

STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR DI BENDUNGAN CIPANAS SUMEDANG

Muhammad Luthfi¹, Djafar Sodiq¹

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

E-mail : muhammad.luthfi.tptl17@polban.ac.id; djafarsodiq@yahoo.co.uk

ABSTRAK

Bendungan merupakan suatu konstruksi yang memiliki fungsi untuk menahan laju alir air. Bendungan Cipanas terletak di Desa Cibuluh, kecamatan Ujungjaya, Kabupaten Sumedang. Bendungan ini merupakan bendungan multipurpose yang memiliki ragam manfaat salah satunya untuk irigasi sebesar 9.243 Ha dan memiliki ketinggian 65 m. Bendungan ini masih dalam tahap proses pembangunan, pada tahun 2021 pembangunan bendungan sudah berjalan 60%. Bendungan ini dialiri oleh sungai Cipanas, dilihat dari potensinya penulis akan mencoba melakukan studi potensi pembangkit listrik tenaga air di Bendungan Cipanas Sumedang. Rancangan pembangkit akan disesuaikan dengan head dan debit yang akan digunakan, dilihat dari beda ketinggiannya jenis pembangkit yang digunakan adalah pembangkit listrik tenaga minihydro (PLTM). Perancangan dilakukan dengan menentukan debit andalan pembangkit pada probabilitas 65% dengan debit 6,62 m³/s. komponen inti yang digunakan pada perancangan pembangkit ini meliputi intake, pipa pesat, turbin, generator, dan trafo. Dari hasil perhitungan, pembangkit listrik yang dirancang memiliki kapasitas 2 x 1,8 MW atau sebesar 3,6 MW dan energi produksi sebesar 28309,7 MWH per tahun

Kata Kunci: Bendungan Cipanas, Daya Hidrolik, Energi Produksi

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik merupakan kebutuhan umum bagi masyarakat. Saat ini listrik dapat tersedia dari sistem distribusi catu daya dari PT.PLN (persero). Indonesia memiliki sumber energi yang sangat melimpah seperti, panas bumi, batu bara, matahari, angin, dan air. Di Indonesia telah dikembangkan pembangkitan listrik baru terbarukan, karena pembangkit dengan menggunakan energi fosil suatu saat dapat tidak bisa beroperasi karena kebutuhan bahan bakar yang semakin berkurang. Salah satu pembangkitan tenaga listrik yang berpotensi di Indonesia adalah pembangkitan listrik terbarukan. Di Indonesia telah dibangun beberapa bendungan yang belum dimanfaatkan untuk sumber pembangkitan tenaga listrik, salah satunya adalah bendungan Cipanas Sumedang. Bendungan Cipanas terletak di Desa Cibuluh, kecamatan Ujungjaya, Kabupaten Sumedang. Bendungan ini merupakan bendungan untuk irigasi sebesar 9.243 Ha

Bendungan merupakan suatu konstruksi yang dibangun sebagai penahan laju alir menjadi waduk, danau, atau umumnya digunakan sebagai pengendali banjir, sarana irigasi, air minum dan tidak jarang termasuk pembangkit tenaga listrik. Mengetahui bendungan memiliki fungsi sebagai penahan laju alir air untuk suatu pembangkit. Maka penulis mencoba untuk melakukan studi potensi pembangkit listrik tenaga air dengan objek bendungan Cipanas Sumedang.

Bendungan Cipanas Sumedang dibangun untuk kepentingan irigasi dengan luas 9.243 Ha dan memiliki ketinggian 65 m. Bendungan ini masih dalam tahap proses

pembangunan sudah berjalan 60%. Fungsi bendungan tidak hanya dapat digunakan untuk irigasi, namun dapat juga difungsikan untuk pembangkit listrik tenaga air, dilihat dari potensinya bendungan ini dapat membangkitkan energi listrik sehingga perlu dilakukan studi potensi pembangkit listrik tenaga air untuk melengkapi fungsinya.

