Analisis Penentuan Kapasitas PLTM Berdasarkan Tinggi Muka Air di Satu Sungai di Kalimantan Barat

Tjatur Udjianto[1] Erwin Yusuf[1]

[1]Departemen Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

Indonesia

tjatur_te@yahoo.com

Abstrak—. *Kalimantan barat mempunyai potensi pembangkit listrik tenaga air yang sangat besar terutama yang berskala kecil seperti PLTMh dan PLTM. Potensi ini dicirikan dengan banyaknya sungai serta memiliki banyak air terjun dan kawasan hutannya masih terawat dengan baik. Salah satunya adalah daerah aliran sungai Sambas di Kecamatamn Air besar, Kabupaten Landak, Kalimantan Barat. Pada sungai tersebut telah terpasang AWLR untuk mengukur level air. Untuk mengkonversi level air menjadi debit perlu dilakukan pengukuran arus air dan penampang sungai. Pengukuran dilakukan selama 3 hari dengan hasil debit dan level air yang selanjutnya dibuat* rating curve *dengan persamaan logaritmik y=0,4006ln(x)-0,0278. Persamaan ini selanjutnya digunakan untuk mengkonversi data level air menjadi debit. Debit air maksimum yang terjadi sebesar 21m^3/s yang terjadi pada bulan juni, sedangkan yang terendah terjadi pada bulan September sebesar 3,49m^3/s. Selanjutnya kumpulan data debit tersebut dibuat* flow duration curve *dan ditentukan debit rencana sebesar 7,32m^3/s. PLTM terdiri dari 2 unit turbin dengan debit masing-masing sebesar 3,66m^3/s Kapasitas pembangkit PLTM adalah 2 x 3,28 MW. Energi net yang dihasilkan setelah dikurangi pemakaian sendiri adalah sekitar 37.031,9 MWh.*

Kata Kunci—*; Kapasitas PLTM, Rating curve, flow duration curve.*

1. PENDAHULUAN

Salah satu kebijakan Pemerintah Indonesia dalam bidang energi adalah memenuhi kebutuhan energi di masa yang akan datang dengan mengembangkan sumber energi terbarukan terutama yang bersumber dari tenaga air.

Provinsi Kalimantan Barat, mempunyai potensi energi listrik dari tenaga air khususnya di daerah perbatasan dengan Malaysia dimana pada daerah ini kondisi topografi sudah cukup tinggi, dengan ditandai adanya perbukitan dan gunung-gunung yang merupakan daerah mata air atau hulu sungai-sungai besar diantaranya sungai Landak dan sungai Kapuas dan sungai Sambas.

Peneliti mengidentifikasi adanya potensi sumber energi listrik di daerah aliran sungai Sambas yang dapat dimanfaatkan untuk PLTM atau PLTMh. Metode yang digunakan untuk penentuan potensi adalah dengan mengumpulkan data debit. Apabila tidak tersedia dapat dilakukan dengan pengukuran debit sesaat sungai, Pengumpulan data hujan. Selanjutnya data hujan diolah untuk mendapatkan debit dengan menggunakan beberapa metode seperti FJ Mock, Thornwhite, dan NRECA. Data debit hasil perhitungan tersebut selanjutnya dikalibrasi dengan menggunakan data pengukuran debit sesaat. Potensi head yang terdapat pada rencana PLTM atau PLTMh dapat dilakukan dengan pengukuran menggunakan GPS *Geodetic*. Untuk penelitian yang dilakukan saat ini adalah dengan menggunakan data level air yang tersedia yang diunduh dari stasiun AWLR. Data tersebut akan dijadikan sebagai data utama untuk penentuan debit air. Untuk konversi data level air menjadi debit akan digunakan *rating curve* yang didapatkan dari hasil pengukuran selama 3 hari.

2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan penentuan kapasitas pembangkit PLTM di satu sungai di kalimantan barat dengan menggunakan data level air pada AWLR yang tersedia dan data pengukuran debit air sesaat.

3. TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMh) adalah pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan energi air sebagai penggeraknya Adapun sumber airnya berasal dari saluran irigasi, sungai atau air terjun. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan untuk sumberdaya listrik harus memiliki kapasitas aliran maupun ketinggian tertentu. Saat ini pembangunan pembangkit listrik tenaga air skala PLTM atau PLTMh banyak ditemukan dibeberapa pedesaan terpencil.

Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro bekerja dengan cara memanfaatkan semaksimal mungkin energi potensial air. Energi ini secara perlahan diubah menjadi energi kinetik saat memutar sudu-sudu turbin. Energi mekanis dari putaran turbin akhirnya diubah menjadi energi listrik melalui putaran generator. Pada PLTM ada dua parameter yang berpengaruh terhadap potensi daya keluaran, yaitu debit Q (m^3/s) dan head H (m) sedangkan parameter lainnya bersifat konstan. Semakin besar kapasisitas aliran maupun ketinggiannya maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Adapun persamaan lengkap daya keluaran PLTM dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$P_h = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \cdot \eta \quad (1)$$

di mana P_h adalah daya yang dihasilkan oleh PLTM (kW), ρ adalah masa jenis air (m^3/kg), g adalah percepatan gravitasi (m/s), Q adalah debit air (m^3/s), H, adalah tinggi jatuh air (m) dan η adalah efisiensi sistem PLTM.

3.2. Pustaka

Beberapa studi tentang *rating curve*, *flow duration curve* dan kapasitas PLTMh maupun PLTM telah banyak dipublikasikan. Terdapat beberapa penelitian yang dijadikan referensi oleh peneliti. Hubungan debit dan tinggi muka air dengan model matematis regresi linier. Langkah yang dilakukan adalah pengukuran debit air, level air selama 30 hari pengamatan. Selanjutnya dilakukan analisis hubungan debit air dan level air dengan membangun *rating curve* dengan model matematis regresi linier [1]. *Rating curve* dengan model matematis regresi linier lebih detail dengan dilakukannya pengujian-pengujian secara statistik terhadap data level dan debit air [5]. Penentuan kapasitas pembangkit dilakukan dengan melakukan pengukuran debit sesaat dan analisis *flow duration curve* dengan metode FJ Mock yang menggunakan data hujan. FDC yang dihasilkan digunakan untuk menentukan kapasitas pembangkit dengan probabilitas 80% [3]. Sedangkan menurut [2] penentuan potensi energi yang dapat dibangkitkan PLTM adalah dengan melakukan pengukuran debit sesaat dan langsung dihitung kapasitas PLTM.

Debit andalan sungai dianalisis menggunakan metode *Flow Duration Curve* (FDC) yakni dengan menggambarkan grafik kurva hubungan debit dengan frekuensi kejadiannya. Proses pembuatan kurva FDC adalah dengan mengurutkan data debit dari data terbesar hingga data terkecil pada sumbu Y, dan membuat probabilitas ranking angka kejadian dari 1 – 100% pada sumbu x [4].

Dalam menganalisis data tinggi muka air dengan data debit observasi (harian dan bulanan), maka digunakan metode kwadrat kecil, sehingga diperoleh perbandingan antara debit sungai terukur dengan debit sungai terhitung. Selain itu, dengan menggunakan analisa data permukaan air dan data debit dapat menunjukkan kurva debit (*rating curve*) yang ditentukan dengan metode kwadrat terkecil [6].

Tulisan ini akan menyajikan pembahasan lebih komprehensif dimulai dari data level air harian yang tersedia, pengambilan data debit air sampai dengan penentuan kapasitas PLTM yang belum dilakukan pada referensi-referensi tersebut diatas. Pemodelan *rating curve* akan menggunakan regresi linear seperti pada referensi [1] dan [5]. Model *flow duration curve* menggunakan debit air hasil konversi *rating curve*, berbeda dengan referensi [3] yang menggunakan data curah hujan dengan metode FJ Mock.

3.3. Data Level Air dan *Rating Curve*

Automatic Water Level Recorder (AWLR) mencatat level air setiap satu jam sekali. Dalam 1 hari akan tersedia 24 data. Data hasil pantauan AWLR ini selanjutnya diunduh dan digunakan untuk mendapatkan data debit dengan menggunakan *rating curve*.

Rating curve didapatkan dengan melakukan pengukuran sesaat terhadap level air dan debit air pada sungai tersebut. Debit air didapatkan dari hasil pengukuran kecepatan dengan menggunakan penampang sungai pada lokasi AWLR terpasang.

Metode yang akan digunakan untuk mengukur debit adalah *Velocity Method* dengan menggunakan alat ukur kecepatan air. Debit didapatkan dengan menghitung secara integral kecepatan aliran v pada area penampang sungai A, dimana v diukur tegak lurus terhadap penampang.

$$q_x = V_x . A_x \quad (2)$$

$$Q = \sum_{x=1}^{n} q_x \quad (3)$$

Dengan:

qx debit pada titik x, m^3/s

Vx Kecepatan rata-rata penampang sungai pada posisi x, m/s

ax Luas penampang pada x, m^2

Q Debit sungai total, m^3/s

Kecepatan v dapat diukur menggunakan *current meter* pada bagian bagian sepanjang penampang sungai. *Current meter* terdiri dari *propeller* yang terpasang pada alat dan disambungkan pada bagian yang dapat mengukur frekuensi putaran *propeller*. Selanjutnya putaran *propeller* dikonversikan menjadi kecepatan aliran sungai dengan menggunakan rumus. Rumus yang digunakan tergantung dari ukuran propeller yang ditentukan saat kalibrasi *current meter*. Berikut adalah rumus untuk *current meter* yang digunakan dalam pengukuran.

