



Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air di Bendungan Semantok Kabupaten Nganjuk

Shinta Hellena Intan Berliani Wijaya^{1*}, Nastasia Festy Margini²

^{1,2} Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Departemen Teknik Sipil FTSPK ITS, Keputih, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 60111

E-mail*: shinta.hellena1202@gmail.com

ABSTRACT

Sustainable development (SDGs) is a global action plan that aims to maintain an improvement in the quality of life from a generation to the next. To support this, it is necessary to build renewable energy supply facilities, one of which is the hydroelectric power plant at the Semantok Dam. The study location was chosen because the dam is located in an area with steep contours (gross $H = 35,345$ m), lacks access to electricity, and has a large inflow discharge so it has the potential to function as a hydroelectric power plant. In planning a hydroelectric power plant, it begins with an analysis of water availability discharge and water demand discharge to simulate the storage capacity of the Semantok Reservoir. Then it is planned that the mainstay hydropower discharge will be $0.32 \text{ m}^3/\text{second}$. The planning of civil buildings in hydroelectric power plants includes the intake building, headrace, surge tank, penstock and powerhouse resulting in an energy loss of 0.568 m, so that the effective fall height is 31.81 m. The total energy loss does not exceed the maximum energy loss requirement so that hydropower planning can be said to be feasible. The turbine in the hydropower plant is planned to use 1 Kaplan type with an efficiency value of 90% producing 110.29 kW of electrical power and $772,978.06 \text{ kWh}$ of electrical energy per year. With this value, the planned hydroelectric power plant is included in the mini hydro hydropower plant (PLTMH) and medium head hydropower plant.

Keywords : *Semantok Dam, Exploited Discharge of Turbine, Hydropower, Turbine*

ABSTRAK

Pembangunan berkelanjutan/Sustainable Development Goals (SDGs) adalah rencana aksi global yang bertujuan untuk menjaga peningkatan kualitas kehidupan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Untuk mendukung hal tersebut, maka diperlukan pembangunan fasilitas penyuplai renewable energi, salah satunya yaitu PLTA pada Bendungan Semantok. Pemilihan lokasi studi dikarenakan bendungan terletak di daerah yang konturnya curam (H bruto = $35,345$ m), kurang tersedianya akses listrik, dan memiliki debit inflow yang besar sehingga berpotensi untuk difungsikan sebagai PLTA. Dalam merencanakan PLTA, diawali dengan analisis debit ketersediaan air dan debit kebutuhan air untuk dilakukan simulasi kapasitas tampungan Waduk Semantok. Kemudian direncanakan debit andalan PLTA sebesar $0,32 \text{ m}^3/\text{detik}$. Perencanaan bangunan sipil pada PLTA meliputi bangunan *intake*, *headrace*, *surge tank*, *penstock*, dan *powerhouse* menghasilkan kehilangan energi $0,568$ m, sehingga tinggi jatuh efektif didapatkan $31,81$ m. Total kehilangan energi tidak melebihi syarat kehilangan energi maksimum sehingga perencanaan PLTA dapat dikatakan layak. Turbin pada PLTA direncanakan menggunakan tipe Kaplan sebanyak 1 buah dengan nilai efisiensi 90% menghasilkan daya listrik $110,29 \text{ kW}$ dan energi listrik $772.978,06 \text{ kWh}$ per tahun. Dengan nilai tersebut, PLTA yang direncanakan termasuk dalam PLTA Minihidro (PLTMH) dan PLTA head menengah.

Kata Kunci : Bendungan Semantok, Debit Andalan, PLTA, Turbin.

Naskah diterima 23 September 2024; Revisi 14 November 2024; Diterima 25 Februari 2025. Tanggal Publikasi 01 Maret 2025
Jurnal teknika berada pada lisensi *Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License*

DOI: [10.30736/jt.v17i1.1342](https://doi.org/10.30736/jt.v17i1.1342), Hal 35 - 44



1. PENDAHULUAN

Pembangunan berkelanjutan/Sustainable Development Goals (SDGs) adalah rencana aksi global yang bertujuan untuk menjaga peningkatan kesejahteraan ekonomi masyarakat secara berkesinambungan, menjaga keberlanjutan kehidupan sosial masyarakat, menjaga kualitas lingkungan hidup serta pembangunan yang inklusif dan terlaksananya tata kelola yang mampu menjaga peningkatan kualitas kehidupan dari satu generasi ke generasi berikutnya. (Panuluh Meila Riskia Fitri, 2015).

Adapun menurut (Panuluh Meila Riskia Fitri, 2015), target dari SDGs yang ketujuh salah satunya adalah energi bersih dan terjangkau, yaitu menjamin akses energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern untuk semua. Untuk mendukung hal tersebut, maka diperlukan pembangunan fasilitas penyuplai *renewable energy*, salah satunya yaitu pembangkit listrik tenaga air pada bendungan.

Bendungan Semantok mempunyai debit inflow yang berasal dari limpasan permukaan yang mengalir di Sungai Semantok. Secara administratif bendungan ini terletak di Desa Sambikerep, Kecamatan Rejoso. Bendungan Semantok dibangun dengan tujuan pereduksi banjir sampai kurang lebih 30%, sumber air baku sebesar 312 lt/dt, dan irigasi seluas 1.900 hektar (Azhar et al., 2015).

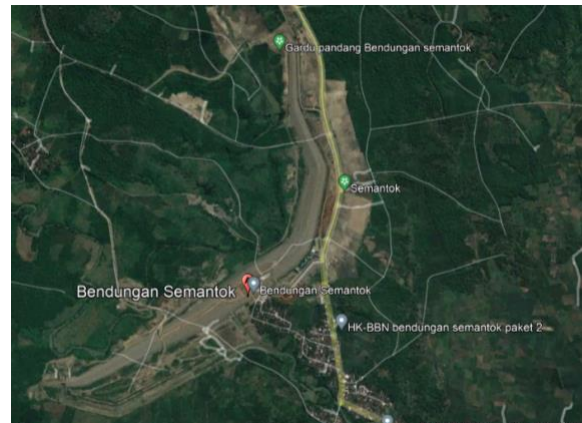
Pada penelitian yang dilakukan oleh (Azhar et al., 2015) dengan judul Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Bendungan Semantok, Nganjuk, Jawa Timur, dari perencanaan tersebut, energi listrik yang dihasilkan per tahun sejumlah 827.534,01 kWh. Namun, perencanaan tersebut dilakukan sebelum Bendungan Semantok dibangun, sehingga data yang digunakan kurang sesuai dengan kondisi eksisting saat ini.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis besar potensi daya dan energi listrik PLTA yang dapat dihasilkan dalam satu tahun dan merencanakan bangunan air beserta komponen PLTA sehingga dapat menjadi pertimbangan bagi UPB Semantok dalam merencanakan PLTA di masa depan.

