

Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Desa Tingkem

Abdul Syafi^{1,a}, Khairullah Yusuf^{1,b*}, Joni Arfiandi^{2,c}

¹Magister Teknik Sipil, Universitas Malikussaleh, Aceh, 24353, Indonesia

²Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Malikussaleh, Aceh, 24353, Indonesia

^arisyaf@yahoo.com; ^bkhairullah@unimal.ac.id; ^cjonicalue@gmail.com

*Corresponding author E-mail: khairullah@unimal.ac.id

ABSTRACT - Micro Hydro Power Plant (PLTMH) is a small-scale hydropower plant with an installed capacity of under 200 kW that uses water flow from rivers, irrigation channels, or natural waterfalls by utilizing potential waterfalls head at the proposed site. This study discusses the planning and equipment needed for the PLTMH located in rural area such as Tingkem Village to supply the electricity to the local residents. The research also includes the technical feasibility study aspect by surveying the hydrological potential and the height of the waterfall at the proposed site. Based on the study, the electricity needs of the residents of Tingkem Village at a peak load of 20kW. The hydrological and survey data show that the potential of water discharge in the Aih Tilis river in Tingkem Village is about 0.95 m³/s with a flow discharge designed of 0.38 m³/s and has a head about 7.5 m so that it can generates a power of 28 kW for the electrification of the local residents. Based on the head, discharge plan and installed capacity, the appropriate turbine type is cross flow type and the generator type is synchronous generator type. Based on the findings, it can be said that the PLTMH is suitable to be developed in the Tingkem Village.

ABSTRAK - Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah sebuah pembangkit listrik tenaga air dengan skala kecil dengan kapasitas terpasang di bawah 200 kW yang menggunakan aliran air dari saluran irigasi, sungai, atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjun air yang tersedia di lokasi pembangunan. Penelitian ini membahas mengenai teknik perencanaan serta peralatan yang diperlukan pada PLTMH yang terletak di pedesaan seperti Desa Tingkem untuk memenuhi kebutuhan listrik warga setempat. Penelitian termasuk kajian kelayakan secara teknis dengan mensurvei potensi hidrologi dan potensi tinggi jatuh (head) yang terdapat di lokasi rencana pembangunan PLTMH. Berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan listrik warga Desa Tingkem pada beban puncak sebesar 20kW. Hasil survei di lapangan memperlihatkan bahwa potensi debit air yang ada di sungai Aih Tilis Desa Tingkem adalah sebesar 0,95 m³/det dengan debit air yang direncanakan pada saluran pembelokan sebesar 0,38 m³/det dan memiliki tinggi terjun 7,5 m sehingga dapat menghasilkan daya sebesar 28 kW yang cukup untuk memenuhi kebutuhan warga setempat. Berdasarkan head, debit rencana dan kapasitas terpasang tersebut maka jenis turbine yang sesuai adalah jenis cross flow dan jenis generator adalah jenis generator sinkron. Berdasarkan parameter di atas, dapat disimpulkan bahwa pada Desa Tingkem tersebut sangat memungkinkan untuk dibangun PLTMH.

Kata kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, debit air, head, turbin, generator, beban.

1. PENDAHULUAN

Dalam aktivitas sehari-hari, tingkat penggunaan listrik di pedesaan dihitung masih sangat rendah, terutama bila dibandingkan dengan tingkat penggunaan listrik di daerah urban atau perkotaan. Pelistrikan di

pedesaan merupakan salah satu hal terpenting untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat pedesaan dan untuk mengurangi kesenjangan antara kehidupan perkotaan dengan pedesaan. Untuk itu pemerintah telah memasukkan pembangkit listrik tenaga air seperti PLTMH sebagai salah satu sumber energi untuk

masyarakat khususnya masyarakat pedesaan. Pembangunan PLTMH diharapkan juga dapat menjadi salah satu pilihan dalam kebijakan pemerintah dalam memenuhi target dengan total kapasitas terpasang sebesar 35GW. Indonesia yang sangat kaya dengan potensi energi dari sumber alam tentu akan bisa digunakan sebagai alternatif terhadap sumber energi yang berasal dari sumber fosil.

