

POTENSI ENERGI AIR SEBAGAI SUMBER LISTRIK RAMAH LINGKUNGAN DI PULAU FLORES

Richardo Barry Astro, Yulius Dala Ngapa, Sesarius Goda Toda, Andrianus Nggong
Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Flores
e-mail: richardobarryastro@gmail.com

ABSTRAK

Pulau Flores yang terletak di Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki potensi energi baru terbarukan yang cukup beragam, antara lain panas bumi, air, angin, matahari, hingga arus laut. Penelitian ini bertujuan untuk menjabarkan potensi air di Flores serta sistem kerja pembangkit listrik ramah lingkungan yang memanfaatkan air sebagai sumber energi. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar terkait potensi energi air di pulau Flores dan pemanfaatannya sebagai sumber energi listrik bersih. Penelitian ini dilaksanakan dengan metode studi literatur. Data sekunder dihimpun dari berbagai jurnal, prosiding, laporan, dan artikel berita terkait potensi dan pemanfaatan energi air di pulau Flores. Pulau Flores termasuk daerah beriklim kering dengan curah hujan yang minim dengan potensi air tergolong kecil, sehingga potensi energi air lebih tepat digunakan sebagai sumber energi listrik dengan daya menengah (PLTM) dan kecil (PLTMH). Potensi air yang tersedia juga mampu ditingkatkan dengan sistem *cascade*. Pada PLTM/MH energi potensial air diubah menjadi energi kinetik di dalam pipa pesat, selanjutnya energi kinetik diubah menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin, dan terakhir energi mekanik dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Beberapa pembangkit listrik yang ada di pulau Flores antara lain PLTM Ndungga, PLTMH Ogi, PLTMH Wae Roa, PLTMH Waigarit, dan PLTMH Sita. Selain itu terdapat pula penelitian lain terkait potensi energi air di Flores yang masih dalam tahap penelitian awal dan lanjutan. Pada pengoperasiannya PLTM/MH terbukti menekan laju konsumsi bahan bakar fosil. PLTMH juga sangat memungkinkan untuk diterapkan pada daerah-daerah di Flores dan NTT umumnya yang terpencil dan jauh dari jaringan listrik PLN.

Kata Kunci: *Potensi energi air, energi baru terbarukan, flores*

ABSTRACT

The island of Flores, which is located in East Nusa Tenggara Province, has a variety of renewable energy potentials, including geothermal, water, wind, sun, and ocean currents. This study aims to describe the water potential in Flores as well as an environmentally friendly power plant work system that uses water as an energy source. The results of this study can be used as a learning resource related to the potential for water energy on the island of Flores and its use as a source of clean electricity. This research will be conducted with a literature study method. Secondary data were collected from various journals, proceedings, reports, and news articles related to the potential and utilization of water energy on the island of Flores. The island of Flores is an area with a dry climate with minimal rainfall and relatively small water potential, so the potential for water energy is more appropriately used as a source of medium and small power (MHPP) electricity. The potential of available water can also be increased with a cascade system. In MHPP the potential energy of water is converted into kinetic energy in the rapid pipe, then the kinetic

energy is converted into mechanical energy in the form of turbine shaft rotation, and finally, the mechanical energy is converted into electrical energy by the generator. Some of the power plants on the island of Flores include MHPP Ndungga, MHPP Ogi, MHPP Wae Roa, MHPP Waigarit, and MHPP Sita. In addition, there are previous studies related to the potential for water energy in Flores which are still in the initial and advanced research stages. In the operation of MHPP, it is proven to reduce the rate of consumption of fossil fuels. MHPP is also very possible to be applied in some areas in Flores and NTT which are generally remote and far from the PLN electricity network.

Keywords: *Potential of water energy, renewable energy, Flores*

PENDAHULUAN

Listrik tenaga hidro (air) merupakan jenis energi bersih dan terbarukan yang dapat dioptimalkan terutama dalam rangka meminimalisir kerusakan lingkungan dan pemanasan global. Air dengan potensi besar dapat dikembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga air (PLTA), sedangkan air dengan skala menengah dan kecil dapat dikembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) ataupun mikrohidro (PLTMH). Namun ditengah meningkatnya tren penggunaan energi baru terbarukan (EBT) sebagai sumber energi masa depan, penggunaan energi alternatif ini secara nasional masih tergolong rendah jika dibandingkan dengan energi fosil seperti minyak bumi dan batu bara.

