



Research

Efektivitas pembangkit listrik tenaga mikrohidro sebagai penyedia energi baru terbarukan berbasis komunitas

(Studi Kasus: PLTMH Anggi, Kabupaten Pegunungan Arfak dan PLTMH Kali Ombak, Kabupaten Maybrat, Papua Barat)

Ofi Shofiyah^{1,*}, Calista Mutia Gunandar² and Vincensia Tasha Devi Ariyanti³

^{1,2,3}Universitas Indonesia

* Correspondence: ofi.shofiyah@ui.ac.id

Received Date: July 31, 2023

Revised Date: July 31, 2023

Accepted Date: July 31, 2023

Cite This Article:

Shofiyah, O., Gunandra, C. M. and Ariyanti, V. T. D. (2023). Efektivitas pembangkit listrik tenaga mikrohidro sebagai penyedia energi baru terbarukan berbasis komunitas (Studi Kasus: PLTMH Anggi, Kabupaten Pegunungan Arfak dan PLTMH Kali Ombak, Kabupaten Maybrat, Papua Barat). *Social, Ecology, Economy for Sustainable Development Goals Journal*, 1(1), 63-77.

<https://doi.org/10.61511/seesdgj.v1i1.2023.260>



Copyright: © 2023 by the authors.

Submitted for possible open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Abstract

Indonesia is currently trying to achieve the number 7 sustainable development target in the energy sector through renewable energy. This is evidenced by achieving an electrification ratio of 99.20% in Indonesia, with one of Indonesia's renewable energy potentials in micro hydro to provide electricity in rural areas. This research will discuss the potential for providing micro-hydro power plants (PLTMH) outside Java, especially in West Papua Province. The research was conducted qualitatively, using a comparative study research method to compare research variables, namely the operational efficiency of the Anggi PLTMH in Anggi District, Arfak Mountains, West Papua, and the Kali Ombak PLTMH in South Mare District, Maybrat Regency, West Papua from an environmental aspect (analysis of electricity production from the PLTMH, carbon dioxide emissions resulting from the operation of the PLTMH, and a comparison of environmental impacts based on the type of environmental documents) and social aspects (reduction in the cost of community electricity due to the implementation of the PLTMH, the number of households channeled electricity, and the implementation of community involvement in the management of the PLTMH). The study results show that the Anggi PLTMH is more effective than the Kali Ombak PLTMH in providing micro-hydropower in terms of electricity production capacity, reduction of carbon dioxide emissions, and reduction of electricity costs. PLTMH Anggi can generate electricity of 108.9 kW, reduce carbon dioxide by 2.1693 tons of CO₂, and save electricity costs of Rp 4,441,891.608, which is superior to PLTMH Kali Ombak. However, currently, there is still a need for development in the social field in the operation of PLTMH, both PLTMH Anggi and PLTMH Kali Ombak, in the form of community involvement because active community involvement has not yet been realized, both in the planning and maintenance stages of PLTMH and the socialization of environmental impacts based on the type of environmental documents to be able to manage the impact perspective. The community's negative attitude toward PLTMH activities

Keywords: electric power; micro hydro; PLTMH; renewable energy

Abstrak

Indonesia saat ini tengah berusaha mencapai target pembangunan berkelanjutan nomor 7 di bidang energi melalui penggunaan energi terbarukan Hal ini dibuktikan melalui pencapaian rasio elektrifikasi sebesar 99,20% di Indonesia, dengan salah satu potensi energi terbarukan di Indonesia berupa mikrohidro untuk menyediakan listrik di area pedalaman. Penelitian ini akan membahas potensi penyediaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) di luar pulau Jawa, khususnya di

Provinsi Papua Barat. Penelitian dilakukan secara kualitatif, dengan metode penelitian studi komparatif untuk membandingkan variabel penelitian yaitu efisiensi operasional PLTMH Anggi di Distrik Anggi, Pegunungan Arfak, Papua Barat, dan PLTMH Kali Ombak di Distrik Mare Selatan, Kabupaten Maybrat, Papua Barat dari aspek lingkungan (analisis produksi listrik dari PLTMH, emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari operasional PLTMH, dan perbandingan dampak lingkungan hidup berdasarkan jenis dokumen lingkungan hidup) dan aspek sosial (pengurangan biaya energi listrik masyarakat akibat implementasi PLTMH, jumlah KK tersalurkan energi listrik, dan implementasi keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan PLTMH). Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa PLTMH Anggi lebih efektif daripada PLTMH Kali Ombak dalam menyediakan energi listrik tenaga mikrohidro ditinjau dari kapasitas produksi listrik, pengurangan emisi karbon dioksida, serta pengurangan biaya energi listrik. PLTMH Anggi dapat menghasilkan energi listrik sebesar 108,9 kW, mengurangi karbon dioksida sebanyak 2,1693 ton CO₂, dan menghemat biaya listrik sejumlah Rp 4.441.891,608 lebih unggul dibandingkan PLTMH Kali Ombak. Namun saat ini masih diperlukan pengembangan di bidang sosial dalam operasional PLTMH baik PLTMH Anggi dan PLTMH Kali Ombak berupa pelibatan masyarakat dikarenakan belum terealisasinya pelibatan masyarakat secara aktif baik di tahap perencanaan hingga pemeliharaan PLTMH serta diperlukan sosialisasi dampak lingkungan berdasarkan jenis dokumen lingkungannya sehingga mampu mengelola dampak perspektif negatif masyarakat terhadap kegiatan PLTMH.

Keywords: energi terbarukan; mikrohidro; PLTMH; tenaga listrik

1. Introduction

Berdasarkan data total produksi energi pembangkit listrik dari PLN (2011), Indonesia masih menggunakan tenaga fosil seperti gas, minyak, dan batubara sebagai sumber utama pembangkit tenaga listrik yang menyebabkan peningkatan emisi karbon (Nazir, 2014). Saat ini Pemerintah telah berupaya menurunkan persentase penggunaan energi fosil menjadi energi terbarukan melalui kebijakan nasional, undang-undang, dan peraturan ketenagalistrikan. Energi merupakan salah satu komponen penting dalam 17 Target Pembangunan Berkelanjutan (*United Nations Sustainable Development Goals*) sebagaimana tertuang pada target nomor 7 yaitu menjamin akses layanan energi yang terjangkau dan berkelanjutan. Pemenuhan target 7 pembangunan berkelanjutan sangat penting untuk meningkatkan kesejahteraan manusia, pertumbuhan ekonomi, dan mencapai tujuan perubahan iklim 2 °C (Nam-Chol & Kim, 2019). Indonesia mencatatkan sejumlah kemajuan dalam pencapaian target 7 pembangunan berkelanjutan dengan tercapainya rasio 99,20% elektrifikasi, di atas rata-rata negara di Asia Tenggara dan Asia Timur (International Energy Agency, 2020; Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2021). Pencapaian rasio elektrifikasi yang hampir mencapai 100% harus diikuti dengan perbaikan kualitas akses listrik, khususnya untuk masyarakat pedesaan yang berada di lokasi yang terisolasi dan sulit dijangkau sehingga memiliki keterbatasan dalam memperoleh sumber energi.

