

ANALISIS POTENSI ENERGI TERBARUKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI MANOKWARI SELATAN***(THE ANALYSIS OF RENEWABLE ENERGY POTENTIAL OF MICROHYDRO POWER PLANT IN SOUTH MANOKWARI)*****Elias K. Bawan¹, Antonius D. Palintin¹, dan Eric A. Patandianan²**¹Fakultas Teknik Universitas Papua Indonesia²Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan Universitas Papua Indonesia

Jalan Gunung Salju Amban Manokwari Papua Barat

email: e.bawan@unipa.ac.id

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis potensi energi listrik di kabupaten Manokwari Selatan. Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2019 di Kabupaten Manokwari Selatan pada tiga Distrik. Survei geologi dilakukan dengan pendekatan geologi regional Lembar Ransiki. Untuk analisis hidrologi dan kemiringan lereng dilakukan dengan menggunakan citra satelit, *Digital Elevation Model (DEM)* dan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) serta pengukuran di lapangan untuk penentuan debit lapangan. Kondisi hidrologi yang menjadi kajian meliputi potensi debit dan curah hujan. Perhitungan debit air pada DAS menggunakan metode FJ. Mock. Data evapotranspirasi potensial dihitung dengan menggunakan metode Penman Modifikasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa debit andalan pada sungai Susmorof mencapai 1500 L/dt masing-masing untuk kepentingan pengembangan sistem. Total potensi PLTMH di dua lokasi yang dikaji adalah sebesar 30,4 kW di sungai Bengko kampung Sihu dan 73,4 kW. Untuk pengembangan PLTMH di Kampung Susmorof hal ini penting untuk ditindaklanjuti pada tahapan studi kelayakan dan penyusunan perencanaan detail desain.

Kata kunci: pembangkit listrik tenaga mikrohidro, FJ Mock, metode Penman, Manokwari Selatan

Abstract

The purpose of this study was to analyze the potency of electrical energy in South Manokwari district. The research was conducted in July 2019 in South Manokwari Regency in three districts. The geological survey was carried out using the Ransiki Sheet regional geological approach. For hydrological and slope analysis, satellite imagery, Digital Elevation Model (DEM) and Indonesian Earth Map (RBI) and Geographic Information System (GIS) applications as well as measurements in the field were used to determine field discharge. The hydrological conditions under study include the potential for discharge and rainfall. Calculation of water discharge in the watershed uses the FJ Mock method. Potential evapotranspiration data were calculated using the Modified Penman method. This study shows that the mainstay discharge in the Susmorof river reaches 1500 L/s each for the purpose of system development. The total potential for MHP in the two locations studied are 30.4 kW in the Bengko river, Sihu village and 73.4 kW. For the development of MHP in Susmorof Village, this is important to be followed up at the stage of feasibility studies and preparation of detailed design planning.

Keyword: Micro hydro power plant, FJ Mock, Penman method, South Manokwari

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia dengan luas 8,3 juta km², sekitar 77% merupakan permukaan air dan sebanyak 17.504 pulau. Sekitar 111 di antaranya berada di pulau terluar yang berbatasan langsung dengan negara-negara lain (Reinders, 2020).

Di daerah yang memiliki jumlah industri yang besar memiliki akses tenaga listrik yang sangat bagus termasuk di daerah Jawa dan beberapa daerah lainnya sedangkan di daerah lain termasuk bagian Timur Indonesia memiliki akses yang cukup rendah. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan asumsi dasar makro sektor energi dan sumber daya mineral dalam rancangan RAPBN 2020 menyebutkan rasio elektrifikasi pada tahun 2020 mencapai 99,99% (Agustus 2019). Paparan ESDM hingga 2018 masih terdapat 1,7% wilayah yang belum teraliri listrik dan pada Juli 2019 mencapai 98,2% dan daerah yang terendah adalah Papua dan NTT. Jaringan listrik di Indonesia baru menjangkau 85% dari 82.190 desa. Sebanyak 2.519 desa bahkan belum merasakan layanan listrik sama sesungai, 2.376 di antaranya ada di pulau Papua. Sisanya belum mendapat layanan secara penuh dalam 24 jam menurut data ESDM (Kementerian ESDM, 2016).

