

KAJIAN HIDROLOGI DAN POTENSI DEKARBONISASI PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR RUN OFF RIVER BATANG TORU KABUPATEN TAPANULI SELATAN

Rachmat Gibran Baihaqi^{1*}, Robi Arianta Sembiring¹, Muhammad Faisal¹, Syarvina¹

¹Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara

*Email corresponding author: rahmatgibran21457@gmail.com

Info Artikel

Diajukan : 03/07/2025

Direview: 07/07/2025

Dipublikasi: 13/08/2025

Abstrak

Indonesia memiliki potensi sumber daya air yang besar untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), salah satunya adalah Sungai Batang Toru dengan potensi daya sebesar 510 MW yang belum sepenuhnya dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi hidrologi Sungai Batang Toru, menghitung kapasitas daya listrik yang dapat dihasilkan, serta mengevaluasi potensi pengurangan emisi karbon untuk mendukung pengoperasian PLTA yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Metode penelitian meliputi studi literatur, pengumpulan data historis curah hujan dan debit sungai, analisis hidrologi untuk menentukan debit andalan, analisis hidrolika untuk menghitung tinggi jatuh efektif, serta simulasi kapasitas daya yang dapat dibangkitkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit andalan 90% (Q90) sebesar 72,67 m³/detik tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan daya sebesar 510 MW, sehingga diperlukan pembangunan waduk dengan debit desain sebesar 219,494 m³/detik. Dengan debit tersebut, PLTA Batang Toru mampu menghasilkan daya 510 MW dan diperkirakan dapat mengurangi emisi karbon sebesar 1.326.645 ton per tahun. Penelitian ini merekomendasikan perluasan cakupan data hidrologi, pemanfaatan teknologi pemodelan berbasis SIG, serta analisis kelayakan ekonomi dan dampak lingkungan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan PLTA.

Kata Kunci : PLTA, Batang Toru, Potensi Hidrologi, Debit Andalan, Daya Listrik, Emisi Karbon.

Abstract

Indonesia has significant water resources potential for the development of hydropower plants, including the Batang Toru River with a power potential of 510 MW that has not yet been fully utilized. This study aims to analyze the hydrological potential of the Batang Toru River, calculate the potential electricity generation capacity, and evaluate the potential reduction of carbon emissions to support sustainable and environmentally friendly hydropower operations. The research methods include literature review, collection of historical rainfall and river discharge data, hydrological analysis to determine reliable discharge, hydraulic analysis to calculate the effective head, and simulation of the potential power generation capacity. The results show that the 90% reliable discharge (Q90) of 72.67 m³/s is insufficient to meet the 510 MW power demand, thus requiring the construction of a reservoir with a design discharge of 219.494 m³/s. With this discharge, the Batang Toru Hydropower Plant can generate 510 MW of electricity and is estimated to reduce carbon emissions by 1,326,645 tons per year. This study recommends expanding hydrological data coverage, utilizing GIS-based modeling technology, and conducting economic feasibility and environmental impact analyses to improve the efficiency and sustainability of the hydropower plant.

Keyword : Hydropower Plant, Batang Toru, Hydrological Potential, Reliable Discharge, Power Capacity, Carbon Emissions.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi sumber daya air yang melimpah yang dimana air merupakan jenis energi baru terbarukan, yang salah satu potensi yang terbesar yaitu sungai-sungai yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Salah satu jenis PLTA yang semakin diminati adalah PLTA *run off river* (ROR) karena memiliki dampak lingkungan yang lebih kecil

dibandingkan dengan PLTA konvensional. PLTA ROR memanfaatkan aliran sungai secara langsung tanpa membangun waduk yang besar, sehingga tidak mengakibatkan penggenangan lahan yang luas dan mengurangi risiko gangguan lingkungan seperti perubahan aliran sungai dan hilangnya habitat satwa.