Propeller No. 2-55417

$$n < 0.31 \rightarrow V = 0.4696 \times n + 0.018\ m/s \quad (4)$$

$$n > 0.31 \rightarrow V = 0.5210 \times n + 0.002\ m/s \quad (5)$$

Langkah-langkah pengukuran debit:

1. Memasang patok pada kedua sisi sungai
2. bentangkan tali/kabel pada penampang melintang yang telah ditetapkan sebagai lokasi untuk pengukuran debit.
3. ukur lebar penampang basah dan tetapkan jarak antar jalur vertikal sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan.
4. rakit (stel) alat ukur.
5. Pengukuran kecepatan menggunakan metode 3 titik yaitu 0,2d/0,6d dan 0,8d pada kondisi:
   - d< 0,75m, diambil pengukuran di 0,6d
   - d<1m, diambil pengukuran 0,2d dan 0,8d
   - d>1m, diambil pengukuran 0,2d 0,6d dan 0,8d

   ket: d = kedalaman sungai

6. Tentukan waktu (lamanya) putaran baling baling, Catat putaran baling-baling dan standar deviasi dengan melihat nilai yang tertera pada layar alat *current meter*. Catat kedalaman air pada masing-masing jalur vertikal dan jarak antar jalur vertikal. Hitung kecepatan air, hitung luas penampang sungai, dan hitung debit air sungai pada tiap-tiap titik pengukuran.
7. Pengukuran debit dilaksanakan selama 3 hari dengan 2 kali pengukuran sehari pada pagi dan sore hari.

3.4. Debit Andalan

Debit andalan adalah debit minimum sungai dengan kemungkinan debit terpenuhi dalam prosentase tertentu, misalnya 90% atau nilai prosentase lainnya untuk kebutuhan pembangkitan. Debit andalan didapat dari pengolahan data kondisi hidrologi. Kondisi hidrologi, meliputi potensi debit dan curah hujan, termasuk perubahan iklim yang menjadi salah satu parameter dalam pengembangan Minihidro. Apabila ketertersediaan data debit secara lengkap baik dalam satuan waktu harian maupun satuan waktu bulanan yang tercatat selama setidaknya 10 tahun, maka dapat langsung dilakukan analisis metode kurva durasi debit (*flow duration curve*). Namun, apabila data tidak mencukupi maka terdapat beberapa metode yang dapat melengkapi data-data yang kurang, diantaranya; metode Mock, NRECA dan Tank Model.

Metode *flow duration curve* merupakan penggambaran besarnya aliran dengan kemungkinan kejadiannya. Kurva durasi juga menunjukkan karakteristik aliran suatu sungai yang diperoleh dari rangkaian data pada periode yang panjang. Untuk membentuk kurva durasi debit dapat digunakan 2 (dua) cara yaitu dengan membuat kelas interval seperti ditunjukkan pada tabel 1 atau dengan mengurutkan langsung dari angka terbesar hingga terkecil dan tiap debit diberikan probabilitas yang dihitung dengan persamaan Weibull seperti yang ditunjukkan pada persamaan 6.

TABEL 1 KLASIFIKASI KONDISI HIDROLOGI

Interval Durasi Aliran	Kelas Kondisi Hidrologi
0-10%	Kondisi aliran sangat tinggi
10-40%	Kondisi aliran tinggi
40-60%	Kondisi aliran sedang
60-90%	Kondisi aliran rendah
90-100%	Kondisi aliran sangat rendah

$$p = \frac{i}{n} \times 100\% \qquad (6)$$

Dimana:
p = probabilitas terlampaui (%)
i = nomor urut debit
n = jumlah data debit

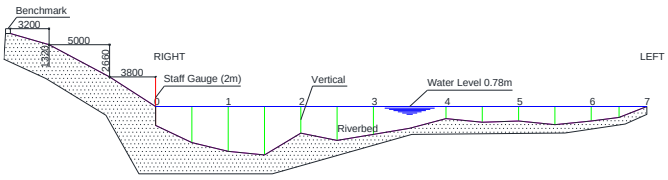
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Pengukuran Debit Sesaat

Kegiatan pengukuran dan pengambilan data telah dilaksanakan pada tanggal 2 - 5 oktober 2018. Berikut adalah kegiatan pengukuran Debit yang telah dilakukan di area AWLR terpasang.