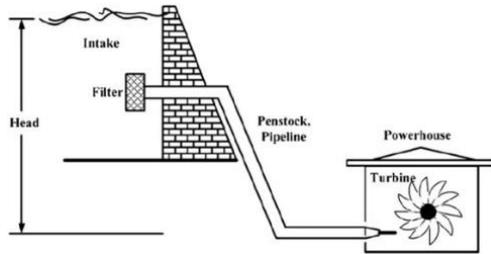
Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui potensi pembangkit listrik tenaga air di Bendungan Cipanas Sumedang. Dengan cara melakukan studi potensi pembangkit listrik tenaga air di Bendungan Cipanas Sumedang. Kemudian dilanjutkan dengan membuat perencanaan sistem pembangkit termasuk *layout* dasar pembangkit.

II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air

Untuk memproduksi listrik, air harus mengalir sehingga kondisi ini disebut sebagai energi kinetik (bergerak). Air yang menggerakkan sudu – sudu turbin dapat disebut sebagai energi kinetik selanjutnya diubah menjadi energi mekanik. Turbin akan memutar rotor generator sehingga energi mekanik akan diubah menjadi energi listrik.

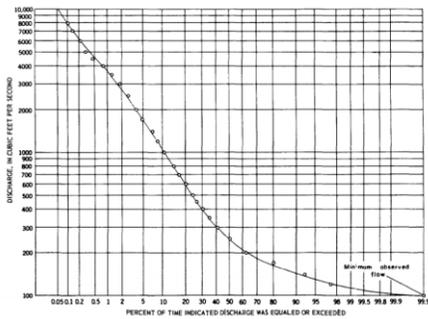
Bendungan memiliki beda ketinggian sebagai tempat air mengalir. Pipa pesat (*penstock*) akan membawa air dari *reservoir* ke turbin pada *power house*. Kecepatan air yang mengalir akan menggerakkan sudu turbin. Gaya dorong air pada sudu turbin akan memutar rotor dari generator bergerak.



Gambar 1 Diagram pembangkit listrik tenaga minihidro

II.2 Ketersediaan Air

Kurva durasi aliran adalah kurva frekuensi kumulatif yang menunjukkan persentase waktu selama debit tertentu disamai atau dilampaui dalam periode tertentu.

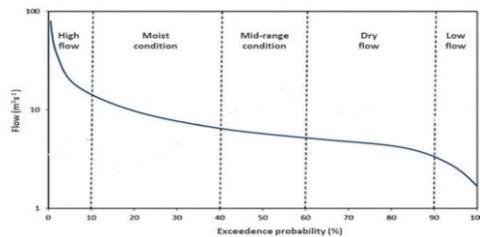


Gambar 2 Kurva durasi aliran harian

kurva dapat dianggap sebagai kurva probabilitas dan digunakan untuk memperkirakan persentase waktu dimana debit tertentu akan disamai atau dilampaui dalam masa depan. Probabilitas debit dapat diketahui dengan mengurutkan debit dari yang terendah hingga tertinggi dan penentuan presentase probabilitas dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut

$$Probabilitas (\%) = \frac{n}{m} \times 100$$

Kurva durasi aliran kemudian dibagi menjadi lima zona berdasarkan persentase pelampauan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Aliran air dengan nilai probabilitas dari 0% hingga 10% dianggap aliran tinggi; 10% sampai 40% kondisi lembab; 40% sampai 60% aliran mid-range; 60% hingga 90% aliran kering; dan 90% hingga 100% arus rendah (Ana Oliveira R)



Gambar 3 Pembagian kurva durasi aliran

II.3 Potensi Daya

Tenaga air dapat dihasilkan di mana pun aliran air turun dari tingkat yang lebih tinggi ke tingkat yang lebih rendah. Tinggi terjun air (*head*) dapat berbeda – beda pada setiap bulannya, hal ini dapat dipengaruhi oleh debit yang masuk ke bendungan (Q_{in}) dan kebutuhan debit irigasi setelah dibendung (Q_{out}), ketika debit yang digunakan setelah dibendung lebih besar dari debit yang masuk ke bendungan maka akan menyebabkan *head* menurun sedangkan ketika debit yang digunakan setelah dibendung kecil maka *head* akan meningkat, untuk mengetahui fluktuasi *head* pada setiap bulan dapat diketahui dengan melakukan langkah berikut.

