehingga Volume kolam tandon menjadi:

$$\begin{aligned} V &= \text{Luas} \times T \\ V &= 51.300 \times 4 \\ V &= 205.200 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jadi dari hasil analisa tersebut didapat volume kolam tandon dengan kedalaman 4 meter sebagai batas maksimum limpasan pada kolam tandon sebesar 205.200 m³.

3.5 Analisa Pipa Pesat (Penstok)

Untuk luas penampang pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan 5 berikut dengan diameter (D) penstok 1,7 meter:

$$\begin{aligned} A_n &= \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \\ &= 3,14 \times \left(\frac{1,7}{2}\right)^2 = 2,268 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jadi luas penampang pipa pesat dengan diameter pipa pesat 1,7 meter adalah 2,268 m²

Untuk kecepatan air dalam aliran pipa pesat dengan debit (Q) sebesar 7,905 m³/det dan diameter pipa pesat (D) 1,7 meter dapat dihitung dengan persamaan 6 berikut :

$$\begin{aligned} V &= \left(\frac{Q}{\frac{1}{4}\pi D^2}\right) \\ V &= \left(\frac{7,905}{\frac{1}{4} \times 3,14 \times 1,7^2}\right) \\ V &= \left(\frac{7,905}{2,268}\right) \\ V &= 3,485 \text{ m/det.} \end{aligned}$$

Jadi kecepatan air dalam aliran pipa pesat adalah 3,485 m/det.

Untuk tebal pipa pesat dengan diameter 1,7 meter dan didapatkan jari-jari internal pipa pesat (R) adalah 85 cm, tekanan desain (S) 1000 kg/cm³, faktor efisiensi pengelasan (η) 0,85, faktor korosi (ϵ) 0,15 dan intensitas tekanan air (p) 20 kg/cm² dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 7 berikut :

$$\begin{aligned} t &= \frac{pR}{S\eta - (0,6p)} + \epsilon \\ t &= \frac{20 \times 85}{1000 \times 0,85 - (0,6 \times 20)} + 0,15 \\ t &= \left(\frac{1700}{850 - 12}\right) + 0,15 \end{aligned}$$

$$t = 2,17 \text{ cm}$$

Jadi tebal pipa pesat dengan diameter 1,7 meter adalah 2,17 cm.

Untuk losses (kehilangan energi) pada saluran pipa pesat akibat saringan (*trashrack*) dengan koefisien kehilangan energi karena bentuk kisi (k_t) sebesar 0,5, tebal kisi (t_k) 0,01 meter, jarak

antar kisi (b_k) 0,028 meter, sudut pemasangan (α) 45°, kecepatan aliran (V) pada penstok 3,485 m/det dan gravitasi (g) 9,8 m/d² dapat dihitung dengan persamaan 8 berikut:

$$\begin{aligned} h_t &= k_t \left(\frac{t_k}{b_k}\right)^{4/3} \sin \alpha \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,5 \left(\frac{0,01}{0,028}\right)^{4/3} \sin 45 \frac{3,485^2}{2 \times 9,8} \\ &= 0,5 \times 0,253 \times 0,7 \times 0,619 \\ &= 0,0548 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi Losses (kehilangan tinggi tekan) pada saluran penstok akibat saringan (*trashrack*) adalah 0,0548 m.

Losses (kehilangan tinggi tekan) pada saluran penstok akibat pemasukan pada pipa dengan koefisien kecepatan (K) 0,95 dapat dihitung dengan persamaan 9 berikut:

$$\begin{aligned} h_p &= K \times \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,95 \times \frac{3,485^2}{2 \times 9,8} \\ &= 0,95 \times 0,619 \\ &= 0,5880 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi Losses (kehilangan tinggi tekan) pada saluran penstok akibat pemasukan pada pipa adalah 0,588 m.

Losses (kehilangan tinggi tekan) pada saluran penstok akibat belokan dengan koefisien belokan (K_b) 0,67 dapat dihitung dengan persamaan 10 berikut:

$$\begin{aligned} h_b &= K_b \times \frac{V^2}{2g} \\ &= 0,67 \times \frac{3,485^2}{2 \times 9,8} \\ &= 0,67 \times 0,619 \\ &= 0,4147 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi Losses (kehilangan tinggi tekan) pada saluran penstok akibat belokan pada pipa adalah 0,4147 m.