Pulau Flores yang terletak di Provinsi Nusa Tenggara Timur memiliki potensi EBT yang cukup beragam, antara lain panas bumi, air, angin, matahari, hingga arus laut (Handoyo & Mychelisda, 2016). Pengelolaan EBT secara optimum seharusnya dapat menjadikan Flores memiliki kemandirian energi dengan mengandalkan sumber daya energi baru terbarukan yang tersedia, terutama dalam upaya meningkatkan rasio elektrifitas (RE). Namun hingga November 2019 dari total kapasitas terpasang pembangkit listrik di Flores sebesar 190 MW, pembangkit listrik tenaga disel (PLTD) masih mendominasi sekitar 45,01%; sementara kontribusi pembangkit listrik dari sumber EBT (panasbumi, matahari, dan air) sekitar 20 MW atau setara dengan 10,5% (Sindonews.com, 2019a). Permasalahan energi di NTT juga muncul karena pola pikir yang beranggapan bahwa NTT tidak memiliki potensi energi primer dan bergantung pada pasokan energi dari daerah lain (Likadja, 2012).

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk menjabarkan potensi air sebagai salah satu energi baru terbarukan (EBT) di pulau Flores serta sistem kerja pembangkit listrik ramah lingkungan yang memanfaatkan air sebagai sumber energi. Hasil penelitian ini selanjutnya dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar terkait potensi energi air di pulau Flores dan pemanfaatannya sebagai sumber energi listrik bersih (*green energy*). Hal ini juga merupakan salah satu upaya penyediaan literatur fisika kontekstual dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka. Metode pengumpulan data dilakukan dengan menelaah berbagai literatur terkait untuk memperoleh berbagai informasi berkaitan dengan objek penelitian, antara lain prinsip kerja dan pemanfaatan

energi baru terbarukan (EBT) khususnya energi air sebagai sumber listrik ramah lingkungan pulau Flores. Pada penelitian ini digunakan data sekunder yang dihimpun dari berbagai jurnal, prosiding, laporan, dan artikel berita terkait potensi dan pemanfaatan energi air di pulau Flores. Penelitian dilaksanakan antara bulan September – Oktober 2020. Data yang dikumpulkan selanjutnya akan dikompilasi dan dianalisis sehingga diperoleh kesimpulan untuk menjawab permasalahan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Air di Flores

Pulau Flores dan Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) termasuk daerah beriklim kering dengan curah hujan yang minim. Menurut Geru (Ambi et al., 2020) dan Djuawansyah et al., (2001), hal ini berkaitan dengan letak geografis pulau Flores yang dekat dengan benua Australia sehingga mengakibatkan angin monsun (muson) Australia dominan melanda dibandingkan dengan angin monsun Asia yang lebih bersifat basah. Angin monsun Australia mengalirkan massa udara yang bersifat dingin dan kering dari benua Australia menuju benua Asia. Secara umum periode hujan di NTT hanya berlangsung 3-4 bulan sedangkan periode kering berlangsung antara 8-9 bulan, dengan potensi hidrologi air permukaan tergolong kecil (Pujiono & Setyowati, 2015).

Minimnya potensi hidrologi dapat dikonfirmasi dari ketiadaan sungai dengan debit yang besar dan konstan di NTT, terutama di Flores. Provinsi NTT memiliki sekitar 40 sungai dengan panjang yang bervariasi antara 25-118 km (Handoyo & Mychelida, 2016). Beberapa diantara sungai tersebut memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga hidro (PLTH). Namun demikian potensi air di NTT khususnya di pulau Flores belum sepenuhnya dioptimalkan sebagai sumber energi listrik.