$$Q_{rerata} = Q_{in} - Q_{out}$$

Dari debit rata – rata yang tersimpan dibendungan selanjutnya dicari kenaikan *head* per detik

$$H/s = \frac{Q_{rerata}}{Area}$$

Kenaikan *head* setiap detik selanjutnya dicari kenaikan *head* dalam kurun waktu

$$\Delta H = H/s \times waktu$$

Kenaikan *head* dalam kurun waktu selanjutnya akan dijumlahkan dengan *head gross* yang ada pada bendungan pada kondisi *normal water level*

$$H_{gross} = H_{NWL} + \Delta H$$

Setelah kenaikan *head* pada kurun waktu tertentu diketahui selanjutnya dapat diketahui *head gross* dengan menjumlahkan *head* ketika kondisi bendungan *normal water level* dengan kenaikan *head* pada kurun waktu

Daya yang terbangkitkan dari debit aliran air dan *head* dapat dikatakan sebagai daya hidrolik. Daya hidrolik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$P_H = \rho \times g \times H_g \times Q$$

II.4 Komponen Pembangkit Listrik

II.4.1 Bendungan

Sebuah bendungan berfungsi sebagai peninggi muka air dan penyimpanan di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan irigasi, air minum, industri, PLTA atau yang lainnya

II.4.2 Intake

Bangunan *intake* adalah suatu bangunan pada bendung yang berfungsi sebagai penyadap aliran sungai, mengatur pemasukan air dan sedimen

II.4.3 Pipa Pesat

Pipa pesat merupakan saluran yang mengalirkan air dari saluran pembawa menuju turbin. Diameter dari pipa pesat ini ditentukan dengan pertimbangan keamanan, kemudahan

pembuatan, ketersediaan bahan baku, dan rugi – rugi (*friction losses*).

Pipa pesat pada umumnya memiliki kecepatan aliran dalam rentang 2 – 4 m/s. Untuk menentukan dimensi dari pipa pesat ini dapat digunakan persamaan sebagai berikut

Untuk menghitung diameter pipa pesat dapat menggunakan persamaan Gordon Penman sebagai berikut

$$D = 0,72 \times Q^{0,5}$$

Penentuan kecepatan aliran pipa pesat dapat digunakan persamaan berikut.

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}$$

II.4.3.1 Menghitung Rugi -Rugi Pipa Pesat

1. Rugi – rugi dinding pipa

$$H_{wall\ loss} = \frac{f \times L_{pipe} \times 0,08 \times Q^2}{d^5}$$

2. Rugi – rugi turbulensi

$$H_{turb\ loss} = \frac{v^2}{2g} (K_{entrance} + K_{bend\ 1} + K_{bend\ 2} + K_{construction\ 1} + \dots + K_{valve})$$

3. Rugi gesekan

$$H_{friction\ loss} = H_{wall\ loss} + H_{turb\ loss}$$

II.4.3.2 Head net

1. Persentase *losses*

$$\% \text{ loss} = \frac{H_{friction\ loss}}{H_{gross}} \times 100$$

2. *Head net*

$$H_{net} = H_{gross} - H_{friction\ loss}$$

3. *Head efektif*

$$H_{efektif} = H_{gross} - ((\% \text{loss} (utama) + \% \text{loss} (cabang) + \% \text{loss} (intake)) \times H_{gross})$$

II.4.4 Turbin

Turbin air merupakan suatu mesin penggerak dengan fluida kerja berupa air yang dapat langsung memutar sudu turbin

Tabel 1 klasifikasi Turbin Berdasarkan Ketinggian

Turbine type	Head range in metres
Kaplan and Propeller	2 < H _n < 40
Francis	25 < H _n < 350
Pelton	50 < H _n < 1'300
Crossflow	5 < H _n < 200
Turgo	50 < H _n < 250

Daya turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_{Turbin} = P_H \times \eta_{Turbin}$$

