

**ANALISA POTENSI DAYA LISTRIK PADA BENDUNGAN EKSISTING DI INDONESIA UNTUK
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) GUNA MENCAPAI TARGET BAURAN ENERGI
SEBESAR 23% TAHUN 2025**

Siska Widyastuti¹, Rinaldy Dalimi²

^{1,2}Universitas Indonesia

e-mail : ¹siskawidyas27@gmail.com, ²rinaldy@eng.ui.ac.id

ABSTRACT

This study analyzes the electricity potential of existing dams that have been built in Indonesia to achieve the renewable energy mix target of 23% by 2025. Based on a meeting of the Ministry of Public Works and Public Housing with a number of related agencies in Solo on August 25 2016 to overcome the energy crisis, the Government plans to utilize 17 existing dams that have the potential to generate electricity. Its main advantages are reduced initial investment costs, shorten dam planning and construction time and avoiding social conflicts over land acquisition. This can also be a solution to the current condition of hydroelectric dams (PLTA), most of which have silting so they cannot operate optimally. The method used to obtain the value of generating energy from the dam is based on the area of the river basin, the height of the rainfall and the measurement data of the nearest discharge station which is converted into discharge at the study location using the Catchment Area Ratio Method. Furthermore, the difference in the height of the water level upstream and downstream is multiplied by the efficiency of the turbine and generator and the design discharge obtained previously using the curved curve method so that the electrical potential and energy are obtained. The results of these calculations show that the total energy of 17 existing dams is 243.5 MW, this figure has not been able to meet the government target figure for renewable energy generation in 2021, namely 1542 MW, and is still far from the RUEN target until 2025 which reaches 45,200 MW. Even so, this is a good potential so that the government can explore more potentials for other existing dams.

Keywords : *Electric Power Potential, Hydroelectric Power, Renewable energy Mix.*

INTISARI

Kajian ini menganalisis potensi listrik pada bendungan eksisting yang telah dibangun di Indonesia untuk mencapai target bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025. Berdasarkan rapat Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dengan sejumlah instansi terkait di Solo tanggal 25 Agustus 2016 untuk mengatasi krisis energi, Pemerintah berencana memanfaatkan 17 bendungan eksisting yang berpotensi untuk dibangkitkan daya listriknya. Keuntungan utamanya adalah memangkas biaya investasi awal, mempersingkat waktu perencanaan dan konstruksi bendungan dan menghindari konflik sosial pada pembebasan lahan. Hal tersebut juga dapat menjadi solusi terhadap kondisi bendungan pembangkit listrik tenaga air (PLTA) saat ini, yang sebagian besar telah mengalami pendangkalan sehingga tidak dapat beroperasi secara optimum. Metode yang digunakan untuk memperoleh nilai energi pembangkit dari bendungan, yaitu berdasarkan luas daerah aliran sungai, tinggi curah hujan dan data pengukuran stasiun debit terdekat yang dikonversi menjadi debit pada lokasi studi menggunakan metode Catchment Area Ratio Method. Selanjutnya beda tinggi elevasi muka air di hulu dan hilir dikalikan dengan efisiensi turbin dan generator serta debit desain yang diperoleh sebelumnya menggunakan metode kurva lengkung sehingga diperoleh daya potensi listrik dan energinya. Hasil dari perhitungan tersebut menunjukkan bahwa total energi dari 17 bendungan eksisting adalah 243,5 MW, angka ini belum dapat memenuhi angka target pemerintah untuk pembangkitan energi terbarukan tahun 2021 yaitu 1542 MW, dan masih jauh dari target RUEN hingga tahun 2025 yang mencapai 45.200 MW. Meski begitu, ini merupakan potensi yang baik sehingga pemerintah bisa menggali lebih banyak potensi bendungan eksisting lainnya.

Kata kunci : *Bauran Energi Terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Air, Potensi Daya Listrik.*