Menurut Likadja (2014), potensi energi air di NTT diperkirakan sebesar 20.704,86 kW atau sekitar 21 MW, dengan daya perkiraan potensi sumber energi air khusus di daratan Flores antara lain: Kabupaten Sikka 748,19 kW; Kabupaten Ende 259,59 kW; Kabupaten Ngada 2021,10 kW; dan Kabupaten Manggarai 7.802 kW. Potensi ini belum sepenuhnya dimaksimalkan sebagai sumber listrik ramah lingkungan di Flores. Mengingat minimnya debit aliran sungai-sungai di Flores, potensi energi hidro ini lebih tepat digunakan sebagai sumber energi listrik dengan daya menengah (PLTM) dan kecil (PLTMH). Potensi air yang tersedia mampu ditingkatkan dengan memanfaatkan “limbah” energi air yang telah menggerakkan turbin pembangkit listrik untuk digunakan pada PLTM/MH berikutnya dengan sistem *cascade*. Ditinjau dari aspek fisik, *cascade microhydro system* merupakan sistem pemanfaatan aliran air untuk beberapa PLTMH yang dibangun berurutan dari hulu ke hilir (Nugroho, 2015).

Listrik Tenaga Hidro

Listrik tenaga hidro (air) secara sederhana didefinisikan sebagai listrik yang dihasilkan oleh energi air. Pembangkit listrik bertenaga hidro berawal dari penggunaan kincir air berbahan kayu dalam penggilingan gandum di Eropa sekitar 2000 tahun silam. Penemuan dan perkembangan di bidang kelistrikan memicu evolusi kincir air menjadi turbin air guna keperluan pembangkit listrik tenaga air. Sekitar tahun 1820an turbin air pertama dikembangkan di Prancis oleh Benoit Foureyron (Paish, 2002). Pembangkit

Listrik Tenaga Hidro (PLTH) mulai dikembangkan di Indonesia (Hindia Belanda) 1882 untuk mendukung industri teh. Hingga tahun 1910 terdapat sekitar 400 PLTH (Sentanu, 2013).

Secara umum berdasarkan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2016, pembangkit listrik yang memanfaatkan air digolongkan menjadi 3, yakni pembangkit listrik tenaga air atau PLTA (>10 Megawatt), pembangkit listrik tenaga minihidro atau PLTM (1 MW - 10 MW) dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro atau PLTMH (<1 MW). Besarnya daya yang dihasilkan sistem pembangkit listrik tenaga air berkorelasi dengan potensi debit air dan *head*. Semakin besar debit air dan/atau *head* pada suatu daerah maka semakin besar pula potensi daya listrik yang dapat dihasilkan.

Secara prinsip tidak ada perbedaan antara pembangkit listrik minihidro (PLTM) dan mikrohidro (PLTMH). Sistem pembangkit listrik juga dapat dibangun dengan atau tanpa *head* disesuaikan dengan potensi wilayah setempat. Tanpa *head* artinya sistem pembangkit listrik menggunakan aliran air sungai atau irigasi secara natural untuk menggerakkan turbin (kincir air). Umumnya sistem pembangkit model ini menggunakan turbin impuls yang tidak seluruhnya terendam di dalam air (Uhunmwangho et al., 2018). Bilah-bilah (sudu) turbin impuls didesain sedemikian rupa untuk memperbesar bidang kontak terhadap air.



Gambar 1. Konversi energi pada PLTM dan PLTMH

PLTM/MH yang menggunakan *head* memanfaatkan energi potensi jatuhan air untuk menggerakkan turbin. Gambar 1 menunjukkan proses konversi energi pada pembangkit listrik tenaga mini/mikro hidro. Energi potensi air dapat dimodifikasi dengan membuat bendungan untuk memperbesar *head* ataupun secara langsung memanfaatkan air terjun. Memperbesar *head* berarti memperbesar energi potensi air dan dengan demikian berarti memperbesar potensi daya yang mampu dibangkitkan. Selanjutnya air akan dialirkan melalui saluran pembawa (*head race*) menuju bak penenang (*head tank*). Bak penenang ini berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kotoran yang ikut terbawa air sekaligus sebagai pengontrol debit air yang masuk pada pipa pesat (*penstock*). Di dalam pipa pesat energi potensial air dikonversi menjadi energi kinetik. Pipa pesat berperan mengoptimalkan energi jatuhan air untuk memutar turbin. Pada turbin, energi air akan diubah menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin (Uhunmwangho et al., 2018). Di tahap akhir generator yang terkoneksi dengan poros turbin akan ikut berputar dan menghasilkan listrik induksi. Umumnya turbin dan generator serta kendali distribusi listrik lainnya ditempatkan pada sebuah rumah pembangkit (*powerhouse*).