Latar belakang pemilihan lokasi penelitian adalah dikarenakan bahan batu bara masih mendominasi produksi pembangkit listrik di Indonesia yaitu sebesar 67,21%, sehingga Pembangunan pembangkit listrik tenaga air di Bendungan Semantok diharapkan dapat mengurangi konsumsi batu bara di masa mendatang (Basyiran, 2014). Selain itu, konsumsi kebutuhan listrik di Jawa Timur terus meningkat sebesar 3,30% pada akhir tahun 2023 sejumlah 13,7 juta pelanggan (Kementerian PUPR, 2017a). Terakhir, pemilihan lokasi dikarenakan potensi listrik pada Bendungan Semantok masih belum terealisasi. Untuk menyelesaikan hal tersebut, dilakukan penelitian yang berjudul Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Air di Bendungan Semantok, Kabupaten Nganjuk

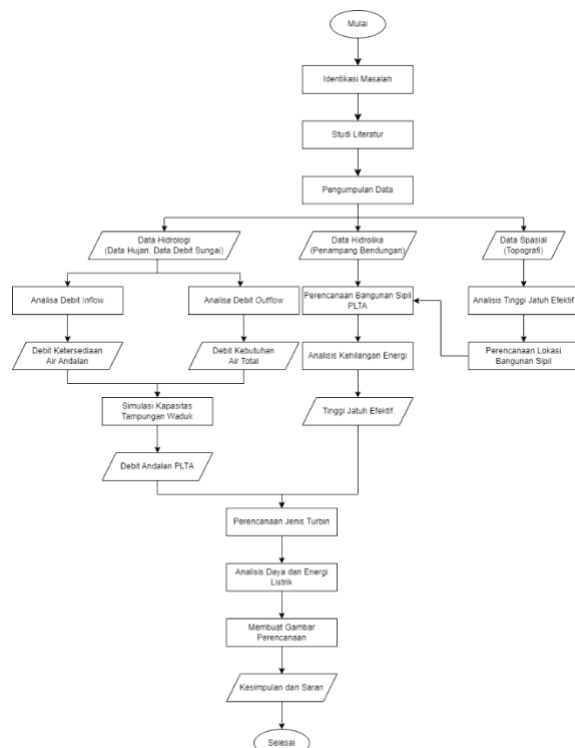
2. METODE

Pada penelitian ini, lokasi penelitian adalah di Bendungan Semantok, Nganjuk. Bendungan Semantok terletak di Dusun Kedungpingit Desa Sambikerep Kecamatan Rejoso Kabupaten Nganjuk, Provinsi Jawa Timur. Bendungan Semantok terletak di Aliran Sungai Semantok. As bendungan Semantok terletak di antara bukit kanan dan kiri Sungai Semantok dengan jarak 3.005 meter (Putra Adi Surya, 2020).



Gambar 1. Lokasi Bendungan Semantok

Metode pengerjaan pada penelitian ini digambarkan dalam *flowchart* pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart Pengerjaan

Data yang digunakan berupa data sekunder, antara lain: 1) Data hujan: Data hujan yang digunakan merupakan data hujan harian pada DAS Bendungan

Semantok. Data tersedia selama periode 2012 – 2021 pada stasiun hujan Ngundikan, Glatik, Sumber Soko, Tritik, Bendo, Kedungrejo, Gondang, Matokan, Kedung Pingit, Sukun, Rejos, Ngrambek, dan Kedung Maron yang diperoleh dari BBWS Brantas; Data debit sungai: Data debit sungai yang digunakan merupakan data debit aliran yang masuk ke waduk semantok (Valavi & Nysveen, 2018). Data tersedia selama periode 2012 – 2021; Data teknis bendungan: Data teknis dan penampang Bendungan Semantok diperoleh dari BBWS Brantas; Data topografi: Data topografi yang digunakan merupakan peta kontur pada DAS Bendungan Semantok. Data topografi Bendungan Semantok diperoleh dari BBWS Brantas.

Setelah didapatkan data tersebut, dilakukan analisis data seperti analisis hidrologi, yang meliputi analisis data debit dan data hujan. Analisis debit sungai digunakan untuk mengetahui debit andalan yang dapat dimanfaatkan untuk PLTA. Selanjutnya yaitu dilakukan analisis hidrolika yang meliputi analisis penampang bendungan (Sachdev et al., 2015). Menurut (Fahreza Akbar, 2018), dalam analisis hidrolika terdapat bangunan yang perlu direncanakan untuk PLTA antara lain *intake*, *headrace*, *penstock*, dan *surge tank*.

Menurut (Hafid Dzikri, 2023), dalam perencanaan bangunan sipil PLTA, aspek yang paling penting adalah perhitungan kehilangan energi pada saluran, karena hal tersebut berpengaruh pada dimensi dan Panjang saluran yang akan digunakan pada perencanaan selanjutnya.

Rumus Kehilangan Energi Akibat Trashrack (*Minor Losses*):

$$h_r = \phi \left(\frac{s}{b} \right)^{\frac{4}{3}} x \frac{\Delta V^2}{2g} \sin \alpha \quad (1)$$

Dengan h_r : Kehilangan energi pada trashrack (m), ϕ : Koefisien profil, s : Lebar profil dari arah aliran (m), b : Jarak antar profil trashrack (m), V : Kecepatan aliran (m/s), g : Percepatan gravitasi (m/s^2), α : Sudut kemiringan trashrack.