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan merupakan suatu pembangkit yang mampu alternatif yang tepat di pedesaan yang banyak terdapat sungai-sungai kecil. Keuntungan dari PLTMH adalah penggunaan teknologi tidak rumit sehingga sesuai dengan kondisi topografi dan akses yang tersedia di pedesaan. Selain itu, distem distribusi juga bisa dilakukan langsung ke masyarakat tanpa harus melalui jalur listrik nasional atau jalur transmisi yang dimiliki oleh PT PLN Persero.

Dalam buku pedoman PLTMH (2001) menjelaskan bahwa PLTMH merupakan pembangkit listrik tenaga air yang memanfaatkan aliran air (*flow*) sungai, air terjun atau sumber dari irigasi. PLTMH ini mempunyai beberapa kelebihan antara lain:

1. Energi terbarukan
2. Teknologi yang relatif sederhana dan memadai
3. Biaya operasional dan perawatan yang relatif kecil
4. Mempunyai potensi yang masih sangat luas dan tersebar hampir di semua wilayah Indonesia (Deputi bidang produksi. 2001)

Dalam rangka memenuhi kebutuhan kelistrikan di wilayah pedesaan yang tidak terjangkau oleh PT. PLN (Persero), maka pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ini diharapkan memberikan solusi yang tepat untuk kelistrikan di pedesaan dan diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi dari bahan bakar minyak dan gas.

2 PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

2.1 Gambaran Umum

Kebutuhan energi listrik untuk daerah pedesaan relatif kecil yaitu berkisar antara 10 s/d 150 kW, dimana pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas di bawah 200 kW sangat cocok digunakan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah pedesaan.

PLTMH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil (dibawah 200 kW) yang menggunakan aliran air sungai, air saluran irigasi, atau air terjun alam. Sistem kerja PLTMH dengan memanfaatkan tinggi jatuh (*head*) air dan jumlah debit air yang ada.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini biasanya dibangun di wilayah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PT. PLN dan menjadi salah satu program pemerintah untuk masa 5 s/d 10

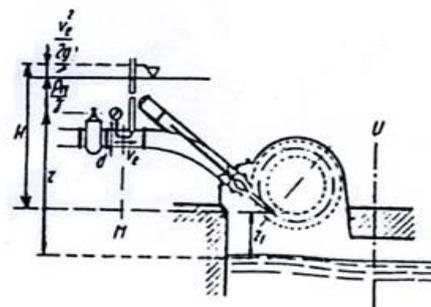
tahun kedepan. Pada umumnya PLTMH mengadopsi sistem *run of river* dimana tidak ada air yang disimpan di belakang bendungan dan air lebih akan melimpah melalui bangunan pelimpah (*spillway*). Selain itu *head* atau ketinggian diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, melainkan dengan mengalihkan aliran air sungai ke suatu sisi sungai dan menjatuhkannya kembali ke sungai tersebut tanpa merusak vegetasi dan ekosistem yang ada pada sungai tersebut. Venus, dkk (2020) menyimpulkan bahwa pembangkit listrik skala kecil termasuk Mikrohidro akan memainkan peran penting dalam industri energi terbarukan di masa yang akan datang. Dametew (2016) menambahkan bahwa jenis pembangkit hidro ini merupakan salah satu pembangkit listrik yang hemat biaya dan teknologi yang ramah lingkungan dan sangat sesuai untuk dipertimbangkan baik elektrifikasi pedesaan di negara berkembang maupun negara maju.

