

**Analisis Ketahanan Energi Kantor Pemasaran Podomoro Golf View  
Dengan Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro *Head* Rendah di Bendung  
Cikeas - Cimanggis**

Mosses Morisca Elim\*, Robinson Purba, Hakimul Batih  
Magister Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia  
\*Alamat korespondensi: [mossesmorisca@gmail.com](mailto:mossesmorisca@gmail.com)

**Abstrak**

Sungai dengan kapasitas besar dan *head* rendah belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai alternatif pembangkit listrik yang ramah lingkungan, termasuk Sungai Cikeas yang berada dalam kawasan pengembangan hunian Podomoro Golf View (PGV) Cimanggis. Dengan penerapan teknologi turbin propeller *head* rendah yang dikembangkan oleh Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), daya efektif masing-masing turbin sebesar 500 watt, Sungai Cikeas berpotensi membangkitkan listrik dengan daya efektif sebesar 8 kW, dengan menggunakan 16 unit turbin propeller. Kajian ini menganalisis tingkat ketahanan energi di Kantor Pemasaran PGV dengan penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan turbin propeller *head* rendah pada bendung Cikeas dikawasan PGV dari sudut pandang ketahanan energi. Penilaian akan dilakukan atas 4 (empat) aspek ketahanan energi yaitu *availability*, *accessibility*, *affordability* dan *acceptability*, berdasarkan definisi ketahanan energi dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 (PP No. 79) tahun 2014 tentang "Kebijakan Energi Nasional". Hasil analisis ketahanan energi didapat: aspek *availability* dengan indikator ketersediaan listrik: Perseroan Terbatas Perusahaan Listrik Negara (PLN) = 0.999, PLTMH = 0.6; aspek *accessability* dengan indikator jarak dari sumber energi ke beban: PLN = 0.84, PLTMH = 0.7; aspek *affordability* dengan indikator harga satuan energi listrik: PLN = 0.89, PLTMH = 0.95; aspek *accessability* dengan dua indikator, yaitu emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>): PLN = 0.12, PLTMH = 1, dan objek pariwisata: PLN = 0.96, PLTMH = 0.99.

**Kata Kunci:**

*Sungai head rendah, turbin propeller, ketahanan energi.*

**Abstract**

The river with a large capacity and low head has not been optimally utilized as an alternative to environmentally friendly power plants, including Cikeas River which is located in Podomoro Golf View (PGV) Cimanggis residential development area. With the application of low propeller head turbine technology developed by Indonesian Institute of Sciences' Electric and Mechatronic Research Center (LIPI), the effective power of each turbine are 500 watts, Cikeas River has the potential to generate electricity with an effective power of 8 kW, using 16 units propeller turbine. This study is analyzes the level of energy security in PGV Marketing Office by applying the Micro Hydro Power Plant (PLTMH) with a low propeller head turbine on Cikeas weir in PGV region from the perspective of energy security. The assessment will be carried out on 4 (four) aspects of energy security, they are availability, accessibility, affordability and acceptability, based on definition of energy security in *Peraturan Pemerintah Nomor 79 (PP No. 79) tahun 2014 concerning "Kebijakan Energi Nasional"*. The Results of the Energy security analysis are: aspects of availability with electricity availability indicators: Limited Liability State Electricity Company (PLN) = 0.999, PLTMH = 0.6; aspects of accessibility with indicators of distance from energy sources to loads: PLN = 0.84, PLTMH = 0.7; affordability aspects with electricity price unit indicator: PLN = 0.89, PLTMH = 0.95; aspects of accessibility with two indicators, they are carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions: PLN = 0.12, PLTMH = 1, and tourism objects: PLN = 0.96, PLTMH = 0.99.

**Keywords:**

Low head river, propeller turbine, energy security.

**I. PENDAHULUAN**

Kebutuhan dunia akan energi listrik terus mengalami peningkatan termasuk di Indonesia. Berdasarkan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2019-2028, proyeksi rata-rata pertumbuhan kebutuhan listrik di Indonesia sebesar 6,42%[1]. Mayoritas kebutuhan energi listrik tersebut dipenuhi dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil, utamanya batubara, gas dan bahan bakar minyak (BBM)

yang merupakan sumber energi yang tak terbarukan, dan dalam proses produksi menjadi energi listrik menghasilkan emisi gas CO<sub>2</sub> yang berkontribusi dalam pemanasan global (*global warming*).

Semakin meningkatnya kesadaran untuk melestarikan lingkungan, mendorong manusia untuk mencari alternatif sumber energi listrik yang ramah lingkungan. Langkah nyata yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan sumber daya energi terbarukan,

seperti: matahari, angin, air, biomasa dan lain sebagainya.

Sungai dengan kapasitas besar dan tinggi air jatuh vertikal (*head*) rendah belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai alternatif pembangkit listrik yang ramah lingkungan, termasuk Sungai Cikeas yang berada dalam kawasan pengembangan hunian PGV Cimanggis. Dengan topografi bergelombang hingga berbukit dengan kemiringan yang tidak begitu curam, sungai Cikeas yang mengalir disepanjang kawasan PGV memiliki potensi untuk menghasilkan listrik melalui PLTMH. Sungai Cikeas di kawasan PGV disajikan dalam gambar 1.

Menjawab kebutuhan akan pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan sungai dengan debit besar dan *head* rendah, Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI mengembangkan teknologi turbin *head* rendah yang sangat cocok dengan kondisi potensi sungai-sungai yang memiliki debit besar dan *head* yang rendah tersebut. Banyak kelebihan yang dimiliki oleh turbin *head* rendah, antara lain adalah bentuknya sederhana karena dirakit menjadi satu poros dengan generator. Turbin yang dipakai adalah turbin tipe propeller karena turbin ini sangat cocok untuk dipakai pada *head* sangat rendah dan sedang. Design turbin yang sudah dibuat dan dilakukan pengujian memiliki spesifikasi dengan debit air ( $Q$ ) desain  $0.120 \text{ m}^3/\text{s}$ , *head* 1 m dan efisiensi desain 43 %, daya turbin efektif 500 watt, dengan kecepatan putaran spesifik 173.2 rpm, dimensi diameter luar turbin 0.3 m dan jumlah sudu 6 blade - Ridwan Arief Subekti, Anjar Susatyo, Pudji Irasari, 2012; Sudibyo, H., Susatyo, A., 2018 [2,3].



Gambar 1. Peta Lokasi Podomoro Golf View [13]

Melanjutkan penelitian dari Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI di atas, penelitian ini akan menilai tingkat ketahanan energi di Kantor Pemasaran PGV dengan penerapan PLTMH dengan turbin propeller atau turbin *head* rendah pada bendung Sungai Cikeas dikawasan PGV dari sudut pandang ketahanan energi. Penilaian akan dilakukan atas 4 (empat) aspek ketahanan energi yaitu *availability*, *accessibility*, *affordability* dan *acceptability*, berdasarkan definisi ketahanan energi dalam PP No.79 tahun 2014 tentang “Kebijakan Energi Nasional” [4].

Penelitian ini menjadi penting untuk dilakukan karena selama ini analisis yang digunakan untuk menilai suatu proyek lebih ditekankan dari sudut pandang teknik dan finansial saja. Sehingga diperlukan kajian lain untuk

dapat melihat secara komprehensif, yang mencakup kajian ketersediaan, akses, ekonomi, dan lingkungan terhadap suatu proyek yang akan dikembangkan, yang dapat digunakan sebagai masukan dalam rangka pengambilan keputusan.