Rumus Kehilangan Energi Akibat Masukan, Perubahan Penampang (*Minor Losses*):

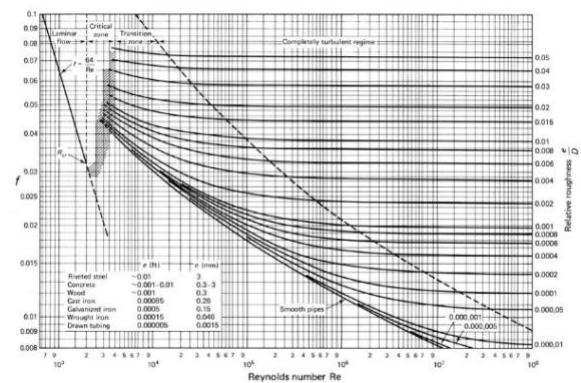
$$h_m = k \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

Dengan h_m : Kehilangan energi akibat masukan (m), k : Koefisien bentuk ujung pipa.

$k = 0,5$ untuk bentuk persegi

$k = 0,05$ untuk bentuk bulat

Dalam perhitungan kehilangan energi akibat gesekan sepanjang pipa headrace perlu diketahui nilai koefisien gesekan pipa (f). Nilai koefisien tersebut diperoleh berdasarkan diagram moody pada Gambar 3 dengan bilangan Reynolds dihitung terlebih dahulu.



Gambar 3. Diagram Moody

Rumus Kehilangan Energi Akibat Gesekan Sepanjang Pipa (*Mayor Losses*):

$$Re = k \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (3)$$

Dengan Re : Reynold number, ρ : Massa jenis (kg/m^3), v : Kecepatan aliran fluida (m/s), D : Diameter pipa (m), μ : Viskositas dinamik ($N \cdot s / m^2$), k : Kekasaran pipa (mm).

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

Dengan h_f : Kehilangan energi akibat gesekan sepanjang pipa (m), f : Koefisien gesek pipa, V : Kecepatan aliran pada pipa (m/s), g : Percepatan gravitasi (m/s^2), D : Diameter pipa (m), L : Panjang pipa (m).

Perhitungan kehilangan energi total mempunyai syarat yaitu harus kurang dari 10% tinggi jatuh bruto untuk perencanaan tersebut dikatakan layak.

Setelah dilakukan perencanaan dimensi saluran, selanjutnya dilakukan analisis spasial yang meliputi analisis data topografi. Data topografi digunakan untuk mencari beda tinggi. Beda tinggi digunakan dalam analisa daya listrik yang dihasilkan oleh PLTA. Beda tinggi yang digunakan adalah beda tinggi efektif dimana beda tinggi total dikurangi kehilangan energi yang terjadi (Abner Phalosa, 2023).

$$H_{bruto} = H \text{ upstream} - H \text{ downstream} \quad (5)$$

$$H_{losses} = 10\% \times H_{bruto} \quad (6)$$

$$H_{eff} = H_{bruto} - H_{losses} \quad (7)$$

Langkah selanjutnya yaitu penentuan jenis turbin. Jenis turbin yang digunakan didasarkan pada beda tinggi efektif, perencanaan bangunan air, dan debit yang telah dianalisa sebelumnya dalam perencanaan PLTA (Buyung, 2016). Perencanaan komponen PLTA yang dilakukan dalam penelitian ini hanya dibatasi untuk merencanakan jenis turbin yang digunakan.

Pada tahap akhir, dilakukan analisis daya dan energi listrik yang mampu dihasilkan oleh PLTA dalam setahun. Analisis daya listrik dan energi listrik

dilakukan dengan perhitungan data debit andalan, data tinggi jatuh, dan data data dari spesifikasi komponen PLTA yang digunakan.

Rumus daya listrik adalah:

$$P = \eta \cdot g \cdot Q \cdot \text{Heff} \quad (8)$$

Dengan P : Daya listrik yang akan dihasilkan (kW), g : Percepatan gravitasi (m/s²), η : Efisiensi turbin, Q : Debit rencana (m³/s), Heff : Tinggi jatuh air efektif (m).

Sedangkan rumus untuk energi Listrik adalah:

$$E = P \cdot t \quad (9)$$

Dengan E : Energi yang dihasilkan (kWh), P : Daya listrik yang akan dihasilkan (kW), t : Waktu (jam) (Hafid Dzikri, 2023).

3. PEMBAHASAN

3.1 Analisis Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah jumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah dengan tingkat keandalan tertentu sehingga dapat digunakan untuk masa pertumbuhan tanaman. Besarnya curah hujan efektif biasanya ditentukan dengan curah hujan efektif R80 atau tingkat keandalan 80% dari curah hujan rata-rata 10 harian (Kurnia Hidayat & Empung, 2016). Untuk mencari curah hujan efektif maka data curah hujan 10 harian pada Tabel 2 diurutkan dari yang terbesar hingga terkecil pada setiap periode di setiap tahunnya sebagai berikut. Berikut hasil perhitungan curah hujan dengan tingkat andalannya pada Tabel 1- Tabel 2.

Tabel 1. Curah Hujan Diurutkan Sesuai Tingkat Keandalan

Kean- dalan	Nov			Dec			Jan			Feb			Mar			Apr		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.1	128	202	168	146	203	162	203	157	173	287	212	121	143	192	180	138	219	122
0.2	91	185	116	134	196	85	197	157	161	173	144	112	123	120	145	135	102	88
0.3	75	171	112	109	159	72	180	148	159	163	129	93	95	108	108	112	101	47
0.4	67	143	84	78	129	61	156	140	154	128	127	63	94	93	83	82	77	40
0.5	52	85	84	74	125	38	101	130	150	122	102	63	91	82	75	81	72	36
0.6	28	76	81	59	98	36	81	106	130	92	96	56	88	82	54	80	71	26
0.7	17	69	72	56	86	33	57	63	102	84	86	51	63	74	54	61	67	13
0.8	11	29	70	44	78	28	29	60	93	75	78	50	55	63	47	59	61	11
0.9	6	26	36	42	71	22	28	59	72	75	59	32	39	39	47	46	59	7
1	1	4	10	19	53	9	8	54	64	22	36	25	33	25	46	17	38	0
Rata-rata	48	99	83	76	120	55	104	107	126	122	107	67	82	88	84	81	87	39

Tabel 2. (Lanjutan)