Sistem PLTMH jenis *run of river* umumnya menggunakan pipa untuk mengalirkan air menuju rumah pembangkit (*powerhouse*). *Powerhouse* ini umumnya dibangun tidak jauh dari tebing sungai. Aliran air dari pipa akan menuju ke turbin dan melalui jet noselnya air akan keluar dengan kecepatan tertentu dan memutar roda turbin (*runner*), kemudian air tersebut akan mengalir kembali ke sungai asalnya melalui sebuah saluran keluar atau sering disebut sebagai *tailrace* (Dinas Pertambangan dan Energi. 1999).

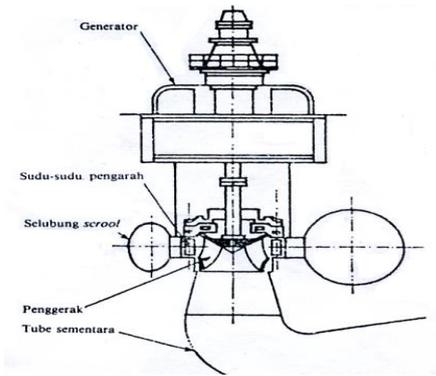
Aliran air tersebut akan berubah menjadi energi mekanik yang dihasilkan melalui putaran poros (*shaft*) turbin akan diubah menjadi energi listrik melalui sebuah generator (Patty, 1995).

2.2 Turbin Air

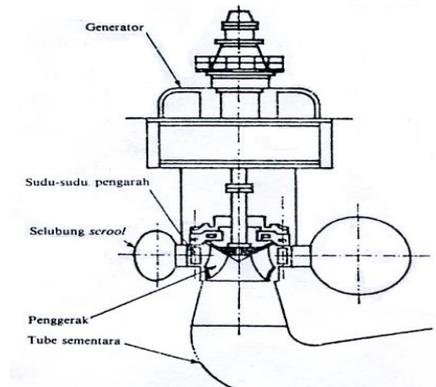
Secara umum, terdapat dua jenis turbin air yang sering digunakan pada pembangkit listrik tenaga mini hidro yaitu turbin *impulse* (Gambar 2.1) dan *reaction* (Gambar 2.2). Beberapa jenis turbin yang termasuk ke dalam jenis *impulse* seperti pelton dan turgo. Sementara itu yang termasuk ke dalam jenis *reaction* seperti francis dan Kaplan.



Gambar 2.1 Turbin Impuls (Patty 1995, hal.92).



Gambar 2.2 Turbin Reaksi (Dandekar & Sharma 1991, hal.408).



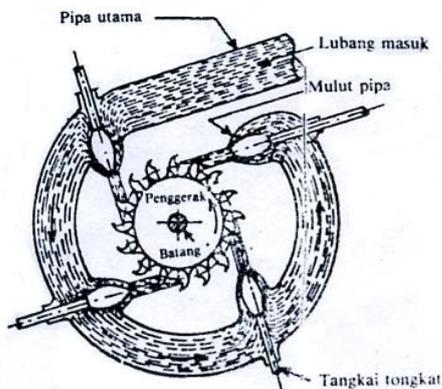
Gambar 2.4 Turbin francis (Dandekar & Sharma 1991, hal.408).

2.3 Turbin Pelton

Turbin pelton sangat sesuai digunakan pada pembangkit listrik tenaga air dengan perbedaan tinggi jatuh (*head*) yang besar dan dengan debit air yang kecil. Banyaknya pancaran dapat dibuat dari satu hingga empat pancaran melalui nozzle dengan kapasitas pipa pancaran ditentukan oleh diameter turbin.

Komponen-komponen utama dari turbin jenis pelton adalah:

- Mempunyai pipa nozle yang berfungsi untuk mengarahkan aliran jet air.
- Runner yang menggunakan energi kinetis aliran jet air.
- Kotak penutup untuk mengamankan runner dan nozle.
- Alat pengatur kecepatan aliran agar kecepatan tetap sama pada berbagai beban (*load*).



Gambar 2.3 Turbin Pelton (Dandekar & Sharma 1991, hal.404).