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka memenuhi target bauran energi nasional 23% energi terbarukan (EBT) di tahun 2025 yang tertuang pada Kebijakan Energi Nasional (KEN), Pemerintah bersama PT. PLN (Persero) telah merencanakan strategi untuk memenuhi aspek *energy sustainability* dengan memanfaatkan potensi energi setempat di suatu daerah secara lebih luas seperti pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Kondisi Tampungan waduk PLTA per kapitanya saat ini, hanya 50 m³, kondisi tersebut sangat berbanding jauh jika dibandingkan dengan Thailand yang memiliki kapasitas tampungan waduk 1.277 m³/kapita. Kondisi Waduk-waduk PLTA eksisting mengalami pendangkalan dan mengakibatkan menurunnya produksi listrik. Pengerukan sedimentasi waduk dianggap sudah tidak efektif karena hanya berdampak terhadap 20% total kapasitas tampungan saja sedangkan biaya yang dikeluarkan tidaklah sedikit (ESDM, 2016). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) telah melakukan *rapid assesment* terhadap 34 bendungan mulai Desember 2014 hingga November 2015, Bendungan Keuliling, Rajui, Batutegi, Sermo, Darma, Pongkor, Ketjo, Malahayu, Cacaban, Penjalin, Klego, Rawo, Gembong, Pacal, Pondok, Gondang, Jatibarang, Jatimlerek, Lengkong Baru, Menturus, Mrican, Turi, Wlingi, Benel, Grokgak, Telaga Tanjung, Titab, Tukad Unda, Sumi, Pandanduri, Batubulan, Ponre-ponre, Salomekko dan Martenebe. Maka diketahuilah ada 17 bendungan yang dianggap layak untuk ditawarkan kepada pihak swasta agar dibangun PLTA, hal ini bertujuan untuk menghemat waktu dan biaya investasi awal dan menghindari konflik sosial pada pembebasan lahan baru. Kajian ini dimaksudkan untuk menghitung potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan dari bendungan eksisting tersebut.

Dalam kaitan dengan rencana pemerintah tersebut, maka perlu dilakukan kajian mengenai nilai potensi daya yang dapat dibangkitkan. Perhitungan potensi daya listrik yang akan dibangkitkan dapat diperoleh melalui perhitungan sederhana dengan memanfaatkan data pengukuran debit harian pada stasiun debit di sekitar lokasi bendungan, data luas daerah aliran sungai, rata-rata hujan daerah dan beda elevasi muka air di hulu dan hilir sungai. Data pengukuran debit harian di stasiun terdekat diperoleh dari Pusat penelitian dan pengembangan sumberdaya air Kementerian PUPR (Puslitbang, Bandung), sedangkan data curah hujan dirujuk berdasarkan Atlas curah hujan Indonesia dari BMKG dan Bakosurtanal tahun 2015, curah hujan daerah ditampilkan dalam metode isohyet. Luas daerah aliran sungai bendungan digambarkan menggunakan peta google maps yang dibandingkan dengan literature yang pernah ada sebelumnya. Data debit harian dari stasiun terdekat akan diuji statistik terlebih dahulu untuk mengetahui kelayakan data, dengan menggunakan uji *outliers* untuk mengetahui nilai ambang atas dan bawah data tersebut, data yang tidak termasuk kedalam batas ambang maka akan diseleksi dan tidak digunakan lagi dalam perhitungan lanjutan. Seperti pengertiannya data *outliers* adalah data yang memiliki karakteristik unik yang terlihat sangat berbeda jauh dari observasi dan muncul dalam bentuk nilai yang ekstrim (Ghozali, 2011). Adapun nilai eksponensial sampel akan dikalikan dengan besaran yang ditentukan oleh Departemen Pekerjaan Umum sebagaimana dalam tabel 1. Uji ini bertujuan untuk memperoleh nilai debit andalan yang sesuai dengan kondisi lokasi bendungan eksisting yang dimaksudkan untuk memperoleh nilai potensi daya listrik, sebagaimana latar belakang penelitian ini adalah memperoleh potensi daya listrik dari bendungan eksisting untuk memenuhi bauran energi 23% tahun 2025.

Setelah itu data debit yang telah lolos uji statistik dapat dikonversi menjadi data debit pada lokasi bendungan dengan menggunakan metode pendekatan *Catchment Area Ratio Method*. Data debit tersebut

selanjutnya akan dirangking menggunakan metode kurva lengkung debit atau *flow duration curve* (FDC) untuk memperoleh nilai debit andalan atau debit desain. Menurut (Yulius, 2014) dalam jurnalnya yang menyebutkan bahwa metode kurva lengkung debit atau *flow duration curve* (FDC) dapat digunakan untuk menggambarkan probabilitas kejadian debit saat waktu tertentu dan probabilitas kejadian debit selama waktu tertentu. Dari data debit desain yang digambarkan dalam grafik lengkung debit akan dihitung potensi daya dan energinya. Perhitungan daya dan energi merupakan *output* dalam studi ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) Menghitung debit desain untuk memperoleh nilai potensi daya listrik yang dihasilkan dan (2) Membuat desain awal sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Manfaat dari penelitian ini adalah untuk menunjang kebijakan pemerintah yang tertuang dalam RUEN untuk mencapai target bauran energy 23% ditahun 2025.