Kean-dalan	May			Jun			Jul			Aug			Sep			Oct		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
0.1	76	94	106	137	152	69	85	104	48	86	85	5	30	56	107	150	68	107
0.2	65	93	64	122	40	52	16	39	20	1	35	3	26	1	14	53	37	81
0.3	63	80	58	58	29	49	8	12	1	0	27	0	0	0	10	41	13	44
0.4	58	76	31	17	14	38	1	2	0	0	0	0	0	0	3	2	4	36
0.5	55	32	24	1	8	30	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	17
0.6	52	22	21	1	3	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
0.7	32	16	12	1	1	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
0.8	27	3	3	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
0.9	16	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rata-rata	45	42	32	34	25	28	11	16	7	9	15	1	6	6	13	25	12	30

(Sumber: UPB Semantok, 2024)

3.2 Debit Ketersediaan Air Total

Debit ketersediaan air total merupakan debit yang masuk dalam operasional Bendungan Semantok. Debit ketersediaan terdiri dari debit Sistem I (Induk WU), debit Limpasan Sungai (Induk WU), dan debit Inflow DAS Bd. Margomulyo/Rejoso (A). Hasil debit ketersediaan air total didapatkan tabel ketersediaan total air pada Tabel 3 – Tabel 4.

Tabel 3. Debit Ketersediaan Air Total

Periode			Dari Sistem 1	Limpasan	Inflow DAS Bd.	Debit Total
(Hari)			(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
N	I	10	0.00	0.35	4.18	4.53
o	II	10	0.00	0.43	4.37	4.80
v	III	10	0.00	0.45	5.03	5.48
D	I	10	0.99	0.78	5.38	7.15
e	II	10	3.59	0.95	5.41	9.95
s	III	11	1.60	0.85	4.78	7.23
J	I	10	1.43	0.67	4.83	6.93
a	II	10	1.46	0.64	4.44	6.55
n	III	11	1.55	0.67	3.97	6.18
F	I	10	2.62	0.69	4.59	7.90
e	II	10	3.12	0.92	4.79	8.83
b	III	8	2.55	0.69	3.94	7.17

Tabel 4. (Lanjutan)

Periode			Dari Sistem 1	Lim- pasan	Inflow DAS Bd.	Debit Total
(Hari)			(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
M	I	10	1.24	0.63	3.37	5.24
a	II	10	0.00	0.42	2.62	3.04
r	III	11	0.00	0.55	2.25	2.79
A	I	10	0.00	0.48	1.65	2.13
p	II	10	0.38	0.42	1.27	2.07
r	III	10	0.00	0.30	1.13	1.43
M	I	10	0.00	0.50	0.93	1.43
e	II	10	0.00	0.48	0.77	1.25
i	III	11	0.00	0.55	0.68	1.23
J	I	10	0.00	0.47	0.56	1.03
u	II	10	0.00	0.48	0.50	0.98
n	III	10	0.00	0.47	0.49	0.97
J	I	10	0.25	0.45	0.43	1.13
u	II	10	0.23	0.43	0.41	1.08
l	III	11	1.07	0.48	0.39	1.94
A	I	10	0.65	0.39	0.38	1.43
g	II	10	0.26	0.32	0.38	0.96
s	III	11	0.11	0.31	0.41	0.83
S	I	10	0.11	0.43	0.46	1.00
e	II	10	0.25	0.46	1.27	1.97
p	III	10	0.00	0.25	2.43	2.69
O	I	10	0.46	0.42	2.84	3.72
k	II	10	1.02	0.54	4.08	5.64
t	III	11	1.42	0.50	3.99	5.91

(Sumber: UPB Semantok, 2024)

3.3 Debit Kebutuhan Air Total

Debit kebutuhan air total merupakan debit yang harus dipenuhi oleh operasional Bendungan Semantok. Rincian luasan daerah pengaliran sebagai berikut:

- Intake I (SS Ngomben): 122 ha
- Intake I (Suplesi WU melalui SS Ngomben): 511 ha
- Intake II (Semantok (Sungai Semantok): 1292,79 ha

Hasil debit kebutuhan air total didapatkan tabel kebutuhan total air pada Tabel 5- Tabel 6.

Tabel 5. Debit Kebutuhan Air Total

Periode			DRP T-T	In- take I (A)	In- take I (B)	Inta-ke II	To-tal
(Hari)			(lt/s/ ha)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
N	I	10	0.94	0.11	0.48	1.22	2.75
o	II	10	1.71	0.21	0.87	2.21	4.99
v	III	10	1.33	0.16	0.68	1.71	3.88
D	I	10	1.14	0.14	0.58	1.48	3.35
e	II	10	0.25	0.03	0.13	0.32	0.72
s	III	11	1.01	0.12	0.52	1.31	2.96

Tabel 6. (Lanjutan)

Periode			DRP T-T	In- take I (A)	In- take I (B)	Inta-ke II	To-tal
(Hari)			(lt/s/ ha)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
J	I	10	0.71	0.09	0.36	0.91	2.07
a	II	10	0.64	0.08	0.32	0.82	1.86
n	III	11	0.65	0.08	0.33	0.85	1.91
F	I	10	0.18	0.02	0.09	0.23	0.52
e	II	10	0.41	0.05	0.21	0.53	1.21
b	III	8	0.21	0.03	0.11	0.27	0.61
M	I	10	0.71	0.09	0.36	0.92	2.08
a	II	10	1.20	0.15	0.61	1.55	3.51
r	III	11	1.75	0.21	0.90	2.27	5.13
A	I	10	1.44	0.18	0.74	1.86	4.21
p	II	10	0.69	0.08	0.35	0.89	2.02
r	III	10	0.88	0.11	0.45	1.14	2.58
M	I	10	0.90	0.11	0.46	1.17	2.64
e	II	10	0.97	0.12	0.49	1.25	2.83
i	III	11	0.98	0.12	0.50	1.27	2.88
J	I	10	1.08	0.13	0.55	1.40	3.17
u	II	10	1.07	0.13	0.55	1.38	3.13
n	III	10	0.92	0.11	0.47	1.19	2.70
J	I	10	0.58	0.07	0.30	0.76	1.71
u	II	10	0.56	0.07	0.29	0.73	1.65
l	III	11	0.24	0.03	0.12	0.31	0.69
A	I	10	0.31	0.04	0.16	0.40	0.89
g	II	10	0.37	0.05	0.19	0.48	1.10
s	III	11	0.44	0.05	0.22	0.57	1.28
S	I	10	0.62	0.08	0.32	0.80	1.80
e	II	10	0.60	0.07	0.31	0.78	1.76
p	III	10	0.55	0.07	0.28	0.71	1.61
O	I	10	0.44	0.05	0.23	0.57	1.29
k	II	10	0.35	0.04	0.18	0.45	1.03
t	III	11	0.09	0.01	0.05	0.12	0.27

(Sumber: UPB Semantok, 2024)

3.4 Keseimbangan Air

Perhitungan keseimbangan air mencakup beberapa hal sebagai berikut.