TABEL 2 KEGIATAN PENGUKURAN KECEPATAN DAN DEBIT AIR SUNGAI

No	Deskripsi	Tanggal
1	Orientasi lapangan, Persiapan, pemasangan patok, penentuan titik pengukuran dan pembacaan peilscaal.	2 Oktober 2018
2	Persiapan, pemasangan tali, pengukuran dan pencatatan kecepatan air sungai, pembacaan peilscaal dan perhitungan debit hari pertama (2 kali pengukuran pagi dan sore hari).	3 Oktober 2018
3	Persiapan, pemasangan tali, pengukuran dan pencatatan kecepatan air sungai, pembacaan peilscaal dan perhitungan debit hari kedua (2 kali pengukuran pagi dan sore hari).	4 Oktober 2018
4	Persiapan, pemasangan tali, pengukuran dan pencatatan kecepatan air sungai, pembacaan peilscaal dan perhitungan debit hari ketiga (2 kali pengukuran pagi dan sore hari).	5 Oktober 2018



Gambar 1 gambar penampang sungai hasil pengukuran pada level 0,78m

Gambar penampang sungai tersebut didapatkan dengan mengukur kedalaman setiap 3 meter. Lebar permukaan basah sungai akan tergantung dari level air yang terjadi. Pada saat level 0,78m, lebar permukaan basah sungai adalah 20,3m. Dengan pola penampang sungai seperti gambar tersebut diatas, Semakin tinggi level air maka permukaan basah sungai akan semakin lebar yang menandakan debit akan semakin besar. Pengukuran kecepatan aliran arus dilakukan setiap interval 3m dengan titik pengukuran tiap kedalaman pada posisi 0,2d, 0,6d dan 0,8d. Berikut ini adalah ringkasan hasil pengukuran debit air yang telah dilaksanakan.

TABEL 3 RINGKASAN HASIL PENGUKURAN DEBIT SELAMA 3 HARI

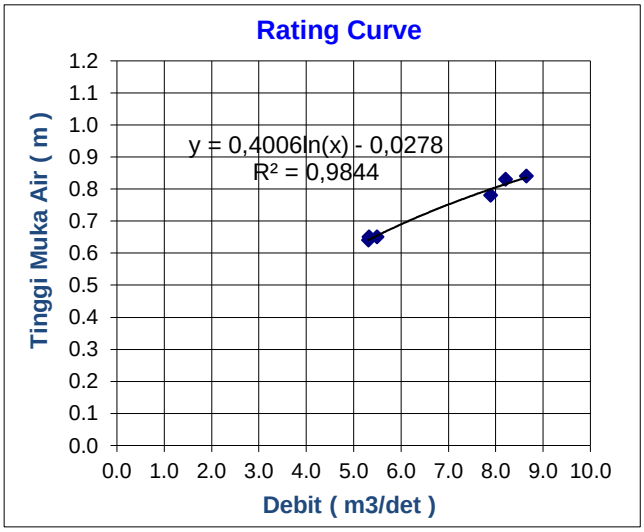
No	Tanggal	Lebar (m)	Luas(m^2)	Kecepatan (m/sec)	Level air rata-rata (m)	Debit (m^3/sec)	Metoda Pengukuran
1	03-Okt-	20.30	19.320	0.409	0.78	7.898	02/06/08

N	Tanggal	Lebar	Luas(m^2)	Kecepata	Level	Debit	Metoda
	18						
2	03-Okt-18	19.60	19.893	0.413	0.81	8.206	02/06/08
3	04-Okt-18	19.60	18.264	0.292	0.65	5.328	02/06/08
4	04-Okt-18	24.00	20.600	0.420	0.84	8.647	02/06/08
5	05-Okt-18	21.00	19.010	0.289	0.65	5.492	02/06/08
6	05-Okt-18	21.00	18.470	0.288	0.64	5.311	02/06/08

Berdasarkan tabel tersebut di atas didapatkan bahwa tinggi air tertinggi terjadi pada level 0.84m dengan debit sebesar 8,647m^3/s. Debit air tersebut didapatkan dengan melakukan perkalian antara luas penampang sungai dengan kecepatan hasil pengukuran.

4.2. Analisis *Rating Curve*

Berdasarkan data hasil pengukuran tersebut di atas, selanjutnya dibuat *rating curve* yang menunjukan hubungan antara debit air dengan tinggi permukaan air. Debit air dimasukan sebagai sumbu x dan level air dimasukan sebagai sumbu y. Berikut adalah *rating curve* berdasarkan hasil pengukuran pada posisi area terpasangnya AWLR.