Berdasarkan studi kelayakan yang dilakukan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

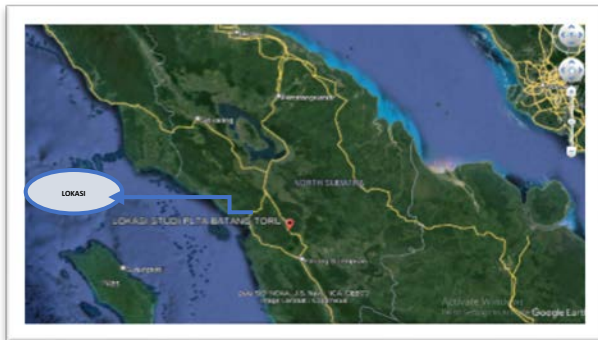
(BPPT) Indonesia pada tahun 2020, potensi PLTA di Sungai Batang Toru diperkirakan mencapai 510 MW dengan pemanfaatan debit sungai yang besar dari sungai tersebut. Studi tersebut juga menunjukkan bahwa pembangunan PLTA di Sungai Batang Toru dapat memberikan manfaat ekonomi yang signifikan, dengan rasio biaya-manfaat (BCR) mencapai 1,6 dan tingkat pengembalian investasi (IRR) sebesar 12%.

Pembangunan PLTA di Sungai Batang Toru dapat memberikan manfaat yang besar bagi masyarakat sekitar dan wilayah Tapanuli Selatan secara umum. Dengan adanya Pembangkit Listrik Tenaga Air ini, diharapkan dapat meningkatkan rasio elektrifikasi dan menjamin ketersediaan pasokan listrik yang andal bagi masyarakat dan sektor industri. Studi ini meliputi aspek-aspek teknis, yaitu analisis hidrologi dan hidrolika untuk menentukan debit andalan dan kapasitas PLTA.

METODE PENELITIAN

Lokasi Wilyah Studi

Lokasi studi PLTA Batang Toru secara administratif terletak di tiga Kecamatan yaitu Kecamatan Batang Toru, Kecamatan Sipirok, dan Kecamatan Marancar, Kabupaten Tapanuli Selatan, Provinsi Sumatera Utara. Secara geografis, lokasi wilayah studi tersebut terletak antara koordinat 1°30'56" sampai 1°36'13" Lintang Utara dan 99°08'06" sampai 99° 10'11" Bujur Timur.



Gambar 1. Peta Lokasi Studi Perencanaan PLTA Batang Toru

Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Toru

Sungai Batang Toru merupakan aliran utama pada sistem Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Toru yang memiliki luas mencapai 3.300 km². DAS ini membentang dari wilayah Siborongborong, Tarutung hingga Sipirok, kemudian bermuara di pesisir barat Sumatera, tepatnya di Sawongon, Muara Upu. DAS Batang Toru merupakan kelompok DAS yang bermuara ke wilayah perairan Samudera Hindia di pesisir barat Sumatera.

Data-data Yang Diperlukan

1. Data Curah Hujan

Data curah hujan diperlukan untuk menganalisis Debit Banjir Rancangan, dimana semakin banyak data yang tersedia sepanjang tahun, semakin baik hasil yang akan diperoleh.

2. Data Debit Sungai

Data debit sungai diperlukan guna menganalisis debit andalan dengan menggunakan perhitungan kurva durasi debit (*flow duration curve*).

3. Data Daerah Aliran Sungai

Diperlukan juga data DAS sebagai parameter untuk Debit Banjir Rancangan.

Langkah-langkah Penyelesaian Studi

1. Analisis Debit Andalan

Untuk menentukan debit desain yang akan digunakan dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Batang Toru, metode yang digunakan yaitu kurva durasi aliran (*Flow Duration Curve*, FDC).

2. Analisis Debit Banjir Rancangan

- Langkah awal dalam menganalisis Debit Banjir Rancangan adalah melakukan Analisis hujan rancangan. Data curah hujan harian (mm) selama rentang waktu 20 tahun akan dianalisis menggunakan Analisis frekuensi metode gumbel, normal, log normal, dan log pearson III.
- Setelah memperoleh hasil hujan rancangan dengan berbagai periode ulang, kemudian dilakukan analisis distribusi hujan jam-jaman menggunakan metode F.J.Mock.
- Data distribusi hujan jam-jaman hasil perhitungan dan data Daerah Aliran Sungai (DAS) digunakan untuk menganalisis Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. Data DAS yang digunakan adalah data luas DAS (km²) dan panjang sungai utama (km).