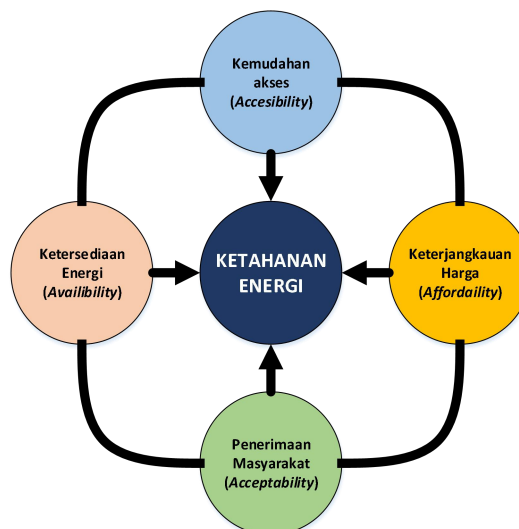
## II. KETAHANAN ENERGI

Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, mendefinisikan Ketahanan Energi sebagai suatu kondisi terjaminnya ketersediaan energi dan akses masyarakat terhadap energi pada harga yang terjangkau dalam jangka panjang dengan tetap memperhatikan perlindungan terhadap lingkungan hidup [4].

Aspek ketahanan energi digunakan untuk menilai tingkat ketahanan energi di Kantor Pemasaran PGV dengan penerapan PLTMH dengan *head* rendah pada bendung Cikeas dikawasan PGV, untuk melayani beban penerangan dan stop kontak Kantor Pemasaran Lt.2. Penilaian akan dilakukan berdasarkan pendekatan 4 (empat) aspek, yang dikenal dengan 4A, yaitu:

- a. *Availability* (ketersediaan energi),
- b. *Accessibility* (kemudahan akses),
- c. *Affordability* (keterjangkauan harga),
- d. *Acceptability* (penerimaan masyarakat).

Masing-masing aspek ketahanan energi disajikan dalam gambar 2 sebagai model ketahanan energi.



Gambar 2. Model Ketahanan Energi [5]

Selanjutnya masing-masing aspek tersebut akan didefinisikan sesuai dengan konteks pada penelitian ini.

Aspek *availability* (ketersediaan energi) didefinisikan sebagai ketersediaan energi listrik dan sumber energi listrik untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik di Kantor Pemasaran PGV, atau kemampuan untuk memberikan jaminan ketersediaan energi listrik.

Aspek *accessibility* (kemudahan akses) didefinisikan sebagai kemampuan Kantor Pemasaran PGV untuk dapat mengakses energi listrik dan sumber energi listrik secara handal dan sesuai kebutuhan kedepan. Aspek ini berkaitan dengan infrastruktur

energi untuk mendukung akses penggunaan energi bagi Kantor Pemasaran PGV.

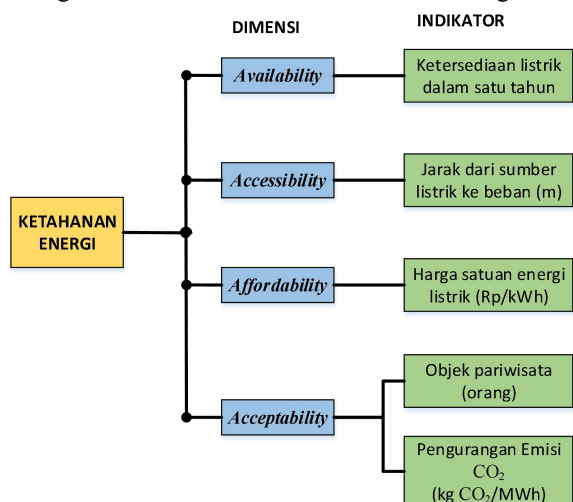
PLTMH yang akan dibangun letaknya diperkotaan sehingga masih dapat dijangkau dengan mudah, serta dapat ditempuh dengan teknologi yang tidak mahal, sehingga tidak perlu ‘perlakuan khusus’ terhadap akses jalan menuju lokasi.

Aspek *affordability* (keterjangkauan harga) didefinisikan sebagai keterjangkauan Kantor Pemasaran PGV terhadap harga energi.

Aspek *acceptability* (penerimaan masyarakat), didefinisikan sebagai penerimaan Kantor Pemasaran PGV terhadap energi yang ramah lingkungan.

### 2.1. Indikator dan Parameter Masing-Masing Aspek Ketahanan Energi

Setiap aspek ketahanan energi memiliki indikator yang akan digunakan sebagai besaran untuk mengukur tingkat ketahanan energi, yang disajikan dalam gambar 3 sebagai dimensi dan indikator ketahanan energi.



Gambar 3. Dimensi dan Indikator Ketahanan Energi

Aspek *availability*, dinilai dengan indikator ketersediaan listrik dalam satu tahun. Parameter yang diharapkan untuk dicapai adalah ketersediaan listrik terus menerus selama satu tahun tanpa gangguan dan/atau pemadaman.

Aspek *accessibility*, dinilai dengan indikator jarak dari sumber energi ke beban, dalam penelitian ini diperhitungkan panjang saluran kabel dari kilowatt-jam (kWh) meter PLN atau dari panel kontrol PLTMH ke panel induk beban (*main distribution panel* = MDP). Parameter yang diharapkan untuk dicapai adalah saluran kabel dari kWh meter sisi tegangan rendah (TR) PLN atau dari panel kontrol PLTMH ke MDP sependek mungkin.

Aspek *affordability* dinilai dengan indikator harga satuan energi listrik dalam rupiah setiap kilowatt-jam (Rp/kWh). Parameter yang diharapkan untuk dicapai adalah harga energi listrik yang murah sehingga terjangkau oleh konsumen yang dalam penelitian ini adalah Kantor Pemasaran PGV.

Dalam penelitian ini, *Levelized Cost of Electricity* (LCOE) akan digunakan sebagai nilai absolut

untuk PLTMH. LCOE ini merupakan perbandingan *lifetime cost* terhadap produksi energi, menghitung nilai sekarang dari total biaya bangunan dan operasi pembangkit listrik. Harga energi yang dibangkitkan hasil perhitungan LCOE sudah mencapai *break even point* berdasarkan *lifetime* pembangkit (umur teknis pembangkit). Persamaan umum yang akan digunakan diperlihatkan seperti persamaan (1) sebagai berikut [6]:

$$\text{LCOE (Rp/kWh)} = \frac{\text{biaya yang dikeluarkan selama masa pakai}}{\text{listrik yang diproduksi selama masa pakai}} \quad (1)$$

dimana:

*Total life cycle cost* merupakan biaya investasi pembangunan pembangkit, biaya tetap dan variable dari operasi dan perbaikan, biaya bahan bakar yang di “*present value*” kan. Sedangkan total *lifetime energi production* adalah total dari energi yang dibangkitkan.

Berdasarkan definisi diatas sebagaimana persamaan (1), maka LCOE dapat diformulasikan sebagaimana persamaan (2).

$$\text{LCOE (Rp/MWh)} = \frac{PV(\text{Biaya Investasi})}{\text{Avail} \times 8760} + \frac{\text{Biaya O\&M}}{\text{Avail} \times 8760} + \frac{0.86 \times \text{Biaya Bahan Bakar}}{\text{Eff}} \quad (2)$$

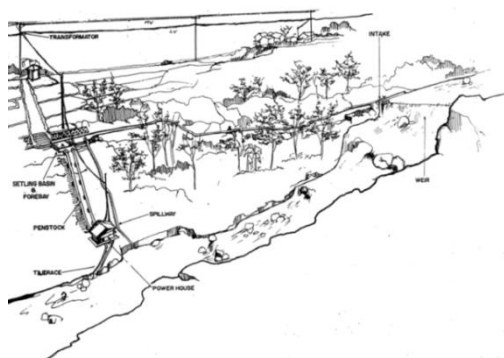
Aspek *acceptability*, dalam penelitian ini ada 2 (dua) indikator yang digunakan untuk penilaian, yaitu indikator emisi gas CO<sub>2</sub>, dan indikator objek pariwisata.