Sebuah sistem PLTM/MH umumnya memiliki bendungan penyadap, saluran pembawa, bak penenang/pengendap, pipa pesat, serta rumah pembangkit untuk meletakkan turbin dan generator. Skema PLTM/MH ditunjukkan pada Gambar 2. Pada

tahap observasi dan perencanaan, tinggi terjunan (*head*) dan debit aliran penting untuk memprediksi potensi data terbangkit dan pemilihan turbin air yang sesuai. Secara umum perhitungan potensi daya PLTM/MH adalah sebagai berikut (Hatch Energy, 2008; Khomsah & Zuliari, 2015; Ranjan et al., 2019):

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

$$P_{riil} = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (2)$$

Keterangan: P merupakan potensi daya teoritis, ρ merupakan masa jenis air, g merupakan percepatan gravitasi, Q adalah debit air, H adalah tinggi jatuhnya air (*head*), dan η merupakan efisiensi sistem PLTM/MH. Persamaan (1) digunakan untuk menentukan potensi daya teoritis, sedangkan persamaan (2) digunakan untuk menentukan daya listrik terbangkit.



Gambar 2. Skema pembangkit listrik tenaga mini/mikro hidro (Gunawan et al., 2014)

Berdasarkan prinsip kerjanya turbin air terbagi atas turbin impuls dan turbin reaksi (Židonis et al., 2015). Konsep sederhana turbin impuls yakni perubahan momentum sebelum dan setelah air menabrak bilah turbin. Energi air dari jet penyemprot diarahkan untuk menabrak bilah turbin dan menyebabkan turbin berputar. Tipe-tipe turbin yang menggunakan konsep ini antara lain Pelton, Crossflow, dan Turgo yang lebih optimal diterapkan pada kondisi *head* sedang hingga tinggi dan debit aliran rendah (Židonis et al., 2015). Turbin reaksi bekerja berdasarkan konsep perbedaan tekanan pada kedua sisi sudu (bilah) sehingga menyebabkan turbin berputar (Paish, 2002)(Paish, 2002; Uhumwangho et al., 2018). Turbin Francis dan Kaplan/Propeller termasuk jenis turbin reaksi yang optimal bekerja pada *head* rendah dengan debit air besar.

Potensi Pengembangan Listrik Tenaga Hidro di Flores

Flores dengan bentang alam khas pulau vulkanik yang bergunung dan berbukit (Astro & Ngapa, 2020; Likadja, 2014) memiliki potensi air terjun dan kemiringan sungai yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Beberapa pembangkit listrik tenaga air baik dalam skala mini (PLTM) maupun skala mikro (PLTMH) di pulau Flores antara lain PLTM Ndungga (2x1 MW) di kabupaten Ende, PLTMH Ogi (150 KW) dan PLTMH Wae Roa (450 KW) di kabupaten Ngada, PLTMH Waigarit (125 KW) di kabupaten Manggarai,

dan PLTMH Sita (2 x 550 KW) di Kabupaten Manggarai Timur (Mediaindonesia.com, 2019; Sindonews.com, 2019b).

Salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan kemiringan sungai ini adalah PLTM Ndungga. Sungai Wolowona sengaja dibendung dan memindahkan aliran sungai dengan mengoptimalkan topografi setempat untuk memperbesar *head* (selisih ketinggian muka air pada reservoir terhadap turbin). Rute saluran air dibuat memasuki terowongan sepanjang 598 meter menembus gunung karena curamnya rute alternatif yang juga berhimpit dengan jalan negara jurusan Ende-Maumere (Havianto, 2014).