Terdapat beberapa proyek kerjasama pemerintah, sektor swasta, dan lembaga swadaya masyarakat dalam penyediaan listrik pedesaan dengan berbagai kapasitas dan layanan listrik yang diterima masyarakat berbeda antara satu teknologi dengan yang lainnya. Program elektrifikasi sebagian besar masih menyediakan akses listrik dengan kualitas di bawah Tier 1 dan hanya sebagian kecil layanan listrik yang berkualitas Tier 2 yang dengan menggunakan pembangkit listrik mikro hidro dan mini hidro atau PLTM dan PLTMH (Institute for Essential Services Reform, 2020). Perbedaan kuantitas dan kualitas layanan energi khususnya listrik dapat mempengaruhi efektivitas akses listrik dan manfaat yang

diterima masyarakat. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan salah satu energi terbarukan yang menjadi salah satu alternatif untuk menyediakan listrik di daerah pedalaman dan sulit dijangkau. Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral mikrohidro merupakan pembangkit listrik skala kecil yang menghasilkan *output* antara 5 kW sampai dengan 1 MW per unit (Purwanto *et al.*, 2017). Jumlah energi yang dihasilkan mikrohidro relatif kecil mempengaruhi kemampuannya dalam menyediakan pasokan energi listrik. Di sisi lain, hal ini juga mempengaruhi kebutuhan peralatan relatif sederhana dan area yang relatif kecil untuk membangun instalasi dan pengoperasian mikrohidro.



Gambar 1. Potensi Tenaga Hidro Indonesia

Sumber: Balai Besar Survei dan Pengujian Ketenagalistrikan Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi

Indonesia memiliki potensi tenaga hidro yang mencapai 75.000 MW yang tersebar di seluruh Pulau di Indonesia (Gambar 1.). Selain itu Indonesia memiliki potensi minihidro dan mikrohidro sebesar 19,385 MW (Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional) yang tersebar di Pulau Kalimantan, Sumatra, Jawa, dan Papua (Tabel 1.). Pada tahun 2015, potensi minihidro dan mikrohidro hanya dimanfaatkan sebesar 197,4 MW. Menurut Institute for Essential Services Reform (IESR) Tahun 2019 terdapat 10 provinsi dengan potensi energi terbarukan terbesar yang tercantum pada Tabel 1. Berdasarkan potensinya, Jawa Barat, Jawa Timur dan Jawa Tengah merupakan daerah yang memiliki persentase pemanfaatan potensi yang lebih besar dibandingkan Provinsi lainnya seperti Kalimantan, Papua dan Nusa Tenggara Barat. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan mikrohidro di luar Pulau Jawa memiliki potensi yang besar dan dapat berkontribusi dalam mencapai target rencana pengembangan mini dan mikrohidro yang tercantum dalam Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 yang memproyeksikan pengembangan tenaga mini dan mikro hidro dapat mencapai 7000 MW pada tahun 2050 atau 37% dari potensinya.

Tabel 1. Potensi Energi Terbarukan

Provinsi	Potensi (MW)	Kapasitas Terpasang Pada Tahun 2018 (MW)
Kalimantan Barat	26.841	247
Papua	26.529	20
Jawa Barat	26.190	3184
Jawa Timur	24.240	275
Kalimantan Timur	23.841	-
Sumatera Utara	22.478	839
Nusa Tenggara Barat	21.991	17
Sumatera Selatan	21.866	18
Kalimantan Tengah	19.568	-
Jawa Tengah	19.450	366

(Sumber: IESR, 2019 dalam Rahayu & Windarta, 2022)

PLTMH ini mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan pembangkit listrik energi baru terbarukan (EBT) lainnya. PLTMH merupakan sumber energi bersih karena tidak menghasilkan emisi dari udara pembakaran, tidak menghasilkan limbah cair karena berfungsi sebagai *run-off river system* dimana air yang melewati generator diarahkan kembali ke sungai, sehingga dampak lingkungannya relatif minimal atau tidak berdampak sama sekali pada ekologi sekitarnya. Selain itu air yang merupakan sumber energi yang andal karena kelangsungannya sebagai penyedia energi listrik yang lain jika dibandingkan dengan teknologi energi terbarukan skala kecil lainnya, PLTMH juga sangat cocok untuk kebutuhan energi listrik untuk negara berkembang karena sifatnya *fleksible*, murah dan bisa juga menimbulkan manfaat lain selain pembangkit listrik diantaranya pariwisata, perikanan, irigasi dan bisa juga pengendali banjir (USAID, 2016).

Teknologi mikrohidro juga memiliki kekurangan dari segi ketersediaan alat dan permesinan yang masih terbatas di pasaran (Purwanto *et al.*, 2017). Keterbatasan ini menyulitkan pihak pengelola mikrohidro apabila terjadi kerusakan maupun saat pemeliharaan sehingga membutuhkan perbaikan alat, komponen, atau suku cadang. Rendahnya permintaan pasar terkait komponen mikrohidro mempengaruhi pihak produsen belum memproduksi suku cadang mikrohidro sehingga perlu dipesan terlebih dahulu. Hal ini yang mengakibatkan terjadinya penundaan apabila terjadi kerusakan pada instalasi mikrohidro (Purwanto *et al.*, 2017).

Penelitian ini berfokus dalam menilai penyediaan listrik melalui PLTMH di Pulau Papua yang memiliki potensi mikrohidro yang cukup besar namun masih rendah kapasitasnya. Pada tahun 2021, rasio elektrifikasi Papua masih dibawah rata-rata nasional dengan nilai sebesar 94,42% (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2021). Tujuan penelitian yaitu membandingkan efisiensi PLTMH Anggi

di Distrik Anggi, Kabupaten Pegunungan Arfak, Papua Barat, dan PLTMH Kali Ombak di Kabupaten Maybrat, Papua Barat dari aspek lingkungan dan sosial.