Masyarakat yang tinggal di pulau-pulau kecil atau daerah pedesaan, di mana

jaringan distribusi tenaga listrik tidak ada atau secara teknis dan ekonomi sangat sulit untuk membangun jaringan transmisi dan distribusi tenaga listrik (Tan *et al.*, 2014). Membangun pembangkit tenaga listrik di daerah terpencil membutuhkan biaya yang besar dan kesulitan yang tinggi. Oleh karena itu, pada beberapa tahun sebelumnya, pembangkit listrik yang paling populer bagi daerah kepulauan dan pedesaan adalah generator disel, selain oleh karena instalasi yang sederhana tetapi juga biaya investasi awal yang rendah (Galvez, 2015).

Sistem kelistrikan di Provinsi Papua Barat masih terisolasi. Meskipun relatif kaya dengan sumber daya energi (baik fosil maupun nonfosil) yang dimanfaatkan untuk kelistrikan. Permintaan listrik terus meningkat namun tidak sebanding dengan kemampuan kapasitas pembangkit yang telah ada. Percepatan pembangunan pembangkit energi terbarukan segera dilaksanakan seperti air, angin dan tenaga matahari) untuk memenuhi permintaan secara total dan disisi lain meminimalkan kebiasaan mengandalkan listrik berbahan bakar minyak seperti PLTD (Oktaviani, 2016).

Potensi energi air di Papua Barat cukup besar, beberapa di antaranya adalah di Kabupaten Pegunungan Arfak antara lain Pasalli dan Rehiara (2014) telah melakukan studi perencanaan design PLTMH di sungai Hingk dengan potensi maksimal 25,2 kW

dengan *head* 8,6 meter dan debit air 0,3 m³/detik dan produksi energi listrik 17,32 kW. Potensi PLTMH beberapa sungai lainnya di pegunungan Arfak seperti sungai Indabri 26,4 kW, sungai Demaisi 22,1 kW, sungai Sururey 9,7 kW dan sungai Kopo 5,9 kW (Palintin, 2020). Potensi PLTMH di kampung Sasnek Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan Provinsi Papua Barat sebesar 10 kW dengan debit 2 liter/detik memanfaatkan debit 0,65 m³/detik dengan faktor koreksi 0,75 oleh karena kondisi air sungai mengalir sepanjang tahun (Tobi & Van Harling, 2017).

Energi baru terbarukan (EBT) adalah sumber-sumber energi yang terus menerus dibaharui oleh alam dan berasal langsung dari matahari (seperti termal, foto-kimia, dan foto-listrik), secara tidak langsung dari matahari (seperti angin, tenaga air, dan energi fotosintesis yang tersimpan di biomassa), atau dari gerakan dan mekanisme

alami lingkungan lainnya seperti energi panas bumi (Ellabban *et al.*, 2014).

Pemanfaatan energi terbarukan menjadi solusi alternatif dan dapat dioptimalkan terutama di daerah yang belum mendapatkan akses jaringan distribusi tenaga listrik PLN seperti pedesaan, kepulauan dan pegunungan. Papua Barat memiliki potensi air yang cukup besar sehingga berpeluang untuk membangkitkan energi listrik dari tenaga air. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air dengan kapasitas tidak lebih dari 100 kW yang bisa berasal dari saluran irigasi, sungai, atau terjun air alam dengan memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan debit air.

Kabupaten Manokwari Selatan merupakan salah daerah pemekaran secara administratif dari kabupaten Manokwari pada bulan November 2012 selain kabupaten Pegunungan Arfak. Kabupaten Manokwari

Tabel 1
Distribusi Penduduk Menurut Distrik dan Luas Wilayah

No	Distrik	Luas Wilayah (Km ²)	Jumlah Penduduk (ribu)	Jumlah Rumah Tangga	Kepadatan Penduduk (jiwa/Km ²)	Jumlah Desa
1	Tahota	604,15	622	156	1,03	4
2	Dataran Isim	862,86	2.203	583	2,55	12
3	Neney	249,55	1.271	294	5,09	7
4	Momi Waren	456,18	2.687	610	5,89	7
5	Ransiki	273,24	10.184	2029	37,28	13
6	Oransbari	366,46	6.650	1492	18,15	14
	Jumlah	2812,44	23.617	5164	8,40	57

Selatan terdiri dari 6 distrik dan 57 desa dengan luas wilayah 2.812,44 km². Dilihat dari komposisi jumlah desa dan kelurahan, Distrik Oransbari memiliki jumlah desa terbanyak yaitu 14 desa sedangkan distrik Tahota yang paling sedikit yaitu 4 desa. Secara rinci, demografi Kabupaten Manokwari Selatan dapat dilihat pada Tabel 1. Penduduk Kabupaten Manokwari Selatan berdasarkan hasil proyeksi penduduk tahun 2019 sebanyak 24.220 jiwa yang terdiri atas 11.970 laki-laki dan 11.013 perempuan.