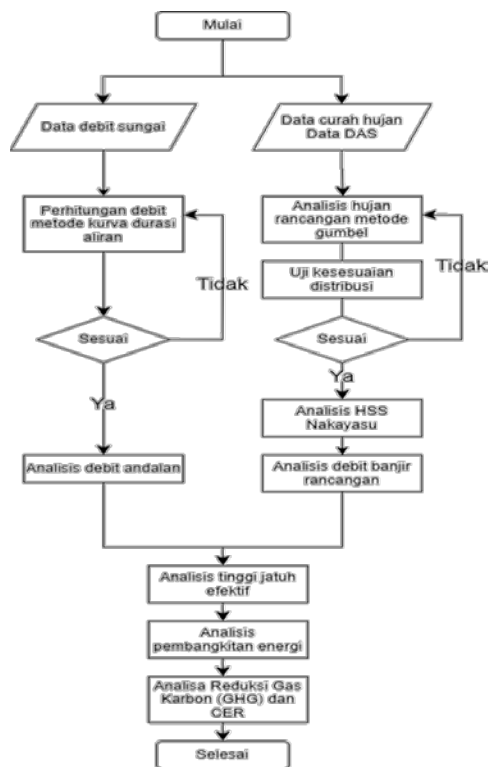
3. Analisis daya yang dihasilkan.

Untuk menganalisis kapasitas pembangkit, diperlukan data kunci seperti debit andalan, efisiensi generator, efisiensi turbin, dan tinggi jatuh air yang efektif.

4. Analisis Dekarbonisasi dan CER (*Certificate Emission Reduction*)

Untuk menganalisis dekarbonisasi dan implementasi *Clean Development Mechanism* (CDM), diperlukan data kunci seperti faktor emisi gas karbon per sumber energi, volume energi yang dihasilkan, dan koefisien efisiensi teknologi.

Diagram Alir Penelitian

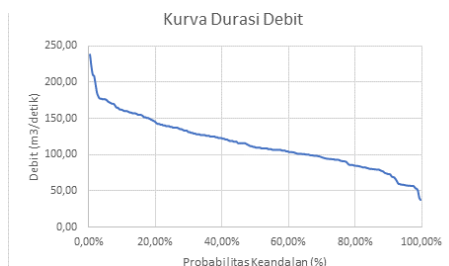


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Debit Andalan

Untuk menentukan nilai debit andalan pada Sungai Batang Toru, digunakan pendekatan Kurva Durasi Debit (*Flow Duration Curve*, FDC). FDC dihitung dengan menerapkan persamaan Weibull (Soemarto,1987:239).



Gambar 3. Flow Duration Curve Sungai Batang Toru

Tabel 1. Data Debit Berdasarkan Keandalan

No	Urutan ke- (m)	Probabilitas ($p=m/n+1$)	Durasi (hari)	Debit (Q) diurutkan ($m^3/detik$)
1	1	5,00%	18	176,50
2	2	10,00%	37	162,05
3	3	20,00%	73	145,54
4	4	30,00%	110	131,09
5	5	40,00%	146	122,83
6	6	50,00%	184	109,41
7	7	60,00%	221	103,22
8	8	70,00%	257	95,79
9	9	80,00%	294	84,33
10	10	90,00%	330	72,67
	11	99,59%	365	36,95

Debit Banjir Rancangan

Debit Banjir Rancangan digunakan dalam perencanaan struktur pengelolaan air untuk menghadapi kondisi debit banjir yang signifikan. Dalam penelitian ini, Debit Banjir Rancangan dihitung dengan menerapkan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu.

Tabel 2. Curah Hujan Rata-rata Harian Maksimum Tahunan Batang Toru Catchment Area

No	Tahun	Hujan, X (mm)
1	2001	211
2	2002	221
3	2003	268
4	2004	201
5	2005	199
6	2006	239
7	2007	225
8	2008	251
9	2009	232
10	2010	251
11	2011	266
12	2012	241
13	2013	211
14	2014	182
15	2015	169
16	2016	179
17	2017	204
18	2018	176
19	2019	200
20	2020	211

Hidrograf Satuan Sintetik Metode Nakayasu

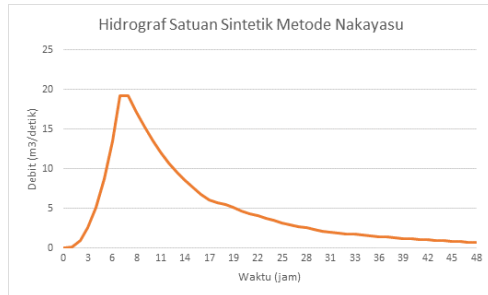
Data yang tersedia :