2. Methods

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dengan penelitian komparatif. Secara pengertian metode ini bersifat membandingkan antar variabel penelitian. Menurut Sugiyono (2012) penelitian komparatif adalah sejenis penelitian deskriptif yang membandingkan keberadaan satu variabel atau lebih pada dua atau sampel yang berbeda pada waktu yang berbeda. Variabel penelitian yang akan dibandingkan yaitu variabel aspek lingkungan yang terdiri dari analisis produksi listrik dari PLTMH, emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari operasional PLTMH, dan perbandingan dampak lingkungan hidup berdasarkan jenis dokumen lingkungan hidup, dengan aspek sosial yang terdiri dari pengurangan biaya energi listrik masyarakat akibat implementasi PLTMH, jumlah KK tersalurkan energi listrik, dan implementasi keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan PLTMH. Pada Tabel 2 menunjukkan kebutuhan data.

Tabel 2. Kebutuhan Data

Dimensi	Variabel	Data (Satuan)
Lingkungan	Produksi listrik	Daya (kW)
	Emisi karbon dioksida	Emisi CO ₂ (Ton)
	Dampak Lingkungan Hidup	Dampak lingkungan hidup berdasarkan jenis dokumen lingkungan hidup kegiatan PLTMH;
Sosial	Biaya energi listrik	Pengurangan biaya energi listrik masyarakat akibat implementasi PLTMH
	Rumah tangga tersalurkan energi listrik	Jumlah KK tersalurkan energi listrik dari PLTMH
	Partisipasi masyarakat	Implementasi keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan PLTMH

(Sumber: Penulis, 2022)

3. Results and Discussion

Produksi Listrik

Prinsip kerja PLTMH adalah memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh (debit) perdetik yang ada pada saluran air yang dikondisikan dengan pipa. Air tersebut yang selanjutnya akan menggerakkan turbin yang memutar generator untuk menghasilkan listrik. Besarnya daya yang dihasilkan merupakan fungsi dari besarnya debit sungai dan tinggi dari terjun air. Besarnya debit yang dipakai sebagai debit, bisa merupakan debit minimum sungai tersebut sepanjang tahunnya atau diambil antara debit minimum dan maksimum, tergantung dari perencanaan PLTMH. Rumus untuk perhitungan tersebut adalah sebagai berikut.

$$P = \rho \times Q \times h \times \eta$$

Keterangan:

ρ = densitar air (kg/m³)

Q = debit air (m³/detik)

h = tinggi terjun air aefektif (m)

η = efisiensi keseluruhan PLTA

PLTMH merupakan sumber energi yang efisien dan bisa terdesentralisasi memungkinkan untuk dekat dengan konsumen, kerugian transmisi dapat dikurangi. Teknologi PLTMH merupakan teknologi yang tahan lama dan kuat, sistem kelitrikannya bisa bertahan hingga 50 tahun atau lebih. Sungai sungai di Kabupaten Pegunungan Arfak membentuk pola aliran dendritik dengan cabang sungai menyerupai ranting pohon yang mengalir ke sungai utama dan pola rektangular membentuk sudut 90°. Sungai yang terdapat di Kabupaten pegunungan Arfak memiliki potensi untuk proyek Pembangkit listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Terdapat enam data potensi daya yang dihasilkan dari masing masing sungai berdasarkan perkiraan debit sungai tersebut.

Tabel 3. Daya PLTMH di Kabupaten Anggi, Pegunungan Arfak, Papua Barat

Sungai	Debit (L/dt)	Debit Andalan (L/dt)	Potensi Head (m)	Net Head (m)	Potensi Hidrolik (kW)	Daya PLTMH (kW)
Kopo	27	25	35	34,94	8,6	5,9
Sururey	97	99	15	14,64	14,2	9,7
Hingk	420	200	10	9,44	18,5	12,7
Demaisi	149	33	100	99,93	32,3	22,1
Indabri	217	75	53	52,52	38,6	26,4
Inggemou	307	83	58	57,64	46,9	32,1

(Sumber : Palintin *et. al.*, 2020)

Tabel 3 menunjukkan potensi 6 sungai di Distrik Anggi mencapai 108,9 kW. Berdasarkan pembangunan PLTMH Anggi saat ini memiliki kemampuan daya sebesar 135 kW (Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2022). Hasil kajian potensi energi baru dan terbarukan pada Kabupaten Maybart khususnya Kampung Seni, Distrik Mare Selatan, terdapat dua sungai yang dapat dimanfaatkan debitnya untuk program PLTMH yaitu Sungai Ombak dan Sungai Mosrofah dengan total kapasitas daya yang mencapai 79 kW yang ditunjukkan pada Tabel 4 (Pondayar *et al.*, 2018). Pada proses pembangunannya, PLTMH Kali Ombak memiliki kapasitas daya sebesar 35 kW.

Tabel 4. Potensi Daya PLTMH di Kampung Seni, Distrik Mare Selatan, Kabupaten Maybart, Papua

Sungai	Debit (L/detik)	Net Head (m)	Daya (kW)
Ombak	1,534	6	67,718
Mosrofot	0,112	15	12,36

(Sumber: [Pondayar et al., 2018](#))**Emisi Karbon Dioksida**

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan salah satu pembangkit energi baru terbarukan yang juga merupakan salah satu program upaya aksi mitigasi perubahan iklim dalam mengurangi Gas Rumah Kaca (GRK) di sektor energi. Pengembangan PLTMH berdampak positif pada lingkungan dan tentu saja sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan. Pada pelaksanaannya nanti PLTMH ini akan menggantikan pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Jumlah emisi yang bisa di reduksi dari kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) bisa dilakukan perhitungan dengan menggunakan perhitungan emisi GRK program aksi mitigasi. Menurut pedoman perhitungan reduksi emisi di sektor energi yang telah disusun oleh Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (KESDM), metode perhitungan emisi GRK ini menggunakan Referensi CDM AMS-I.D.V18 dengan rumus perhitungan sebagai berikut.

$$PEy = EBy - EPy$$

Keterangan

PEy = Penurunan emisi oleh aksi mitigasi dalam periode y (ton CO₂)

EBy = Emisi baseline

EPy = Emisi Aksi Mitigasi

Emisi baseline dihitung dari emisi GRK yang timbul jika PLTMH tidak dibangun dan beroperasi maka daerah tersebut masih menggunakan listrik *nonrenewable*. Maka perhitungannya menjadi

$$PEy = EBy - EPy$$

$$PEy = (PLy \times FEGy) - EPy$$

$$PEy = PLy \times FEGy - 0$$

Dimana:

1. Faktor emisi grid yang digunakan adalah 0.83 ton CO₂/MWh ([Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019](#))
2. EPy Emisi aksi mitigasi nol karena PLTMH tidak menghasilkan emisi GRK saat pengoperasiannya.
3. PLy adalah Jumlah energi listrik neto yang disalurkan oleh aksi mitigasi ke sistem interkoneksi tenaga listrik dalam periode y (MWh)
4. Data daya yang dihasilkan di rubah dari satuan Kilo Watt (KW) menjadi satuan Kilo Watt hours (KWh)

Berdasarkan rumus perhitungan reduksi emisi dari Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (KESDM) tersebut, diperoleh hasil reduksi emisi untuk program PLTMH Anggi di Kampung Upper, Distrik Anggi, Kabupaten Pegunungan Arfak dan PLTMH Kali Ombak di Distrik Mare Selatan, Kabupaten Maybrat yang ditunjukkan pada Tabel 5. Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh bahwa emisi CO₂ PLTMH Anggi mencapai 2,1693 ton CO₂ dan emisi CO₂ PLTMH Kali Ombak mencapai 0.0562 ton CO₂.