Kehilangan tinggi tekan total dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} h_{\text{total}} &= 0,0548 + 0,5880 + 0,4147 \\ &= 1,0575 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi tinggi jatuh efektif yang tersedia untuk unit 1 dan 2 dengan tinggi total 69 meter adalah :

$$\begin{aligned} H_{\text{eff}} &= 69 - 1,0575 \\ &= 67,9425 \text{ m} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk tinggi total pada unit 3 adalah 69,4 meter, sehingga tinggi jatuh efektif yang tersedia menjadi :

$$\begin{aligned} H_{\text{eff}} &= 69,4 - 1,0575 \\ &= 68,3425 \text{ m} \end{aligned}$$

3.6 Analisa Output Daya

- Analisa output daya pada jam 07.00

Secara teoritis output daya yang dibangkitkan oleh generator dapat dihitung dengan persamaan 1, dengan memasukan nilai

efisiensi turbin bersama generator 0,95, tinggi jatuh efektif unit 1 dan 2 sebesar 67,9425 m dan debit air pada jam 07.00 sebesar 7,998 m³/det, dan masa jenis air sebesar 1000 kg/m³, maka daya output yang dibangkitkan oleh generator unit 1 dan 2 adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H \times \eta \times \rho \\
 &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 7,998 \text{ m}^3/\text{detik} \times 67,9425 \text{ m} \times \\
 &\quad 0,95 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 5.059.092 \text{ kg m}^2/\text{detik}^3 \\
 &= 5.059.092 \text{ joule/ detik} \\
 &= 5.059.092 \text{ Watt} \\
 &= 5.059,092 \text{ KW} \\
 &= 5,059 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Jadi output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 1 dan 2 adalah sebesar 5,059 MW. Sedangkan untuk output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 3 dengan head efektif sebesar 68,3425 m adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H \times \eta \times \rho \\
 &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 7,998 \text{ m}^3/\text{detik} \times 68,3425 \text{ m} \times \\
 &\quad 0,95 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 5.088.876 \text{ kg m}^2/\text{detik}^3 \\
 &= 5.088.876 \text{ joule/ detik} \\
 &= 5.059.092 \text{ Watt} \\
 &= 5.088,876 \text{ KW} \\
 &= 5,088 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Jadi output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 3 adalah sebesar 5,088 MW.

Total daya yang dibangkitkan di PLTA Ubrug adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{total}} &= \text{unit 1} + \text{unit 2} + \text{unit 3} \\
 &= 5,059 + 5,059 + 5,088 \\
 &= 15,206 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

- Analisa output daya pada jam 10.00

Dengan memasukan nilai efisiensi turbin bersama generator 0,95, tinggi jatuh efektif unit 1 dan 2 sebesar 67,9425 m dan debit air pada jam 10.00 sebesar 7,788 m³/det, maka daya output yang dibangkitkan generator unit 1 dan 2 adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H \times \eta \times \rho \\
 &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 7,788 \text{ m}^3/\text{detik} \times 67,9425 \text{ m} \times \\
 &\quad 0,95 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 4.926.257 \text{ kg m}^2/\text{detik}^3 \\
 &= 4.926.257 \text{ joule/ detik} \\
 &= 4.926.257 \text{ Watt} \\
 &= 4.926,257 \text{ KW} \\
 &= 4,926 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Jadi output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 1 dan 2 adalah sebesar 4,926 MW. Sedangkan untuk output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 3 dengan head efektif sebesar 68,3425 m adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H \times \eta \times \rho \\
 &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 7,788 \text{ m}^3/\text{detik} \times 68,3425 \text{ m} \times \\
 &\quad 0,95 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 4.955.260 \text{ kg m}^2/\text{detik}^3 \\
 &= 4.955.260 \text{ joule/ detik} \\
 &= 4.955.260 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$= 4.955,260 \text{ KW}$$

$$= 4,955 \text{ MW}$$

Jadi output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 3 adalah sebesar 4,955 MW.