1) Simulasi Kapasitas Tampungan Waduk

Simulasi kapasitas tampungan waduk merupakan analisis perhitungan neraca air antara ketersediaan air sebagai inflow bendungan dengan kebutuhan air sebagai outflow bendungan untuk mengetahui apakah inflow yang tersedia mampu memenuhi outflow yang dibutuhkan (Putra Adi Surya, 2020). Analisis keseimbangan air dihitung dengan memperhatikan kapasitas tampungan dari Bendungan Semantok dengan debit andalan yang tersedia. Hasil perhitungan simulasi kapasitas tampungan waduk dapat dilihat pada Tabel 7, Tabel 8 dan Tabel 9. (Sumber: Analisis Pribadi, 2024).

Tabel 7. Simulasi Kapasitas Tampungan Waduk dengan Debit Andalan 80%

Periode			Kebutuhan	Ketersediaan	Evaporasi	Presipitasi (R80)		
(Hari)			(m ³ - /s)	(m ³ - /s)	(mm/- 10hr)	(mm/- hr)	(mm/- 10hr)	(mm/- hr)
	I	10	3	2378680	5	3915084	37	4
Nov	II	10	5	4313444	5	4150229	37	4
	III	10	4	3350604	5	4731462	37	4
	I	10	3	2893012	7	6176207	29	3
Des	II	10	1	626130	10	8599304	29	3
	III	11	3	2810207	7	6872320	32	3

Tabel 8. (Lanjutan)

Periode			Kebutuhan		Ketersediaan		Evaporasi			Presipitasi (R80)		
(Hari)			(m ³ - /s)	(m ³)	(m ³ - /s)	(m ³)	(mm/- 10hr)	(mm/- hr)	(m ³)	(mm/- 10hr)	(mm/- hr)	(m ³)
Jan	I	10	2	1784536	7	5986235	32	3	1181334	29	3	1061142
	II	10	2	1605981	7	5655566	32	3	1181334	60	6	2205587
	III	11	2	1818108	6	5877978	36	3	1429414	93	8	3722490
Feb	I	10	1	451958	8	6822784	30	3	1092973	75	7	2730140
	II	10	1	1043930	9	7625816	30	3	1092973	78	8	2852669
	III	8	1	422273	7	4954705	24	3	699503	50	6	1449104
Mar	I	10	2	1794503	5	4530516	28	3	1013645	55	6	2013753
	II	10	4	3031710	3	2629282	28	3	1013645	63	6	2296433
	III	11	5	4877880	3	2656167	31	3	1226510	47	4	1900108
Apr	I	10	4	3636549	2	1843642	24	2	863758	59	6	2145038
	II	10	2	1746355	2	1788822	24	2	863758	61	6	2234712
	III	10	3	2228883	1	1238097	24	2	863758	11	1	413966
Mei	I	10	3	2278326	1	1235036	23	2	822446	27	3	977513
	II	10	3	2445440	1	1080359	23	2	822446	3	0	91979
	III	11	3	2736394	1	1167922	25	2	995159	3	0	109439
Jun	I	10	3	2735268	1	889920	24	2	859492	0	0	1573
	II	10	3	2700068	1	846865	24	2	859492	1	0	22995
	III	10	3	2328903	1	834967	24	2	859492	2	0	67068
Jul	I	10	2	1476682	1	976825	27	3	976306	0	0	0
	II	10	2	1426518	1	929158	27	3	976306	0	0	0
	III	11	1	659494	2	1845905	29	3	1181330	0	0	0
Ags	I	10	1	773276	1	1232054	33	3	1198848	0	0	0
	II	10	1	946998	1	832611	33	3	1198848	0	0	0
	III	11	1	1220169	1	791569	36	3	1450606	0	0	0
Sep	I	10	2	1558643	1	867443	41	4	1482979	0	0	0
	II	10	2	1521080	2	1705129	41	4	1482979	0	0	0
	III	10	2	1394851	3	2323186	39	4	1415759	0	0	0
Okt	I	10	1	1116355	4	3213237	39	4	1415759	0	0	0
	II	10	1	888019	6	4869513	39	4	1415759	0	0	0
	III	11	0	259979	6	5612869	43	4	1713068	3	0	133505

Tabel 9. (Lanjutan)