Tabel 5. Emisi yang Dihasilkan oleh Kegiatan PLTMH

No.	Lokasi PLTMH	PLy (MWh)	FEGy (ton CO ₂ /Mwh)	PEy (ton CO ₂)
1	Anggi, Distrik Anggi	2,6136	0,83	2,1693
2	Kali Ombak, Distrik Mare Selatan	0,0677	0,83	0,0562

(Sumber: Penulis, 2022)

Dampak Lingkungan Hidup

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik skala mikro dengan kapasitas < 1 MW. Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, dampak lingkungan hidup adalah dampak yang ditimbulkan dari suatu usaha dan/atau kegiatan terhadap lingkungan, dimana dampak lingkungan hidup tersebut dapat mempengaruhi jenis dokumen lingkungan hidup yang wajib dimiliki oleh suatu rencana usaha dan/atau kegiatan. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 4 Tahun 2021 tentang Daftar Usaha dan/atau Kegiatan yang Wajib Memiliki Amdal, UKL-UPL, atau SPPL, kegiatan pembangkitan tenaga listrik berupa pembangunan PLT air skala kecil (pikohidro s.d. mikrohidro) kapasitas < 1 MW yang berada di luar kawasan lindung dengan KBLI 35101 merupakan jenis usaha dan/atau kegiatan yang wajib memiliki SPPL, sedangkan terhadap kegiatan PLTMH yang termasuk kegiatan pemanfaatan jasa lingkungan energi air skala mikro pada kawasan konservasi dengan kapasitas < 1 MW termasuk jenis usaha dan/atau kegiatan yang wajib memiliki UKL-UPL. PLTMH yang tidak dilakukan di dalam kawasan lindung cukup memiliki SPPL atau Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup sebagai syarat pemenuhan persetujuan lingkungan dikenakan kegiatan PLTMH merupakan kegiatan yang tidak memiliki dampak penting terhadap lingkungan dan tidak termasuk usaha dan/atau kegiatan yang wajib UKL-UPL. Sedangkan kewajiban memiliki UKL-UPL atau Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup dikenakan terhadap usaha dan/atau kegiatan yang tidak memiliki dampak penting terhadap lingkungan.

Lokasi kegiatan PLTMH yang terletak di Kampung Upper, Distrik Anggi, Pegunungan Arfak, Papua Barat dan PLTMH Kali Ombak yang terletak di Distrik Maybrat, Papua Barat, bukan merupakan kawasan lindung, sehingga jenis dokumen lingkungan yang wajib dimiliki adalah SPPL. Berdasarkan jenis dokumen lingkungan tersebut dapat disimpulkan bahwa kegiatan PLTMH dengan kapasitas < 1 MW tidak berdampak penting terhadap lingkungan.

Biaya Energi Listrik

Pemerintah membangun PLTMH ini sebagai bentuk implementasi program didieselisasi pembangkit listrik tenaga diesel menjadi pembangkit ramah lingkungan dan berkelanjutan. Transisi energi ini merupakan perwujudan rencana pemerintah dalam upaya

pengembangan infrastruktur energi dengan konsentrasi energi baru terbarukan yang bisa langsung di gunakan oleh konsumen. Produksi listrik yang dihasilkan PLTMH Distrik Anggi akan dibuatkan skema on grid disambungkan ke jaringan PLN Unit Pelaksana pelayanan pelanggan (UP3) Manokwari. Sistem kelistrikan Anggi terdiri atas satu sistem isolated yang disuplai dari tiga unit PLTD aset pemerintah Kabupaten Pegunungan Arfak. Menurut data dari PLN Unit Induk Papua dan Papua Barat, tarif listrik pelanggan golongan rumah tangga R2 dan R3 adalah Rp. 1.699,53 per KWh. Potensi kapasitas daya mampu yang dihasilkan dari PLTMH Distrik Anggi 2.613,6 KWh maka penghematan yang bisa di dapat dari pembangunan PLTMH ini adalah sebesar Rp. 4.441.891,608.

Warga Maybrat sebelumnya menggunakan genset berbahan bakar solar untuk kebutuhan listriknya. Pembelian solar menggunakan bantuan pendanaan dari desa setempat. Menurut data dari PLN Unit Induk Papua dan Papua Barat, tarif listrik pelanggan golongan rumah tangga R2 dan R3 adalah Rp. 1.699,53 per KWh. Potensi kapasitas daya mampu yang dihasilkan dari PLTMH Distrik Maybrat adalah 67,7 KWh, maka penghematan yang bisa di dapat dari pembangunan PLTMH ini adalah sebesar Rp. 115.058, 181.

Rumah Tangga Tersalurkan Energi Listrik.

Distrik Anggi, Kabupaten Pegunungan Arfak, Papua Barat memiliki 8 desa yang dihuni oleh 8.277 jiwa atau 1.546 KK. Pada tahun 2020, 1078 KK telah mendapat menggunakan akses listrik PLN dan 468 KK menggunakan listrik non-PLN ([Badan Pusat Statistik, 2022](#)). Pembangunan PLTMH Anggi menggunakan sistem *on-grid* sehingga disambungkan ke jaringan listrik PLN Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Manokwari ([Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2022b](#)), Penyediaan PLTMH sebagai pembangkit listrik di Kampung Upper meningkatkan jumlah penggunaan listrik PLN sebesar 180 KK ([Badan Pusat Statistik, 2022](#)).