Total daya yang dibangkitkan di PLTA Ubrug adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{total}} &= \text{unit 1} + \text{unit 2} + \text{unit 3} \\
 &= 4,926 + 4,926 + 4,955 \\
 &= 14,807 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

- Analisa output daya pada jam 13.00

Dengan memasukan nilai efisiensi turbin bersama generator 0,95, tinggi jatuh efektif unit 1 dan 2 sebesar 67,9425 m dan debit air pada jam 13.00 sebesar 8,488 m³/detik, maka daya output yang dibangkitkan oleh generator unit 1 dan 2 adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H \times \eta \times \rho \\
 &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 8,488 \text{ m}^3/\text{detik} \times 67,9425 \text{ m} \times \\
 &\quad 0,95 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 5.369.039 \text{ kg m}^2/\text{detik}^3 \\
 &= 5.369.039 \text{ joule/ detik} \\
 &= 5.369.039 \text{ Watt} \\
 &= 5.369,039 \text{ KW} \\
 &= 5,369 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Jadi output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 1 dan 2 adalah sebesar 5,369 MW. Sedangkan untuk output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 3 dengan head efektif sebesar 68,3425 m adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H \times \eta \times \rho \\
 &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 8,488 \text{ m}^3/\text{detik} \times 68,3425 \text{ m} \times \\
 &\quad 0,95 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 5.400.648 \text{ kg m}^2/\text{detik}^3 \\
 &= 5.400.648 \text{ joule/ detik} \\
 &= 5.400.648 \text{ Watt} \\
 &= 5.400,648 \text{ KW} \\
 &= 5,400 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Jadi output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 3 adalah sebesar 5,400 MW.

Total daya yang dibangkitkan di PLTA Ubrug adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{total}} &= \text{unit 1} + \text{unit 2} + \text{unit 3} \\
 &= 5,369 + 5,369 + 5,400 \\
 &= 16,138 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

- Analisa output daya pada jam 16.00

Dengan memasukan nilai efisiensi turbin bersama generator 0,95, tinggi jatuh efektif unit 1 dan 2 sebesar 67,9425 m dan debit air pada jam 13.00 sebesar 8,756 m³/detik, maka daya output yang dibangkitkan oleh generator unit 1 dan 2 adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H \times \eta \times \rho \\
 &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 8,756 \text{ m}^3/\text{detik} \times 67,9425 \text{ m} \times \\
 &\quad 0,95 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 5.538.561 \text{ kg m}^2/\text{detik}^3 \\
 &= 5.538.561 \text{ joule/ detik} \\
 &= 5.538.561 \text{ Watt} \\
 &= 5.538,561 \text{ KW} \\
 &= 5,538 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Jadi output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 1 dan 2 adalah sebesar 5,538 MW. Sedangkan untuk output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 3 dengan head efektif sebesar 68,3425 m adalah :

$$\begin{aligned}
 P &= g \times Q \times H \times \eta \times \rho \\
 &= 9,8 \text{ m/detik}^2 \times 8,756 \text{ m}^3/\text{detik} \times 68,3425 \text{ m} \times 0,95 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 5.571.168 \text{ kg m}^2/\text{detik}^3 \\
 &= 5.571.168 \text{ joule/ detik} \\
 &= 5.571.168 \text{ Watt} \\
 &= 5,571,168 \text{ KW} \\
 &= 5,571 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Jadi output daya yang dibangkitkan oleh generator unit 3 adalah sebesar 5,571 MW.

Total daya yang dibangkitkan di PLTA Ubrug adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{total}} &= \text{unit 1} + \text{unit 2} + \text{unit 3} \\
 &= 5,538 + 5,538 + 5,571 \\
 &= 16,647 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

3.7 Analisa Karakteristik Output Daya

Untuk Output Daya Harian di PLTA Ubrug Sukabumi dapat dilihat pada tabel 5 berikut :

