

OPTIMIZATION OF THE FEASIBILITY OF MICRO HYDRO POWER PLANT (PLTMH) RAMPUSA SUB DISTRICT OF LEMBANG REGENCY PINRANG

Mochammad Apriyadi Hadi Sirad¹, Rosihan Aminuddin²

Department of Electrical, Faculty of Engineering and Informatics,
Patria Artha University ^{1,2}

apriyadi.sirat@patria-artha.ac.id ¹, rosihanaminuddin@patria-artha.ac.id ²

Abstract

Economic growth and basic electrical energy tariff (TDL) that is determined by the Government and PLN is the thing that most affect the usage/consumption of electrical energy, as in the theory of microeconomics, the demand for a commodity including energy electricity is influenced by various factors, including the following: the requested prices of goods, the prices of other goods, income, tastes and prosperity. The provision of electricity is not only meant as a tool for tackling poverty, but also dimaksudkan for equitable development and advance the villages as a force for the national economy. Therefore to meet the need for electric lighting for remote areas need to be created a tool that can reach remote places that are cheap and environmentally friendly, that micro hydro power plant. This research aims to know the feasibility of Micro Hydro power plant Rampusa sub district of Lembang Regency pinrang. This research is the research of ex-post-facto that is descriptive. The sample in this research is to look at the technical aspects of PLTMH. As for side input consists of water discharge (Q) effective falls high (H), the State of the generator, turbine, form the type of pipeline and the turbine House (power house). As for the Power output is generated (P), Village PLTMH rampusa and load Protection installed.

The result of the research of the optimization of the feasibility of Micro Hydro power plant Rampusa sub district of Lembang Regency Pinrang, with discharge water 0.17 m³/sec, 23 m high waterfall with a power generator with a capacity of kW 26.04 20 kVA, kVA 32.55 should use by using different types of crossflow turbine the turbine type France should use, type of PVC pipe 12 "which is above the soil surface that is supposed to be planted in the ground, a burdens attached 23980 VA and cable distribution is used. So a descriptive analysis of the results showed that PLTMH rampusa Village sub district of Lembang Regency Pinrang not feasible from a technical point.

Keywords: Optimization, feasibility, PLTMH, Generator, Rampusa sub district of Lembang Regency Pinrang

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) sebagai suatu pembangkit yang menyuplai kebutuhan listrik di pedesaan, dengan memanfaatkan sumber daya air yang banyak tersedia dipedesaan, menjadi sebuah alternatif penting dalam hal ini, terutama untuk daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara) atau yang tidak termasuk daerah perencanaan jaringan instalasi PLN.

Rampusa adalah salah satu daerah terpencil yang terletak di Kelurahan Betteng Kecamatan Lembang yang sulit dijangkau oleh jaringan PLN. Hal ini di sayangkan mengingat di Kecamatan ini beroperasi salah

satu Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) terbesar di Indonesia Timur yaitu PLTA Bakaru, namun belum dapat menjangkau - di pelosok Desa. Melihat hal ini pemerintah setempat mengeluarkan anggaran untuk pembangunan PLTMH di Rampusa sesuai dengan permintaan masyarakat di Rampusa ini.

Berdasarkan hasil observasi awal yang dilakukan oleh penulis, ternyata PLTMH di Rampusa sudah ada, Namun akhir-akhir ini masyarakat mengeluhkan kurangnya daya listrik yang masuk ke rumah mereka, terutama masyarakat yang jaringan distribusi kerumahnya paling jauh dari pusat PLTMH. Alat elektronik dan alat-alat rumah tangga mereka terkadang jadi hiasan karena daya

yang ada tidak mampu memenuhi daya yang di butuhkan alat elektronik dan alat rumah tangga untuk beroperasi atau bekerja. Mengingat PLTMH ini sangat dibutuhkan masyarakat Rampusa maka perlu diadakan evaluasi kelayakan untuk mengatasi keluhan masyarakat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang berskala kecil, PLTMH secara umum didefinisikan sebagai pembangkit listrik yang memanfaatkan sumber daya air dengan output skala kecil yaitu 5-100 kW. Atau dapat dikatakan bahwa pembangkit listrik tenaga mikrohidro adalah suatu pembangkit yang mengubah tenaga air dengan debit air dan ketinggian tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator kapasitas kecil. Bahwa daya potensial teoritis yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan rumus berikut [2]:

$$P = g \times Q \times H \text{ (kW)} \dots\dots\dots (1)$$

keterangan:

P = daya teoritis (kW)

Q = debit air (m³/detik)

H = tinggi terjun air (m)

g = 9,8 konstanta gravitasi bumi (m/det²)

Daya yang keluar dari generator seperti pada persamaan (1) dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan efisiensi generator dengan daya potensial teoritis, dapat ditentukan dengan persamaan (2 dan 3) berikut ini:

$$9,8 \times Q \times H \times \eta_T \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2)$$

$$9,8 \times Q \times H \times \eta_T \times \eta_G \text{ (kW)} \dots\dots\dots (3)$$

keterangan:

P = daya teoritis (KW)

Q = debit air (m³/det)

H = tinggi terjun air (m)

η_T = efisiensi turbin (%)

η_G = efisiensi generator

Pembangunan PLTMH dapat dilaksanakan di berbagai daerah dengan skala dan kapasitas yang bermacam-macam

tergantung pada keadaan geografis, keadaan geologis dan keadaan hidrologis.

Pada prinsipnya dalam pembangunan seologis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) ada beberapa fasilitas teknis yang perlu ditinjau adalah menyangkut input dan output pembangkit yaitu keadaan lokasi, data teknis peralatan pembangkit. Selain masalah teknis tersebut maka perlu pula diperhatikan dalam pembangunan PLTMH adalah fasilitas non teknis yang menyangkut fasilitas yang terdapat dalam masyarakat itu sendiri, misalnya mengenai keadaan sosial, budaya dan ekonomi masyarakat ditempat pembangkit itu berada.

Mikrohidro dibangun berdasarkan kenyataan bahwa adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu sedangkan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah [10].

Mikrohidro juga dikenal sebagai (*flow capacity*) head dengan terjemahan bebas bisa dikatakan sebagai energi putih. Sebutan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumberdaya yang telah disediakan alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Teknologi sekarang memanfaatkan energi aliran air dan perbedaan ketinggian di daerah tertentu dimana tempat instalasi direncanakan dapat diubah menjadi energi listrik. Sebagaimana disebutkan di atas, mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro berarti kecil sedangkan hidro artinya air [11].

Istilah ini bukan sesuatu yang baku namun dapat dipastikan bahwa mikrohidro menggunakan air *white resources* dengan terjemahan bebas bisa dikatakan sebagai energi putih. Sebutan demikian karena instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumberdaya yang telah disediakan alam dan ramah lingkungan. Suatu kenyataan bahwa alam memiliki air terjun atau jenis lainnya yang menjadi tempat air mengalir. Teknologi sekarang memanfaatkan energi aliran air dan perbedaan ketinggian di daerah tertentu dimana tempat instalasi direncanakan dapat diubah menjadi energi listrik. Sebagaimana disebutkan di atas, mikrohidro hanyalah sebuah istilah. Mikro berarti kecil sedangkan hidro artinya air.

Istilah ini bukan sesuatu yang baku namun dapat dipastikan bahwa mikrohidro menggunakan air sebagai sumber energi. Perbedaan istilah mikrohidro dengan minihidro adalah daya yang dihasilkan. Sebagai penjelasan dapat dilihat pada Tabel 1.

Secara teknis, mikrohidro memiliki 3 komponen utama air sebagai sumber energi, turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin) yang akan menumbuk turbin dimana turbin sendiri dipastikan akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Poros yang berputar tersebut kemudian ditransmisikan ke generator dengan menggunakan kopling. Generator tersebut akan menghasilkan energi listrik yang akan masuk ke sistem kontrol arus listrik sebelum dialirkan ke rumah atau keperluan lainnya (beban). Begitulah secara ringkas proses mikrohidro merubah energi aliran dan ketinggian air menjadi energi listrik [11].