- Panjang sungai utama (L) : 99,37 Km
- Luas *Catchment Area* (A) : 2405 Km²
- Curah Hujan Satuan (Ro) : 1 mm
- Kemiringan rata-rata sungai : 21%
- Koefisien pengaliran (C) : 0,36 (Perbukitan, Lempung dan lanau, dan Hutan)
- Debit Aliran Dasar (Qb): 44,3 m³/detik

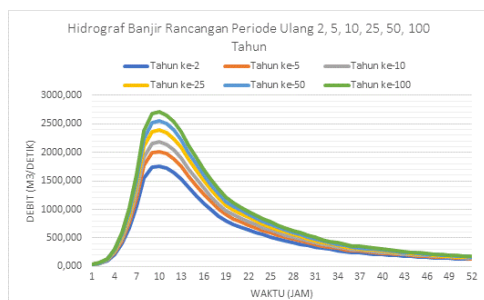
Tabel 3. Interval Waktu Lengkung Debit HSS Nakayasu

No	Karakteristik	Notasi	Persamaan	Awal		Akhir	
				Notasi	Jam ke	Notasi	Jam ke
1	Lengkung Naik	Qa	$Qp \cdot (t/Tp)^{2,4}$	0	0	Tp	6,963
2	Lengkung Turun Tahap 1	Qd1	$Qp \cdot 0,3^{(t-Tp)/T0,3}$	Tp	6,963	Tp+T0,3	17,355
3	Lengkung Turun Tahap 2	Qd2	$Qp \cdot 0,3^{(t-Tp)+0,5}$	Tp+T0,3	17,355	Tp+T0,3+1	32,942

4	Lengkun g Turun Tahap 3	Qd3	$T_{0,3/1,5}$	$T_{0,3}$	$5T_0$	$,3$
			$Q_{p,0}$	T_{p+}	T_0	$32,$
			$3l(t-$	T_0	94	$\sim$
			$T_{p+1,5}$	$3+1,$	$5T_0$	2
			$T_{0,3/2T_0}$	$,3]$	$,3$	$\sim$



Gambar 4. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu



Gambar 5. Hidrograf Banjir Rancangan Periode Ulang Berbagai Tahun

Analisis Pembangkitan Energi

Analisis pembangkitan energi pada studi kali ini dihitung berdasarkan alternatif debit andalan (Q_{90}) dan debit desain pembangkitan, untuk menjadi perbandingan jika PLTA Batang Toru dioperasikan menggunakan kedua alternatif debit tersebut, kemudian data teknis yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

1. Data Operasional

Debit Andalan (Q_{90})	= 72,67 m ³ /detik
Debit desain (peak)	= 219,494 m ³ /detik
Jumlah Turbi	= 4
Debit 1 Turbi (base)	= 54,873 m ³ /detik
Efisiensi Turbin	= 90%
Efisiensi Generator	= 95%
Sistem Operasi	= Central Grid

2. Data Bangunan

Elevasi Muka Air Sungai	= 374 mdpl
Elevasi muka air normal di waduk	= 430 mdpl
Elevasi tailrace	= 136 mdpl
Head Loss total	= 16,696 m
Tinggi jatuh efektif Debit Pembangkitan	= 430 – 136 – 16,696 = 277,304 m
Tinggi jatuh efektif Debit Andalan (Q_{90})	= 374 – 136 – 16,696 = 221,304 m