Tabel 5 Operasi Output Daya Harian di PLTA Ubrug Sukabumi

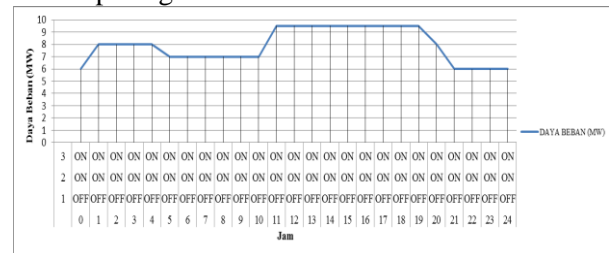
J A M	GENERATOR			DAYA BEBAN (MW)
	1	2	3	
00	OFF	ON	ON	6
01	OFF	ON	ON	8
02	OFF	ON	ON	8
03	OFF	ON	ON	8
04	OFF	ON	ON	8
05	OFF	ON	ON	7
06	OFF	ON	ON	7
07	OFF	ON	ON	7
08	OFF	ON	ON	7
09	OFF	ON	ON	7
10	OFF	ON	ON	7
11	OFF	ON	ON	9,5
12	OFF	ON	ON	9,5
13	OFF	ON	ON	9,5
14	OFF	ON	ON	9,5
15	OFF	ON	ON	9,5
16	OFF	ON	ON	9,5
17	OFF	ON	ON	9,5
18	OFF	ON	ON	9,5
19	OFF	ON	ON	9,5
20	OFF	ON	ON	8
21	OFF	ON	ON	6
22	OFF	ON	ON	6
23	OFF	ON	ON	6
24	OFF	ON	ON	6

Sumber: Data PLTA Ubrug

Berdasarkan data tabel 5 output daya puncak terjadi pada jam 11.00 – jam 19.00 sebesar 9,5

MW dan output daya terendah pada jam 21.00 - jam 24.00 sebesar 6 MW.

Berdasarkan data tabel 4.5 Operasi Output Daya Harian di PLTA Ubrug Sukabumi yang sesuai dengan data di lapangan, dapat ditentukan karakteristik Output Daya Harian yang dapat dilihat pada gambar 5 di bawah ini :



Gambar 5 Karakteristik Output Daya Harian

Berdasarkan data gambar 5 Karakteristik Output Daya Harian pada Tanggal 09 Desember 2016, output daya puncak terjadi pada jam 11.00 – jam 19.00 sebesar 9,5 MW dan daya terendah pada jam 21.00 - jam 24.00 sebesar 6 MW.

Untuk output daya mingguan di PLTA Ubrug dapat dilihat pada tabel 6 berikut :

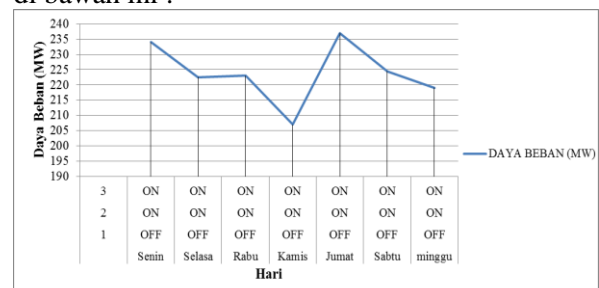
Tabel 6 Operasi Output Daya Mingguan di PLTA Ubrug Sukabumi

Hari	GENERATOR			DAYA BEBAN (MW)
	1	2	3	
Senin	OFF	ON	ON	234,5
Selasa	OFF	ON	ON	222,5
Rabu	OFF	ON	ON	223
Kamis	OFF	ON	ON	207
Jumat	OFF	ON	ON	237
Sabtu	OFF	ON	ON	224,5
minggu	OFF	ON	ON	219

Sumber: Data PLTA Ubrug

Berdasarkan data tabel 6 yang diambil pada bulan desember 2016 minggu pertama output daya puncak terjadi pada hari jum'at sebesar 237 MW dan daya terendah pada hari kamis sebesar 207 MW, naik dan turunnya jumlah output daya tergantung jumlah debit air yang ada di KTH.