2.4. Turbin Francis

Sementara itu, komponen-komponen utama dari turbin francis adalah:

- Rumah spiral yang menerima air dari pipa pesat dan mengarahkan aliran air ke turbin.
- Bagian turbin yang berputar.
- Pipa pelepas air yang meneruskan air dari turbin ke saluran pembuang.

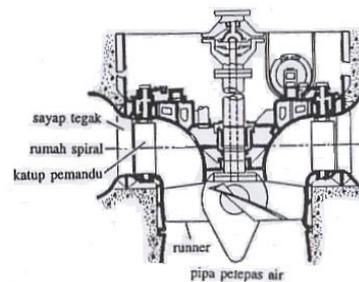
Fungsi rumah spiral adalah membagi rata air yang diterima dari pipa pesat sekeliling turbin.

2.4. Turbin Kaplan

Bagian-bagian turbin ini sama seperti turbin francis yaitu:

- Rumah spiral.
- Turbin.
- Pipa pelepas air.

Turbin kaplan yang bertekanan rendah mempunyai 4 sampai dengan 6 daun (*blade*), sedangkan Kaplan yang bertekanan tinggi terdiri dari 8 blade. Blade ini dibuat dari baja yang tahan karat dan mampu menahan pengaruh kavitasi. Turbin kaplan umumnya mempunyai hanya satu *shaft* yang menghubungkan turbin dan generator (Patty 1995, hal.98).



Gambar 2.5 Turbin Kaplan (Patty 1995, hal.98).

3. TEKNIK PERENCANAAN DAERAH TANGKAPAN AIR, PERHITUNGAN DEBIT AIR, DAYA TURBIN, GENERATOR DAN BEBAN

3.1 Pengukuran Debit Air

Untuk menghitung besar debit sungai dapat digunakan rumus umum (Dinas Pertambangan dan Energi. 1999).

$$Q = L \times D \times V \text{ (m}^3\text{/det)} \dots\dots\dots(1)$$

$$Q = V \times A \text{ (m}^3\text{/ det)} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

Q = Besar debit air (m³/det)

L = Lebar sungai (m)

D = Tinggi muka air (m)

V = kecepatan aliran air (m/det)
 A = Luas penampang basah sungai (m²)

Untuk menghitung luas penampang sungai dapat dilakukan dengan membagi penampang basah sungai kedalam beberapa bagian sehingga bisa mewakili bentuk penampang sungai keseluruhan. Pada masing-masing bagian penampang sungai dilakukan pengukuran kecepatan air dan kedalaman air.

Debit total dari sungai tersebut dapat dihitung dengan rumus (Dinas Pertambangan dan Energi. 1999).

$$Q_{total} = A_1 \cdot V_1 + A_2 \cdot V_2 + A_3 \cdot V_3 + \dots + A_n \cdot V_n \dots (3)$$

Untuk menghitung daya yang dibangkitkan oleh air maka dapat digunakan rumus (Dinas Pertambangan dan Energi. 1999).

$$P_{input} = \frac{Q \times S \times H}{75} \dots (hp) \dots (4)$$

Dimana:

- P = Kapasitas terpasang (kW)
- Q = Debit air (m³/det)
- H = Tinggi terjun air (m)
- S = Massa jenis air.

Maka:

$$P_{input} = \frac{Q \times 1000 \times H}{75} \dots (hp)$$

$$= 13,33 QH (hp)$$

$$= 0,736 \times 13,33 QH$$

$$P_{input} = 9,8 QH (kW) \dots (5)$$

3.2 Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin adalah daya yang dibangkitkan oleh sejumlah air yang menekan sudu-sudu turbin. Daya turbin dapat dihitung dengan persamaan berikut ini (6).

$$N_t = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_e \cdot \eta_t}{75} \dots (6)$$

- Dimana: N_t = daya turbin air (HP)
 γ = berat jenis air (1000 kg/m³)
 Q = kapasitas air (m³/det)
 H_e = head efektif (m)
 η_t = efisiensi turbin (%)