3. Analisis Pembangkitan Energi Debit Andalan Q_{90} ($Q = 72,67$ m³/detik)

$$P = 9,8 \times H \times Q_{90} \times \eta_G \times \eta_T$$

$$P = 9,8 \times 221,304 \times 72,67 \times 0,95 \times 0,9$$

$$P = 134752 \text{ kW}$$

$$= 134,75 \text{ MW}$$

Sementara untuk energi yang dihasilkan dalam waktu satu hari atau yang biasa disebut energi harian, yaitu :

$$E = 9,8 \times H \times Q_{90} \times \eta_G \times \eta_T \times 24 \text{ jam}$$

$$E = 9,8 \times 221,304 \times 72,67 \times 0,95 \times 0,9 \times 24$$

$$E = 3234058 \text{ kW}$$

$$E = 3234 \text{ MW}$$

Adapun pembangkitan energi yang diperoleh dalam waktu satu tahun (annual generation) adalah sebagai berikut :

$$E = 9,8 \times H \times Q \times \eta_G \times \eta_T \times 24 \text{ jam} \times 365 \text{ hari}$$

$$E = 9,8 \times 221,304 \times 72,67 \times 0,95 \times 0,9 \times 24 \times 365$$

$$E = 1180431310 \text{ kW}$$

$$E = 1180431 \text{ MW}$$

$$E = 1180 \text{ GW}$$

4. Analisis Pembangkitan Energi Debit Desain Pembangkit ($Q = 219,494$ m³/detik)

Peak load :

$$P = 9,8 \times H \times Q_{\text{peak}} \times \eta_G \times \eta_T$$

$$P = 9,8 \times 277,304 \times 219,494 \times 0,95 \times 0,9$$

$$P = 510184 \text{ kW} = 510 \text{ MW}$$

Base load :

$$P = 9,8 \times H \times Q_{\text{base}} \times \eta_G \times \eta_T$$

$$P = 9,8 \times 277,304 \times 54,873 \times 0,95 \times 0,9$$

$$P = 127499 \text{ kW} = 127,5 \text{ MW}$$

Total energi harian yang dihasilkan =

Energi peak load harian + Energi Base load harian

$$E = 3061109 + 2294983$$

$$E = 5356092 \text{ kW}$$

$$E = 5356 \text{ MW}$$

Total energi tahunan yang dihasilkan

= Energi peak load tahunan + Energi Base load tahunan

$$E = 1117304833 + 837668913$$

$$E = 1954973746 \text{ kW}$$

$$E = 1954974 \text{ MW}$$

$$E = 1955 \text{ GW}$$

Dari Analisis pembangkitan energi tersebut dapat ditentukan kapasitas terpasang (installed capacity), berikut merupakan hasil analisis kapasitas terpasang untuk tiap alternatif pada PLTA Batang Toru:

Rated Capacity = Installed Capacity

$$\text{Debit andalan } (Q_{90}) = 134752 \text{ kW} \approx 134,75 \text{ MW}$$

$$= 4 \times 33,7 \text{ MW}$$

$$\text{Debit desain pembangkitan} = 510184 \text{ kW} \approx 510 \text{ MW}$$

$$= 4 \times 127,5 \text{ MW}$$

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Analisis Pembangkitan Energi dengan Debit Andalan (Q_{90})

No	Debit Operasi (m3/de)	Net Head (m)	Lama Operasi (jam)	Daya (kW)	Instalasi Capacity
1	219,49 72,67	221,30	1 Jam1	134752	4 x 12750 0 33688 kW
			1 Hari	510184	
			6	323405	
			(harian)	830611	
			1	09	
			Tahun2	118043	
			190	131011	
			(tahuna	173048	
			n)	33	

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Analisis Pembangkitan Energi dengan Debit Desain Pembangkitan

N o	De bit Pea k L.(m3/det)	D eb it O. B as L.	N. H ea d	L. Op era si	Day a Pea k L.	Day a Bas e Loa d	T. Day a	Ins tall ed Ca pa cit y
1	219 ,47 4	54 ,8 73	27 7, 30	1	510	127	637	4 x 12 75 00 k W
				Ja m	184	499	683	
				1	306	229	535	
				Har i	110	498	609	
				9	3	2		
				1	111	837	195	
				Tah un	730	668	497	
				3	483	913	374	
						6		

Analisis Dekarbonisasi dan CER (Certificate Emission Reduction)

Reduksi gas karbon dihitung dengan persamaan :

$$\Delta GHG = (e_{base} - e_{prop})E_{prop}(1 - \gamma_{prop})$$
$$\Delta GHG = (0,754 - 0)1954974(-0,1)$$
$$\Delta GHG = 1326645 \text{ ton/tahun}$$