Kepadatan penduduk pada tahun 2018 mencapai 8,40% jiwa/Km². Kepadatan penduduk di empat distrik cukup beragam dengan kepadatan penduduk tertinggi terletak di Distrik Ransiki dengan kepadatan sebesar 37,28 jiwa/Km² dan terendah di Distrik Tahota sebesar 1,03 jiwa/Km² (BPS Kabupaten Manokwari, 2019)

Wilayah Kabupaten Manokwari Selatan yang berada di pegunungan dan dengan adanya sungai membuka peluang pengembangan pembangkit listrik tenaga air khususnya skala mikrohidro untuk memenuhi kebutuhan penduduk akan energi listrik. Di Manokwari Selatan terdapat enam sungai besar yang ada seperti pada Tabel 2. Akan tetapi, pemanfaatan potensinya seringsungai dibatasi oleh ketersediaan data karena terbatasnya studi dan penelitian terkait.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis potensi energi listrik di kabupaten

Manokwari Selatan di empat kampung yaitu kampung Inyuara, Sihu, Skajo, dan Susmorof.

METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli 2019 di Kabupaten Manokwari Selatan pada tiga Distrik Dataran Isim Kampung Tahosta, Inyuara, Umousi, Duhuges, dan Tubes; Distrik Tahota Kampung Sihu; dan Distrik Kampung Susmorof. Penentuan lokasi penelitian ini didasarkan atas pertimbangan bahwa daerah tersebut belum dialiri oleh listrik dan diduga memiliki potensi sungai yang baik untuk PLTMH serta masukan dari pemerintah daerah dan PT. PLN Cabang Manokwari.

Survei geologi dilakukan dengan pendekatan geologi regional Lembar Ransiki (Pieters, 1990) dan Lembar Steenkol (Robinson, 1990). Untuk analisis hidrologi dan kemiringan lereng dilakukan dengan menggunakan citra satelit, Digital Elevation Model (DEM), Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI), dan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) serta pengukuran di lapangan untuk penentuan debit lapangan yang nantinya akan menjadi perbandingan dengan hasil perhitungan debit andalan. Kondisi hidrologi yang menjadi kajian meliputi potensi debit dan curah hujan dimana termasuk di dalamnya terkait perubahan iklim (Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, 2009).

Perhitungan debit air pada DAS menggunakan metode FJ. Mock memerlukan data klimatologi dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG). Data evapotranspirasi potensial dihitung dengan menggunakan metode Penman Modifikasi (Pratama, 2016; Nugroho dkk., 2017).

Hasil perhitungan debit setiap bulan selama beberapa tahun kemudian disusun dan ditentukan tingkat keandalannya yang dipilih berdasarkan probabilitas kejadian mengikuti rumus *Weibull* dan membentuk kurva yang dinamakan *Flow Duration Curve (FDC)*.