3.3 Perhitungan daya generator

Daya adalah laju atau kemampuan dalam melakukan kerja atau laju pengeluaran energi. Dalam

satuan SI, satu watt didefinisikan sebagai sesuatu yang sama dengan kerja yang dilakukan pada laju satu joule setiap detik. Watt juga didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan atau kerja yang dilakukan setiap detik oleh arus 1 A yang tidak berubah yang mengalir pada tegangan 1 volt. Atau:

$$P = I V \dots (7)$$

- Dimana: P = daya listrik (watt)
 I = arus listrik (amper)
 V = tegangan (volt)

Dengan kata lain, watt adalah ukuran laju muatan listrik bergerak melalui suatu perbedaan potensial. Dari hukum Ohm dinyatakan:

$$V = IR \dots (8)$$

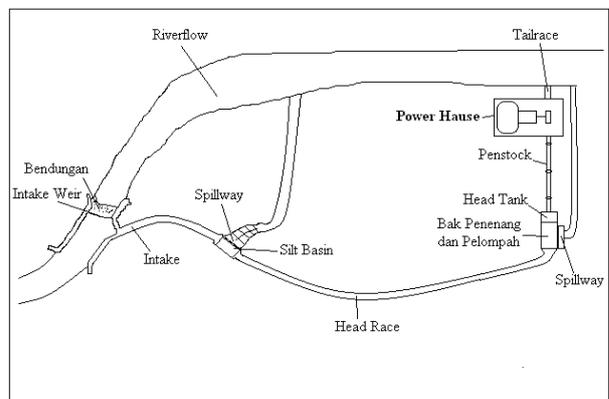
Maka dapat disubstitusikan, bahwa rumus lain dari daya adalah:

$$P = IV = I^2 R$$

$$P = I^2 R \dots (9)$$

3.4 Perencanaan Daerah Tangkapan air

Dalam merencanakan sebuah PLTMH dapat diketahui dulu karakteristik dari sungai dimana lokasi PLTMH akan dibangun. Dengan kata lain harus diketahui keadaan hidrologi serta daerah tangkapan tempat air tersebut. Maksud dari pemantauan daerah tangkapan air ini adalah untuk mengetahui luas wilayah daerah aliran air dan tangkapan air guna memberikan informasi karakteristik aliran sungai. Pemantauan ini didasarkan pada ramalan-ramalan dari data terdahulu dan masukan atau wawancara dengan penduduk setempat yang tinggal disekitar sungai/lokasi.



Gambar. 3.1 Saluran tangkapan air dan teknik penyaluran air pada PLTMH yang direncanakan.

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa aliran sungai Aih Tilis yang dialihkan sebagian kerencana pengalihan serta pengambilan air untuk PLTMH.

3.5 Data Perekonomian Penduduk dan Beban

Desa Tingkem Kecamatan Kuta Panjang merupakan daerah perkebunan dan persawahan serta termasuk daerah Taman Nasional Gunung Leuser. Berdsarkan hasil wawancara dengan masyarakat setempat diperoleh informasi bahwa adanya minat penduduk terhadap tersedianya energi listrik tersebut. Adapun jumlah Kepala Keluarga (KK) Desa Tingkem adalah 48 KK dengan persentase mata pencaharian penduduk adalah sebagai:

- Petani = 93 %
- Pedagang = 5 %
- Lain-lain = 2 %

Dengan pendapatan rata-rata penduduk yaitu Rp.300.000/bulan.

Untuk menghitung kebutuhan energi listrik pada tahun mendatang yang berdasarkan perkembangan penduduk dapat dinyatakan dengan rumus:

$$P = (100\% + b\%)^{n-1} \cdot P_{pakai} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana

- b = Persentase besarnya perkembangan penduduk.
- n = jumlah tahun mendatang

4. ANALISIS SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

4.1 Potensi Sungai Aih Tilis

Dari hasil pengukuran di lapangan diperoleh debit total $Q_t = 0,95 \text{ m}^3/\text{det}$ dan debit air (Q) pada saluran pembelokan = $0,38 \text{ m}^3/\text{det}$ dengan Tinggi terjun (H) yang didapat adalah = 7,5 meter.