Kabupaten Maybrat merupakan Kabupaten yang memiliki kesulitan dalam memperoleh energi listrik. Menurut [Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, \(2016\)](#), Kabupaten Maybrat mengandalkan BBM dengan mesin generator kecil sehingga hanya mampu menyala selama 6 jam. Pembangunan PLTMH Kali Ombak di Kabupaten Maybrat memiliki kapasitas 35 kW digunakan dalam pembangkit listrik jaringan dan instalasi listrik yang disalurkan ke rumah warga yang berada di tiga kampung yaitu Kampung Ossom, Kampung Seni dan Kampung Kuarso. Manfaat PLTMH dapat dirasakan dengan tersalurkannya energi listrik pada 55 unit rumah di ketiga kampung di Kabupaten Maybrat. Selain itu, PLTMH juga dapat memberikan akses listrik pada fasilitas umum seperti gereja, puskesmas, balai kampung, dan sekolah ([Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi, 2022a](#)). Menurut penelitian [Pondayar et al., \(2018\)](#), kebutuhan energi listrik di Kampung Ossom, Kampung Seni dan Kampung Kuarso mencapai 35,8 kW sehingga diasumsikan dapat memenuhi kebutuhan energi listrik pada ketiga kampung di Kabupaten Maybrat. Selain itu, pengembangan potensi PLTMH di Kabupaten Maybrat yang mencapai 67,7 kW diperkirakan dapat mengaliri 200 unit rumah pada ketiga kampung.

Partisipasi Masyarakat

Menurut data dari humas ESDM pembangunan PLTMH ini merupakan pemanfaatan APBN bagi masyarakat yang berasal dari energi terbarukan untuk masyarakat yang berada di kawasan Terdepan, Terluar dan Tertinggal 3T. Peran dan partisipasi masyarakat dalam PLTMH ini adalah dengan mewujudkan komitmen dari pemerintahan pusat dengan pemerintahan daerah Maybrat serta kepala distrik setempat. Pola kelembagaan yang dibentuk dalam komitmen ini adalah pemerintah daerah akan melakukan pendampingan dari awal pembangunan dan melakukan pengawasan proyek PLTMH hingga masa

pemeliharaan sedangkan pemerintah daerah akan melakukan pengelolaan dengan masa peralihan pengetahuan teknologi dari pemerintah pusat dan pemerintah daerah.

Dari beberapa sumber yang penulis dapatkan terdapat isu hal ulayat yang sebelumnya bermasalah dalam proyek PLTMH ini. [Kertasapoetra et al. \(1985\)](#) menyatakan bahwa hak ulayat adalah hak tertinggi atas tanah yang dimiliki oleh suatu persekutuan hukum untuk menjamin ketertiban pemanfaatan atau pendayagunaan tanah. Sedangkan menurut Imam Sudiyat hak ulayat adalah hak yang melekat sebagai kompetensi khas masyarakat hukum adat, berupa wewenang/kekuasaan mengurus dan mengatur tanah seisinya dengan daya laku kedalam maupun keluar. Keberadaan hak ulayat diakui keberadaannya dalam hukum pertanahan nasional melalui Pasal 3 Undang-Undang Pokok Agraria.

Bupati dan kepala distrik memastikan lahan yang digunakan untuk PLTMH sudah memperoleh izin persetujuan dari masyarakat hukum adat setempat dan izin hak ulayat dari masyarakat sekitar guna menunjang kebutuhan masyarakat banyak. Pada pelaksanaan proyek PLTMH di Provinsi Papua Barat banyak ditemukan proyek yang mangkrak akibat tidak terealisasinya pelibatan masyarakat terutama pada tahap pemeliharaan PLTMH. Tidak dilibatkannya masyarakat pada tahap perencanaan hingga pembangunan fisik, implementasi teknologi yang belum dikuasai, serta ketidaksiapan masyarakat untuk berpartisipasi menyebabkan kegagalan proyek PLTMH dari aspek sosial, sementara kesalahan perencanaan seperti kesalahan desain pembangunan atau debit air yang tidak stabil merupakan faktor pendorong penyebab kegagalan dari aspek teknis ([Arumingtyas, 2020](#)). Pembangunan PLTMH sebagai energi terbarukan skala kecil perlu dilakukan berbasis pada kemampuan rakyat dan tidak hanya mementingkan penyerapan anggaran dari pemerintah.

Diskusi

Indonesia memiliki keberagaman karakteristik wilayah dengan topografi perbukitan, pegunungan, maupun dataran yang lebih rendah dengan jumlah penduduk yang bervariasi, mulai dari yang cukup padat penduduknya hingga yang jarang penduduknya. Selain itu, bentuk pemukiman yang bervariasi seperti pola terpusat, pola memanjang, dan pola menyebar baik menyebar dalam kelompok atau kumpulan beberapa keluarga di suatu lokasi. Beragam kondisi ini mempengaruhi penyediaan atau pembangunan infrastruktur dan pembiayaan investasi yang tinggi. Potensi energi lokal menjadi salah satu alternatif dalam mencapai penyediaan layanan infrastruktur energi listrik yang adil bagi seluruh masyarakat khususnya masyarakat pedesaan yang tergolong dalam wilayah 3T. Selain itu, pemanfaatan potensi energi lokal dapat menjadi upaya mendorong pemanfaatan energi terbarukan seperti dengan memanfaatkan energi berbasis sumber daya air.

Kabupaten Pegunungan Arfak dan Kabupaten Maybrat memiliki potensi mikrohidro yang berbeda yang dipengaruhi potensi sungai pada ke dua lokasi. Distrik Anggi di Kabupaten Pegunungan Arfak memiliki 6 sungai yang berpotensi sebagai sumber energi air PLTMH dengan total potensi mencapai 108,9 kW ([Palintin et al., 2020](#)) namun menurut Kementerian ESDM, PLTMH Anggi mencapai 135 kW. Sementara, PLTMH Kali Ombak memiliki 2 potensi sungai sebagai sumber energi PLTMH yang mencapai 79 kW ([Pondayar et al., 2018](#)). Untuk saat ini, potensi daya yang dihasilkan PLTMH Kali Ombak hanya sebesar 35 kW. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa Distrik Anggi, Kabupaten Pegunungan Arfak memiliki potensi listrik yang lebih besar dibandingkan PLTMH Kali Ombak. Menurut penelitian [Pondayar et al., \(2018\)](#), pengembangan potensi daya yang mencapai 79 kW pada PLTMH Kali Ombak dapat meningkatkan penyediaan listrik yang mencapai 200 unit rumah.

Dapat disimpulkan bahwa potensi lokal lokasi studi memiliki potensi untuk menyediakan listrik yang memadai bagi masyarakat setempat.