Gambar 2 *Rating curve*

Selanjutnya hubungan debit air dan level air dibuat dalam satu persamaan dengan menggunakan metode logaritmik dengan nilai y=0,4006ln(x) - 0,0278 yang mempunyai nilai koefisien determinan (R^2) 0,9844. Dengan nilai R^2 mendekati 1 dapat dikatakan bahwa validitas data hasil pengukuran dapat dipercaya. Sehingga persamaan rating curve tersebut dapat digunakan untuk mengkonversi level air yang tercatat oleh stasiun AWLR menjadi data debit.

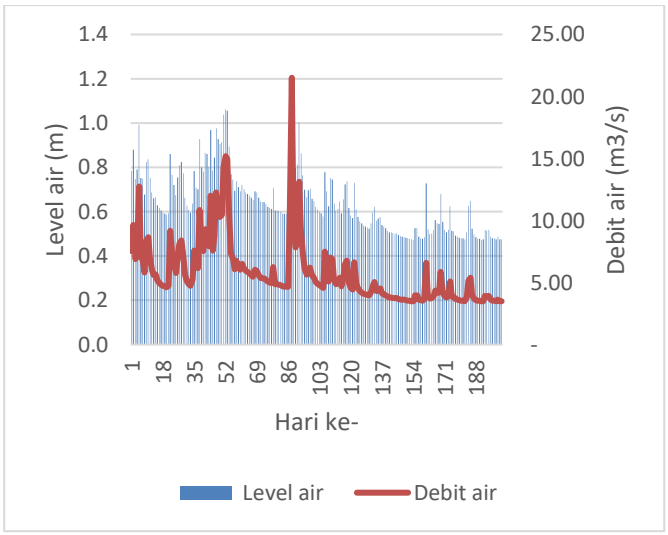
4.3. Perhitungan Debit air

Perhitungan debit air dilakukan dengan melakukan konversi level air terhadap debit air dengan menggunakan persamaan logaritmik hasil *rating curve* pada Gambar 2 tersebut diatas. Debit air rata-rata harian hasil konversi dari level air dapat dilihat pada tabel berikut:

TABEL 4 DEBIT AIR HARIAN BULAN MARET-SEPTEMBER 2019

No	Debit Air (m^3/s)						
	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September
1		7,045	6,890		5,241	3,784	3,907
2		8,073	6,064		4,854	3,761	5,099
3		8,399	6,742		4,952	3,734	3,868
4		7,378	6,339		5,365	3,741	3,839
5		5,611	6,018		4,701	3,680	3,661
6		5,126	6,488		5,520	3,638	3,607
7	7,554	4,889	6,175	9,918	6,497	3,618	3,567
8	9,654	4,736	5,958	21,512	6,773	3,602	3,549
9	6,910	5,261	5,857	10,196	5,008	3,580	3,557
10	7,714	7,564	5,744	7,815	4,609	3,550	3,514
11	12,756	6,269	5,612	8,124	4,459	3,525	3,794
12	7,016	6,157	5,485	13,114	6,653	3,509	5,120
13	6,918	10,8	6,040	9,253	4,906	3,497	5,395
14	5,809	7,879	5,961	7,228	4,510	3,976	3,966
15	8,366	7,524	5,616	6,121	4,313	3,971	3,710
16	8,634	9,297	5,378	5,630	4,198	3,619	3,588
17	6,986	9,202	5,345	6,105	4,113	3,560	3,537
18	5,971	7,930	5,354	6,191	4,042	3,530	3,525
19	5,582	12,02	5,231	5,549	3,994	3,604	3,490
20	5,644	7,597	5,070	5,423	3,948	6,579	3,514
21	5,159	8,798	4,999	5,053	4,197	3,941	3,910
22	4,987	12,27	4,955	4,914	4,736	3,720	3,855
23	4,843	10,85	6,263	4,796	5,049	3,750	3,916
24	4,740	10,30	4,859	4,718	4,328	3,880	3,605
25	4,682	10,48	4,849	4,549	4,432	4,354	3,543
26	4,631	14,30	4,813	7,501	4,511	4,194	3,547
27	4,720	15,20	4,801	6,008	4,122	4,182	3,503
28	9,176	14,97	4,677	5,084	4,058	5,856	3,616
29	7,270	9,986	4,672	6,999	3,971	4,267	3,514
30	6,494	7,308	4,686	6,896	3,864	3,917	3,500
31	5,777		4,663		3,800	3,786	

Naik turunnya debit air akan berkorelasi dengan naik turunnya level air. Perbandingan debit air dan level air dapat dilihat pada bambar berikut ini.