Periode			Kebutuhan Air Total	Ketersediaan Air Total	Defisit	Volume Total	Tampungan Efektif	Spill Out	Tampungan Total
(Hari)			(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)	(m3)
Nov	I	10	2512015	3956376	1444361	27580361	26136000	1444361	32670000
	II	10	5646789	5192612	-454177	25681823	25681823	0	32215823
	III	10	4683948	7269768	2585820	28267643	26136000	2131643	32670000
Des	I	10	3949287	7782788	3833502	29969502	26136000	3833502	32670000
	II	10	1682405	11451890	9769485	35905485	26136000	9769485	32670000
	III	11	4088299	7986444	3898145	30034145	26136000	3898145	32670000
Jan	I	10	2965869	7047376	4081507	30217507	26136000	4081507	32670000
	II	10	2787314	7861153	5073839	31209839	26136000	5073839	32670000
	III	11	3247521	9600468	6352946	32488946	26136000	6352946	32670000
Feb	I	10	1544931	9552924	8007992	34143992	26136000	8007992	32670000
	II	10	2136904	10478485	8341582	34477582	26136000	8341582	32670000
	III	8	1121776	6403809	5282033	31418033	26136000	5282033	32670000
Mar	I	10	2808148	6544269	3736122	29872122	26136000	3736122	32670000
	II	10	4045355	4925715	880360	27016360	26136000	880360	32670000
	III	11	6104390	4556275	-1548115	24587885	24587885	0	31121885
Apr	I	10	4500308	3988679	-511628	24076257	24076257	0	30610257
	II	10	2610113	4023534	1413421	25489678	25489678	0	32023678
	III	10	3092641	1652063	-1440578	24049100	24049100	0	30583100
Mei	I	10	3100771	2212549	-888222	23160878	23160878	0	29694878
	II	10	3267886	1172338	-2095548	21065330	21065330	0	27599330
	III	11	3731554	1277361	-2454192	18611138	18611138	0	25145138
Jun	I	10	3594760	891493	-2703267	15907871	15907871	0	22441871
	II	10	3559559	869860	-2689699	13218171	13218171	0	19752171
	III	10	3188395	902035	-2286360	10931812	10931812	0	17465812
Jul	I	10	2452988	976825	-1476163	9455649	9455649	0	15989649
	II	10	2402824	929158	-1473666	7981983	7981983	0	14515983
	III	11	1840824	1845905	5082	7987064	7987064	0	14521064
Ags	I	10	1972124	1232054	-740070	7246995	7246995	0	13780995
	II	10	2145846	832611	-1313235	5933760	5933760	0	12467760
	III	11	2670775	791569	-1879207	4054554	4054554	0	10588554
Sep	I	10	3041622	867443	-2174179	1880374	1880374	0	8414374
	II	10	3004059	1705129	-1298930	581444	581444	0	7115444
	III	10	2810610	2323186	-487424	94020	94020	0	6628020
Okt	I	10	2532114	3213237	681124	775144	775144	0	7309144
	II	10	2303778	4869513	2565735	3340879	3340879	0	9874879
	III	11	1973047	5746374	3773327	7114206	7114206	0	13648206

2) Analisis Tinggi Jatuh

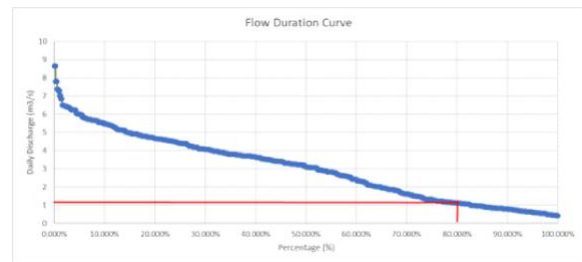
Analisis tinggi jatuh merupakan langkah-langkah untuk mengetahui ketinggian jatuhnya aliran air yang memiliki energi potensial dan energi kinetik untuk kemudian dimanfaatkan menjadi energi mekanik di turbin dan diubah menjadi energi listrik. Pada PLTA reservoir, tinggi jatuh merupakan selisih elevasi muka air waduk dengan elevasi turbin (Sachdev et al., 2015).

Hbruto = elv. muka air minimum – elv. rencana turbin
Hbruto = 86,24 – 50,895 = 35,345 m

Hbruto pada hasil perhitungan adalah sebesar 35,345 m.

3) Analisis Debit Andalan

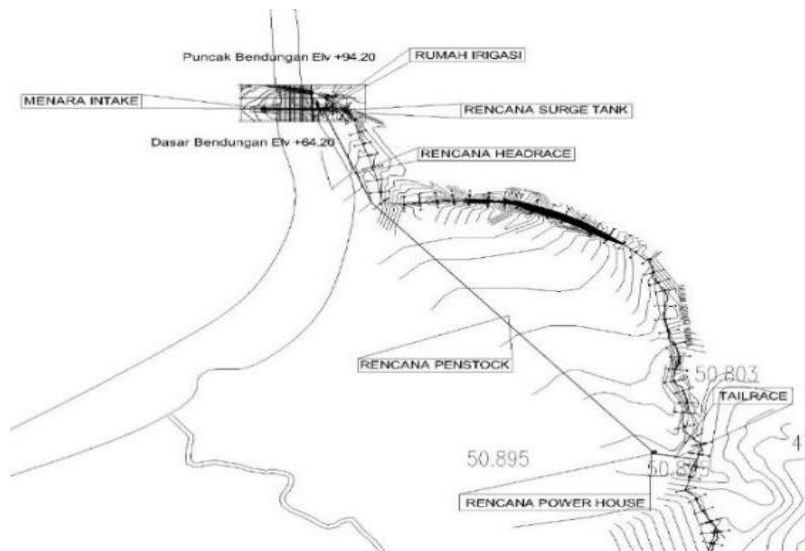
Menurut (Permata Pertiwi, 2019), Debit andalan dicari berdasarkan probabilitas terjadinya tiap debit yang melimpas. Data yang digunakan dalam perhitungan merupakan data debit kebutuhan irigasi bendungan Semantok. Debit andalan yang dipakai adalah Q80. Grafik Flow Duration Curve dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Flow Duration Curve Debit Kebutuhan irigasi Bendungan Semantok

3.5 Perencanaan Bangunan Sipil pada PLTA

Pada perencanaan PLTA, diperlukan bangunan konstruksi sipil yang juga direncanakan dengan skema bangunan yang sesuai dengan kondisi di lapangan (Luthfi Azizah, 2016). Pada Skema Irigasi Semantok, terdapat 2 intake yaitu Intake I (Semantok) yang berukuran 1,75 x 1,75 m dan Intake II (Ngomben) yang berukuran 1 x 1 m. Pada perencanaan bangunan sipil, digunakan intake eksisting Intake II (Ngomben) dengan debit 0,4 m³/s. Layout Perencanaan PLTA dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Layout Perencanaan PLTA

1) Perencanaan Intake

Direncanakan :

Dimensi = 1 m x 1 m

Luas penampang (A) = 1 m²

Debit analan (Q) = 1,1 m³/s

Qrencana = 0,4 x Q

Qrencana = 1,2 x 0,4 m³/s = 0,48 m³/s

Hlosses= 0.0484 m

2) Perencanaan Headrace

Bangunan headrace dapat menggunakan saluran yang ditambahkan dari bangunan eksisting yang sudah ada di lapangan (Kementerian PUPR, 2017b). Kondisi eksisting pada pintu air terdiri dari 2 saluran irigasi. Saluran irigasi utama memiliki panjang 7,97 m dengan

diamerter 0,35 m pada masing-masing saluran. Saluran rencana PLTA yang direncanakan ada di sebelum percabangan saluran irigasi utama sepanjang 40 m dengan diameter 0,9 m. debit yang masuk di headrace adalah sebesar 0,32 m³/s.