Pembangunan PLTMH di Papua khususnya PLTMH Anggi dan PLTMH Kali Ombak tujuan utamanya adalah untuk penyediaan energi listrik dengan basis energi baru terbarukan dengan memanfaatkan potensi daerah yaitu aliran sungai. PLTMH merupakan energi baru terbarukan yang tidak menghasilkan emisi Gas Rumah Kaca, namun dari program PLTMH ini dapat diperkirakan dengan menghitung potensi reduksi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan. Perhitungan potensi reduksi GRK merupakan bagian dari aksi mitigasi perubahan iklim dalam sektor energi. Potensi reduksi PLTMH Anggi lebih tinggi di bandingkan PLTMH Kali Ombak dikarenakan produksi daya listrik yang dihasilkan PLTMH Anggi lebih besar dibandingkan PLTMH Kali Ombak. Dengan pengelolaan yang baik PLTMH, diharapkan kedepannya PLTMH Anggi dan PLTMH Kali Ombak dapat dipersiapkan untuk memperoleh sertifikat pengurangan emisi GRK (SPE) dan diharapkan dapat memasuki pasar karbon untuk kegiatan *offset* karbon dalam perdagangan karbon skala nasional ataupun internasional.

Pembangunan PLTMH berkaitan dengan aspek sosial yaitu perspektif masyarakat lokal yang menganggap pembangunan PLTMH dapat mempengaruhi kualitas lingkungan alami sekitarnya. PLTMH Kali Ombak merupakan salah satu PLTMH yang mendapatkan penolakan (Anonim, 2022). Dokumen lingkungan merupakan instrumen penting dalam memberikan informasi mengenai kelayakan suatu rencana kegiatan dan dampak yang dihasilkan pada lingkungan sekitarnya. Berdasarkan jenis dokumen lingkungan yang harus dilengkapi sebelum kegiatan pembangunan PLTMH, kegiatan pembangunan PLTMH di Distrik Anggi, Kabupaten Pegunungan Arfak dan PLTMH di Distrik Mare Selatan, Kabupaten Maybrat termasuk kegiatan yang tidak berdampak penting terhadap lingkungan serta tidak termasuk daftar usaha dan/atau kegiatan wajib UKL-UPL sehingga dokumen lingkungan yang wajib dimiliki berupa SPPL. Berdasarkan klasifikasi jenis dokumen lingkungan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 4 Tahun 2021 kegiatan PLTMH tidak berdampak penting terhadap lingkungan, namun dalam pelaksanaan kegiatannya tetap diperlukan komitmen pengelolaan dan pemantauan lingkungan hidup terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan. Dalam menjaga kelestarian lingkungan dan keberlanjutan PLTMH, masyarakat setempat sebagai pengguna sumber energi berkewajiban memelihara kondisi lingkungan daerah tangkapan airnya untuk menjaga kelangsungan pasokan energi PLTMH.

Secara umum, keberadaan PLTMH Anggi dan PLTMH Kali Ombak memberikan manfaat dari aspek sosial bagi masyarakat setempat. PLTMH sebagai alternatif penyedia listrik pada wilayah 3T dengan memanfaatkan potensi energi lokal memberikan 2 manfaat dari perspektif pemerintah dan perspektif masyarakat. Penyediaan listrik dengan memanfaatkan potensi lokal seperti energi hidro membantu pemerintah dalam mencapai rasio elektrifikasi 100% dan memenuhi kebutuhan energi listrik sehingga dapat meningkatkan produktivitas masyarakat dan kesejahteraan masyarakat setempat. Keberadaan PLTMH juga diharapkan dapat mendukung kehidupan masyarakat setempat termasuk kegiatan budaya lokal. Keberlangsungan kehidupan kebudayaan lokal menjadi potensi yang perlu dilestarikan untuk mencapai keberlanjutan secara sosial sehingga keberadaan energi listrik menjadi penting dalam mendukung kegiatan sosial-budaya (Isa et al., 2022). Diharapkan dengan pembangunan PLTMH sebagai infrastruktur kelistrikan di wilayah pedesaan menjadi salah satu pendorong untuk memperbaiki taraf hidup masyarakatnya.

PLTMH Anggi dan PLTMH Kali Ombak merupakan PLTMH yang tergolong baru beroperasi di Papua dan Papua Barat. Pembangunan PLTMH memberikan kesempatan bagi masyarakat untuk memperoleh akses energi listrik dengan keterbatasan infrastruktur

dalam mendistribusikan energi listrik dan tingginya kebutuhan pendanaan yang disebabkan akses lokasi yang sulit dijangkau. Hadirnya PLTMH sebagai penyedia listrik di Pegunungan Arfak memberikan kemudahan masyarakat setempat dalam memperoleh energi listrik yang lebih ramah lingkungan. Keterbatasan listrik sebelum adanya PLTMH di Distrik Anggi memanfaatkan penggunaan genset dengan waktu yang terbatas dalam memperoleh listrik. Kondisi saat ini jauh lebih baik dengan terpenuhinya 180 KK yang teraliri listrik. Keberadaan PLTMH juga memberikan pengaruh akses listrik yang lebih baik di Kampung Ossom, Kampung Seni dan Kampung Kuarso, Distrik Mare Selatan, Kabupaten Maybrat, Papua Barat. Sebelum dibangunnya PLTMH Kali Ombak, masyarakat ke tiga desa akses energi listrik sangat dipengaruhi oleh ketersediaan solar sebagai bahan bakar untuk genset dengan dana yang diperoleh oleh iuran masyarakat setempat dan bantuan dana dari pemerintah desa. Saat bahan bakar solar sulit diperoleh, sulit untuk memperoleh listrik sehingga masyarakat setempat hanya mampu menggunakan penerangan dengan bahan bakar minyak. Pemenuhan energi listrik ke tiga kampung di Kabupaten Mmaybrat mengalami peningkatan secara kuantitas dan kualitas dengan akses listrik pada masing-masing hunian dan fasilitas umum setempat.

Pemanfaatan sumber energi air dengan menggunakan teknologi mikrohidro tidak hanya memberikan manfaat berupa penyediaan energi yang lebih ramah lingkungan dan cukup mudah diterapkan tetapi juga membutuhkan biaya operasional yang lebih terjangkau. Selain biaya operasional yang lebih terjangkau, penyediaan PLTMH sebagai penyedia listrik di ke dua lokasi diharapkan dapat mengurangi pengeluaran masyarakat setempat dalam memperoleh energi. Hasil analisis menunjukkan bahwa ke dua lokasi PLTMH di Papua dan Papua Barat berpengaruh pada penghematan pengeluaran masyarakat. Temuan ini sejalan dengan [Purwanto et al., \(2017\)](#) yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan biaya pengeluaran masyarakat setempat dalam memperoleh energi. Temuannya menunjukkan bahwa pengeluaran bulanan listrik lebih hemat dibandingkan pengeluaran bulanan untuk memperoleh listrik dengan menggunakan metode yang lebih tradisional seperti menggunakan petronas untuk penerangan sehari-harinya.