### III. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

Aliran air dari suatu ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Tenaga air (hydropower) dihasilkan dengan mengubah energi aliran air dengan kincir air atau turbin air menjadi tenaga mekanis. Daya ini dapat dirubah menjadi tenaga listrik dengan menggunakan generator listrik atau dapat digunakan langsung untuk menggerakkan mesin penggiling, dan lain sebagainya.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), biasa disebut mikrohidro, adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya, misalnya saluran irigasi, sungai atau air terjun alam, dengan cara memanfaatkan *head* dalam meter (m) dan jumlah debit airnya (m<sup>3</sup>/detik). Semakin tinggi *head*, maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Disamping faktor geografis yang memungkinkan, air terjun dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi.

Contoh keseluruhan sistem PLTMH disajikan dalam gambar 4.



Gambar 4. Bagan Sebuah PLTMH [7]

Persamaan konversi untuk menentukan daya yang dihasilkan, adalah sebagai berikut [7,8]:

Tenaga yang masuk = tenaga yang keluar + tenaga yang hilang (*loss*), atau

Tenaga yang keluar = tenaga yang masuk  $\times$  efisiensi konversi

Persamaan di atas biasanya digunakan untuk menggambarkan perbedaan yang kecil. Daya yang masuk, atau total daya yang diserap oleh skema hidro, adalah daya kotor,  $P_{gross}$ . Daya yang manfaatnya dikirim adalah daya bersih,  $P_{net}$  sesuai persamaan (3).

$$P_{net} = P_{gross} \times \eta \quad (3)$$

Daya kotor adalah *head* kotor ( $H_{gross}$ ) yang dikalikan dengan debit air ( $Q$ ) dan juga dikalikan dengan sebuah faktor ( $g = 9.8$ ), sehingga persamaan dasar dari pembangkit listrik sesuai persamaan (4).

$$P_{net} = \rho \times g \times H_{gross} \times Q \times \eta \quad (4)$$

dimana :

$P_{net}$  = Daya listrik yang dihasilkan (w)

$\rho$  = massa jenis air 1,000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  = gravitasi dengan nilai 9.8 meter/detik<sup>2</sup>

$H_{gross}$  = *head* dalam meter (m)

$Q$  = debit air dalam meter kubik per detik (m<sup>3</sup>/s)

$\eta$  = efisiensi keseluruhan

Efisiensi keseluruhan diperlihatkan pada persamaan (5).

$$\eta = \eta_{konstruksi\ sipil} \times \eta_{turbin} \times \eta_{generator} \times \eta_{sistem\ control} \quad (5)$$

Pada umumnya besar dari masing-masing efisiensi adalah sebagai berikut:

$\eta_{konstruksi\ sipil}$ :

1.0 - (panjang saluran  $\times$  0.002 ~ 0.005) /  $H_{gross}$

$\eta_{turbin}$ : 0.70 ~ 0.85 (tergantung pada tipe turbin)

$\eta_{generator}$ : 0.80 ~ 0.95 (tergantung pada kapasitas generator)

$\eta_{sistem\ kontrol}$ : 0.97

$\eta_{konstruksi\ sipil}$  adalah "*Head Loss* ( $H_{loss}$ ) atau kehilangan ketinggian". Dalam kasus ini, persamaan (4) diubah ke persamaan (5), sehingga:

$$P_{net} = \rho \times g \times (H_{gross} - H_{loss}) \times Q \times (\eta - \eta_{konstruksi\ sipil}) \text{ watt} \quad (6)$$

Untuk memudahkan perhitungan dengan menyesuaikan kondisi kemampuan manufaktur di Indonesia, maka persamaan (6) dapat disederhanakan dengan menggunakan nilai  $\eta$  dengan 0,6 ~ 0,75, sehingga untuk menentukan daya PLTMH ditentukan dengan persamaan (7).

$$P_{net} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta \quad (7)$$

dimana:

$P_{net}$  = daya listrik yang dihasilkan (W)

$\rho$  = massa jenis air 1,000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  = gravitasi dengan nilai 9.8 meter/detik<sup>2</sup>

$Q$  = debit air dalam meter kubik per detik (m<sup>3</sup>/detik)

$H$  = *head* dalam meter

$\eta$  = efisiensi keseluruhan dengan kisaran 0,6 ~ 0,75 untuk PLTMH

Pembangkit daya tenaga air (*hydropower*) dapat diklasifikasikan berdasarkan besarnya daya yang dibangkitkan seperti diperlihatkan pada tabel 1. Pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas 6 - 100 kW, digolongkan sebagai PLTMH.

Tabel 1: Klasifikasi *Hydropower*

Hydro Generator	Capacity
Large	More than 100 MW
Small	Up to 25 MW
Mini	Below 1 MW
Micro	Between 6 and 100 kW
Pico	Up to 5 kW

Sumber : Ahmed M.A. Haidar, Mohd F.M.Senan, Abdulhakim Noman, Taha Radman, 2012 [9]

### 3.1. Komponen-Komponen PLTMH

Terdapat beberapa komponen yang merupakan bagian penting dari suatu sistem PLTMH, antara lain :

#### a. Bendung

Bendung untuk instalasi PLTMH berfungsi untuk menampung aliran air sungai. Sebuah bendung biasanya dilengkapi dengan pintu air untuk membuang kotoran dan endapan. Perlengkapan lainnya adalah: penjebak/saringan sampah.

#### b. Air (Sumber Energi)

Sumber aliran air penggerak turbin PLTMH dapat berupa sungai, saluran irigasi, terjunan, atau mata air. Hal yang paling penting diperhatikan adalah debit sumber aliran air tersebut selalu mengalir sepanjang tahun, dan aliran airnya bersih sehingga kecil kemungkinan tersumbatnya *runner* turbin.

#### c. Turbin

Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu mempunyai energi hidrolis yang dialirkan dengan ketinggian tertentu menuju ke rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah instalasi, air tersebut akan menumbuk turbin dimana turbin dipastikan akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian digunakan untuk mengoperasikan



generator listrik dengan menggunakan kopling, atau digunakan untuk memutar berbagai macam alat mekanik (penggilingan biji, pemeras minyak, mesin bubut, dan sebagainya).

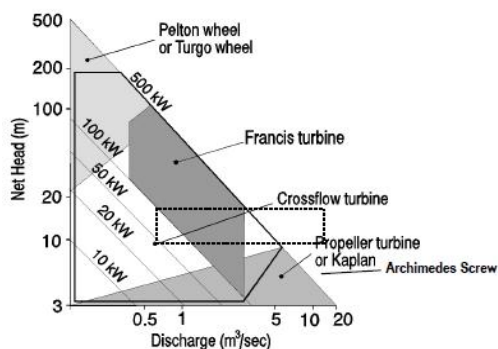
Pemilihan jenis turbin terutama tergantung pada *head* aliran airnya, seperti yang disajikan pada tabel 2.