$$P = \frac{i}{n + 1} \times 100\% \quad (1)$$

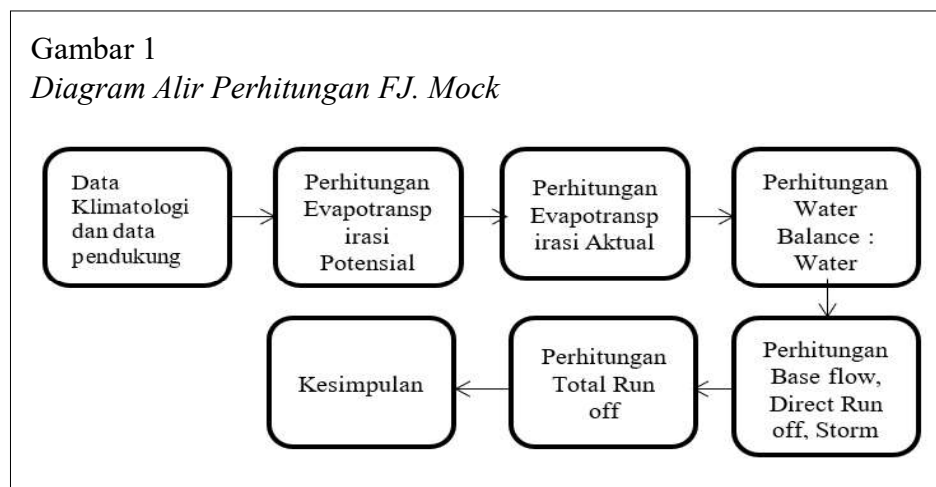
Dengan *i* adalah nomor urut debit dengan urutan kejadian dari besar ke kecil, *n* adalah jumlah data, dan *P* adalah probabilitas terjadinya kumpulan nilai yang diharapkan selama periode pengamatan (%). Dalam kajian ini dipilih debit andalan dengan persentase 80%-96% (Kusumastuti dkk., 2016).

Untuk mendapatkan daya hidrolik (P_h) yang merupakan potensi sumber daya

energi air pada suatu wilayah, didapatkan dengan persamaan (2). Potensi hidrolik adalah potensi energi yang ditimbulkan oleh tekanan air akibat gravitasi bumi. Potensi energi mikrohidro yang tersedia di alam adalah merupakan potensi hidrolik dalam bentuk energi potensial. Besarnya potensi hidrolik dipengaruhi oleh besarnya debit dan ketinggian/kemiringan suatu sungai atau *head* (Sogen, 2017).

$$P_h = Q \times H \times g \quad (2)$$

Potensi daya listrik (PLTMH) yang dapat dibangkitkan berdasarkan hasil perhitungan potensi hidrolik. Energi dalam bentuk potensial hidrolik tidak semuanya dikonversi menjadi tenaga listrik. Pada saat konversi dari energi potensial menjadi energi listrik sebagian energi akan hilang dalam bentuk *losses*. Selain hal tersebut, juga sangat dipengaruhi oleh besarnya efisiensi komponen seperti turbin dan generator yang digunakan pakai rumus (Nugroho dkk., 2017, p. 169). Nilai efisiensi yang digunakan



adalah 0,68. Kapasitas daya pembangkit (P_e) disajikan pada persamaan (3).

$$P_e = \eta_T \times \eta_G \times \eta_M \times P_h \quad (3)$$

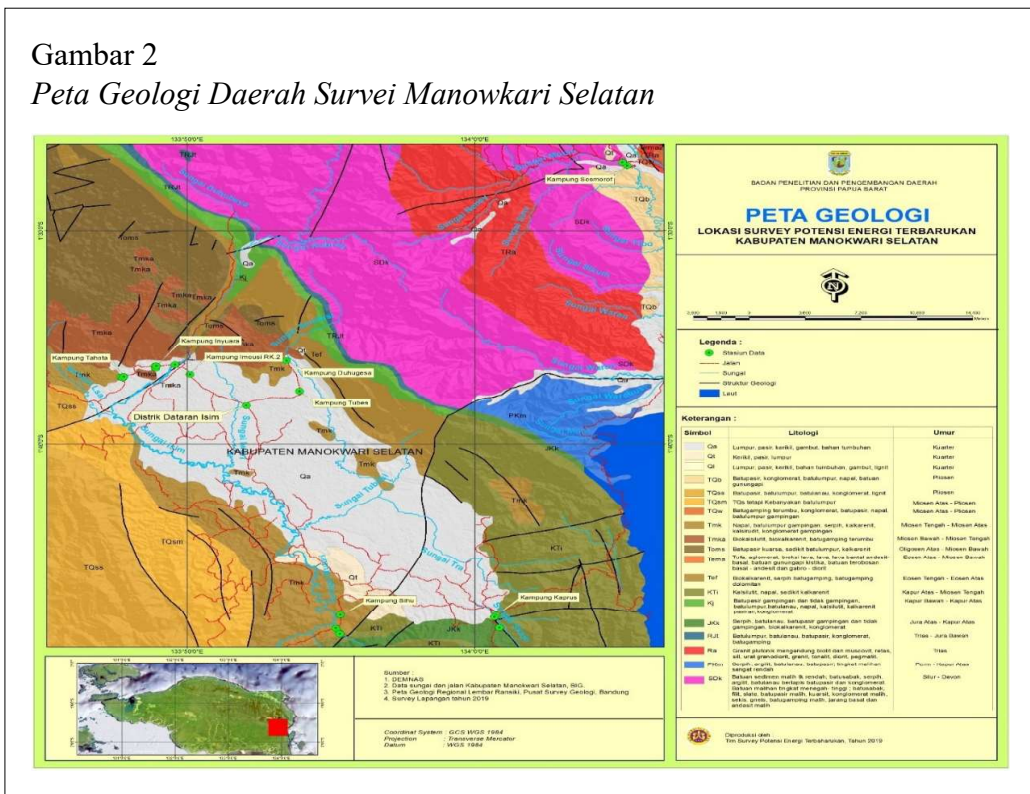
Dengan P_h adalah potensi hidrolik (kW), P_e adalah potensi daya listrik (kW), η_T adalah efisiensi turbin, η_G adalah efisiensi generator, η_M adalah efisiensi transmisi mekanik, g adalah gaya gravitasi (9,8 m/dt²), Q adalah debit andalan (m³/dt) dan H adalah tinggi efektif (m).