Dari hasil dekarbonisasi tersebut, maka PLTA berhak mendapatkan kompensasi dari badan internasional karena telah menerapkan energi bersih dalam bentuk CER, besarnya dana dari CER dihitung berdasarkan berapa ton gas karbon yang bisa tereduksi dengan harga tiap ton adalah 11 euro atau setara dengan Rp. 183.964,00 (konversi euro – rupiah perbulan November 2024). Maka penghasilan dari CER untuk PLTA Batang Toru ialah:

$$CER = \Delta_{GHG} \times \text{Rp. } 183.964,00$$
$$CER = 1326645 \times \text{Rp. } 183.964,00$$

CER = Rp. 244.054.986.345,00 (Dua ratus empat puluh empat milyar lima puluh empat juta sembilan ratus delapan puluh enam ribu tiga ratus empat puluh lima rupiah). Atau sekitar 244 milyar rupiah pertahunnya.

Tabel 6. Rekapitulasi Dekarbonisasi Untuk Tiap Jenis Bahan Bakar Menggunakan Debit Desain Pembangkitan

N o	Jenis Sumber Energi	Kg CO2/k Wh	Ener gi bersi h tahu nan (MW h)	Nilai redu ksi /tahu n tCO2	Nilai CER/tahu n (rupiah)
1	Minyak	0,754	1759 477	1326 645	Rp. 244.054.986.345
2	Diesel	0,764	1759 477	1344 240	Rp. 247.291.789.877
3	Batubara (Coal)	0,94	1759 477	1653 908	Rp. 304.259.532.048
4	Gas Alam (Natural Gas)	0,581	1759 477	1022 256	Rp. 188.058.285.234

Tabel 7. Rekapitulasi Dekarbonisasi Untuk Tiap Jenis Bahan Bakar Menggunakan Debit Andalan (Q90)

N o	Jenis Sumber Energi	Kg CO2/k Wh	Ener gi bersi h tahu nan (MW h)	Nilai redu ksi /tahu n tCO2	Nilai CER/tahu n (rupiah)
1	Minyak	0,754	1062 388	7760 18	Rp. 244.054.986.345
2	Diesel	0,764	1062 388	7863 10	Rp. 247.291.789.877
3	Batubara (Coal)	0,94	1062 388	9674 50	Rp. 304.259.532.048
4	Gas Alam (Natural Gas)	0,581	1062 388	5979 66	Rp. 188.058.285.234

Secara keseluruhan, dekarbonisasi dari PLTA tidak hanya memberikan keuntungan finansial melalui CER, tetapi juga mendukung keberlanjutan lingkungan, kesehatan masyarakat, pengembangan ekonomi, dan inovasi energi. Ini menciptakan sinergi antara kepentingan ekonomi dan lingkungan, yang sangat penting dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan..

KESIMPULAN

Dari penelitian diatas diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil analisis menunjukkan bahwa debit rencana yang diperoleh dari data hidrologi historis sebagai berikut :
 Debit Andalan 80% (Q80) : 84,33 m³/detik
 Debit Andalan 90% (Q90) : 72,67 m³/detik
 Debit Banjir Rancangan Kala Ulang 50 Tahun (Q50th) : 2552,134 m³/detik
 Debit Banjir Rancangan Kala Ulang 100 Tahun (Q100th) : 2708,081 m³/detik
 Debit Pembangkitan Listrik (Qpembangkitan) : 219,494 m³/detik
 Maka debit andalan 90% (Q90) yang merupakan debit yang umum digunakan untuk memenuhi kebutuhan PLTA tidak memenuhi syarat untuk mendapatkan energi dari PLTA yang direncanakan yaitu sebesar 510 MW.
- Dengan memanfaatkan debit andalan 90% (Q90) yang telah dianalisis sebesar 72,67 m³/detik, PLTA ini diperkirakan hanya mampu menghasilkan daya listrik sebesar 134752 kW $\approx$ 134,75 MW. Sementara jika menggunakan debit desain pembangkitan yaitu 219,494 m³/detik, PLTA ini diperkirakan mampu menghasilkan daya listrik sebesar 510184 kW $\approx$ 510 MW, yang telah mencukupi untuk daya energi yang direncanakan untuk PLTA Batang Toru.
 - Debit andalan 90% (Q90) atau tanpa menggunakan bendungan :
 Energi yang dibangkitkan : 134752 kW $\approx$ 134,75 MW
 Energi harian : 3234058 kW $\approx$ 3234 MW
 Energi tahunan : 1180431310 kW $\approx$ 1180431 MW $\approx$ 1180 GW
 - Debit desain pembangkitan atau dengan menggunakan bendungan :
 Energi yang dibangkitkan : 510184 kW $\approx$ 510 MW
 Energi harian : 5356092 kW $\approx$ 5356 MW
 Energi tahunan: 1954973746 kW $\approx$ 1954974 MW $\approx$ 1955 GW 3.
- Dari segi lingkungan, penelitian juga mengungkapkan bahwa PLTA Batang Toru dapat berperan penting dalam pengurangan