PLTM Ndungga menggunakan dua unit turbin jenis Francis Horizontal (Gambar 3) dengan debit rata-rata $1,95 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan *head* rata-rata 63,52 m. Turbin ini memiliki putaran spesifik hingga 750 rpm (rotasi per menit) dan mampu menghasilkan daya spesifik 1.100 kW. Pada ujung pipa pesat sebelum masuk ke rumah pembangkit, pipa pesat dibuat bercabang dua untuk mengalirkan air ke kedua turbin yang digunakan. PLTM Ndungga juga menggunakan dua unit generator jenis sinkron horizontal dengan tegangan spesifik 6.500 Volt dan frekuensi 50 Hz dengan faktor daya 0,8. Masing-masing generator terkopel langsung (sambungan langsung) pada turbin sehingga memiliki putaran spesifik yang sama dengan turbin. Selanjutnya pada travo utama tegangan listrik PLTM Ndungga akan dinaikkan menjadi 20 kV sebelum masuk ke jaringan listrik Ende (Havianto, 2014).



Gambar 3. Turbin dan Generator PLTM Ndungga Ende (Sindonews.com, 2019b)

Selain pembangkit listrik yang telah terpasang, terdapat pula beberapa penelitian lain terkait potensi energi air di Flores yang masih dalam tahap penelitian awal dan lanjutan. Dari penelitian lanjutan oleh Bawono & Noor (2016) di Sungai Suku Bajo, Desa Lamanabi, Kecamatan Tanjung Bunga, Kabupaten Flores Timur, NTT, diperoleh turbin *head* 48,37 m dan debit aliran $0,15 \text{ m}^3/\text{detik}$ dengan potensi daya 59.670 W atau sekitar 60 kW. Astro & Ngapa (2020) melakukan pengukuran potensi air terjun Ngamba Mbu'u di desa Tonggopapa Kabupaten Ende memperkirakan potensi daya terbangkit mencapai 25,9 kW dengan *head* efektif 11,205 m dan debit aliran $0,236 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Komponen PLTM/MH umumnya disesuaikan dengan karakteristik daerah potensi. Rancangan dan desain pembangkit termasuk jenis turbin dan konstruksi peralatan PLTM/MH yang digunakan didasarkan pada penggunaan debit aliran minimum (Nugroho, 2015). Hal ini pula yang menjadi pertimbangan beberapa sistem pembangkit termasuk PLTM Ndungga menggunakan dua atau lebih turbin identik alih-alih menempatkan turbin tunggal meski dengan kapasitas yang setara. Menurut Havianto (2014), debit aliran minimum sungai Wolowona mampu menggerakkan masing-masing turbin (1 MW) PLTM Ndungga hingga menghasilkan daya 600 kW. Sehingga pada puncak musim kemarau PLTM ini tetap mampu menyuplai daya 1,2 MW dari dua turbin air yang terpasang.

Pada pengoperasiannya PLTM/MH tidak mencemari lingkungan dan bahkan menuntut pelestarian hutan sebagai daerah tangkapan air untuk menjaga pasokan bahan bakar pembangkit listrik (Astro et al., 2020). Air hanya digunakan untuk menggerakkan turbin sehingga tidak mencemarkan dan konsumtif terhadap pemakaian air. Selain itu usia pemakaiannya relatif panjang dengan biaya operasional yang lebih kecil (Doda & Mohammad, 2018). Mediaindonesia.com (2018) mencatat pemakaian PLTM/MH juga terbukti menekan laju konsumsi bahan bakar fosil. Pasokan listrik 1.300 VA dari PLTMH Sita di Manggarai timur kepada 2.150 rumah tangga di daerah tersebut terbukti menghemat konsumsi BBM jenis solar hingga 3.000 kiloliter pertahun atau setara dengan RP 20 miliar pertahun. Khusus untuk PLTMH sangat memungkinkan untuk diterapkan pada daerah terpencil dengan pengelolaan secara swadaya. Hal ini sangat cocok diterapkan di wilayah pulau Flores dan NTT dengan mayoritas masyarakat yang belum teraliri listrik ialah yang mendiami wilayah terpencil dan jauh dari jaringan PLN.