HASIL DAN PEMBAHASAN

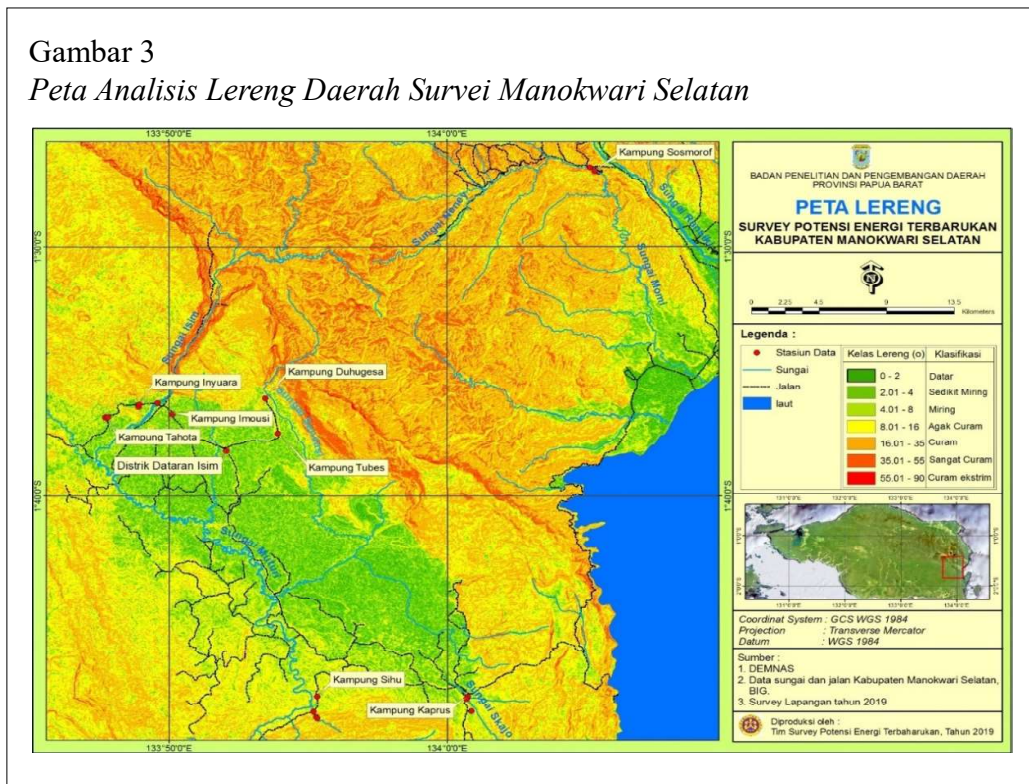
Daerah survei potensi energi terbarukan di Kabupaten Manokwari Selatan terdiri atas berbagai variasi litologi pada tiap formasi batuan. *Pertama*, Kampung Sosmorof terletak pada Formasi Kemum