2. METODE PENELITIAN

a. Desain Penelitian

Desain Penelitian studi ini bersifat deskriptif karena memiliki pernyataan yang jelas mengenai permasalahan yang dihadapi, hipotesis yang spesifik dan informasi detail mengenai data yang dibutuhkan untuk menghitung potensi daya listrik yang akan dibangkitkan.

b. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah 17 bendungan eksisting yaitu Bendungan Jatigede (Sumedang), Bendungan Jatibarang (Semarang), Bendungan Gerak Serayu (Banyumas), Bendung Karet Jatimlerek (Jombang), Bendung Gerak Lengkong Baru (Mojokerto), Bendungan Menturus (Jombang), Bendungan Lepen Mrican (Yogyakarta), Bendungan Waru Turi (Kediri), Bendungan Wlingi (Blitar), Bendungan Karangates (Malang), Bendung Gerak Lodoyo (Blitar), Bendungan Tukad Unda (Bali), Bendungan Titab (Bali), Bendungan Pandan Duri (Lombok Timur), Bendungan Batutegi (Lampung), Bendungan Gerak Perjaya (Ogan Komering Ilir) dan Bendung Gerak Batanghari (Solok). Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber : Hasil Visualisasi

Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

c. Sumber Data dan Metode Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini mencakup data sekunder yang telah berasal dari literature penelitian yang telah ada, data rata-rata curah hujan daerah diambil dari Atlas curah hujan Indonesia dari BMKG dan Bakosurtanal tahun 2015 dan data harian debit stasiun hujan terdekat diperoleh dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Kementerian PUPR (PUSLITBANG Bandung).

d. Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah penyusunan studi penelitian ini adalah:

1. Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) digambarkan pada google maps dan dikonfirmasi luasannya menggunakan literature yang pernah ada sebelumnya;
2. Data curah hujan rata-rata daerah diperoleh dari Atlas Curah Hujan Indonesia peta isohyets BMKG dan Bokusurtanal tahun 2015;
3. Data debit harian stasiun debit terdekat diperoleh dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Kementerian PUPR (Puslitbang, Bandung), dengan panjang data minimal 10 tahun (Simantu Kementerian PUPR Modul 7, 2017);
4. Data debit harian stasiun hujan terdekat diuji statistik uji *outliers* terlebih dahulu untuk mengetahui kelayakan data, data yang tidak masuk kriteria ambang akan diseleksi dan tidak digunakan pada analisa selanjutnya. Jumlah data akan menentukan nilai K_n sebagai nilai perkalian dalam menentukan batas ambang (Ven Te Chow, 1988). Untuk menghitung nilai batas ambang atas menggunakan Persamaan (1) sedangkan perhitungan nilai ambang bawah menggunakan persamaan (2).

$$XH = \text{Exp.} (X_{\text{rerata}} + K_n \cdot S) \dots\dots\dots(1)$$

$$XL = \text{Exp.} (X_{\text{rerata}} - K_n \cdot S) \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

XH = Nilai ambang atas, XL = Nilai ambang bawah, Xrerata = Nilai rata-rata

S = Simpangan baku dari logaritma terhadap data, K_n = Besaran tergantung jumlah sampel data

n = Jumlah sampel data

Tabel 1. Nilai K_n untuk Pengujian Uji *Outliers*

Jumlah Data	K_n	Jumlah Data	K_n	Jumlah Data	K_n	Jumlah Data	K_n
10	2,036	24	2,467	38	2,661	60	2,837
11	2,088	25	2,468	39	2,671	65	2,866
12	2,134	26	2,502	40	2,682	70	2,893
13	2,175	27	2,519	41	2,692	75	2,917
14	2,213	28	2,534	42	2,700	80	2,940
15	2,247	29	2,549	43	2,710	85	2,961
16	2,279	30	2,563	44	2,719	90	2,981
17	2,309	31	2,577	45	2,727	95	3,000
18	2,335	32	2,591	46	2,736	100	3,017
19	2,361	33	2,604	47	2,744	110	3,049
20	2,385	34	2,616	48	2,753	120	3,078
21	2,408	35	2,628	49	2,760	130	3,104
22	2,429	36	2,639	50	2,768	140	3,129
23	2,448	37	2,650	51	2,804		

Sumber : (Ven Te Chow, 1988)

5. Selanjutnya, untuk menentukan besarnya aliran debit pada lokasi bendungan dapat menggunakan data debit harian pada lokasi stasiun debit terdekat menggunakan metode *Catchment Area Ratio*. Metode ini

memperkirakan debit di lokasi yang tidak memiliki stasiun pengukuran debit dengan mengkonversi debit yang diukur di stasiun referensi terdekat dengan rasio wilayah dari Daerah Aliran Sungai (DAS) (Archfield and Vogel, 2010), yang dirumuskan seperti pada persamaan (3).