Direncanakan :

Debit andalan (Q) = 0,32 m³/s

Qrencana = 1,2 x Q

Qrencana = 1,2 x 0,32 m³/s = 0,39 m³/s

Saluran rencana (pipa headrace) :

Panjang (l) = 200 m

Diameter (D) = 0,9 m

Hlosses=0,101 m

3) Perencanaan Penstock

Diketahui :

$$H = 35,345 \text{ m}$$

$$Q = 0,39 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$n = 0,012$$

$$L = 650 \text{ m}$$

$$D = 0,7 \text{ m}$$

$$\delta = 3 \text{ mm}$$

$$H_{\text{losses}} = 0,418 \text{ m}$$

4) Perencanaan Surge Tank

$$\text{Tinggi} = 26 \text{ m}$$

$$\text{Diameter} = 1 \text{ m}$$

Surge Tank direncanakan dengan dimensi tersebut dan dilakukan perhitungan fluktuasi muka air dalam surge tank pada saat pembukaan turbin keadaan air diam, lalu maksimal, hingga seimbang Kembali (Kumar & Saini, 2022).

5) Tinggi Jatuh Efektif

Tinggi jatuh efektif diperoleh berdasarkan dari tinggi jatuh bruto dikurangi dengan kehilangan energi yang terjadi. H_{losses} adalah tinggi kehilangan energi total yang terjadi akibat trashrack, masukan pipa, belokan pada pipa, gesekan sepanjang pipa, perubahan penampang, dan keluaran pipa (Fahreza Akbar, 2018). Berdasarkan hasil perhitungan tinggi jatuh efektif didapatkan 31,81 m.

3.6 Perencanaan Turbin

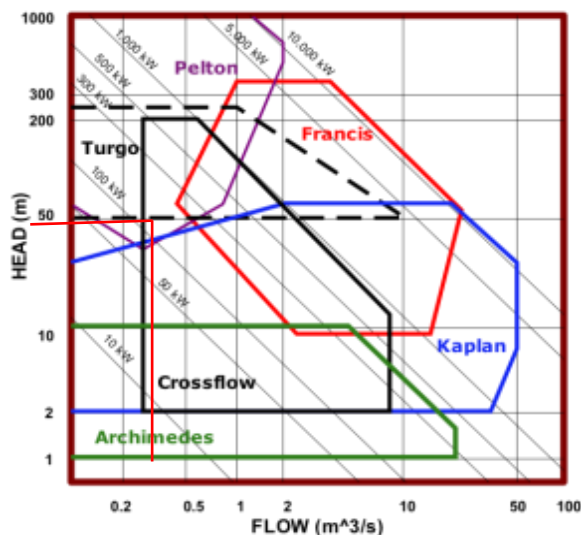
Diketahui :

$$Q = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_o = 1,2Q = 0,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{\text{eff}} = 31,81 \text{ m}$$

Turbin = Kaplan, Crossflow



Gambar 6. Jenis Turbin yang Digunakan pada Rencana PLTA

Berdasarkan hasil diagram klasifikasi turbin pada Gambar 6, dengan $Q = 0,39 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan $H_{\text{eff}} = 31,81 \text{ m}$, didapatkan jenis turbin yang

sesuai dengan kriteria perencanaan adalah turbin Kaplan dan Crossflow.

Diketahui :

$$Q = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_o = 1,2Q = 0,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q/Q_o = 0,83$$

Efisiensi :

$$\text{Kaplan} = 90\%$$

$$\text{Crossflow} = 78\%$$

Berdasarkan hasil diagram efisiensi turbin pada Gambar 5, dengan rencana $Q/Q_o = 0,83$, didapatkan nilai efisiensi paling tinggi pada jenis turbin Kaplan sebesar 90%.

3.7 Daya dan Energi Listrik

1) Analisis Daya Listrik

Analisis daya listrik merupakan perhitungan energi listrik yang dihasilkan per satuan waktu. Besarnya daya listrik dipengaruhi oleh jenis turbin yang dipakai dengan efisiensinya masing-masing (Kuriqi et al., 2021).

Diketahui :

$$Q = 0,32 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_o = 1,2Q = 0,39 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{\text{eff}} = 31,81 \text{ m}$$

Turbin = Kaplan

Efisiensi = 90%

$$P = \eta \cdot g \cdot Q \cdot H_{\text{eff}} \quad P = 90\% \cdot (9,81) \cdot 0,39 \cdot 31,81$$

$$P = 110,29 \text{ kW}$$

2) Analisis Energi Listrik

Untuk mengetahui besarnya energi yang dihasilkan tiap tahun, maka daya listrik tersebut dikalikan satuan waktu dan faktor pengali 80% sesuai peluang terjadinya debit andalan Q_{80} sepanjang tahun sebagai berikut.

$$E = P \cdot t$$

$$E = 110,29 \times 365 \times 24 \times 80\%$$

$$E = 772.978,06 \text{ kWh}$$

Jadi, potensi listrik yang dihasilkan melalui perencanaan PLTA Bendungan Semantok dengan turbin Kaplan 1 buah adalah daya listrik sebesar 110,29 kW dan energi listrik tahunan sebesar 772.978,06 kWh. Dengan nilai daya listrik sebesar 110,29 kW, menurut klasifikasi PLTA berdasarkan kapasitas pembangkitan, PLTA yang direncanakan termasuk dalam PLTA Minihidro (PLTMH) karena nilai daya listriknya antara 100-1000 kW (Tkáč, 2018). Jika dengan nilai tinggi H_{Bruto} sebesar 35,345 m, menurut klasifikasi PLTA berdasarkan ketinggian head, PLTA yang direncanakan termasuk dalam PLTA head menengah karena H_{Bruto} nya antara 30-100 m (Mahmut, 2022).