Berdasarkan data dari tabel 6 Operasi Output Daya Mingguan di PLTA Ubrug Sukabumi yang diambil pada bulan desember 2016 minggu pertama dapat ditentukan karakteristik output daya mingguan yang dapat dilihat pada gambar 6 di bawah ini :



Gambar 6 Karakteristik Output Daya Mingguan

Berdasarkan data gambar 6 Karakteristik Output Daya Mingguan di PLTA Ubrug Sukabumi yang diambil pada bulan desember 2016 minggu pertama, output daya puncak terjadi pada hari jum'at sebesar 237 MW dan daya terendah pada hari kamis sebesar 207 MW.

Untuk output daya bulanan di PLTA Ubrug dapat dilihat pada tabel 7 berikut :

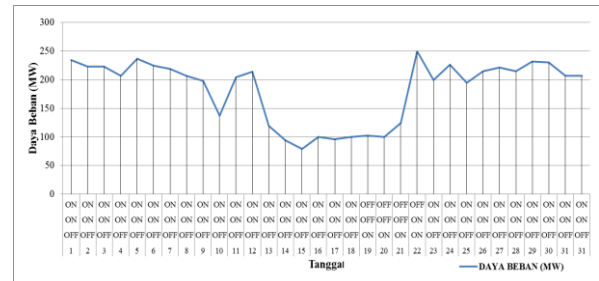
Tabel 7 Operasi Output Daya Bulanan di PLTA Ubrug Sukabumi

TANGGA L	GENERATOR			DAYA BEBAN (MW)
	1	2	3	
1	OFF	ON	ON	234,5
2	OFF	ON	ON	222,5
3	OFF	ON	ON	223
4	OFF	ON	ON	207
5	OFF	ON	ON	237
6	OFF	ON	ON	224,5
7	OFF	ON	ON	219
8	OFF	ON	ON	207
9	OFF	ON	ON	197,5
10	OFF	ON	ON	137
11	OFF	ON	ON	204
12	OFF	ON	ON	214
13	OFF	ON	ON	119
14	OFF	ON	ON	94,5
15	OFF	ON	ON	79
16	OFF	ON	ON	100
17	OFF	ON	ON	96
18	OFF	ON	ON	100
19	ON	OFF	OFF	102
20	ON	OFF	OFF	100
21	ON	OFF	OFF	124,5
22	ON	ON	OFF	249,5
23	OFF	ON	ON	199,5
24	OFF	ON	ON	226,5
25	OFF	ON	ON	194,5
26	OFF	ON	ON	215
27	OFF	ON	ON	221
28	OFF	ON	ON	214,5
29	OFF	ON	ON	232
30	OFF	ON	ON	230,5
31	OFF	ON	ON	207

Sumber: Data PLTA Ubrug

Berdasarkan data dari tabel 7 operasi generator bulanan di PLTA ubrug sukabumi yang diambil pada bulan desember 2016, beban puncak terjadi pada tanggal 22 desember 2016 sebesar 249,5 MW dan beban terendah terjadi pada tanggal 15 desember 2016 sebesar 79 MW.

Berdasarkan data dari tabel 7 operasi generator bulanan di PLTA ubrug sukabumi yang diambil pada bulan desember 2016, dapat ditentukan karakteristik output daya bulanan yang dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini :



Gambar 7 Karakteristik Output Daya Harian

Berdasarkan data dari gambar 7 Karakteristik Output Daya Bulanan yang diambil pada bulan desember 2016 output daya puncak terjadi pada tanggal 22 desember 2016 sebesar 249,5 MW dan daya terendah pada tanggal 15 desember 2016 sebesar 79 MW.