Tabel 2: Pemilihan Jenis Turbin Air Berdasarkan *Head*

Head Classification	Turbine Type	
	Impulse	Reaction
High (>50m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pelton</li> <li>• Turgo</li> </ul>	
Medium (10-50m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crossflow</li> <li>• Turgo</li> <li>• Multi-jet Pelton</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Francis (spiral case)</li> </ul>
Low (<10m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crossflow</li> <li>• Undershot waterwheel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propeller</li> <li>• Kaplan</li> <li>• Fancis (open-flume)</li> </ul>

Sumber: Guide to uk mini-hydro developments[10]

Pemilihan turbin yang benar merupakan bagian paling penting dalam mendesain sistem mikrohidro, yang tergantung pada kondisi lapangan dimana turbin akan dipasang, variasi *head* dan debit aliran dan kualitas airnya. Rentang *head*-debit turbin mikrohidro disajikan dalam gambar 5.



Gambar 5. Rentang *Head*-Debit Turbin Mikro Hidro

Sumber: Guide to uk mini-hydro developments [10]

Turbin yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan turbin tipe propeller *head* rendah yang dikembangkan dan sudah dilakukan pengujian oleh Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik LIPI, dengan spesifikasi sebagai berikut [3,4]:

- Debit air 0.120 m<sup>3</sup>/s,
- Head* 1 m dan
- Efisiensi 43 %,
- Daya turbin efektif 500 watt
- Kecepatan putaran spesifik 173.2 rpm,
- Dimensi diameter luar turbin 0.3 m
- Jumlah sudu 6 blade

Dokumentasi turbin diperlihatkan dalam gambar 6.



Gambar 6. Dokumentasi Turbin *Head* Rendah [3,4]

#### d. Generator

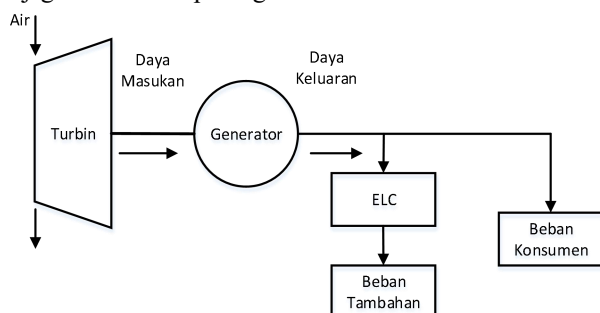
Generator mengubah energi mekanik (putaran poros) menjadi energi listrik. Ada dua tipe generator, yaitu generator sinkron dan asinkron atau generator induksi (umumnya disebut generator induksi). Generator sinkron adalah standar generator yang digunakan dalam pembangkit daya listrik. Semua generator harus digerakkan pada putaran konstan untuk menghasilkan daya yang konstan pada frekuensi 50 Hz. Untuk mikrohidro umumnya digunakan generator 4 kutub dengan putaran sekitar 1.500 rotasi per menit (rpm). Generator sinkron mempunyai efisiensi antara 75% sampai dengan 90% pada beban penuh, tergantung pada ukuran generator-nya. Efisiensi generator induksi berkisar 65% pada beban tidak penuh sampai dengan 75% pada beban penuh.

Dalam penelitian ini, generator yang digunakan adalah jenis generator magnet permanen 1 fasa, 500 W, 12 kutub, 500 rpm, 50 Hz, 220V. Generator dengan tipe rotor magnet permanen lebih efisien dibandingkan tipe rotor belitan, dan lebih mudah membuat kutub banyak yang dibutuhkan untuk mendapatkan kecepatan rendah. Generator dirancang dengan memodifikasi motor induksi yang tersedia di pasaran, dimensinya (panjang dan diameter) dipilih sesuai dengan daya yang diinginkan dan keseluruhan dimensi sistem.

#### e. Controller

Turbin air, demikian pula mesin diesel atau bensin, putarannya akan bervariasi sesuai dengan beban yang diberikan. Variasi putaran ini akan sangat mempengaruhi frekuensi dan tegangan output generator yang seharusnya dijaga konstan. Untuk itu dibutuhkan suatu alat untuk mengatasi permasalahan tersebut. Jaman dahulu, biasanya digunakan *mechanical speed governor* untuk mengatur debit aliran air ke turbin sesuai dengan variasi beban. Namun belakangan ini, *Electronic Load Controller* (ELC) telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan tersebut pada sistem mikrohidro, seperti pada gambar 7.

ELC ini didesain untuk mengatur daya output sistem mikrohidro pada tegangan dan frekuensi yang konstan. Prinsip utamanya adalah kelebihan daya yang tersedia akan diserap oleh ballast atau dump load untuk menjaga beban total pada generator dan turbin konstan.



Gambar 7. Diagram Aliran Daya dengan ELC [7]

#### f. Saluran Kabel TR

Kabel TR digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari generator ke beban. Sistem mikrohidro pada umumnya adalah sistem satu-phase, tergantung dari besar daya outputnya. Ukuran dan tipe kabel tergantung besarnya ampere listrik dan panjang kabel.

#### Biaya Pembangunan PLTMH

Perumusan perhitungan biaya pembangunan PLTMH dalam penelitian ini mengacu kepada rumus empirik yang digunakan oleh Ridwan [11] dalam membandingkan biaya pembangunan PLTMH *head* rendah dengan sistem tanpa penstok vs dengan penstok dalam study kasus di desa Bintar, Nunukan Kalimantan Timur.

Dalam penelitian ini, Rupee India dikonversi terhadap Rupiah berdasarkan kurs tanggal 15 Juli 2019: 1 INR = Rp. 202.94 [12]. Faktor insentif sebesar 1.3 yang diterapkan untuk daerah Kalimantan dan Nusa Tenggara Timur, tidak diterapkan dalam perhitungan ini.

Adapun biaya per kilowatt untuk pembangunan PLTMH tanpa penstok dirumuskan dalam persamaan berikut:

##### ➤ Komponen Sipil:

$$1. \text{ Bendung dan intake turbin:} \\ C = 12.415 P^{-0,2368} H^{-0,0597} \quad (8)$$

$$2. \text{ Power house:} \\ C = 92.615 P^{-0,2351} H^{-0,0585} \quad (9)$$

##### ➤ Komponen Elektrikal dan Mekanikal:

$$1. \text{ Turbin dan governor:} \\ C = 63.346 P^{-0,1913} H^{-0,2127} \quad (10)$$

$$2. \text{ Generator dan sistem eksitasi:} \\ C = 78.661 P^{-0,1855} H^{-0,2083} \quad (11)$$

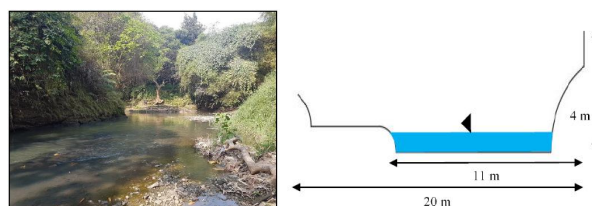
$$3. \text{ Peralatan elektrikal dan mekanikal:} \\ C = 40.860 P^{-0,1892} H^{-0,2118} \quad (12)$$

#### Debit Sungai Cikeas

Berdasarkan hasil observasi pada Sungai Cikeas bagian hulu (*upstream*) area PGV ( $6^{\circ}26'19,14''S$ – $106^{\circ}53'9,11''E$ ). Memiliki lebar bervariasi 9–20 m dengan kedalaman maksimum 4 m. Tinggi muka air

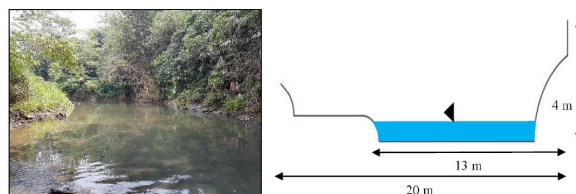
yang tercatat 0.5 m dengan lebar 10.5 m sehingga didapatkan debit sesaat yang tercatat  $2.038 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Gambaran profil penampang Sungai Cikeas bagian hulu disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kondisi Bagian Hulu (*Upstream*) Sungai Cikeas Beserta Ilustrasi Profil Penampangnya (berbentuk trapesium pada hulu dan hilir) [13]

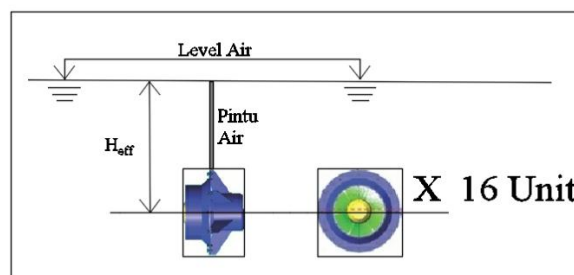
Sungai Cikeas bagian *downstream* area PGV ( $6^{\circ}25'38,63''S$ – $106^{\circ}53'38,79''E$ ), memiliki lebar bervariasi 9–20 m dengan kedalaman maksimum 4m. Tinggi muka air yang tercatat 0.6 m dengan lebar 13 m. Gambaran profil penampang Sungai Cikeas bagian hilir disajikan pada gambar 9.