Untuk menghitung potensi tenaga air dalam besaran tenaga kuda (hp) yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin dapat dihitung dengan Persamaan (5).

$$P = 9,8 \times Q \times H \text{ (kW)}$$

Jadi potensi daya air yang tersedia dengan perbedaan ketinggian yang ada di Desa Tingkem adalah sebesar

$$P = 9,8 \times 0,95 \times 7,5 = 69,82 \text{ kW}$$

Dalam perencanaan ini akan dibangun satu unit turbin air yang mampu menggerakkan generator dengan daya output sebesar 25 kW.

Jadi besar daya input yang ada pada PLTMH Tingkem adalah

$$P_{input} = 9,8 \times 0,38 \times 7,5 = 27,93 \text{ kW}$$

Daya input adalah daya yang masuk ke dalam sistem pembangkit.

4.2 Turbin

Apabila turbin dan generator digabungkan maka rata-rata kecepatan dari turbin sama dengan kecepatan generator, jadi kecepatan turbin yang direncanakan sesuai dengan kecepatan generator yang direncanakan. Untuk mengetahui daya turbin dapat digunakan rumus pada persamaan (6).yaitu:

$$N_t = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_e \cdot \eta_t}{75}$$

Maka:

$$N_t = \frac{1000 \cdot 0,38 \cdot 7,5 \cdot 0,85}{75}$$

$$= 32,3 \text{ HP}$$

Tabe 4.1. Pemilihan jenis turbin untuk PLTMH

Tinggi Air (M)	Debit m ³ /detik	Kapasitas (kW)	Jenis Turbin
0.5–10	-	-	Simple wood and metal wheel
0.5–2	0.05 – 8	-	Scheider Hydro Engine
2 – 50	3 – 20	-	Axial Flow
2 – 15	1.5 – 40	50–5000	a. Straflo
1.25 - 25	3 – 25	150-3500	b. Turbular
			c. Bulb
1 – 70	3 – 40	-	Kaplan
8 – 300	0.3 – 20	500-5000	Francis
45 – 300	1 – 8	-	Turgo
1 – 200	0.03 – 9	50–1000	Cross Flow, Banki, Mitchel or Obserger
45 - 1000	0.06 – 3	100-5000	Pelton

Sumber : (Kudip, 2002)

Adapun spesifikasi turbin yang direncanakan untuk PLTMH Tingkem adalah sebagai berikut:

- Jenis/tipe : Impuls / Cross Flow
- Putaran : 500 rpm
- Daya : 32,3 HP
- Tinggi jatuh : 7,5 m
- Kapasitas aliran : 0,38 m³/det

4.3 Generator

Generator Sinkron adalah suatu jenis generator listrik yang berputar dengan kecepatan sinkron yang putaran generator ditentukan oleh jumlah kutub yang terpasang pada generator dan besarnya frekuensi yang diinginkan, putaran generator sinkron dapat ditentukan dengan rumus:

$$N = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots(6)$$

dimana:

- N = Putaran generator
- f = Frekuensi listrik yang diinginkan
- p = Jumlah kutub

Jadi

$$N = \frac{120.50}{4}$$

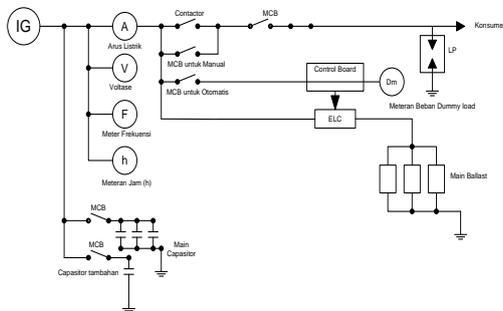
$$= 1500 \text{ rpm}$$

Maka pada PLTMH Tingkem generator yang direncanakan adalah generator sinkron dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Generator : Sinkron
- Kapasitas : 25 kW
- Putaran : 1500 rpm
- Jumlah fasa : 1 fasa
- Tegangan : 220 V
- Frekuensi : 50 Hz
- Kutub : 4 kutub