II.4.5 Generator

Generator akan dipasangkan dengan turbin sehingga ketika turbin berputar maka akan menghasilkan daya listrik, daya yang dihasilkan dari generator dapat dikatakan sebagai kapasitas pembangkit, untuk mencari daya generator dapat digunakan persamaan berikut

$$P_{Generstor} = P_{Turbin} \times \eta_G$$

II.4.6 Transformator

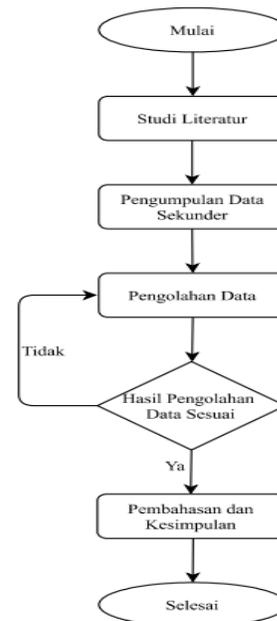
Transformator adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk mengubah dan memindahkan energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet, dengan frekuensi yang sama dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, daya trafo dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut

$$P_{Trafo} = P_G \times \eta_{Trafo}$$

Daya trafo selanjutnya digunakan untuk menghitung energi produksi dengan menggunakan persamaan berikut

$$\text{Energi produksi} = P_{Trafo} \times 24 \text{ jam} \times \text{Jumlah Hari Setiap Bulan}$$

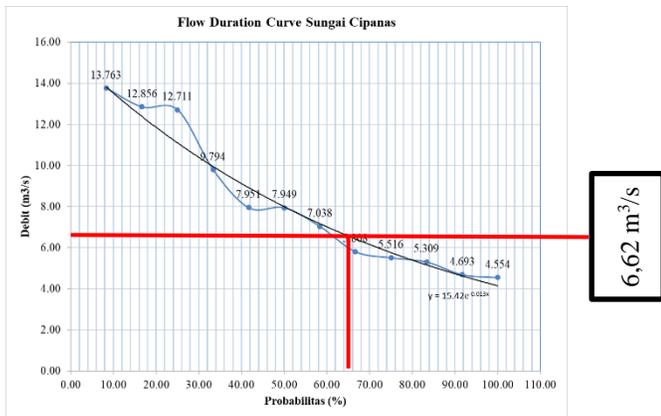
III. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 4 Diagram Alir Metodologi Penelitian

III.1 Probabilitas Debit

Probabilitas debit dapat diketahui dengan mengurutkan data dari terendah hingga tertinggi dan dibuatkan kurva durasi aliran. probabilitas debit dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 1, berikut adalah kurva durasi aliran sungai



Gambar 5 Kurva durasi aliran sungai Cipanas

Probabilitas debit yang digunakan pada studi potensi ini adalah 65% atau kondisi aliran kering dengan debit andalan 6,62 m³/s.

III.2 Potensi Daya

Daya hidrolik dapat dicari dengan menggunakan persamaan $P_h = \rho \times g \times H \times Q$. *Head gross* dapat dicari dengan mengikuti langkah perhitungan dari persamaan 2 hingga persamaan 5 sehingga diperoleh *head gross* dan potensi daya pada setiap bulan sebagai berikut:

Tabel 2 Potensi daya hidrolik

Potensi Daya Hidrolik					
Bulan	ρ	g	H_g	Q	Daya Hidrolik MW
	kg/m ³	m/s ²	m	m ³ /s	
Januari	997,1	9,81	62,9	6,62	4,07
Februari	997,1	9,81	62,4	6,62	4,04
Maret	997,1	9,81	62,8	6,29	3,86
April	997,1	9,81	60,8	6,62	3,94
Mei	997,1	9,81	61,3	6,62	3,97
Juni	997,1	9,81	60,8	6,62	3,94
Juli	997,1	9,81	61,3	6,38	3,82
Agustus	997,1	9,81	61,5	4,44	2,67
September	997,1	9,81	61,5	4,90	2,95
Oktober	997,1	9,81	61,4	5,82	3,50
November	997,1	9,81	60,8	6,62	3,94
Desember	997,1	9,81	61,2	6,62	3,96

III.3 Head net dan head efektif

Head net diperoleh dari rugi – rugi yang terjadi pada *intake* dan pipa pesat, diketahui panjang *intake* adalah 150 m, Panjang pipa pesat utama 250 m, panjang pipa pesat cabang 1 adalah 15 m, dan Panjang pipa pesat cabang 2 adalah 20 m. diketahui diameter *intake* adalah 2,5 m, diameter pipa pesat utama adalah 2 meter dan diameter cabang pipa pesat adalah 1,4 m Rugi – rugi dapat dihitung dengan mengikuti persamaan 9 sampai 13, *head efektif* dapat dicari dengan persamaan 14