Partisipasi masyarakat setempat dalam mengelola PLTMH menjadi suatu permasalahan yang dikhawatirkan mengingat beberapa proyek PLTMH yang terbengkalai akibat kurangnya partisipasi masyarakat baik dalam proses perencanaan maupun dalam pemeliharaan komponen PLTMH. Perencanaan dan pembangunan juga harus memperhatikan karakteristik sosial budaya setempat seperti hukum adat dan hak ulayat setempat yang menjadi pedoman kegiatan masyarakat setempat. Selain itu, kurangnya partisipasi masyarakat juga dapat dipengaruhi oleh perspektif masyarakat yang menganggap pembangunan PLTMH dapat merusak kelestarian alam ([Anonim, 2022](#)). Hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan PLTMH berkaitan dengan aspek lingkungan dan sosial diantaranya mempertimbangkan karakteristik wilayah (berkaitan dengan potensi sumber air dan kategori kawasan) dan kondisi sosial-budaya (berkaitan dengan hukum adat dan hak ulayat). Diharapkan penyediaan energi listrik dengan PLTMH dapat memenuhi kebutuhan masyarakat dan memiliki kelayakan proyek sehingga tidak merusak lingkungan alam.

Pendekatan partisipatif dalam pengelolaan PLTMH menjadi penting agar potensi PLTMH dalam jangka panjang terus berkembang dengan baik dan mampu memberikan kontribusi positif bagi kehidupan masyarakat setempat. Pendekatan partisipatif dengan melibatkan para *stakeholder* diberbagai tata kelola baik pemerintah daerah, pemerintah pusat, lembaga swadaya masyarakat, dan khususnya keterlibatan masyarakat setempat menjadi komponen yang menjanjikan dalam mencapai keadilan dalam akses energi dan kelestarian

lingkungan (Pratiwi & Juerges, 2022). Pendekatan partisipasi masyarakat perlu dikembangkan dengan kapasitas masyarakat sehingga pelibatan multipihak diharapkan dapat membantu masyarakat dalam menambah informasi dan pengetahuan berkaitan dengan PLTMH (Hermawati, 2019; Pratiwi & Juerges, 2022).

Peningkatan kapasitas harus disesuaikan dengan pola kehidupan masyarakat yang didominasi dengan tradisi dan budaya yang diwariskan dari berbagai generasi yang tampak dalam bentuk kearifan lokal mengenai pengelolaan dan konservasi lingkungan hidup mencakup sumber daya air, tanah, dan hutan sehingga nilai-nilai adat ini membantu penduduk desa untuk menyaring dan menggunakan manfaat intervensi teknologi modern (Isa et al., 2021; Pratiwi & Juerges, 2022). Menurut Isa et al., (2021) dalam penelitiannya pada PLTMH di Kampung Adat Ciptagelar, Desa Sirnaresmi, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat menunjukkan bahwa tokoh adat setempat memiliki pengaruh yang kuat dalam pengelolaan PLTMH. Dalam hukum adat setempat, pemimpin adat dianggap sebagai simbol pemimpin yang harus dipatuhi dan dipercaya dapat mempengaruhi kesejahteraan masyarakat setempat apabila mengikuti perintahnya. Arahan pemimpin adat untuk berkomitmen memelihara PLTMH menjadi penting dalam menjaga keberlanjutan PLTMH sehingga dapat dimanfaatkan dari generasi ke generasi (Isa et al., 2022). Pemimpin adat juga dianggap sebagai sumber informasi berkaitan dengan PLTMH sebagai infrastruktur untuk mengaliri listrik pedesaan dan memberikan keahlian teknis setiap kali proyek mikrohidro mengalami masalah. Mayoritas penyediaan PLTMH yang berbasis pemberdayaan masyarakat sehingga membutuhkan peran masyarakat dalam dioperasikan oleh masyarakat, sehingga skema ini menghasilkan lapangan kerja di antara mereka masyarakat sendiri (Hermawati, 2019; Purwanto et al., 2017). Hal ini menunjukkan bahwa peran aktif pemimpin adat setempat menjadi penting dalam meningkatkan kesadaran masyarakat setempat dalam berpartisipasi dalam pengelolaan PLTMH

4. Conclusions

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu upaya penggunaan energi berbasis baru terbarukan dengan memanfaatkan potensi daerah yaitu aliran sungai dengan sasaran masyarakat pedesaan yang tergolong dalam wilayah 3T. Kabupaten Pegunungan Arfak dan Kabupaten Maybrat di Provinsi Papua Barat merupakan daerah yang memiliki potensi mikrohidro dari ketersediaan sumber daya airnya, namun dipengaruhi perbedaan potensi sungai pada kedua lokasi. PLTMH Anggi yang berlokasi di Kampung Upper, Distrik Anggi, Kabupaten Pegunungan Arfak memiliki sumber daya dari 6 sungai dengan potensi kapasitas produksi listrik 108,9 kW dan kapasitas produksi riil 135 KW, sementara PLTMH Kali Ombak di Kampung Seni, Distrik Mare Selatan, Kabupaten Maybrat memiliki sumber daya dari 2 sungai dengan potensi kapasitas produksi listrik 80 kW. PLTMH Anggi menghasilkan penurunan emisi sebesar 2,1693 ton CO₂ sedangkan PLTMH Kali Ombak menghasilkan penurunan emisi sebesar 0,0562 ton CO₂. Kedua PLTMH tersebut tidak menghasilkan dampak penting terhadap lingkungan hidup sehingga konstruksi dan operasionalnya cukup dilengkapi dengan SPPL. PLTMH Anggi berhasil memberikan penghematan biaya listrik sebesar Rp. 4.441.891,608, sedangkan PLTMH Kali Ombak sebesar Rp. 115.058,181. Jumlah KK yang tersalurkan energi listrik dari operasional PLTMH Anggi yaitu 180 KK sedangkan dari operasional PLTMH Kali Ombak yaitu 200 KK. Pada kedua lokasi PLTMH masih ditemui konflik tanah ulayat dan belum terimplementasikannya pelibatan masyarakat pada proses perencanaan dan operasional pemeliharaan PLTMH. Implementasi PLTMH Anggi dinilai lebih efektif dibanding PLTMH Kali Ombak dari segi kapasitas produksi tenaga listrik, penurunan emisi CO₂, serta penghematan biaya listrik, namun terdapat perbedaan jumlah sumber daya air yang digunakan antara PLTMH Anggi dengan PLTMH Kali Ombak di Provinsi Papua Barat

sehingga penelitian ke depan dapat membandingkan efektifitas antar PLTMH dengan jumlah sumber daya air yang sama. Pelaksanaan perencanaan hingga pemeliharaan PLTMH perlu memperhatikan karakteristik sosial budaya seperti hukum adat dan hak ulayat setempat yang menjadi pedoman kegiatan masyarakat serta menggunakan pendekatan partisipasi masyarakat lokal sehingga pembangunan PLTMH dapat dirasakan kebermanfaatannya secara optimal.