4.4 Distribusi

Adapun one line diagram yang direncanakan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 One Line Diagram PLTMH Tingkem

4.5 Prakiraan Beban

Untuk memperkirakan jumlah beban yang dilayani oleh PLTMH di desa tersebut adalah sebagai berikut.

- Penerangan rumah penduduk.
 - ✓ Kamar tidur 2 buah @ 25 watt = 50 watt.
 - ✓ Kamar tamu = 50 watt.
 - ✓ Dapur = 50 watt.
 - ✓ Kamar mandi/WC = 25 watt.
 - ✓ Penerangan luar/teras = 50 watt.
 - ✓ TV/tape, lain-lain = 175 watt.
 - Jumlah = 400 watt.

Maka jumlah beban untuk penerangan rumah penduduk adalah.

$$P = 400 \times 48 = 19,200 \text{ W}$$

$$P = 19,2 \text{ kW}$$

- Penerangan jalan sebanyak 20 tiang @ 40 watt
- P = 20 X 40 = 800 watt.

Jadi jumlah daya keseluruhan yang digunakan oleh konsumen adalah

$$P = 19.200 + 800$$

$$P = 20 \text{ kW}$$

Adapun besarnya beban puncak/maksimum yang digunakan oleh warga tersebut adalah sebesar 20 kW. Dengan memperhatikan tingkat perkembangan penduduk sebesar 4%/tahun maka perencanaan sebuah PLTMH untuk 6 tahun mendatang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Daya} = (100\% + 4\%)^{6-1} \cdot 20.000 \text{ watt}$$

$$= 25,3 \text{ kW}$$

maka dalam perencanaan ini keperluan energi listrik untuk 6 tahun mendatang diambil sebesar 25 kW.

5 KESIMPULAN

Dari penjelasan dan hasil analisa di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Potensi air yang ada pada sungai waih tingkem di desa Tingkem adalah sebesar 0,93 m³/det maka sangat memungkinkan untuk membuat suatu Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro
2. Debit air sebesar 0.38 m³/det digunakan untuk pembangkit dengan ketinggian 7,5 m maka menghasilkan daya sebesar 27,93 kW. Dengan demikian maka PLTMH Tingkem mampu melayani kebutuhan daya kekonsumen.

6 REFERENSI

- Dandekar, MM dan Sharma, KN 1991, '*Pembangkit Listrik Tenaga Air*', Universitas Indonesia, UI-Press, Jakarta.
- Dametew, A. W.: Design and analysis of small hydro power for rural electrification. Global Journal of Research in Engineering (2016).
- Dinas Pertambangan dan Energi 1999, '*Diktat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*', Banda Aceh.
- Kadir, A 1987, '*Energi*', UI-Press, Jakarta.
- Lister, 1993, '*Mesin dan Rangkaian Listrik*', Erlangga, Jakarta.
- Musyawir, 1989, '*Perencanaan Turbin Air Low Speed*', Tugas Akhir, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- '*Pedoman Umum Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*', 2001, Jakarta.
- Patty, OF 1995, '*Tenaga Air*', Erlangga, Jakarta.
- Venus, T. E., Hinzmann, M., Bakken, T. H., Gerdes, H., Godinho, F. N., Hansen, B., Sauer, J.: The public's perception of run-of-the-river hydropower across Europe. Energy Policy, 140 (2020).
- Yahya, J 1984, '*Perencanaan Turbin Air Penggerak Generator Listrik*', Tugas Akhir, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.