Gambar 9. Kondisi Bagian Hilir (*Downstream*) Sungai Cikeas Beserta Ilustrasi Profil Penampangnya (berbentuk trapesium pada hulu dan hilir) [13]

#### Head Sungai Cikeas

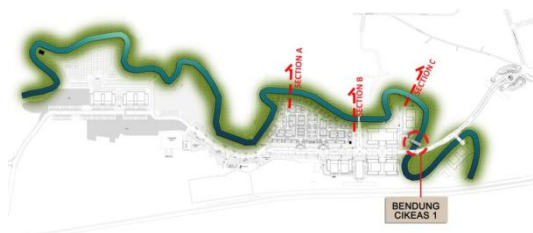
Dalam penelitian ini, turbin yang digunakan adalah turbin propeller *head* rendah yang dipasang langsung pada bendung Cikeas yang akan dibuat di area Kantor Pemasaran PGV, sehingga penentuan *head* (perbedaan ketinggian) diperhitungkan dari permukaan air (elevasi top bendung) sampai dengan poros turbin, yang diilustrasikan dalam gambar 10.



Gambar 10. Tampak dan Potongan Turbin Propeller *Head* Rendah; Penentuan *Head* [11]

#### Bendung Sungai Cikeas

Gambar 11 memperlihatkan rencana lokasi bendung Cikeas sebagai lokasi dari PLTMH.



Gambar 11. Rencana Lokasi PLTMH  
Sumber : PT. GTS

Adapun perencanaan bendung Cikeas, adalah sebagai berikut:

- a. Elevasi top bendung pada +92.25 diatas permukaan laut (dpl)
- b. Elevasi bottom bendung pada +87.65 dpl
- c. Tinggi bendung =  $(92.25 - 87.65) = 4.6$  m

**IV. METODE PENILAIAN**

Indikator dan parameter yang diharapkan untuk dicapai pada setiap dimensi/aspek, yang disajikan dalam tabel 3.

Tabel 3: Indikator dan Parameter Setiap Aspek Ketahanan Energi

No.	Aspek	Indikator
1	Availability	Ketersediaan listrik dalam satu tahun
2	Accessibility	Jarak dari sumber energi ke beban
3	Affordability	Harga satuan energi listrik
4	Acceptability	a. Emisi gas CO <sub>2</sub> b. Objek pariwisata

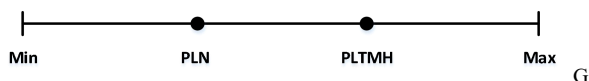
**Penentuan Skenario**

Skenario untuk penilaian tingkat ketahanan energi ditentukan sebagai berikut :

- a. Kondisi *business as usual* (BAU): suplai daya listrik kantor Pemasaran disuplai dari listrik PLN.
- b. Kondisi alternatif: suplai daya listrik kantor Pemasaran disuplai dari listrik PLTMH yang dipasang pada bendung Cikeas, di area Kantor Pemasaran PGV.

**Penentuan Nilai Minimum, Nilai Maksimum dan Nilai Absolut**

Nilai minimum dan nilai maksimum digunakan sebagai acuan untuk menentukan skor relatif kondisi BAU (PLN) maupun PLTMH, disajikan dalam ilustrasi pada gambar 12 berikut:



Gambar 12. Ilustrasi Nilai Relatif Kondisi BAU (PLN) dan PLTMH Terhadap Nilai Acuan (Min-Maks)

Nilai minimum-maksimum sebagai acuan untuk penilaian, ditentukan untuk setiap aspek sebagai berikut:

*Aspek availability.*

- a. Apabila listrik tersedia terus menerus tanpa ada gangguan dan/atau terjadi pemadaman, sehingga setiap tahun masyarakat mendapat pasokan listrik

selama 8760 jam (=365 hari × 24 jam), maka nilai yang ditetapkan adalah 1 (nilai maksimum).

- b. Apabila listrik tidak tersedia sama sekali, sehingga mengganggu kehidupan masyarakat, maka nilai yang ditetapkan adalah 0 (nilai minimum).

Berdasarkan kriteria diatas, maka PLN dan PLTMH akan dinilai berdasarkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Durasi produksi listrik PLN dalam satu tahun dikurangi lama waktu pemadaman yang terjadi dalam setahun, akan menjadi komponen penilaian untuk PLN (nilai absolut PLN). Durasi pemadaman listrik PLN diambil dari RUPLT PLN 2019-2028 hal IV-14, berdasarkan System Average Interruption Duration Index (SAIDI), realisasi per September 2018 [1].
- b. Durasi produksi listrik PLTMH dalam satu tahun dikurangi lama waktu pemadaman (karena maintenance maupun kegagalan) yang terjadi dalam setahun, akan menjadi komponen penilaian untuk PLTMH (nilai absolut PLTMH). *Avalability factor* untuk PLTMH dalam penelitian ini diasumsikan sebesar 60% [14].

*Aspek accessibility.*

- a. Panjang saluran kabel antara kWh meter PLN (TR) dan panel induk beban (MDP) yang paling pendek yang ada di kawasan PGV, maka nilai yang ditetapkan adalah 1 (nilai maksimum).
- b. Panjang saluran kabel antara kWh meter PLN (TR) dan panel induk beban (MDP) yang paling panjang yang ada di kawasan PGV, maka nilai yang ditetapkan adalah 0 (nilai minimum).

Berdasarkan kriteria diatas, maka PLN dan PLTMH akan dinilai berdasarkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Panjang saluran kabel antara kWh meter PLN Kantor Pemasaran dan panel induk beban (MDP) Kantor Pemasaran, akan menjadi komponen penilaian untuk PLN (nilai absolut PLN).
- b. Panjang saluran kabel antara Panel Kontrol PLTMH dan panel induk beban (MDP) Kantor Pemasaran, akan menjadi komponen penilaian untuk PLTMH (nilai absolut PLTMH).

*Aspek affordability.*

- a. Harga satuan energi listrik (Rp/kWh) yang paling murah, ditetapkan dengan nilai 1 (nilai maksimum). Dalam penelitian ini digunakan harga per kWh dari pembangkit listrik tenaga air (harga satuan energi terendah dari pembangkit listrik yang ada di Indonesia).
- b. Sedangkan harga satuan energi listrik (Rp/kWh) yang paling mahal, ditetapkan dengan nilai 0 (nilai minimum). Dalam penelitian ini digunakan harga per kWh dari pembangkit listrik tenaga surya

(harga satuan energi tertinggi dari pembangkit listrik yang ada di Indonesia).