total emisi gas rumah kaca. Berdasarkan analisis dekarbonisasi dari total energi yang dihasilkan, PLTA ini diestimasi mampu mengurangi emisi CO₂ sebesar 1326645 ton/tahun. Dengan emisi CO₂ sebesar itu, maka PLTA Batang Toru juga berhak mendapatkan dana CER sebesar Rp. 244.054.986.345,00.

DAFTAR PUSTAKA

- AHEC. (2011). *Standards /Manuals /Guidelines For Small Hydro Development*. India: Alternate Hydro Energy Center Indian Institute of Technology Roorkee.
- Anonim. (2005). *RET Screen Software Online User Manual Passive Solar Heating Project Model*. Canada: Clean Energy Decision Support Centre.
- Arismunandar, A. dan Kuwahara, S. (2004). *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Soemarto, C. D. (1987). *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Chow, Ven te. (1997). *Hidraulika saluran terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Dandekar, MM dan K.N. Sharma. (1991). *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Davie, T. (2008). *Fundamentals of Hydrology*. Routledge.
- Dingman, S.L. (2015). *Physical Hydrology (3rd ed.)*. Waveland Press.
- Indarto. (2012). *Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Limantara, L. M. (2010). *Hidrologi Praktis*. Bandung: Lubuk Agung.
- M.M. Dandekar, K. S. (1991). *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Mosonyi, Emil. (1963). *Water Power Development Volume Two High Head Power Plant*. Budapest: Akademiai Kiado.
- M. S. Bhat et al. (2018). *Flood frequency analysis of river Jhelum in Kashmir basin*. Department of Geography and Regional Development, University of Kashmir, Srinagar, 190006, India
- Nur Azmi, M. (2017). *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Pada Bendungan Lubuk Ambacang Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau*. Malang: Universitas Brijwijaya.
- Oudin,L. Kay,A. Andréassian,V. and Perrin,C. (2010). *Are seemingly physically similar catchments truly hydrologically similar?*. Water Resources Research, Vol. 46, W11558,

doi:10.1029/2009WR008887, 2010W11558 1
of 15

- Patty, O.F. (1995). *Tenaga Air*. Erlangga : Surabaya.
- Rahawuryan, F. (2016). *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Pada Bendungan Lubuk Ambacang Kabupaten Kuantan Singingi Provinsi Riau*. Malang: Universitas Brijijaya.
- PT. North Sumatera Hydro Energy. 2022. Volume 07. Hydrology Analysis Report: Detailed Design Of Dam And Appurtenant Structures.
- Ramos, Helena. 2000. *Guidelines For Design Small Hydropower Plants*. Irlandia : WREAN (Western Regional Energy Agency & Network) and DED (Department of Economic Development).
- Satya Aliputa, H. (2016). *Studi Perencanaan Plta Runof River (Plta Ror) Baliem Kabupaten Jayawijaya*. Malang: Universitas Brijijaya.
- Smirnov, N. V. (1939). *On the estimation of the discrepancy between empirical curves of distribution for two independent samples*. Bulletin of Moscow University, 2(2), 3-14.
- Soedibyo. (2003). *Teknik Bendungan*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Subramanya, K. (2008). *Engineering Hydrology*. Tata McGraw-Hill Education.
- Ulfah, N. (2017). *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air (Plta) Di Sungai Sibundong Upper Kabupaten Tapanuli Utara Provinsi Sumatera Utara*. Malang: Universitas Brijijaya.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2008). *Hydrologic Frequency Analysis. Engineer Manual 1110-2-1415*.
- Varshney, R.S. (1977). *Hydro-Power Structure*. India: N.C Jain at the Roorkee Press.