3.8 Analisa Daerah Aliran Sungai (DAS)

Besarnya energi yang dapat dibangkitkan oleh PLTA ditentukan oleh head yaitu beda ketinggian antara bagian atas aliran air sebelum masuk pipa pesat dengan ketinggian air saat keluar pipa pesat dan ditentukan pula oleh debit aliran air yang mengalir melalui pipa pesat yang menggerakkan turbin. Debit aliran air yang masuk ke dalam pipa pesat untuk memutarakan turbin air dapat di atur sesuai dengan kebutuhan energi listrik yang diperlukan, namun kendalanya volume air yang dapat ditampung oleh kolam tandon tidak mencukupi untuk menghasilkan energi listrik yang dibutuhkan. Meskipun pada musim hujan debit air mencukupi untuk membangkitkan daya PLTA secara optimal, akan tetapi debit tersebut tidak akan bertahan lama dikarenakan keadaan DAS yang tidak memungkinkan. PLTA sangat tergantung pada daerah hutan yang di tumbuh pepohonan yang lebat sebagai daerah resapan air yang berada dalam lingkungan DAS, akan tetapi pada saat ini daerah hutan tersebut sudah banyak beralih fungsi menjadi daerah pemukiman warga yang padat penduduk dan pembangunan lahan industri besar, sehingga berdampak pada berkurangnya daerah resapan air yang mempengaruhi jumlah debit air sebagai sumber energi utama PLTA. Berbeda dengan tahun sebelumnya dengan keadaan DAS yang masih banyak ditumbuhi pepohonan sebagai daerah resapan air sehingga daya yang dihasilkan PLTA dapat dibangkitkan secara optimal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan perhitungan yang telah dilakukan pada bab IV, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam perhitungan debit air pada saluran penghantar PLTA Ubrug, didapatkan debit air yang ada pada jam 07.00 yaitu sebesar 7,998 m³/det, jam 10.00 sebesar 7,788 m³/det, jam 13.00 sebesar 8,488 m³/det dan pada jam 16.00 sebesar 8,756 m³/det.
2. Volume air yang terdapat dikolam tandon, dengan kedalaman batas air pada kolam tandon 4 meter, maka volume kolam tandon yaitu sebesar 205.200 m³.
3. Pipa pesat (*penstok*) mengalirkan air dalam pipa pesat dengan kecepatan aliran air 3,485 m/det dengan diameter pipa pesat sebesar 1,7 m, tebal pipa 2,17 cm dan panjang 354,62 m.
4. Tinggi jatuh efektif yang digunakan untuk membangkitkan daya PLTA Ubrug pada unit 1 dan 2 sebesar 67,9425 m dan pada unit 3 sebesar 68,3425 m.
5. Daya yang dibangkitkan oleh ketiga generator pada jam 07.00 sebesar 15,206 MW, jam 10.00 sebesar 14,807 MW, jam 13.00 sebesar 16,138 MW dan pada jam 16.00 sebesar 16,647 MW. Daya tersebut lebih kecil dari daya yang terpasang pada PLTA yaitu sebesar 18,36 MW, perbedaan antara daya yang dibangkitkan dengan daya yang terpasang karena debit air yang berkurang.
6. Debit air tidak cukup untuk mengoperasikan ketiga unit generator PLTA Ubrug Sukabumi, karena faktor Daerah Aliran Sungai (DAS) yang telah beralih fungsi menjadi pemukiman penduduk dan pembangunan industri yang berakibat pada penggundulan hutan sehingga berkurangnya daerah resapan air yang mempengaruhi jumlah debit air.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aji Nurmawan. Mar 23, 2015 Pengertian Generator dan Penjelasannya <http://ajinurmawan45.blogspot.co.id/2015/03/pengertian-generator-dan-penjelasannya.html> (Diakses pada tanggal 20 Oktober 2016)
- Almahali, Jalaludin. 2009. Evaluasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ubrug Sukabumi. Universitas Pakuan Bogor.
- Arismunandar A dan Kuwahara S. 2004. Teknik Tenaga Listrik Jilid I. Pembangkitan Dengan Tenaga Air. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Angga Dewangga. Mar 28, 2011 Generator Sinkron. <https://anggadewangga.wordpress.com/2011/03/28/generator-sinkron> (Diakses pada tanggal 12 Desember 2016)
- Praditya A. Jun 08, 2011. Nuklir di Indonesia. <https://watergius.wordpress.com/2011/06/08/nuclear-energy-in-indonesia/> (Diakses pada tanggal 12 Desember 2016)
- Dandekar. MM dan Sharma. K.N. 1991 Pembangkit Listrik Tenaga Air. Universitas Indonesia. Jakarta.
- Isa Muhammad Said H. Feb 28, 2014. Water Turbin. <https://yokealjausa.wordpress.com/2014/02/28/water-turbine/> (Diakses pada tanggal 12 Desember 2016).
- Irdarmadim; Mar 10, 2016. Menghitung Kecepatan Aliran Terbuka Pada Saluran Uniform. <http://slideplayer.info/slide/3644036/> (Diakses pada tanggal 12 Desember 2016).
- Jonsen. 2006. Pemodelan Hidrograf Menggunakan Pendekatan Geomorfologi (Studi Kasus Sub Daerah Aliran Sungai Cicitih). Institut Pertanian Bogor (IPB). Bogor.
- Konservasi Bidang 1. Pengukuran Debit Air Secara Sederhana <http://konservasi-bidang1ntt.blogspot.co.id/2012/05/pengukuran-debit-air-secara-sederhana.html> (Diakses pada tanggal 12 Desember 2016)
- Lorens Kambuaya. Mei 23, 2014 bentuk dan dimensi saluran terbuka. http://lorenskambuaya.blogspot.co.id/2014/05/bentuk-dan-dimensi-saluranterbuka_18.html (Diakses pada tanggal 25 Oktober 2016)
- Learn Engineering. Jan 8, 2014 How Does Francis Turbine Work. <http://www.learnengineering.org/2014/01/how-does-francis-turbine-work.html> (Diakses pada tanggal 02 November 2016)
- Mitra Parts. Apa itu AVR Generator dan cara kerjanya <https://www.mitraparts.com/blog/apa-itu-avr-generator-dan-cara-kerjanya-blo9.html> (Diakses pada tanggal 12 Desember 2016)
- Profile Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Ubrug Sukabumi. Indonesia Power. Sukabumi.
- PLTA Ketengger. Juni 13, 2009 Bagian-bagian utama PLTA Ketenger <http://pltaketenger.blogspot.co.id/2009/06/bagian-bagian-utama-plta-ketenger.html> (Diakses pada tanggal 28 Oktober 2016)
- Permatasari P. 2008 Pembangkit Listrik Tenaga Air. <http://eprints.undip.ac.id/34513/5/15>