Gambar 3 Debit air harian bulan maret sampai September 2019

Berdasarkan gambar tersebut diatas didapatkan bahwa pola debit air yang dihasilkan mengikuti pola yang sama dengan level air. Hal ini menandakan bahwa ketika level air sungai naik, maka debit air akan naik juga. Debit air maksimum yang terjadi adalah sebesar 21m^3/s yang terjadi pada bulan juni sedangkan debit air minimum yang terjadi sebesar 3,49m^3/s pada bulan September 2019. Tren debit air selama bulan maret – September 2019 mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan karena sampai bulan September bahkan oktober tahun 2019 belum terjadi hujan.

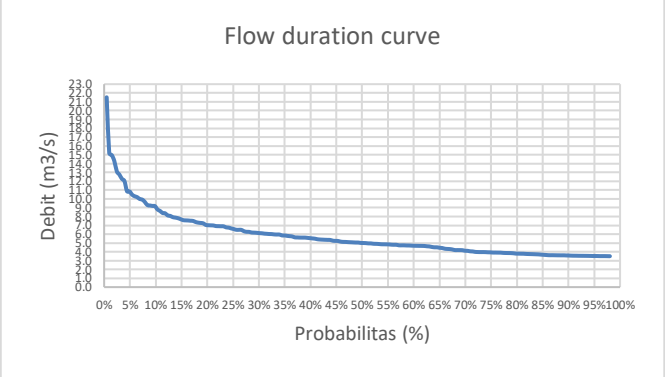
4.4. Debit Andalan

Besarnya debit andalan dianalisis menggunakan metode *flow duration curve*. Dengan *flow duration curve* dapat diketahui variasi ketersediaan debit air dalam kurun satu tahun. *Flow duration curve* merupakan penggambaran besarnya debit air dengan probabilitas kemungkinan terjadinya. *Flow duration curve* juga dapat menunjukan karakteristik aliran sungai yang diperoleh dari data pada periode yang Panjang. *Flow duration curve* didapatkan dengan menggunakan persamaan Weibull. Langkah penggambaran *Flow duration curve* adalah dengan mengurutkan debit terbesar hingga debit yang terkecil yang pada tiap debitnya dihitung probalitas yang terjadi dengan menggunakan persamaan 6. *Flow duration curve* dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut ini.

TABEL 5 DEBIT DAN JUMLAH HARI KEMUNGKINAN TERJADI

Presentase	Debit (m^3/s)	Jumlah Hari
Q 25%	6,58	91
Q 50%	5,00	183
Q 60%	4,69	219
Q 75%	3,92	274
Q 85%	3,66	310
Q 90%	3,58	329
Q 100%	3,49	365

Berdasarkan *flow duration curve* tersebut di atas, selanjutnya ditentukan debit andalan dengan probabilitas sebesar 85%. Nilai debit yang didapatkan dengan probabilitas 85% adalah 3,66 m^3/s. Hal tersebut menandakan bahwa debit sebesar 3,66 m^3/s akan tersedia 85% dalam satu tahun atau sekitar 310 hari.



Gambar 4 *Flow duration curve*

4.5. Penentuan Kapasitas PLTM

Debit desain adalah besarnya aliran sungai maksimum yang akan digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Perhitungan debit desain untuk PLTM ditetapkan dengan memperhatikan kriteria jenis turbin dengan memperhatikan besarnya tinggi jatuh (*head*) dan debit yang tersedia. Tinggi jatuh ditetapkan sebesar 110m yang merupakan beda tinggi antara lokasi rencana bendung dengan *powerhouse*. Potensi daya yang dapat dibangkitkan dengan menggunakan persamaan 1 pada berbagai kemungkinan terjadinya ditunjukan pada tabel berikut ini.

TABEL 6 POTENSI DAYA YANG AKAN DIHASILKAN

Presentase	Debit (m^3/s)	Tinggi Jatuh (m)	Daya Hidrolis (kW)
Q 25%	6,58	110	7.100
Q 50%	5,00	110	5.394
Q 60%	4,69	110	5.057
Q 75%	3,92	110	4.227
Q 85%	3,66	110	3.950
Q 90%	3,58	110	3.863
Q 100%	3,49	110	3.766

Berdasarkan gambar tersebut diatas, terlihat pada Q85% dengan debit 3,66m^3/s potensi daya yang dapat dihasilkan