(SDk) yang merupakan batuan sedimen malih tingkat rendah berupa batusabak, serpih, argilit, batulanau berlapis batupasir, dan konglomerat. Batuan malihan tingkat sedang – tinggi berupa batusabak, filit, slate, batupasir malih, kuarsit, konglomerat malih, sekis, gneis, batugamping malih, basal dan andesit malih. Sedangkan pada Sungai Sosmorof yang lokasi pengukuran berada pada Formasi Aluvium (Qa) merupakan pasir, kerikil, gambut dan bahan tumbuhan, juga melewati Formasi Kemum (SDk) dan Formasi Granit Anggi (Ra) berupa litologi Granit. *Kedua*, Distrik Dataran Isim terletak pada Formasi Aluvium (Qa) berupa bahan rombakan pasir, kerikil, gambut, dan bahan tumbuhan. *Ketiga*, Kampung Sihu terletak

Gambar 2
Peta Geologi Daerah Survei Manowkari Selatan



Gambar 3
Peta Analisis Lereng Daerah Survei Manokwari Selatan



pada Formasi Klasafet (Tmk) dengan litologi Napal, batu lumpur gampingan, serpih, kalkarenit, kalsirudit, dan konglomerat gampingan. Sungai Bengko yang terletak di Kampung Sihu juga melewati Formasi Kelompok klembangan (JKk) berupa litologi serpih, batulanau, batupasir gampingan, dan tidak gampingan, biokalkarenit dan konglomerat serta Formasi Batugamping Imskin (KTi) berupa litologi Kalsilutit, napal, dan kalkarenit. *Keempat*, Kampung Kaprus terdapat Sungai Skajo terletak pada Formasi Kelompok Kembelangan (JKk) dan Formasi Batugamping Imskin (KTi).

Morfologi Daerah Distrik Dataran Isim yang terdiri atas Kampung Tahosta, Inyuara, Umousi, Duhugesia, dan Tubes

masuk dalam satuan dataran dan daerah rata aluvium dan litoral dengan kemiringan lereng dalam klasifikasi Van Zuidam Tahun 1985 merupakan daerah dengan morfologi yang rata sampai sedikit miring dengan kemiringan lereng 2-4°. Kampung Sihu dan Kampung Kaprus masuk dalam satuan fisiografis Pegunungan Imskin-Kaputih dengan morfologi agak curam sampai curam dengan kemiringan lereng 8-35°. Sedangkan Kampung Sosmorof masuk dalam fisiografis Pegunungan Bagian tengah Kepala Burung dengan morfologi curam sampai sangat curam dengan kemiringan lereng 16-55°.

Di wilayah Kabupaten Manokwari Selatan terdapat 6 buah sungai yang cukup panjang. Sungai Momi merupakan sungai

yang terpanjang, yaitu 34 km sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

Sungai-sungai di Kabupaten Manokwari Selatan umumnya membentuk pola aliran dendritik, serta tipe genetik konsekuen dan obsekuen. Sebagian besar anak sungai yang mengalir ke sungai utama berjenis sungai permanen atau mengalir sepanjang tahun yang menyuplai air ke sungai utama.

Adapun sungai-sungai yang disurvei di Kabupaten Manokwari Selatan yang berpotensi untuk PLTMH adalah Sungai Bengko dengan debit pengukuran sebesar 114,6 L/s dengan luas Daerah Aliran Sungai 4,17 Km², serta Sungai Sosmorof dengan

debit 4917,6 L/s dengan luas Daerah Aliran Sungai 123,88 Km².

Pengukuran debit air di Kabupaten Manokwari Selatan dilakukan di empat sungai, yaitu Sungai Bahames di Kampung Inyuara, Sungai Skajo di Kampung Kaprus, Sungai Bengko di Kampung Sihu dan Sungai Susmorof di Kampung Susmorof. Dokumentasi pengukuran dan hasil debit pengukuran lapangan ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 3.

Analisis debit andalan dilakukan dengan model F. J Mock yang memerlukan data suhu, kelembaban, curah hujan, penyinaran matahari, dan kecepatan angin.