Tabel 1. Klasifikasi pembangkit daya listrik hidro

Kalsifikasi pembangkit	daya	keterangan
Large hydro	100 MW	Pemasok daya listrik pada sistem yang besar
Medium hydro	15 - 100 MW	Pemasok daya pada sistem <i>grid</i>
Small hydro	1 - 15 MW	Pemasok daya listrik sistem <i>grid</i>
Minihydro	100 kW < x < 1 MW	Pembangkit yang berdiri sendiri dalam memasok daya listrik kepada konsumen () atau sebagai pemasok daya listrik pada sistem <i>stand alone schemes</i>
microhydro	5 - 100 kW	Sebagai pemasok daya listrik yang berjumlah sedikit atau industri pedesaan yang terpisah jauh dari sistem <i>grid</i>
Pico hydro	< 5 kW	

(sumber: IMIDAP, 2009)

Faktor-faktor yang mendukung dalam pembangunan PLTMH didaerah pedesaan adalah sebagai berikut [13]:

- Kebijaksanaan pemerintah
- Tersedianya dana yang cukup dan tepat pada waktunya
- Masyarakat desa turut berpartisipasi dalam pembangunan dan pengelolaan PLTMH.

Tujuan pembangunan PLTMH

Proyek pembangunan PLTMH pada dasarnya mempunyai tujuan antara lain:

- Menyebarkan pembangkit listrik berskala kecil dengan menggunakan sungai-sungai kecil atau saluran irigasi yang pada umumnya banyak terdapat dipedesaan.
- Mengembangkan potensial tenaga air untuk membangkitkan tenaga listrik.
- Mengurangi penggunaan bahan bakar minyak dalam membangkitkan tenaga listrik.

Proyek pembangunan tidak lepas dari usaha penyediaan tenaga listrik untuk suatu pedesaan. Dengan tersedianya tenaga listrik maka akan memberikan manfaat antara lain:

- Di Rumah Tangga
 - Untuk penerangan yang lebih murah, lebih mudah, lebih bersih dari pada penerangan minyak.
 - Untuk menyalakan radio dan televisi serta peralatan lain yang sejenisnya akan membawa revolusi tersendiri untuk menghubungkan masyarakat desa yang biasanya tertutup dengan masyarakat diseluruh tanah air dan seluru dunia serta mengikuti perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di era moder ini.
 - Untuk lemari es yang memungkinkan efisiensi dan penghematan bahan makanan yang biasanya tanpa lemari es cepat membusuk.
 - Untuk alat-alat rumah tangga lainnya yang dapat meringankan beban pekerjaan bagi ibu rumah tangga.
- Untuk keperluan lain
 - Untuk penerangan umum
 - Untuk mesin pompa air listrik baik itu irigasi maupun untuk penyediaan air bersih dan keperluan rumah tangga
 - Untuk penerangan pada tempat-tempat kerja sehingga jam kerja tidak terbatas pada siang hari.

- 4) Untuk rekreasi umum di waktu malam

Fasilitas pembangunan PLTMH

Penilaian lokasi sangat menentukan dalam pembangunan PLTMH, karena akan dilihat apakah PLTMH dapat dimanfaatkan secara maksimal atau tidak. Adapun faktor-faktor yang sangat menentukan pemilihan lokasi PLTMH adalah sebagai berikut:

- a. Faktor hidrologis
- b. Faktor geologis
- c. Faktor-faktor lainnya yang menyangkut PLTMH

Bagian - bagian utama dalam PLTMH

Bagian-bagian utama dari suatu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dapat dilihat pada Gambar berikut [12]:

1. Waduk dan Bendungan (Weir and Intake)

Waduk dan bendungan adalah suatu kesatuan yang bekerja sama untuk menampung air. Pada saat air melimpah (musim hujan) maka kelebihan air ini akan ditampung. Jadi apabila saat musim kemarau tiba, relatif masih ada persediaan air guna menyuplai turbin.

Untuk bendungan yang hanya berfungsi mengarahkan air tidak digunakan menampung air, maka bendungan tersebut selayaknya dirancang untuk dapat melewati air pada bagian puncaknya yang juga berfungsi untuk membuang air pada saat kelebihan air terutama pada musim hujan.