Berdasarkan kriteria diatas, maka PLN dan PLTMH akan dinilai berdasarkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Biaya pemakaian listrik PLN yang tercantum dalam Permen ESDM No.28 tahun 2016 (TDL) [15], khususnya tarif B2/TR akan menjadi komponen penilaian untuk PLN (nilai absolut PLN).
- b. LCOE PLTMH, akan menjadi komponen penilaian untuk PLTMH (nilai absolut PLTMH).

Aspek *acceptability*, Indikator emisi gas CO<sub>2</sub>.

- a. Apabila sumber pembangkit listrik tidak menghasilkan emisi CO<sub>2</sub>, maka ditetapkan dengan nilai 1 (nilai maksimum).
- b. Sedangkan apabila sumber pembangkit listrik menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> paling banyak, maka ditetapkan dengan nilai 0 (nilai minimum). Dalam penelitian ini digunakan PLTU (pembangkit yang menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> paling tinggi diantara pembangkit listrik yang ada di Indonesia).

Berdasarkan kriteria diatas, maka PLN dan PLTMH akan dinilai berdasarkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Faktor emisi sistem ketenagalistrikan tahun 2019, berdasarkan data RUPTL PLN 2019-2018, akan menjadi komponen penilaian untuk PLN (nilai absolut PLN).
- b. LCOE PLTMH, akan menjadi komponen penilaian untuk PLTMH (nilai absolut PLTMH).

Aspek *acceptability*, Indikator objek pariwisata.

- a. Jumlah total dari prakiraan pengunjung yang datang karena adanya objek wisata dan penambahan prakiraan pengunjung yang datang karena adanya objek edu-ecowisata, ditetapkan dengan nilai 1 (nilai maksimum).
- b. Sedangkan apabila setelah dibangunnya objek wisata tetap tidak ada jumlah pengunjung, yang datang, maka ditetapkan dengan nilai 0 (nilai minimum).

Berdasarkan kriteria diatas, maka PLN dan PLTMH akan dinilai berdasarkan hal-hal sebagai berikut:

- a. Jumlah pengunjung yang datang karena adanya objek pariwisata (design awal PT. GTS), akan menjadi komponen penilaian untuk PLN (nilai absolut PLN).
- b. Jumlah pengunjung yang datang karena adanya objek edu-ecowisata PLTMH, akan menjadi komponen penilaian untuk PLTMH (nilai absolut PLTMH).

Nilai relatif kondisi BAU (PLN) dan kondisi alternatif (PLTMH) berdasarkan nilai minimum-

maksimum dalam setiap indikator, ditentukan dengan sesuai dengan persamaan (13) dan persamaan (14).

$$a. N_{BAU} = 1 - \frac{N(\text{maks})-N(\text{absolut})}{N(\text{maks})-N(\text{min})} \tag{13}$$

$$b. N_{ALT} = 1 - \frac{N(\text{maks})-N(\text{absolut})}{N(\text{maks})-N(\text{min})} \tag{14}$$

### V. PERHITUNGAN

#### Potensi Daya Listrik PLTMH

Perhitungan untuk membuat estimasi daya listrik yang dapat dibangkitkan adalah sebagai berikut :

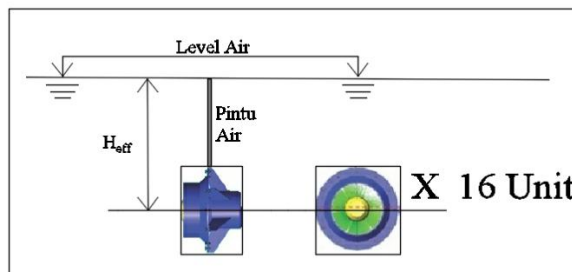
- a. Kecepatan aliran air Sungai Cikeas, debit sesaat yang tercatat 2.038 m<sup>3</sup>/s.
- b. Spesifikasi Turbin: Debit air (Q) desain 0.120 m<sup>3</sup>/s, Head 1 m, Efisiensi desain 43 %, Daya turbin efektif 500 watt, Kecepatan putaran spesifik 173.2 rpm, Dimensi diameter luar turbin 0.3 m, Jumlah sudu 6 blade.

Jumlah turbin yang dapat dipasang adalah sebagai berikut:

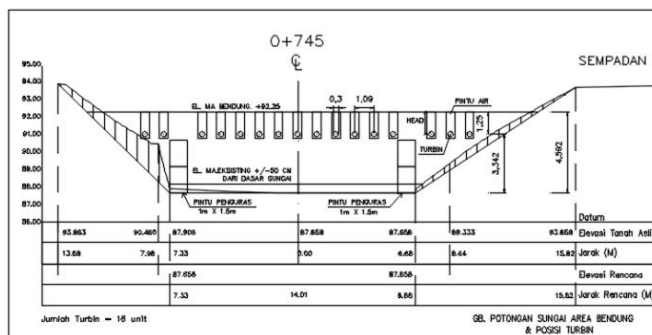
$$\begin{aligned} \text{Jumlah turbin} &= \text{debit sesaat} : \text{debit design} \\ &= 2.038 \text{ m}^3/\text{s} : 0.120 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 16.98 \text{ unit.} \end{aligned}$$

Dengan demikian, maka dipilih jumlah turbin yang akan dipasang sebanyak 16 unit.

Ilustrasi tampak dan potongan turbin propeller head rendah serta penentuan head disajikan pada gambar 13, dan gambar potongan sungai Cikeas diarea bendung dan posisi pemasangan turbin di bendung sungai Cikeas, diperlihatkan pada gambar 14.



Gambar 13. Tampak dan Potongan Turbin Propeller Head Rendah; Penentuan Head [11]



Gambar 14. Potongan Sungai Cikeas diarea Bendung & Posisi Pemasangan Turbin

Daya potensial yang dapat dibangkitkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7):

$$P_{net} = \rho \times g \times Q \times H \times \eta$$



dimana:

$P_{net}$  = daya listrik yang dihasilkan (w)

$\rho$  = massa jenis air 1,000 kg/m<sup>3</sup>

$g$  = gravitasi dengan nilai 9.8 meter/detik<sup>2</sup>

$Q$  = debit air dalam meter kubik per detik (m<sup>3</sup>/detik)

$H$  = head dalam meter

$\eta$  = efisiensi = 70 %

Dengan demikian, maka:

$$P_{nett} = 1,000 \times 9.81 \times 2.038 \times 1.25 \times 0.7 \\ = 17.493 \text{ kW} \approx 17.5 \text{ kW}$$

Daya Turbin Efektif dengan menggunakan 16 buah turbin @500watt

$$= 16 \text{ unit} \times 500 \text{ watt}$$

$$= 8,000 \text{ watt} = 8 \text{ kW}$$

Daya tersebut dapat digunakan untuk melayani salah satu beban listrik yang ada di kawasan PGV. Salah satu beban terdekat yang dapat dilayani adalah Kantor Pemasaran PGV, khususnya untuk beban penerangan dan stop kontak pada gedung lantai 2.

### Ketahanan Energi

#### Aspek Availability:

Penilaian untuk aspek *availability* disajikan dalam tabel 4.

Tabel 4: Penilaian untuk Aspek *Availability*

	Maksimum	PLN	PLTMH	Minimum
Ketersediaan listrik dalam satu tahun (jam)	Listrik tersedia tanpa pemadaman: per tahun = 8760 jam	SAIDI: RUPLT PLN 2019-2018, per Sept 2018: 9.88 ≈ 10 jam/pelanggan/tahun.	<i>Availability factor</i> PLTMH: 60% [14]	Tanpa ketersediaan listrik
		Produksi listrik PLN per tahun (jam) = 8760-10 = 8750 jam	Produksi listrik PLTMH per tahun (jam) = 8760 x 60% = 5256 jam	
	8760	8750	5256	0
Nilai	1	0.999	0.60	0

Dalam tabel tersebut dibandingkan ketersediaan listrik antara PLN dan PLTMH dalam durasi produksi listrik. Dapat dilihat bahwa nilai PLTMH masih dibawah PLN karena PLTMH perlu waktu khusus untuk pembersihan lumpur, sedimen serta sampah/kotoran secara berkala.