$$Q_d = Q_w \times \frac{A_d}{A_w} \times \frac{R_d}{R_w} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- Q_d = Debit lokasi bendungan (m³/d)
- Q_w = Debit stasiun pengukur debit terdekat (m³/d)
- A_d = *Area of Catchment* atau Daerah Aliran Sungai (DAS) lokasi bendungan
- A_w = *Area of Catchment* atau Daerah Aliran Sungai (DAS) lokasi stasiun pengukur debit terdekat
- R_d = *Rainfall* atau curah hujan rata-rata daerah lokasi bendungan
- R_w = *Rainfall* atau curah hujan rata-rata daerah lokasi stasiun pengukur debit terdekat

6. Data debit harian pada lokasi bendungan akan dibuatkan grafik kurva lengkung debitnya atau *Flow Duration Curve* (FDC). Lengkung debit adalah suatu kurva yang menggambarkan hubungan antara tinggi muka air dan debit sungai/saluran terbuka pada suatu penampang melintang tertentu (Departemen Pekerjaan Umum, 2009). Data akan diranking dan diberikan nilai probabilitas kemunculan debit sepanjang tahun, sehingga diperoleh debit desain rencana Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). persamaan lengkung debit dapat menggunakan metode logaritmik seperti pada persamaan (4)

$$Q = A (H - H_0)^B \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

- Q = debit (m³/d), H = tinggi muka air (m), H_0 = tinggi muka air pada saat aliran sama dengan nol
- A, B = konstanta

7. Mencari beda elevasi muka air hulu dan hilir atau tinggi jatuh sesuai dengan literature yang ada sebelumnya;
8. Selanjutnya, dengan menggunakan formula perkalian antara tinggi jatuh, debit desain, efisiensi turbin-generator dan gaya gravitasi diperoleh nilai potensi daya pembangkitan seperti pada persamaan (5)

$$P = Q * \text{Eff turbin} * \text{Eff Generator} * \text{Gravity} * \text{Head} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

- P = Daya listrik (kW), Q = Debit desain (m³/d), Eff Turbin = Efisiensi turbin (%)
- Eff Generator = Efisiensi jenis generator (%), Gravitasi = Gravitasi (m/s)
- Head = Beda elevasi muka air hulu dan hilir/ tinggi jatuh (m)

9. Daya pembangkitan listrik akan dikali dengan 24 jam dan jumlah hari dalam satu tahun 365 hari untuk memperoleh nilai energi listrik tahunan. Rumus yang digunakan seperti pada persamaan (6).

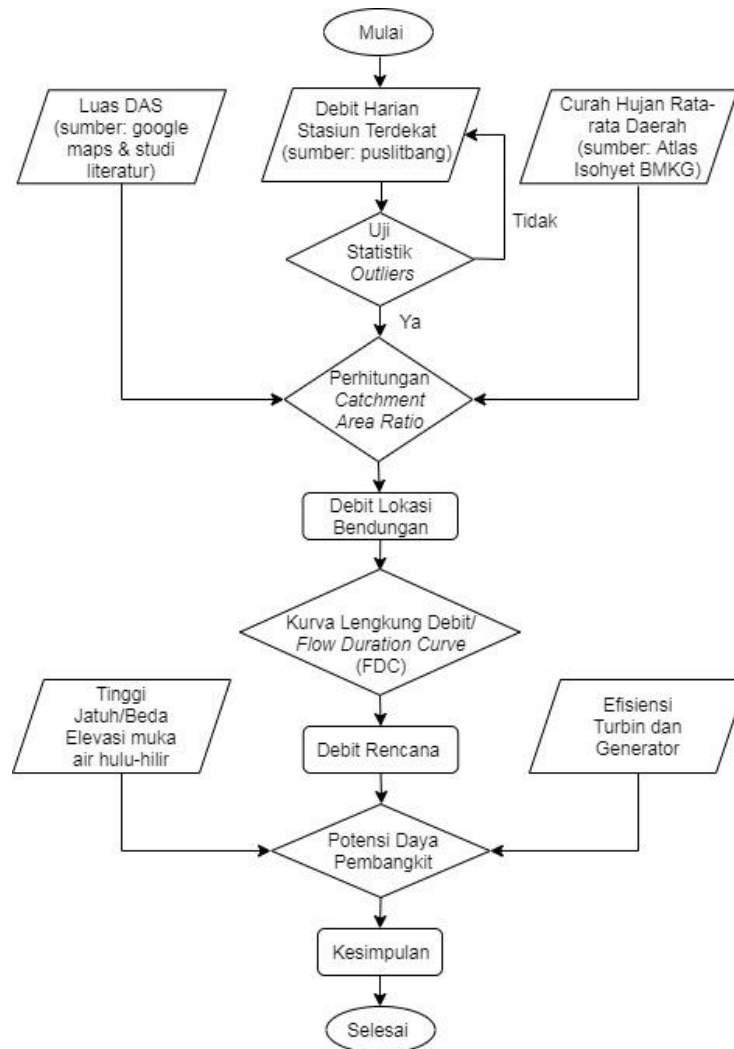
$$E = P \times 24 \text{ jam} \times 365 \text{ hari} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

- E = Energi Listrik (MWh)

e. Prosedur Penelitian

Secara sistematis langkah-langkah pengerjaan studi ini sesuai dengan diagram alir seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Prosedur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN.