PENUTUP

Pulau Flores termasuk daerah beriklim kering dengan curah hujan yang minim dengan potensi air tergolong kecil. Dengan demikian potensi energi hidro ini lebih tepat digunakan sebagai sumber energi listrik dengan daya menengah (PLTM) dan kecil (PLTMH). Potensi air yang tersedia juga mampu ditingkatkan dengan dengan sistem *cascade*. Proses konversi energi yang terjadi pada PLTM/MH adalah sebagai berikut: energi potensial air menjadi energi kinetik di dalam pipa pesat; energi kinetik menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin; dan energi mekanik dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Beberapa pembangkit listrik yang ada di pulau Flores antara lain PLTM Ndungga, PLTMH Ogi, dan PLTMH Wae Roa, PLTMH Waigarit, dan PLTMH Sita. Selain itu ada pula beberapa penelitian lain terkait potensi energi air di Flores yang masih dalam tahap penelitian awal dan lanjutan. Pada pengoperasiannya PLTM/MH terbukti menekan laju konsumsi bahan bakar fosil. PLTMH juga sangat memungkinkan untuk diterapkan pada daerah-daerah di Flores dan NTT umumnya yang terpencil dan jauh dari jaringan PLN.

Penelitian ini masih terkendala minimnya literatur yang membahas terkait potensi energi air sebagai sumber energi listrik ramah lingkungan, termasuk spesifikasi dan tipe pembangkit listrik bertenaga hidro (minihidro dan mikrohidro) yang telah dibangun di Pulau Flores dan NTT secara umum. Oleh karena itu disarankan kepada peneliti selanjutnya untuk dapat mengembangkan dan melaksanakan penelitian lapangan

terhadap seluruh pembangkit listrik di pulau Flores yang memanfaatkan energi baru-terbarukan, khususnya energi hidro.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambi, F. N., Sutaji, H. I., Louk, A. C., & Geru, A. S. (2020). Analisis Kecenderungan (Trend) Suhu Udara Dan Curah Hujan Di Pulau Flores (Labuan Bajo, Ruteng, Maumere, dan Larantuka). *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Apikasinya*, 5(1), 42–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.35508/fisa.v5i1.1962>
- Astro, R. B., Doa, H., & Hendro, H. (2020). Fisika Kontekstual Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *ORBITA: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 6(1), 142–149. <https://doi.org/10.31764/orbita.v6i1.1858>
- Astro, R. B., & Ngapa, Y. D. (2020). Analisis Potensi Air Terjun Ngamba Mbu'u Kabupaten Ende Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online (JPFT)*, 8(2), 79–83.
- Bawono, A. N., & Noor, D. Z. (2016). Perancangan Turbin Francis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) “Studi Kasus di Sungai Suku Bajo, Desa Lamanabi, Kecamatan Tanjung Bunga, Kabupaten Flores Timur, NTT.” *Tidak Dipublikasikan*. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-40453-2111030113-paper.pdf>. Diakses pada 2 Oktober 2020.
- Djuawansyah, M. R., Utomo, E. P., & Sastramihardja, N. T. P. (2001). Potensi Sumberdaya Air Propinsi NTT Sebagai Penunjang Pengembangan Kawasan Cendana. *Berita Biologi*, 5(5), 593–597.
- Doda, N., & Mohammad, H. (2018). Analisis Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik. *Gorontalo Journal of Infrastructure & Science Engineering*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.32662/gojise.v1i1>
- Gunawan, A., Oktafeni, A., & Khabzli, W. (2014). Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 10(4), 28–36. <https://doi.org/10.17529/jre.v10i4.1113>
- Handoyo, F. W., & Mychelisda, E. (2016). Potensi Sumber Daya Energi di Nusa Tenggara Timur. In M. T. Sambodo, S. D. Negara, & A. H. Fuady (Eds.), *Akses Listrik & Kesejahteraan Masyarakat* (pp. 17–58). LIPI Press.
- Hatch Energy. (2008). *Low Head Hydro Market Assessment* (Vol. 1, Issue March). Diakses pada 12 September 2020.
- Havianto, J. (2014). *PLTM Ndungga - Ende –Flores – Nusa Tenggara Timur*. <http://jonnyhavianto.blogspot.com/2014/10/pltm-ndungga-ende-flores-nusa-tenggara.html>. Diakses pada 10 Oktober 2020.
- Khomsah, A., & Zuliari, E. A. (2015). Analisa Teori : Performa Turbin Cross Flow Sudu Bambu 5 ” sebagai Penggerak Mula Generator Induksi 3 Fasa. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan*, 1, 79–88.
- Likadja, F. J. (2014). *Penerapan Kebijakan Diversifikasi dan Konservasi Terhadap Ketersediaan Energi di Provinsi Nusa Tenggara Timur*. https://ipenconsulting.com/yahoo_site_admin/assets/docs/P15_FLikadja_Review_of_RE_Policy_in_NTT.4825204.pdf. Diakses pada 2 Oktober 2020
- Likadja, F. J. (2012). Analisis Penerapan Kebijakan Energi Nasional Terhadap Permintaan Energi Di Provinsi Nusa Tenggara Timur Menggunakan Perangkat Lunak Leap. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknik*, 181–187.
- Mediaindonesia.com. (2018). *PLN NTT Beli Listrik Dari Pembangkit Energi Terbarukan 1 Megawatt*. <https://mediaindonesia.com/read/detail/188552-pln-ntt-beli-listrik-dari-pembangkit-energi-terbarukan-1-megawatt.html>. Diakses pada 12 September 2020.