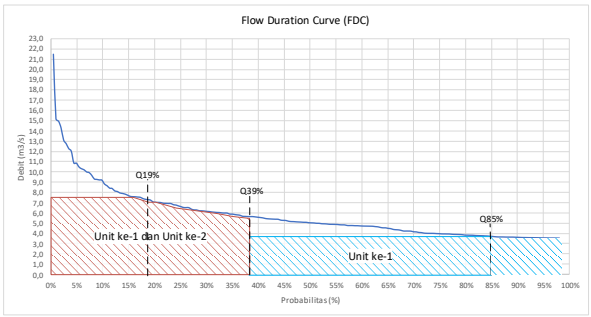
adalah sebesar 3950 kW. Pada Q25% potensi daya yang dapat dihasilkan sebesar 7100 kW yang terjadi sepanjang 91 hari dalam 1 tahun. Dengan pertimbangan potensi yang tersedia, realibilitas dan memanfaatkan aliran yang tersedia pada musim basah dan musim kering, maka jumlah unit yang direncanakan pada PLTM ditetapkan terdiri dari 2 unit turbin. Debit desain untuk masing-masing unit sebesar 3,66m^3/s. Debit desain untuk 2 unit turbin sebesar 7,32m^3/s. Berdasarkan debit desain serta efisiensi keseluruhan pembangkit PLTM, maka kapasitas PLTM yang direncanakan adalah 2 x 3,28 MW.

4.6. Analisis Produksi Energi

Untuk penggunaan satu unit turbin, kisaran unit dapat beroperasi antara 55% - 110% dari debit desain turbin. Maka untuk menghitung produksi energi per tahun operasi turbin ditetapkan sebesar minimum 55% debit rencana untuk satu unit turbin. Analisis produksi energi rencana PLTM didasarkan pada beberapa kriteria atau input data sebagai berikut:

1. Effisiensi generator dan turbin masing-masing 91% dan 95%
2. *Head* kotor adalah 110m
3. Rugi-rugi akibat tekanan maksimum 4%, sehingga head bersih adalah sekitar 105,6m
4. Debit rencana sebesar 7,24m^3/s
5. Jumlah turbin 2 unit
6. Debit maksimum per unit turbin adalah pada 3,66m^3/s

Dua unit turbin direncanakan akan beroperasi mengikuti ketersediaan air yang digambarkan dalam *flow duration curve*. Pola operasi turbine unit 1 dan 2 dapat dilihat pada gambar berikut ini



Gambar 5 Pola operasi pembangkit

Berdasarkan gambar tersebut di atas, pada saat debit rendah maka hanya satu turbin yang beroperasi. Pada saat Q85% sampai Q~0% turbin unit ke 1 beroperasi penuh dengan debit desain 3,66m^3/s. Pada saat Q39% turbin unit ke-2 mulai beroperasi dengan sekitar 55% dari debit desain 3,66m^3/s. Pada saat Q19% turbin unit ke-1 dan unit ke-2 beroperasi secara penuh 100% dengan debit 7,32m^3/s. berikut ini adalah Perhitungan daya potensial dan yang dibangkitkan pada *partial load* dari 55% sampai dengan 100%.

TABEL 7 DAYA YANG DIBANGKITKAN PADA BEBAN 55%-100%

Head, H	Beban	Debit, Q	Daya masuk turbin	Efisiensi Turbin,ηT	Efisiensi Generator, ηG	Daya Listrik
[m]	[%]	[m^3/s]	[KW]	[%]	[%]	[KW]
105,6	100	3,66	3.791,5	91,0%	95,0%	3.277,8
105,6	90	3,29	3.412,4	91,2%	94,9%	2.954,0
105,6	80	2,93	3.033,2	90,0%	94,8%	2.587,4
105,6	70	2,56	2.654,1	88,5%	94,5%	2.220,6
105,6	60	2,20	2.274,9	86,5%	94,2%	1.852,9
105,6	55	2,01	2.085,3	82,0%	93,1%	1.592,7

Perhitungan produksi listrik didasarkan pada satu tahun operasi selama 365 hari dengan pola operasi seperti yang terkihat pada tabel 7 tersebut di atas. Perhitungan energi listrik yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

TABEL 8 PERHITUNGAN ENERGI LISTRIK

Pola Operasi	Beban (%)		Debit (m3/s)	Produksi Daya (kW)		Jam Operasi (Hari)		Produksi Energi (MWh)
	Unit ke- 1	Unit ke- 2		Unit ke- 1	Unit ke- 2	Unit ke- 1	Unit ke- 2	
Unit ke-1 Hidup	90%	0	3,29	2.954,0	0	55	0	3.881,5
Unit ke-1 Hidup	100%	0	3,66	3.277,8	0	168	0	13.208,1
Unit ke-1&2 Hidup	100%	55%	5,67	3.277,8	1.592,7	15	15	1.706,6
Unit ke-1&2 Hidup	100%	60%	5,86	3.277,8	1.852,9	18	18	2.247,2
Unit ke-1&2 Hidup	100%	70%	6,22	3.277,8	2.220,6	15	15	1.926,6
Unit ke-1&2 Hidup	100%	80%	6,59	3.277,8	2.587,4	11	11	1.541,4
Unit ke-1&2 Hidup	100%	90%	6,95	3.277,8	2.954,0	15	15	2.183,6
Unit ke-1&2 Hidup	100%	100%	7,32	3.277,8	3.277,8	69	69	10.911,1
					Total	365	142	37.606,2