Tabel 3 *Head net* dan *head efektif*

Bulan	<i>Head net intake</i>	<i>head net</i> pipa pesat utama	<i>head net</i> pipa pesat cabang 1	<i>head net</i> pipa pesat cabang 2	<i>Head efektif</i> unit 1	<i>Head efektif</i> unit 2
	m	m	m	m	m	m
Januari	62,55	62,39	62,53	62,24	61,62	61,33
Februari	61,90	61,69	62,01	61,72	60,79	60,50
Maret	62,48	62,34	62,46	62,20	61,65	61,39
April	59,30	58,63	60,40	60,11	56,74	56,45
Mei	60,79	60,55	60,92	60,63	59,63	59,34
Juni	60,01	59,67	60,37	60,08	58,51	58,22
Juli	60,94	60,79	60,92	60,65	60,08	59,81
Agustus	61,36	61,27	61,34	61,21	60,93	60,80
September	61,26	61,16	61,24	61,08	60,73	60,57
Oktober	61,15	61,03	61,13	60,91	60,44	60,21
November	59,72	59,23	60,42	60,13	57,74	57,45
Desember	60,51	60,19	60,84	60,54	59,08	58,78

III.4 Daya Pembangkitan efektif dan Energi Produksi

Perhitungan daya pembangkitan perlu mengetahui efisiensi dari turbin francis dengan efisiensi 94%, generator dengan efisiensi 99,4%, dan transformator dengan efisiensi 99,4% sehingga dapat dihitung daya pada masing – masing komponen dan energi produksi dengan hasil sebagai berikut

Tabel 4 Daya pembangkitan efektif

Bulan	Daya Hidrolik		Daya Turbin		Daya Generator		Daya Trafo	
	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2
	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW
Januari	2,00	1,99	1,88	1,87	1,80	1,79	1,79	1,78
Februari	1,97	1,96	1,85	1,84	1,78	1,77	1,77	1,76
Maret	1,90	1,89	1,78	1,77	1,71	1,70	1,70	1,69
April	1,84	1,83	1,73	1,72	1,66	1,65	1,65	1,64
Mei	1,93	1,92	1,81	1,81	1,74	1,73	1,73	1,72
Juni	1,89	1,88	1,78	1,77	1,71	1,70	1,70	1,69
Juli	1,87	1,87	1,76	1,75	1,69	1,68	1,68	1,67
Agustus	1,32	1,32	1,24	1,24	1,19	1,19	1,19	1,18
September	1,46	1,45	1,37	1,36	1,31	1,31	1,31	1,30
Oktober	1,72	1,71	1,62	1,61	1,55	1,55	1,54	1,54
November	1,87	1,86	1,76	1,75	1,69	1,68	1,68	1,67
Desember	1,91	1,90	1,80	1,79	1,73	1,72	1,72	1,71

Tabel 5 Energi produksi

Bulan	Energi Produksi	
	Unit 1	Unit 2
	MWh	MWh
Januari	1331,48	1325,16
Februari	1186,33	1180,63
Maret	1264,75	1259,34
April	1186,44	1180,33
Mei	1288,49	1282,18
Juni	1223,40	1217,29
Juli	1250,71	1245,07
Agustus	882,29	880,39
September	939,77	937,29
Oktober	1148,66	1144,36
November	1207,41	1201,30
Desember	1276,46	1270,15
1 Tahun	14186,2	14123,5