Tabel 2
Nama Sungai di Kabupaten Manokwari Selatan

No	Nama Sungai	Panjang (Km)	Q (m ³ /s)	Lokasi/Distrik
1	Momi	34	NA	Ransiki
2	Ransiki	32	76,153	Ransiki
3	Waren	19	NA	Ransiki
4	Masabui	18	18,958	Oransbari
5	Warbiadi	16	NA	Oransbari
6	Muari	10	NA	Oransbari

Gambar 4

Pengukuran Debit Air di Sungai Susmorof (kiri) dan Sungai Bengko (kanan)



Tabel 3
 Hasil Pengukuran Debit Beberapa Lokasi di Kabupaten Manokwari Selatan

No	Sungai/Kampung	Titik Data	Lokasi		Debit (m ³ /det)	Potensi Head (m)
			Lintang	Bujur		
1	Baharmes/ Inyuara	Titik 1	-1.607333	133.815139	0.0052	2
		Titik 2	-1.607333	133.815222		
2	Bengko/Sihu	Titik 1	-1.813759	133.921307	0.1146	70
		Titik 2	-1.810722	133.919694		
3	Sosmorof/ Sosmorof	Titik 1	-1.446833	134.08575	4.9176	10
		Titik 2	-1.449388	134.0885		
4	Skajo/Kaprus	Titik 1	-1.805437	134.013617	0,001	13
		Titik 2	-1.80062	134.012234		

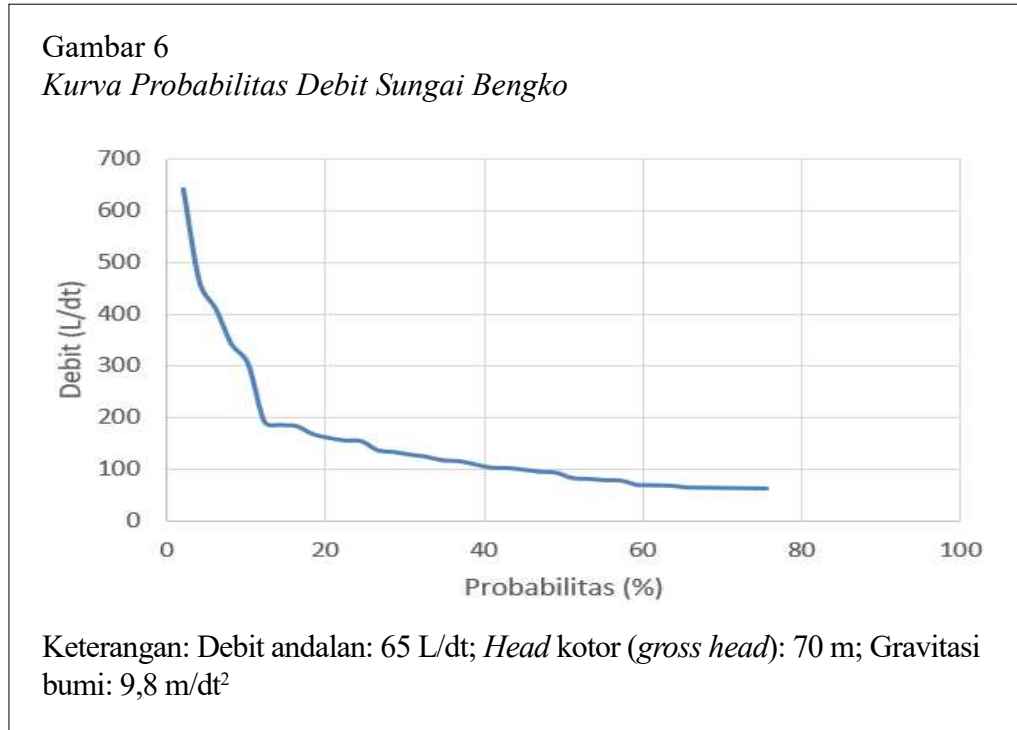
Gambar 5
 Salah Satu Peta Lokasi Survei PLTMH di Kampung Susmorof



Model ini dihasilkan dari penelitian empiris dengan memasukkan data hujan bulanan, evapotranspirasi potensial bulanan, dan parameter-parameter fisik lainnya yang sifatnya juga bulanan sehingga menghasilkan debit aliran simulasi bulanan. Untuk analisis debit andalan sungai-sungai di Kabupaten

Manokwari Selatan menggunakan data selama empat tahun dari tahun 2015-2018.