#### Aspek Accessibility:

Penilaian untuk aspek *accessibility* disajikan dalam tabel 5.

Tabel 5: Penilaian untuk Aspek *Accessibility*

	Maksimum	PLN	PLTMH	Minimum
Jarak dari sumber listrik ke beban (meter)	Panjang saluran kabel dari kWh meter Sekolah IHF ke MDP Sekolah IHF (saluran kabel TR terpendek di kawasan PGV)	Panjang saluran kabel dari kWh meter Kantor Pemasaran ke MDP Kantor Pemasaran	Panjang saluran kabel dari Panel PLTMH ke MDP Kantor Pemasaran	Panjang saluran kabel dari kWh meter Kantor Project ke MDP Kantor Project (saluran kabel TR terpanjang di kawasan PGV)
	23.5	53	80	210
Nilai	1	0.84	0.70	0

#### Aspek Affordability:

##### a. Biaya Pembangunan PLTMH

Perumusan perhitungan biaya pembangunan PLTMH dalam penelitian ini mengacu kepada rumus empirik yang digunakan oleh Ridwan [11] dalam membandingkan biaya pembangunan PLTMH head rendah dengan sistem tanpa penstok vs dengan penstok dalam study kasus di desa Bintar, Nunukan Kalimantan Timur. Berdasarkan persamaan (8) sampai persamaan (12), maka perhitungan estimasi biaya investasi untuk PLTMH yang dibangun di Sungai Cikeas disajikan dalam tabel 6. Perhitungan biaya per kilowatt, sebagai berikut :

Tabel 6: Perhitungan Biaya per kilowatt

Uraian Pekerjaan	Total (Rp.)
<b>A. Komponen Pekerjaan Sipil</b>	
A.1. Bendung dan Intake Turbin	12,155,341
A.2. Powerhouse	91,023,448
<b>Total (A)</b>	<b>103,178,788</b>
<b>B. Komponen Pekerjaan Elektrikal-Mekanikal</b>	
B.1. Turbines dan governor	65,822,832
B.2. Generator dan sistem eksitasi	82,891,034
B.3. Peralatan elektrikal dan mekanikal	42,693,901
<b>Sub Total (B)</b>	<b>191,407,767</b>
<b>Total Investasi (A+B)</b>	<b>294,586,555</b>
<b>Daya Yang Dapat Dibangkitkan (kW)</b>	<b>8</b>
<b>Total Investasi/kW (Rp./kW)</b>	<b>36,823,319</b>

##### b. Biaya Pemeliharaan

Biaya pemeliharaan per tahun sebesar 1 % dari investasi awal adalah Rp. 2,945,865 / tahun.

Total biaya dengan mempertimbangkan investasi awal (A+B) dan biaya pemeliharaan selama 10 tahun, adalah:

$$\text{Total Biaya: } \left\{ (294.586.555 + \frac{2.945.865}{\text{tahun}} \times 10 \text{ tahun} = 324.045.211) \right\} \text{ rupiah.}$$

##### c. Energi Yang Diproduksi Selama Masa Pakai

Energi yang dapat diproduksi untuk 1 tahun adalah: Energi (W) = Potensi pembangkitan × jam (1 tahun) × Availability factor, atau:

$$W = 8 \text{ kW} \times (24 \times 365) \times 60\% = 42,048 \text{ kWh}$$

Jadi, besar energi yang diproduksi selama 10 tahun adalah:

$$W_{10 \text{ tahun}} = 42,048 \times 10 = 420,480 \text{ kWh}$$

#### d. Perhitungan LCOE

Selanjutnya, LCOE dihitung dengan membagi 'biaya sistem' dengan total kWh yang diproduksi selama 10 tahun. Total biaya dengan mempertimbangkan investasi awal dan biaya pemeliharaan selama 10 tahun, adalah:

$$\begin{aligned} \text{LCOE} &= \text{Rp. } 324,045,211 / 420,480 \text{ kWh} \\ &= \text{Rp. } 770.66 / \text{kWh} \end{aligned}$$

Penilaian untuk aspek *affordability* disajikan dalam tabel 7.

Tabel 7: Penilaian untuk Aspek *Affordability*

	Maksimum	PLN	PLTMH	Minimum
Harga satuan energi listrik (Rp/kWh)	Biaya pokok penyediaan tenaga listrik nasional tahun 2015, berdasarkan RUEN (PP no.79 thn 2014): untuk PLTA	TDL : Permen ESDM No. 28 tahun 2016; Tarif B2/TR	LCOE	Biaya pokok penyediaan tenaga listrik nasional tahun 2015, berdasarkan RUEN (PP no.79 thn 2014): untuk PLTS
	388	1,352	770.66	8,786
Nilai	1	0.89	0.95	0

#### Aspek *Acceptability*, Indikator Emisi CO<sub>2</sub>

Penilaian untuk aspek *acceptability*, indikator Emisi CO<sub>2</sub> disajikan pada tabel 8.

Tabel 8: Penilaian untuk Aspek *Acceptability*, Indikator Emisi CO<sub>2</sub>

	Maksimum	PLN	PLTMH	Minimum
Emisi CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> /MWh)	Tanpa emisi CO <sub>2</sub>	Tidak ramah lingkungan, menghasilkan emisi CO <sub>2</sub> dalam proses produksi listrik. RUPTL PLN 2019-2018, hal 215 : Faktor emisi sistem ketenaga listrikan tahun 2019 : 817 kg CO <sub>2</sub> /MWh	Ramah lingkungan, tidak menghasilkan emisi CO <sub>2</sub>	PLTU sebagai Pembangkit yang menghasilkan paling banyak emisi CO <sub>2</sub> : 929 kg CO <sub>2</sub> /MWh
	0	817	0	929
Nilai	1	0.12	1	0

#### Aspek *Acceptability*, Indikator Objek Pariwisata

Penilaian untuk aspek *acceptability*, indikator objek pariwisata, disajikan pada tabel 9.

Tabel 9: Penilaian untuk Aspek *Acceptability*, Indikator Objek Pariwisata

	Maksimum	PLN	PLTMH	Minimum
--	----------	-----	-------	---------

Objek pariwisata (orang)	Jumlah pengunjung yang datang karena adanya objek pariwisata ditambah jumlah pengunjung yang datang karena adanya objek edu-ecowisata PLTMH	Pengunjung pariwisata, asumsi jumlah orang per bulan	Edu-ecowisata PLTMH dapat menambah jumlah pengunjung yang datang ke area PGV (faktor 80%)	Tidak mempengaruhi jumlah pengunjung
--------------------------	---	--	---	--------------------------------------

	20,066	19,215	19,896	0
Nilai	1	0.96	0.99	0

#### Indeks Ketahanan Energi

Setelah melakukan penelitian dan analisis, didapatkan resume nilai PLN dan PLTMH berdasarkan aspek ketahanan energi yang disajikan pada tabel 10.