- 01_chapter_II.pdf (Diakses pada tanggal 20 Oktober 2016)
- Repository. Teori Generator Sinkron. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/22377/3/teorigenerator%20II.pdf> (Diakses pada tanggal 12 Desember 2016)
- Satu Energi. Mar 14, 2015 Prinsip Kerja Turbin Francis. <http://www.satuenergi.com/2015/03/prinsip-kerja-turbin-francis.html> (Diakses pada tanggal 12 Desember 2016)
- Suyitno M. 2014. Pembangkit Energi Listrik. PT Rineka Cipta. Jakarta.
- Sebayang, Sedyo. 2002. Evaluasi Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro. Bandung.
- Setyo Putro, Yogi Suryo. 2016. Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Sungai Atei desa Tumbang Atei Kecamatan Sanamang Mantikai Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah. Universitas Brawijaya.
- SMK Markus 2 Medan. Generator AC dan DC <https://smkmarkus2medan.wordpress.com/generator-ac-dan-dc>(Diakses pada tanggal 12 Desember 2016)
- Taufan, M B.S. 2014. Grafik Hubungan Daya Listrik Dengan Biaya Kontruksi Sipil Pada Sungai Watunohu Kabupaten Kolaka Utara Sulawesi Tenggara. Universitas Hasanudin. Makasar.
- Usman Lakkase. Feb 12, 2014 Prinsip Kerja GeneratorSinkron. <http://usmanlakkase.blogspot.co.id/2014/02/prinsip-kerja-generator-sinkron.html> (Diakses pada tanggal 12 Desember 2016)
- Wiranto, Arismunandar. 1997 Penggerak Mula, Turbin. Insitut Teknologi Bandung. Bandung.

RIWAYAT PENULIS

1. **Eka Nur Ajiz, S.T**, Alumni Tahun 2017 Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.
2. **Prof. Dr. Ir. H. Didik Notosudjono, M.Sc.** selaku Koordinator Tugas Akhir dan Dosen Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik – Universitas Pakuan Bogor.
3. **Evyta Wismiana, ST., MT.** selaku Sekertaris Program Studi Teknik Elektro dan Dosen Program Studi Teknik Elektro – Fakultas Teknik - Universitas Pakuan Bogor.