Penentuan *head* bersih dipengaruhi oleh jarak dari rencana bendung ke rumah pembangkit (*power house*). Untuk sungai Bengkok diperoleh hasil perhitungan *head* bersih sebesar 69,74 m. Dengan *head* bersih



Tabel 4
Perhitungan Potensi PLTMH Di Kabupaten Manokwari Selatan

No	Sungai/Kampung	Debit Pengukuran (L/dt)	Debit Andalan (L/dt)	Potensi Head (m)	Net Head (m)	Potensi Hidrolik (kW)	Daya PLTMH (kW)
1	Bengko/Sihu	114,6	65	70	69,74	44,4	30,4
2	Sosmorof (Untuk <i>redesign PLTMH Existing</i>)	4917,6	500	10	6,24	30,6	21
3	Sosmorof (Potensi Pengembangan)	4917,6	1500	10	7,29	107,1	73,4

sebesar itu diperoleh potensi hidrolik (P_h) sebesar 44,4kW.

Potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan berdasarkan perhitungan potensi hidrolik adalah sebagai berikut.

Efisiensi turbin : 0,76
 Efisiensi generator : 0,92
 Efisiensi mekanis : 0,98
 Kapasitas daya pembangkit (P_e) : 30,4kW

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa debit andalan pada sungai Susmorof mencapai 1500 L/dt masing-masing untuk kepentingan pengembangan sistem; total potensi PLTMH di dua lokasi yang dikaji adalah sebesar 30,4 kW di sungai Bengko kampung Sihu dan 73,4 kW untuk pengembangan PLTMH di

Kampung Susmorof; dan PLTMH Susmorof penting untuk ditindaklanjuti pada tahapan studi kelayakan dan penyusunan perencanaan detail desain.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS Kabupaten Manokwari. (2019). *Kabupaten Pegunungan Arfak dalam angka 2019*. BPS Kabupaten Manokwari.
- Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. (2009). *Buku 2A pedoman studi kelayakan hidrologi*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- Kementerian ESDM. (2016). *2.519 desa belum teraliri listrik*. Kementerian ESDM.
- Galvez, B. M. (2015). *Investing in renewable energy generation and power transmission in Eastern Indonesia*. Asian Development Bank.
- Kusumastuti, D. I., Winarno, D. J., Humaidi, Falah, M. N., & Robiyanto. (2016). Estimasi potensi PLTMH dengan metode regionalisasi pada ungauged catchments di Kecamatan Suoh. *Jurnal Teknik Sipil*, 63-74.
- Tan, Y., Meegahapola, L., & Muttaqi, K. M. (2014). A review of technical challenges in planning and operation of remote area power supply systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 876-889.
- Nugroho, D., Suprajitno, A., & Gunawan. (2017). Desain pembangkit listrik tenaga mikrohidro di air terjun Kedung Kayang. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13(3), 161-171.
- Oktaviani, K. (2016). *Prakiraan penyediaan dan pemanfaatan energi skenario optimalisasi EBT Daerah*. Pusat Data dan Teknologi Informasi Kementerian ESDM.
- Palintin, A. D. (2020). Potensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro di Kabupaten Pegunungan Arfak. *Igya Ser Hanjop*, 11-24.
- Pieters, P. E. (1990). *Geologi lembar Ransiki, Irian Jaya*. Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Pratama, F. S. (2016). *Potensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro dan pemanfaatannya untuk masyarakat di Daerah Aliran Sungai Cikurai* (Disertasi doktor tidak diterbitkan). Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Pasalli, Y. R., & Rehiara, A. B. (2014). Design planning of micro-hydro power plant in Hink River. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 55-63.
- Reinders, K. K. (2020). *The electricity grid in Indonesia*. Springer.
- Robinson, G. P. (1990). *Geologi lembar Steenkool, Irian Jaya*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sogen, M. D. (2017). Studi perencanaan pembangunan PLTMH di Kampung Sasnek Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan Provinsi Papua Barat. *Electro Luceat*.
- Tobi, M. D., & Van Harling, V. N. (2017). Studi perencanaan pembangunan PLTMH di Kampung Sasnek Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan Provinsi Papua Barat. *Electro Luceat*, 3(1), 32-43.