References

- Anonim. (2022). *Salah Satu Tokoh Pemuda Maybrat Tolak Pembangunan PLTMH di Kampung Seni Kabupaten Maybrat*. Wahana News Papua Barat. Retrieved December 22, 2022, from <https://papua-barat.wahananews.co/utama/salah-satu-tokoh-pemuda-maybrat-tolak-pembangunan-pltmh-di-kampung-seni-kabupaten-maybrat-kAAsG7SXCL> (In Indonesian)
- Arumingtyas, L. (2020). *Pil Pahit Proyek Energi Air di Papua Barat*. Mongabay. Retrieved December 23, 2022, from <https://www.mongabay.co.id/2020/11/19/pil-pahit-proyek-energi-air-di-papua-barat/> (In Indonesian)
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Distrik Anggi dalam Angka 2022*. <https://pegununganarfakkab.bps.go.id/publication/2022/09/26/8f94e8ec3ebbef55d6db355f/distrik-anggi-dalam-angka-2022.html> (In Indonesian)
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. (2022a). *Pembangkit Listrik Bertenaga Air Segera Dibangun di Papua Barat*. Retrieved October 15, 2022, from <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/04/13/3144/pembangkit.listrik.bertenaga.air.segera.dibangun.di.papua.barat> (In Indonesian)
- Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. (2022b). *PLTMH Siap Dibangun di Pegunungan Arfak Papua Barat*. Retrieved October 15, 2022, <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/05/27/3168/pltmh.siap.dibangun.di.pegunungan.arfak.papua.barat> (In Indonesian)
- Kertasapoetra, G., Kartasapoetra, G., & Setiabudi, A. (1985). *Hukum tanah Jaminan, Undang-undang Bagi Keberhasilan Pendayagunaan Tanah Jakarta*. PT Bina Aksara. <https://onsearch.id/Record/IOS12879.ai:slims-1397/Description>
- Hermawati, W. (2019). Local Leadership and Microhydro Project Sustainability in Rural Indonesia. *Indian Journal of Public Administration*, 65(3), 687–701. <https://doi.org/10.1177/0019556119844558>
- Institute for Essential Services Reform. (2019). *Laporan status energi terbarukan Indonesia*. https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/07/IESR_Infographic_Status-Energi-Terbarukan-Indonesia.pdf
- Institute for Essential Services Reform. (2020). *Status Akses Energi Berkelanjutan*. <https://iesr.or.id/pustaka/status-akses-energi-berkelanjutan-di-indonesia-2020> (In Indonesian)
- International Energy Agency. (2020). *The Energy Progress Report 2020*. <https://www.iea.org/reports/tracking-sdg7-the-energy-progress-report-2020>
- Isa, M. A., Sudjono, P., Sato, T., Onda, N., Endo, I., Takada, A., Muntalif, B. S., & Ide, J. (2021). Assessing the sustainable development of micro-hydro power plants in an isolated traditional village West Java, Indonesia. *Energies*, 14(20), 1–14. <https://doi.org/10.3390/en14206456>
- Isa, M. A., Sudjono, P., Sato, T., Onda, N., Endo, I., Takada, A., ... & Ide, J. I. (2022, March). Development of Sustainability Indicators Related to Traditional Characteristics for Micro-hydro Power Assessment using Delphi Method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 994, No. 1, p. 012003). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/994/1/012003>

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (n.d.). *Metodologi Penghitungan Reduksi Emisi*. Retrieved December 23, 2022, from <https://simebtke.esdm.go.id/sinergi/page/content/1/metodologi-penghitungan-reduksi-emisi> (In Indonesian)
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2016). *Kelangkaan Listrik, Masalah Mendasar Kabupaten Maybrat*. Retrieved December 22, 2022, from <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/kelangkaan-listrik-masalah-mendasar-kabupaten-maybrat> (In Indonesian)
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2019). *Faktor Emisi GRK Sistem Ketenagalistrikan Tahun 2019*. Retrieved December 23, 2022, from https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/96d7c-nilai-fe-grk-sistem-ketenagalistrikan-tahun-2019.pdf (In Indonesian)
- Kemertrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Keteragalistrikan. (2021). *Statistik Kelistrikan 2020*. Retrieved December 20, 2022, from In *Kemertrian Energi dan Sumber Daya Mineral Direktorat Jenderal Keteragalistrikan*. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/8f7e7-20211110-statistik-2020-rev03.pdf (In Indonesian)
- Nam-Chol, O., & Kim, H. (2019). Towards the 2 C goal: achieving sustainable development goal (SDG) 7 in DPR Korea. *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104412. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104412>
- Palintin, A. D., Patandianan, E. A., & Bawan, E. K. (2020). Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Kabupaten Pegunungan Arfak. *Igya Ser Hanjop: Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 2(1), 11–24. <https://doi.org/10.47039/ish.2.2020.11-24> (In Indonesian)
- Pondayar, O., Kurniawan, A., & Sihana. (2018). *Studi potensi sumber daya air pembangkit tenaga mikrohidro (pltmh) di kecamatan mare selatan desa seni kabupaten maybrat sorong selatang provinsi papua barat otniel pondayar*. Universitas Gadjah Mada. <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/161593> (In Indonesian)
- Pratiwi, S., & Juerges, N. (2022). Addressing energy injustice in rural landscapes: Community leadership, indigenous villages, and micro-hydro diffusion in Indonesia. *Energy Research and Social Science*, 85(February 2021), 102395. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102395>
- Purwanto, Dwiastuti, I., Ermawati, T., & Wiranta, S. (2017). Listrik Dari Mikrohidro Dalam Konteks Pengembangan Energi Terbarukan Di Indonesia. In *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Sebuah Pilihan: Belajar dari Koperasi Mekar, Subang*. <https://penerbit.brin.go.id/press/catalog/download/127/115/250?inline=1> (In Indonesian)
- Rahayu, L. N., & Windarta, J. (2022). Tinjauan Potensi dan Kebijakan Pengembangan PLTA dan PLTMH di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(2), 88–98. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13327> (In Indonesian)
- USAID. (2016). *Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro*. <https://drive.esdm.go.id/wl/?id=gAAEqqnkEKs5mbWTSzqvscm7nxWhgYqe&mode=list&download=1> (In Indonesian)