- Mediaindonesia.com. (2019). *PLN NTT Tambah Pembangkit Listrik Energi Terbarukan*. <https://mediaindonesia.com/read/detail/223603-pln-ntt-tambah-pembangkit-listrik-energi-terbarukan>. Diakses pada 2 Oktober 2020.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 9 Tahun 2016 tentang Tata Cara Pelaksanaan Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha dalam Pemanfaatan Insfrastruktur Sumber Daya Air untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air, (2016).
- Nugroho, H. Y. S. H. (2015). CASCADE MICROHYDRO SYSTEM: Optimalisasi Hasil Air untuk Kesejahteraan Masyarakat. *Seminar Nasional Restorasi DAS: Mencari Keterpaduan Di Tengah Isu Perubahan Iklim*, 610–617. <https://www.fordamof.org/files/M43.pdf#:~:text=Dari aspek fisik%2C cascade adalah,PLTMH digunakan untuk PLTMH berikutnya>.
- Paish, O. (2002). Small hydro power: Technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(6), 537–556. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00006-0)
- Pujiono, E., & Setyowati, R. (2015). Penilaian Tingkat Kerentanan Sumber Daya Air Terhadap Variabilitas Iklim Di Das Aesesa, Pulau Flores, Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, 12(3), 177–195. <https://doi.org/10.20886/jpsek.2015.12.3.177-195>
- Ranjan, R. K., Alom, N., Singh, J., & Sarkar, B. K. (2019). Performance investigations of cross flow hydro turbine with the variation of blade and nozzle entry arc angle. *Energy Conversion and Management*, 182(May 2018), 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.075>
- Sentanu, H. (2013). *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*. Asosiasi Hidro Bandung. https://www.academia.edu/36111097/_Pemeliharaan_dan_Pengoperasian_PLTMH_AHB_Sentanu. Diakses pada 12 September 2020.
- Sindonews.com. (2019a, November 30). *Flores, Dapur Energi Terbarukan di Kawasan Timur Indonesia*. <https://ekbis.sindonews.com/berita/1463931/34/flores-dapur-energi-terbarukan-di-kawasan-timur-indonesia>. Diakses pada 2 Oktober 2020.
- Sindonews.com. (2019b, November 30). *PLTMH di Flores Turut Sumbang Pasokan Listrik EBT*. <https://ekbis.sindonews.com/berita/1463928/34/pltmh-di-flores-turut-sumbang-pasokan-listrik-ebt>. Diakses pada 2 Oktober 2020.
- Uhunmwangho, R., Odje, M., & Okedu, K. E. (2018). Comparative analysis of mini hydro turbines for Bumaji Stream, Boki, Cross River State, Nigeria. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 27(September 2017), 102–108. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.04.003>
- Židonis, A., Benzon, D. S., & Aggidis, G. A. (2015). Development of hydro impulse turbines and new opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1624–1635. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.007>