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Studi potensi

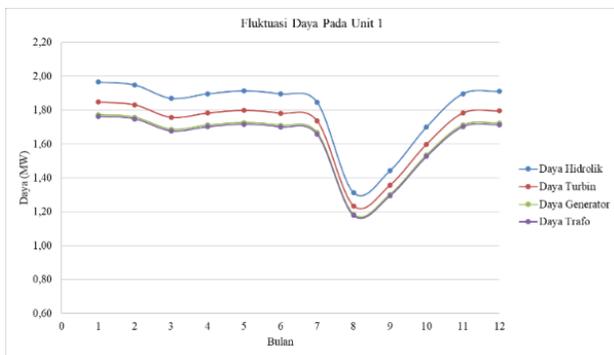
Pemilihan debit andalan ditentukan dengan menggunakan kurva durasi aliran sehingga diketahui probabilitas debit yang akan digunakan, pada studi potensi ini digunakan kondisi aliran kering dengan probabilitas 65% atau kejadian debit andalan dapat terpenuhi selama 237 hari. Probabilitas dengan keadaan aliran kering dipilih agar ketika debit yang masuk ke bendungan sedang sedikit pembangkit tetap dapat menghasilkan listrik.

Bendungan Cipanas Sumedang memiliki tipe *reservoir* sehingga debit yang masuk ke bendungan dan debit yang digunakan setelah dibendung akan mempengaruhi *head*. Perubahan *head* akan terjadi ketika debit yang masuk ke bendungan lebih kecil dari debit yang digunakan untuk irigasi maka *head* akan menurun, sedangkan ketika debit yang masuk ke bendungan lebih besar dari debit irigasi maka *head* akan meningkat, mengacu pada persamaan $P_H = \rho \times g \times H \times Q$ perubahan *head* akan berpengaruh pada daya pembangkitan. Sungai Cipanas memiliki potensi daya sebesar 4,07 MW. Daya yang dihasilkan dapat lebih besar bergantung pada debit andalannya, namun perlu diperhatikan perubahan *head* yang akan terjadi

IV.2 Hasil Perancangan

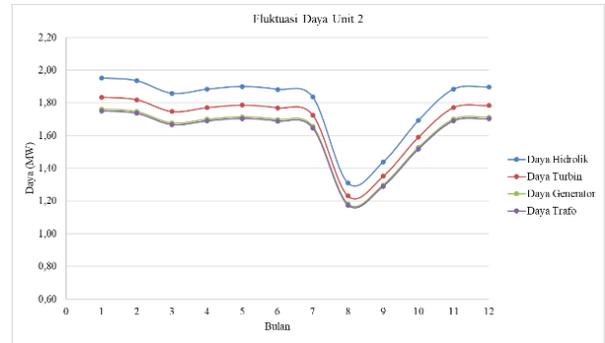
Rugi – rugi yang terjadi pada pipa pesat akan mempengaruhi *head gross* karena pada perancangan ini akan digunakan dua unit turbin dan memiliki satu jalur *by-pass*, dari hasil perhitungan dapat diketahui jika debit yang masuk semakin besar maka rugi – rugi yang terjadi akan semakin besar, namun ketika debit yang masuk ke pipa pesat berada di bawah debit andalan maka rugi – rugi yang terjadi akan kecil, jalur *by-pass* digunakan untuk menambah debit untuk irigasi ketika kebutuhan irigasi berada di atas debit andalan

Kapasitas yang dapat dihasilkan dari perancangan ini adalah 2 x 1,8 MW atau sebesar 3,6 MW, daya pembangkitan akan berfluktuasi bergantung pada debit kebutuhan irigasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 berikut



Gambar 6 Fluktuasi daya unit 1

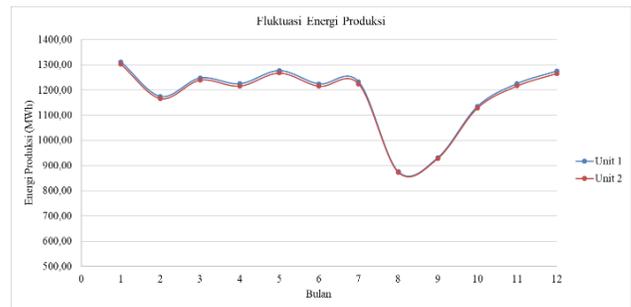
Dilihat dari Gambar 6 daya pembangkitan menurun ketika debit irigasi berada dibawah debit andalan



Gambar 7 Fluktuasi daya unit 2

Pipa pesat cabang 2 memiliki rugi – rugi yang lebih banyak sehingga daya pembangkitan akan berbeda namun tidak signifikan