Berdasarkan tabel tersebut di atas, didapatkan bahwa energi listrik yang dihasilkan selama satu tahun adalah sebesar 37.606,2 MWh. Nilai produksi ini masih *gross*, belum dikurangi kebutuhan *auxiliary* PLTM. Perkiraan kebutuhan beban *auxiliary* untuk PLTM sekitar 1% dari daya terpasang sekitar 65,6 kW dengan energi terpakai sendiri sebesar 574,3 MWh. Sehingga energi *net* yang dihasilkan setelah dikurangi pemakaian sendiri adalah sekitar 37.031,9 MWh.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengukuran debit air dengan menggunakan metoda kecepatan (*Velocity Method*) dilakukan selama 3 hari dengan menghasilkan 6 data, yang dijadikan acuan dalam menbangun *rating curve*. Persamaan *rating curve* yang dihasilkan adalah y=0,4006ln(x) - 0,0278 yang mempunyai nilai koefisien determinan (R2) 0,9844.
2. Debit air maksimum yang terjadi sepanjang bulan maret-september 2019 adalah 21m^3/s yang terjadi pada bulan Juni, sedangkan debit minimum yang terjadi sebesar 3,49m^3/s. Debit andalan ditentukan pada Q85% sebesar 3,66m^3/s.
3. PLTM Terdiri dari 2 unit turbin dengan kapasitas 2 x 3,28 MW. Masing-masing turbin mempunyai debit desain sebesar 3,66m^3/s. Total debit desain untuk 2 unit adalah sebesar 7,32m^3/s.
4. Energi listrik *gross* yang dihasilkan selama satu tahun adalah sebesar 37.606,2 MWh. Kebutuhan beban *auxiliary* PLTM adalah sebesar 1% dari daya terpasang sebesar 65,6 kW dengan energi terpakai sendiri sebesar 574,3 MWh. Produksi energi *net* yang dihasilkan setelah dikurangi pemakaian sendiri adalah sekitar 37.031,9 MWh.

6. SARAN

Untuk Penelitian yang akan datang, Kajian penentuan kapasitas dan produksi energi dapat diperdalam lagi. Untuk penelitian selanjutnya adalah dengan melakukan optimasi jumlah dan kapasitas pembangkit berdasarkan *flow duration curve* yang sudah terbentuk sehingga didapatkan optimalisasi pembangkit PLTM baik secara teknis maupun biaya. Selain itu juga dipertimbangkan aliran pemeliharaan (*ecoflow*) yang harus dialirkan sepanjang tahun. Untuk optimasi akan dibutuhkan spesifikasi turbin dan generator serta harganya. Hasil optimasi diharapkan dapat mengoptimalkan jumlah unit yang terpasang, kapasitas tiap unit dan pola operasi pembangkit.

REFERENSI

[1] Abd Kamal Neno, Herman Harijanto, Abdul Wahid. (2016). Hubungan Debit Air dan Tinggi Muka Air di Sungai Lambagu Kecamatan Tawaeli Kota Palu, Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan, Universitas Tadulako, WARTA RIMBA ISSN: 2406-8373 Volume 4, Nomor 2 Hal: 1-8.

[2] Ikrar Hanggara dan Harvi Irvani. (2017). Potensi PLTMh (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro) Di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang Jawa Timur, Jurnal Reka Buana Volume 2 No 2.

[3] Khairul Saleh, Syahrizal, Ivan Indrawan. (2015). Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMh) pada Sungai Aek Pohon Kecamatan Panyabungan Timur Kabupaten Mandailing Natal, Departemen Teknik Sipil, Universitas Sumatera Utara..

[4] Sardi Salim. (2017). Listrik Mikro Hidro Berdasarkan Potensi Debit Andalan Sungai, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo.

[5] Supadi. (2006). Model Regresi Rating Curve Stasiun AWLR Jurug Antara Tinggi Muka Air dan Debit pada Sungai Bengawan Solo, Volume 14, No. 2, Edisi XXXV.

[6] Yusniati H. Muh. Yusuf. (2018). Analisis Hidrologi Sungai Ponre-Ponre Kabupaten Bone, Universitas Nusa Cendana Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika (JSPF) Jilid 14, Nomor 1.