3.1 Hasil Uji Outliers Data Debit Harian Stasiun Debit Terdekat

Uji *outliers* dimaksudkan untuk mengetahui kelayakan data hasil observasi yang akan digunakan dalam perhitungan, agar data yang digunakan dapat mendekati data real dilapangan. Selanjutnya, data yang telah lolos seleksi, akan dikonversi menjadi debit harian pada lokasi bendungan menggunakan perhitungan *catchment area ratio*. Sebagaimana hasil Uji *Outlier* pada Bendungan Jatigede berikut:

1. Data debit harian yang digunakan dari Stasiun Tomo, yang merupakan stasiun terdekat dengan lokasi bendungan dan berasal dari sungai yang sama yaitu sungai Cimanuk. Panjang data dari tahun 1969-2018, dibuat rata-rata debit tahunannya;
2. Nilai rata-rata debit tahunannya dikali angka logaritmiknya, dijumlah dan dicari nilai reratanya. Rerata debit = 91,008; rerata log = 1,920; jumlah debit = 4277,40 m³/d; jumlah log = 90,243 (tabel 2);

3. Menghitung standar deviasi dari nilai log rata-rata debit harian. St.dev = 0,180 seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji *Outlier* Bendungan Jatigede

No	Tahun	Debit (m ³ /d)	Log X	29	1996	251.28	2.400
1	1969	-	-	30	1997	33,852	1,530
2	1970	113,15	2,054	31	1998	108,44	2,035
3	1971	84,330	1,926	32	1999	83,816	1,923
4	1972	-	-	33	2000	76,495	1,884
5	1973	74,722	1,873	34	2001	63,754	1,805
6	1974	88,119	1,945	35	2002	80,761	1,907
7	1975	115,58	2,063	36	2003	64,871	1,812
8	1976	63,310	1,801	37	2004	82,287	1,915
9	1977	68,348	1,835	38	2005	47,125	1,673
10	1978	81,322	1,910	39	2006	62,947	1,799
11	1979	87,802	1,944	40	2007	34,146	1,533
12	1980	64,141	1,807	41	2008	52,692	1,722
13	1981	72,816	1,862	42	2009	48,266	1,684
14	1982	91,899	1,963	43	2010	97,508	1,989
15	1983	114,20	2,058	44	2011	98,214	1,992
16	1984	155,80	2,193	45	2012	200,79	2,303
17	1985	137,48	2,138	46	2013	225,81	2,354
18	1986	115,52	2,063	47	2014	92,070	1,964
19	1987	91,902	1,963	48	2015	81,516	1,911
21	1988	70,065	1,845	49	2017	65,693	1,818
22	1989	110,14	2,042	50	2018	48,292	1,684
23	1990	54,534	1,737	Jumlah		4277,4	90,24
24	1991	55,622	1,745	Rerata		91,008	1,920
25	1992	101,83	2,008	STDEV		0,180	
26	1993	85,405	1,931	Kn		2,744	
27	1994	82,489	1,916	A.atas		248,730	
28	1995	96,189	1,983	A.bawah		43,275	

Sumber : Hasil analisa

4. Menentukan nilai Kn sesuai dengan jumlah tahun seperti pada tabel 1. Jumlah 47 tahun, terdapat 2 tahun yang tidak lengkap datanya yaitu tahun 1969 dan 1972, sehingga nilai Kn = 2,744;
5. Perhitungan selanjutnya, menggunakan rumus (1) dan (2) berikut:
- $$XH = \text{Exp. } (X_{\text{rerata}} + Kn \cdot S) = \text{exp. } (91,008 + 2,753 \times 0,180) = 248,730$$
- $$XL = \text{Exp. } (X_{\text{rerata}} - Kn \cdot S) = \text{exp. } (91,008 - 2,753 \times 0,180) = 43,275$$
- Maka data rata-rata debit tahunan yang melebihi ambang batas atas = 248,730 m³/d dan ambang batas bawah = 43,275 m³/d akan diseleksi, seperti tahun 1996 dan 2007. Perhitungan selengkapnya seperti tersaji dalam Tabel 2;
6. Selanjutnya akan dilakukan uji yang sama terhadap 16 lokasi bendungan lainnya.