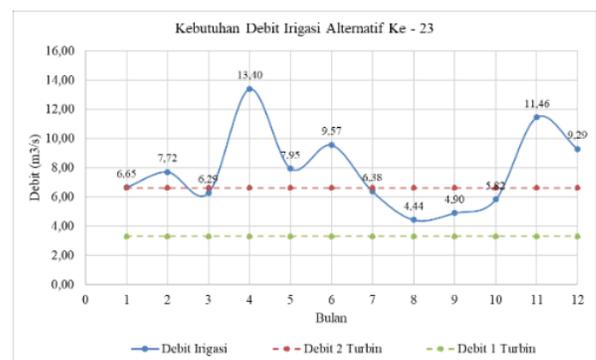
Energi produksi yang dapat dihasilkan dari perancangan ini adalah sebesar 28309,7 MWH, Gambar 8 menunjukkan fluktuasi energi produksi



Gambar 8 Fluktuasi energi produksi

Fluktuasi energi produksi dipengaruhi juga oleh jumlah hari dalam satu bulan seperti pada bulan februari yang hanya memiliki 28 hari

Bendungan Cipanas Sumedang memiliki fungsi utama sebagai penahan laju alir air untuk irigasi maka debit kebutuhan irigasi harus dijadikan acuan untuk sistem operasi turbin, Gambar 9 adalah fluktuasi kebutuhan debit irigasi dan batas debit untuk operasi turbin



Gambar 9 Kebutuhan debit irigas

Dilihat dari Gambar 9 operasi dua turbin dapat dilakukan ketika debit irigasi berada diatas debit andalan, sedangkan ketika debit irigasi berada dibawah debit andalan maka terdapat dua pilihan yang dapat dilakukan, yaitu ketika debit irigasi berada dibawah debit andalan dua turbin dapat beroperasi namun tidak maksimal atau hanya satu turbin saja yang dioperasikan, ketika hanya satu turbin yang beroperasi turbin yang lainnya dapat dilakukan pemeliharaan agar jangka pakai turbin bisa lebih panjang

V. Kesimpulan

Daya yang dapat dibangkitkan dari studi potensi ini adalah sebesar 2 x 1,8 MW atau sebesar 3,6 MW dengan energi produksi sebesar 28309,7 MWH dalam satu tahun

Fungsi utama bendungan adalah untuk memenuhi kebutuhan irigasi sehingga debit untuk pembangkit harus disesuaikan dengan kebutuhan irigasi agar kebutuhan irigasi tidak terganggu dengan adanya pembangkit listrik tenaga air.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adam Harvey. (1993). Micro Hydro Design Manual: A Guide to Small Scale Water Power Schemes. London: Intermediate Technology Publications.
2. Alie Wube Dametew. (2016). Design and Analysis of Small Hydro Power for Rural Electrification. Global Journal of Researches in Engineering (F) Volume XVI Issue VI Version I, 26.
3. Bilal Abdullah Nasir. (2014). Suitable Selection of Components for the Micro-Hydro-Electric Power Plant. Advances in Energy and Power, Vol. 2, No. 1.
4. Elbatran, et al. (2015). Hydro Power and Turbine Systems Reviews . Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 74:5.
5. Japan International Cooperation Agency. (2011). Guideline and Manual for Hydropower Development Vol. 1 Conventional Hydropower and Pumped Storage Hydropower. Japan: Electric Power Development Co., Ltd. JP Design Co., Ltd.
6. Japan International Cooperation Agency. (2011). Guidline and Manual for Hydropower Development Vol. 2 Small Scale Hydropower. Japan: Electric Power Development Co., Ltd. JP Design Co., Ltd.
7. Layman. (2004). Guide on how to develop a small hydropower plant. European Small Hydropowe Association.
8. Paul Cunningham and Ian Woofenden. (2007). Micro Hydro-Electric Systems. Home Power Vol. 117.
9. Rookie, I. (2013). TANDARD /MANUAL

/GUIDELINES FOR SMALL HYDRO DEVELOPMENT. Goft, India: Ministry of New and Renewable Energi.

10. Searcy, J. K. (1959). Flow-Duration Curves. Washington: United States Government Printing Office.