Tabel 10: Resume Nilai PLN dan PLTMH Berdasarkan Aspek Ketahanan Energi

No.	Aspek	Indikator	PLN	PLTMH
1	<i>Availability</i>	Ketersediaan listrik dalam satu tahun	0.999	0.60
2	<i>Accessability</i>	Jarak dari sumber energi ke beban	0.84	0.70
3	<i>Affordability</i>	Harga satuan energi listrik	0.89	0.95
4	<i>Acceptability</i>	a. Emisi gas CO <sub>2</sub>	0.12	1
		b. Objek pariwisata	0.96	0.99
<b>TOTAL SKOR</b>			<b>3.8</b>	<b>4.23</b>
<b>RATA-RATA</b>			<b>0.76</b>	<b>0.85</b>

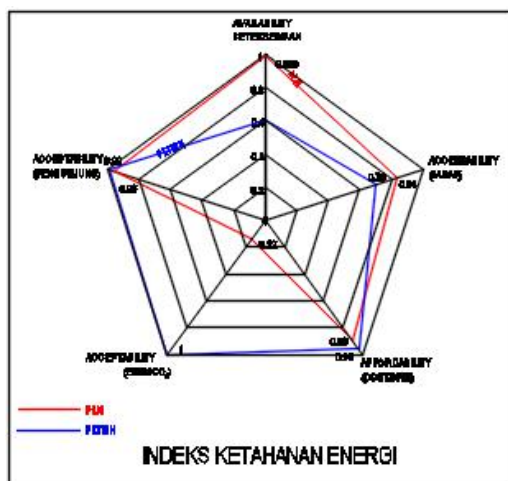
Berdasarkan aspek sebagaimana tabel 10, maka selanjutnya dibuat perbandingan antara PLN dan PLTMH sebagai berikut:

- Aspek *Availability*, indikator ketersediaan listrik dalam satu tahun, dapat dilihat bahwa nilai PLTMH masih dibawah PLN karena PLTMH perlu waktu khusus untuk pembersihan lumpur, sedimen serta sampah/kotoran secara berkala.
- Aspek *Accessability*, indikator jarak dari sumber energi ke beban, dapat dilihat bahwa nilai PLTMH lebih rendah dari PLN karena jarak dari Panel Kontrol PLTMH ke MDP Kantor Pemasaran relatif lebih jauh dibandingkan dengan jarak dari kWh PLN ke MDP Kantor Pemasaran, jarak dari sumber listrik ke beban tersebut dibandingkan terhadap jarak terjauh saluran kabel listrik PLN tegangan rendah yang ada di kawasan proyek PGV.
- Aspek *Affordability*, indikator harga satuan energi listrik, dapat dilihat bahwa nilai PLTMH lebih besar dari PLN, karena biaya produksi listrik yang lebih murah.
- Aspek *Acceptability*, indikator emisi gas CO<sub>2</sub>, dapat dilihat bahwa nilai PLTMH lebih besar dari PLN, karena PLTMH merupakan pembangkit

yang ramah lingkungan, sehingga tidak menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> yang dapat berkontribusi dalam pemanasan global (*global warming*).

- e. Aspek *Acceptability*, indikator objek pariwisata, dapat dilihat bahwa nilai PLTMH lebih besar dari PLN, karena dengan adanya PLTMH diharapkan jumlah pengunjung yang datang bertambah, dengan adanya daya tarik tambahan, berupa objek edu-ecowisata.

Berdasarkan tabel resume atas perhitungan ke 4 (empat) aspek diatas, didapat indeks ketahanan energi, seperti diperlihatkan pada gambar 14.



Gambar 14. Indeks Ketahanan Energi

Dari indeks ketahanan energi diatas dapat ketahu secara rata-rata, PLTMH dengan skor 0.85 lebih besar dari PLN dengan skor 0.76

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Penilaian tingkat ketahanan energi listrik di Kantor Pemasaran PGV sudah dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) aspek ketahanan energi, yaitu aspek *availability*, *accessability*, *affordability*, dan *acceptability*.
2. Penilaian PLTMH pada aspek *availability*, *accessability* lebih kecil dibandingkan PLN, sedangkan penilaian PLTMH pada aspek *affordability*, dan *acceptability* lebih besar dibandingkan dengan PLN.

### Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisis tingkat ketahanan energi dengan tambahan skenario lainnya di area PGV sebagai berikut:

- a. Gabungan PLN dan PLTMH,
- b. Penerapan PLTS dan
- c. Penerapan PLTB.

## VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] RUPTL 2019-2028 PT PLN (Persero), Keputusan Menteri ESDM No. 39K/20/MEM/2019 tanggal 20 Februari 2019.

- [2] Ridwan Arief Subekti, Anjar Susatyo, Pudji Irasari, Design and Analisis of the Prototype of Pico Hydro Scale Submersible Type Turbine-Generator for Flat Flow River. "Teknologi Indonesia Volume 35, No.3, 2012.
- [3] Sudibyo.H., "Teknologi Energi Terbarukan Turbin Air Head Rendah Piko hidro Mendukung Pertanian Indonesia", Seminar Nasional 2018: Renewable Energy and Smart Energy System, Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia (UKI), Jakarta.
- [4] PP NO.79 tahun 2014 tentang Ketahanan Energi Nasional.
- [5] Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional, Buku Ketahanan Energi Indonesia 2017, Buku Ketiga. Jakarta, 2017.
- [6] Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Kajian Penyediaan Dan Pemanfaatan Migas, Batubara, EBT Dan Listrik, Cetakan pertama, Desember 2017.
- [7] JICA, IBEKA, Manual Pembangunan PLTMH
- [8] Fakultas Teknik UKI, Panduan Survei Untuk Memprediksi Kapasitas Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), Cetakan Pertama, April 2014.
- [9] Ahmed M.A. Haidar, Mohd F.M. Senan, Abdulhakim Noman, Taha Radman, "Utilization of pico hydro generation in domestic and commercial loads", Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 518– 524.
- [10] Guide to uk mini-hydro developments <http://www.british-hydro.org/mini-hydro/download.pdf>
- [11] Ridwan Arief Subekti and Pudji Irasari, "Techno-Economic Comparative Study of Very Low Head Hydro Power: Case Study in Bintar Village, Nunukan, East Kalimantan." Teknologi Indonesia 37 (2) 2014: 90–99
- [12] Kurs INR ke IDR tanggal 15/07/2019 <https://id.exchange-rates.org/Rate/INR/IDR/2019-07-15>
- [13] PT. Graha Tunas Selaras, Adendum ANDAL dan RKL-RPL Rencana Kegiatan Pembangunan Permukiman Terpadu PT. Graha Tunas Selaras, Tbk, 20 Maret 2019.
- [14] USAID, Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro, 2016 – hal.25
- [15] Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, No. 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) – hal.17.
- [16] Ridwan Arief Subekti, "Pemanfaatan Saluran Irigasi sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Kecil di Desa Beloto Nusa Tenggara Timur". Rimtek 2013. September 2013.
- [17] Nana Heryana, Robinson Purba, Qamaruzzaman, "Analisis Potensi Daya Listrik pada Feasibility Study Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro-

- Aries-Banjarnegara-Jawa Tengah”. Seminar Nasional UKI. Oktober 2018.
- [18] Ridwan Arief Subekti, Anjar Susatyo, Jon Kanidi, “Analisis casing turbin kaplan menggunakan software computational fluid dynamics/CFD fluent 6.2.16”. Seminar Nasional Teknik Kimia, 2018.
- [19] Dr. Uhar Suharsaputra, M.Pd., “Metode Penelitian, Kuantitatif, Kualitatif dan Tindakan” PT. Refika Aditama, Cetakan Kesatu, April, 2012.
- [20] John W. Creswell., “Research Design, Pendekatan Metode Kualitatif, Kuantitatif dan Campuran” PUSTAKA PELAJAR, Cetakan II, 2017.