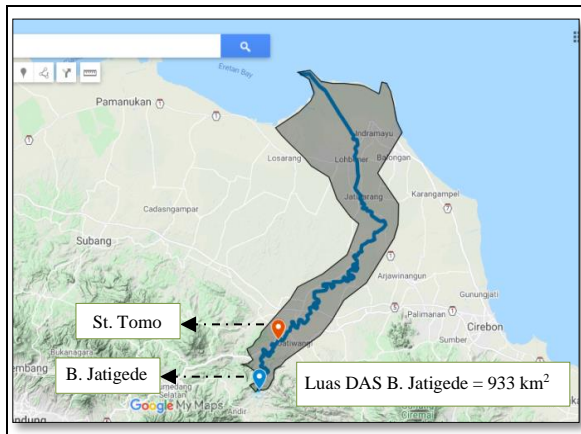
3.2 Konversi Debit Lokasi Bendungan menggunakan Metode *Catchment Area Ratio*

Perhitungan *catchment area ratio* dimaksudkan untuk memperoleh data debit harian pada lokasi bendungan, yang akan dipergunakan untuk menentukan debit desain PLTA, Analisa ini menggunakan data debit harian pada lokasi stasiun hujan yang telah lolos uji *outliers*, luas daerah aliran sungai (DAS) pada stasiun debit dan DAS lokasi bendungan, tinggi curah hujan daerah pada stasiun debit dan lokasi bendungan. Berikut analisa selengkapnya, Bendungan Jatigede:

1. Menentukan luas DAS stasiun debit dan luas DAS Bendungan Jatigede, menggunakan google maps yang menampilkan kontur terrain, seperti pada gambar 3 dan 4, Luas DAS Bendungan Jatigede adalah 933 km² dan luas DAS lokasi stasiun debit tomo adalah 851km²;
2. Menentukan tinggi curah hujan rata-rata daerah pada lokasi bendungan dan lokasi stasiun debit, seperti pada gambar 5, menggunakan atlas curah hujan daerah dari BMKG dan bokusurtanal. Karena lokasi stasiun debit dan lokasi bendungan berdekatan maka nilai curah hujan rata-rata daerahnya adalah sama, 2400 mm/tahun;
3. Metode *catchment area ratio* menggunakan rumus (3) data debit rata-rata tahun 1970, berikut:

$$Q_d = Q_w \times \frac{A_d}{A_w} \times \frac{R_d}{R_w} = 113,15 \times \frac{933}{851} \times \frac{2400}{2400} = 124,05 \text{ m}^3/\text{d}$$

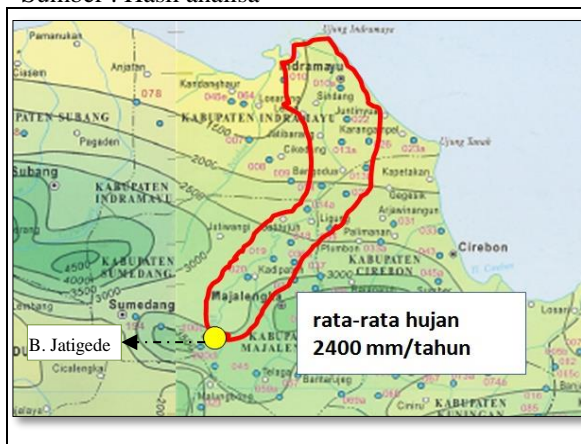
Hasil perhitungan *catchment area ratio* menunjukkan rata-rata debit lokasi bendungan adalah 88,7 m³/d tersaji dalam Tabel 3.



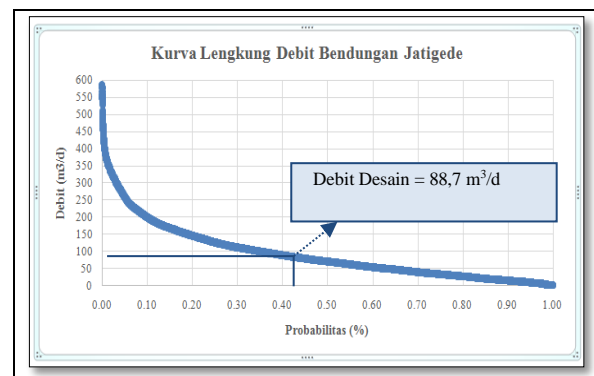
Gambar 3. Luas DAS Bendungan Jatigede
Sumber : Hasil analisa



Gambar 4. Luas DAS Stasiun Debit Tomo
Sumber : Hasil analisa



Gambar 5. Curah Hujan Rata-rata Daerah
Sumber: (Atlas Curah Hujan BMKG, 2015)