Analisis perencanaan bangunan sipil tidak memperhitungkan analisis struktur sehingga perlu ditinjau lebih lanjut apakah perencanaan dapat dilaksanakan di lapangan (Pérez-Díaz et al., 2015). Perencanaan bangunan sipil PLTA direncanakan dengan asumsi pengambilan air berasal dari debit

yang masuk pada intake II (Ngomben). Disarankan untuk penelitian lebih lanjut, digunakan asumsi pengambilan air berasal dari debit yang masuk pada intake I (Semantok).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan, direncanakan PLTA dengan dengan skema bangunan sipil mulai dari *intake*, *headrace*, *surge tank*, *penstock*, dan *powerhouse*. Dari hasil perencanaan tersebut, didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Simulasi kapasitas tampungan waduk dengan debit andalan Q80 menghasilkan volume tampungan waduk minimum sebesar 32.670.000 m³ dengan elevasi muka air waduk minimum sebesar +86,24 m, sehingga direncanakan debit andalan waduk sebesar 1,1 m³/detik. Sedangkan debit andalan yang digunakan dalam perencanaan PLTA adalah debit yang masuk ke *headrace* sebesar 0,32 m³/detik.
2. Analisis tinggi jatuh efektif merupakan perhitungan tinggi jatuh bruto dikurangi kehilangan energi sehingga menjadi tinggi jatuh netto (efektif). Nilai Hbruto sebesar 35,345 m, nilai Hlosses sebesar 3,5345 m, nilai Heff sebesar 31,81 m.
3. Hasil dimensi perencanaan bangunan PLTA adalah sebagai berikut; Intake: bangunan menara tenggelam dengan dimensi 1 m x 1 m, H losses = 0,0484 m; Headrace: Panjang = 200 m, Diameter = 0,9 m, H losses : 0,101 m; Penstock: Panjang = 650 m, Diameter = 0,7 m, H losses = 0,418 m; Surge tank: Tinggi = 26 m, Diameter = 1 m; Powerhouse : Bangunan rumah sederhana dengan luas 15 m x 10 m.
4. Turbin direncanakan menggunakan tipe Kaplan sebanyak 1 buah dengan efisiensi 90% sehingga menghasilkan daya listrik sebesar 110,29 kW dan energi listrik sebesar 772.978,06 kWh per tahun.
5. Dengan nilai daya listrik sebesar 110,29 kW, menurut klasifikasi PLTA berdasarkan kapasitas pembangkitan, PLTA yang direncanakan termasuk dalam PLTA Minihidro (PLTMH) karena nilai daya listriknya antara 100-1000 kW. Jika dengan nilai tinggi H Bruto sebesar 35,345 m, menurut klasifikasi PLTA berdasarkan ketinggian head, PLTA yang direncanakan termasuk dalam PLTA head menengah karena H Brutonya antara 30-100 m.

PUSTAKA

- Abner Phalosa, W. (2023). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Sungai Kumbi Nusa Tenggara Barat*.
- Azhar, F., Hidayat, A., & Edijatno. (2015). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Bendungan Semantok, Nganjuk, Jawa Timur*.
- Basyiran, T. B. (2014). *Konsumsi Energi Listrik, Pertumbuhan Ekonomi Dan Penduduk Terhadap Emisi Gas Rumah Kaca Pembangkit Listrik Di Indonesia 1*. [Http://Etd.Unsyiah.Ac.Id/Index.Php?P=Show_Detail&Id=4500](http://Etd.Unsyiah.Ac.Id/Index.Php?P=Show_Detail&Id=4500),
- Buyung, S. (2016). *Analisis Pengaruh Tinggi Jatuhnya Air (Head) Terhadap Daya Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro Tipe Turbin Pelton Surianto Buyung*. [Www.Pipercomex.Com/2011/09/G](http://www.pipercomex.com/2011/09/G)
- Fahreza Akbar, S. (2018). *Design Of Minihydro Power Plant In Gondang Dam Karanganyar Central Java*.
- Hafid Dzikri, T. (2023). *03111940000059-Undergraduate_Thesis (Versi Revisi Pasca Kumpul)*.
- Kementerian Pupr. (2017a). *13044 Modul 1 Perundangan Pembiayaan Infrastruktur*.
- Kementerian Pupr. (2017b). *Esmf Untuk Proyek Nuws*.
- Kumar, K., & Saini, R. P. (2022). A Review On Operation And Maintenance Of Hydropower Plants. *Sustainable Energy Technologies And Assessments*, 49. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101704>
- Kuriqi, A., Pinheiro, A. N., Sordo-Ward, A., Bejarano, M. D., & Garrote, L. (2021). Ecological Impacts Of Run-Of-River Hydropower Plants—Current Status And Future Prospects On The Brink Of Energy Transition. In *Renewable And Sustainable Energy Reviews* (Vol. 142). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110833>
- Kurnia Hidayat, A., & Empung. (2016). 99-166-1-Sm.
- Luthfi Azizah, T. (2016). *Optimizing The Utilization Water Of Tugu Reservoir At Trenggalek*.
- Mahmut, T. (2022). *Ejcmpr_Volume 1_Issue 4_Pages 130-137*.
- Panuluh Meila Riskia Fitri, S. (2015). *Perkembangan Pelaksanaan Sustainable Development Goals (Sdgs) Di Indonesia*. [Www.infid.org](http://www.infid.org)
- Pérez-Díaz, J. I., Chazarra, M., García-González, J., Cavazzini, G., & Stoppato, A. (2015). Trends And Challenges In The Operation Of Pumped-Storage Hydropower Plants. In *Renewable And Sustainable Energy Reviews* (Vol. 44, Pp. 767–784). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.029>
- Permata Pertiwi, S. (2019). *03111745000053_Undergraduate_Theses*.

- Putra Adi Surya, A. (2020). *Penelusuran Banjir Pada Waduk Semantok Kabupaten Nganjuk Jawa Timur*.
- Sachdev, H. S., Akella, A. K., & Kumar, N. (2015). Analysis And Evaluation Of Small Hydropower Plants: A Bibliographical Survey. In *Renewable And Sustainable Energy Reviews* (Vol. 51, Pp. 1013–1022). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.065>
- Tkáč, Š. (2018). Hydro Power Plants, An Overview Of The Current Types And Technology. *Selected Scientific Papers - Journal Of Civil Engineering*, 13(S1), 115–126.
<https://doi.org/10.1515/Sspjce-2018-0011>
- Valavi, M., & Nysveen, A. (2018). Variable-Speed Operation Of Hydropower Plants: A Look At The Past, Present, And Future. *Ieee Industry Applications Magazine*, 24(5), 18–27.
<https://doi.org/10.1109/Mias.2017.2740467>