Gambar 6. Luas DAS Bendungan Jatigede
Sumber : Hasil analisa

Tabel 3. Debit rata-rata tahunan Bendungan Jatigede

No	Tahun	Debit	No	Tahun	Debit	No	Tahun	Debit
1	1970	124,05	16	1986	126,66	31	2002	88,54
2	1971	92,46	17	1987	100,76	32	2003	71,12
3	1973	81,92	18	1988	76,82	33	2004	90,22
4	1974	96,61	19	1989	120,75	34	2005	51,67
5	1975	126,72	20	1990	59,79	35	2006	69,01

6	1976	69,41	21	1991	60,98	36	2008	57,77
7	1977	74,96	22	1992	111,65	37	2009	48,79
8	1978	89,24	23	1993	93,63	38	2010	106,90
9	1979	96,29	24	1994	90,44	39	2011	107,68
10	1980	70,32	25	1995	105,46	40	2012	220,15
11	1981	79,83	26	1997	37,11	41	2013	247,57
12	1982	100,75	27	1998	118,90	42	2014	100,94
13	1983	125,21	28	1999	91,89	43	2015	89,37
14	1984	170,82	29	2000	83,87	44	2017	72,02
15	1985	150,73	30	2001	69,90	45	2018	52,95
								Rerata
								88,70

Sumber : Hasil analisa

- Gunakan langkah analisa yang sama untuk 16 bendungan lainnya.

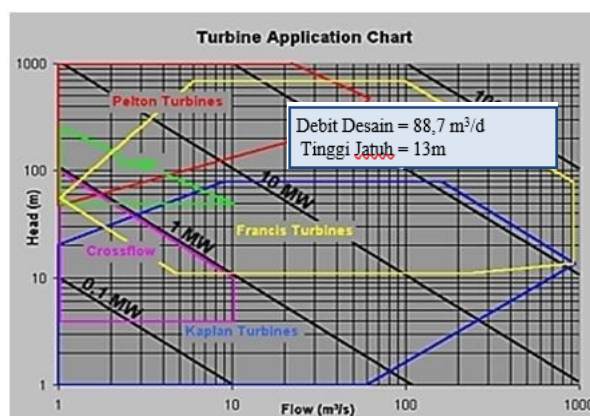
3.3 Kurva Lengkung Debit/ Flow Duration Curve (FDC)

Debit rata-rata harian di lokasi bendungan di rangking dan dihitung probabilitas kemunculannya dalam satu tahun dan dibuat kurva lengkungnya. Kurva lengkung debit atau *flow duration curve* (FDC), kurva ini digunakan untuk menentukan probabilitas kemunculan debit rencana PLTA, yang merupakan debit rata-rata hasil perhitungan *catchment area ratio*. Berikut analisa kurva lengkung debit B. Jatigede selengkapnya:

- Mengurutkan data debit harian dari yang terbesar hingga yang terkecil menggunakan rumus (1-4);
- Menghitung angka probabilitas kemunculan angka debit berdasarkan urutannya terhadap jumlah data;
- Membuat kurva lengkung debit, x = probabilitas kemunculan dan y = debit harian, sebagaimana dalam gambar 6 kurva lengkung debit Bendungan Jatigede berikut;
- Debit-rata-rata harian = $88,7 \text{ m}^3/\text{d}$ memiliki probabilitas 39%;

Angka 39% probabilitas kemunculan debit rencana menunjukkan bahwa PLTA dapat beroperasi maksimum 39% dari total hari dalam satu tahun, artinya 61% lainnya dalam satu tahun PLTA hanya dapat beroperasi sebagian atau mati sama sekali dikarenakan *maintenance*. Dari sisa 61% menurut, 10%-nya akan digunakan sebagai debit ekologi untuk kelangsungan ekosistem sungai;

- Langkah diatas akan diulang untuk 16 bendungan lainnya.



Gambar 7. Luas DAS Bendungan Jatigede

Sumber : Hasil Analisa

3.4 Potensi Daya dan Energi

Analisa terakhir adalah menganalisa potensi daya dan energi berdasarkan besaran debit rencana diatas, nilai potensi dan energi keseluruhan akan ditotal dan ditarik kesimpulan bahwa total potensi daya dari 17 bendungan dapatkah memenuhi target bauran energi atau tidak. Berikut langkah analisa yang dilakukan:

1. Menentukan tinggi jatuh atau beda elevasi muka air hulu dan hilir dari studi literature yang pernah ada, pada Bendungan Jatigede adalah 13m (Rida, 2016);
2. Berdasarkan tinggi jatuh= 13m dan besarnya debit rencana= 88,7 m³/d dipilihlah jenis turbin dan generator dan menentukan efisiensi turbin-generator yang digunakan;
3. Maka diketahui turbin yang dipilih adalah jenis Francis dengan efisiensi 80%, sedangkan generator efisiensinya tergantung merek yang digunakan, efisiensinya sekitar 92% (Dwicahyadi, 2015)
4. Analisa potensi daya menggunakan rumus (1-5) berikut:

$$P = Q * \text{Eff turbin} * \text{Eff Generator} * \text{Gravity} * \text{Head}$$

$$= 88,7 \text{ m}^3/\text{d} \times 80\% \times 92\% \times 9,81\text{m/s} \times 13\text{m} = 8322 \text{ kW} = 8,3 \text{ MW}$$
5. Analisa energi dalam 1 tahun menggunakan rumus (1-6) berikut:

$$E = P \times 24\text{jam} \times 365 \text{ hari} = 8,3 \text{ MW} \times 24\text{jam} \times 365 \text{ hari} = 72900 \text{ MWh}$$
6. Lakukan langkah analisa yang sama untuk 16 bendungan lainnya;
7. Maka diperolehlah total potensi daya pembangkitan 17 PLTA seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Total Potensi Daya PLTA dari 17 Bendungan Eksisting

No	Bendungan	Debit Rencana	Proba bilitas	Tinggi Jatuh (m)	Efisiensi Turbin	Efisiensi Generator	Daya (MW)
1	Jatigede	88,7	39	13	80	92	8,3
2	Jatibarang	19,7	32	3,5	90	92	0,6
3	Serayu	280,4	44	2,55	90	92	5,8
4	Karet Jatimlerek	223,52	36,9	2	90	92	3,6
5	Gerak Lengkong Baru	37,62	36,8	1,4	90	92	0,4
6	Menturus	152,3	36,9	2,1	80	92	2,3
7	Lepen Mrican	3,3	33,3	5,5	90	92	0,2
8	Waru Turi	218,6	42	12,15	80	92	19,2
9	Wlingi	317,1	41	12,15	80	92	27,8
10	Karangates IV & V	475,2	41	44	80	92	151
11	Gerak Lodoyo	12,9	41	14	80	92	1,3
12	Tukad Unda	6,9	53	6	90	92	0,4
13	Titab	4,1	37	28,8	80	92	0,8
14	Pandanduri	3,3	28	36	80	92	0,9
15	Batutegi	17,8	33	14	80	92	1,8
16	Gerak Perjaya	125,3	40	3,3	90	92	3,4
17	Gerak Batanghari	214,7	37	9	90	92	15,7
Sumber : Hasil analisa						Jumlah	243,5

4. KESIMPULAN

Total potensi energi yang dapat dibangkitkan dari bendungan eksisting adalah 243,5 MW, angka tersebut belum mampu mengejar target bauran energi pemerintah di tahun 2021 yaitu sekitar 1524 MW, namun ini merupakan potensi yang baik, sehingga pemerintah perlu mengkaji potensi bendungan lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada berbagai pihak yang telah membantu penyusunan jurnal ini yaitu Prof. Ir. Rinaldy Dalimi, M.Sc. Ph.D, Dosen-dosen pengajar di Teknik Sistem Energi-UI dan Puslitbang, Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- Archfield, S.A., Vogel, R.M., 2010. *Map correlation method: selection of a reference streamgage to estimate streamflow at ungaged catchments*. WaterResour. Res. 46, W10513.
- BMKG & Bokusurtanal. (2015). *Atlas Curah Hujan Indonesia*. BMKG.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2009). *Prosedur dan Instruksi Kerja Pembuatan Lengkung Debit (Rating Curve) Nomor QA/HDR/04/2009*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Dwi, Cahyadi. (2015). *analisa perhitungan efisiensi turbine generator qfsn-300-2-20b unit 10 dan 20 pt. pjb ubjom PLTU Rembang*. Universitas Diponegoro.
- Ghozali, Imam. (2011). *Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program SPSS*. Semarang. UNDIP.
- Kementerian Energi, Sumber Daya dan Mineral (ESDM). (2016). *Siaran Pers Kementerian ESDM nomor 204.Pers/04/SJI/2020*. ESDM.
- Rida, Daina. (2016). *Prediksi banjir jika terjadi keruntuhan bendungan akibat overtopping dan piping*. UPI.
- Simantu, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi Kementerian PUPR. (2017). *Modul 07 Perhitungan Hidrologi*. Bandung. Kementerian PUPR.
- Ven Te Chow, David R. Maidment, and Larry W. Mays. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book .
- Yulius, Elma. (2014). *Prediksi debit harian pada das tidak terukur dengan menggunakan regional flow duration curve (studi kasus wilayah sungai akuaman di provinsi sumatera barat)*. *Jurnal BENTANG*, 2, 2.