2. Saluran Pembawa (intake)

Saluran pembawa harus mempunyai kemampuan untuk membawa air dengan stabil. Desain saluran pembawa air ini harus dibuat dengan memperhatikan tingkat permukaan air pada saat debit minimum. Fungsi intake adalah mengambil dan menjamin kualitas air yang akan masuk ke saluran pembawa.

3. Bak Pengendap (Silt Basin)

Bak pengendap berfungsi untuk menjamin kualitas air yang masuk ke saluran pembawa.

4. Bak Penenang dan Pelimpah

Bak penenang dan Pelimpah mempunyai beberapa fungsi:

- 1) Untuk mengendap material-material yang agak halus seperti pasir.

- 2) Menampung dan mensuplay air terutama pada saat beban puncak.
- 3) Sebagai tangkai pendatar (*surge tank*) pada saat menutup nozzle secara tiba-tiba.

Bak penenang, dan Pelimpah ini pada umumnya harus dibangun sedemikian rupa sehingga tanah dan pasir dapat sepenuhnya mengendap

5. Saluran Pelimpah (spillway)

Saluran pelimpah berfungsi untuk mengantisipasi perbedaan waktu membuang kelebihan air, menyesuaikan tekanan.

6. Pipa Pesat (Penstock)

Pipa pesat berfungsi untuk menyalurkan air dari bak penenang ke dalam turbin. Kontruksi Pipa pesat berfungsi untuk menyalurkan air dari bak penenang ke dalam turbin. Kontruksinya untuk PLTMH dapat terbuat dari pipa baja, pipa beton atau pipa baja yang dilapisi oleh pipa beton. Dalam pembentukan ukuran-ukuran pipa agar tidak terjadi kerusakan pada saat dioperasikan, maka harus diperhitungkan antara lain ; tekanan air yang berlebihan, gesekan korosi dan faktor kontruksi. Untuk menentukan besarnya diameter pipa pesat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5):

$$D = 10.3 \sqrt[n]{Q^2 L / hf} \quad (5)$$

keterangan;

n = koefisien kekasaran (roughness)

untuk welded steel, 0.012

Q = debit desain sebesar m³ / S

L = panjang penstock, m

H = tinggi jatuhnya air (gross head), m

7. Rumah Turbin

Rumah turbin adalah sebuah bangunan yang berisikan turbin air, generator dan mesin-mesin pembantu lainnya, dalam memilih tempat untuk membangun bangunan sentral harus diperhatikan tinggi permukaan air dan keadaan tanah untuk pondasi.

Pada umumnya bangunan sentral (*power house*) direncanakan dengan memilih lokasi dan bentuk bangunan sesuai dengan kondisi tanahnya (*superstructure*) adalah hal

yang penting sekali. Ini ditentukan setelah mempertimbangkan segala kemungkinan seperti, letak geografis, geologi kedudukan timbal balik antara hubungan dan terusannya dan pemeliharannya.

8. Saluran pembuangan

Saluran pembuangan berfungsi menyalurkan (membuang) air dari turbin ke sungai.

Turbin Air

Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerja. Air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah. Dalam hal tersebut air memiliki daya potensial, dalam proses aliran di dalam pipa, energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, dimana air memutar roda turbin [2].

Energi listrik yang di peroleh pada Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) harus melalui turbin untuk menggerakkan memutar rotor generator agar membangkitkan energi listrik, jadi disini turbin (sumber penghasil energi gerak putar) merupakan media parantara[13].

a. Jenis-jenis turbin Air

Ditinjau dari cara pengubahan momentum air, maka turbin air dapat dikelompokkan dalam dua kelompok besar yaitu turbi implus dan turbin reaksi.

1) Turbin implus

Pada turbin implus energi yang tersedia mula-mula dikonversikan menjadi energi kinetik dalam nozzle kemudian diteruskan masuk kedalam penyemprot (jet) yang akan menyemprotkan air kesudut-sudut turbin sehingga rotor berputar, dimana proses ekspansi dari fluida kerja hanya terjadi pada sudut-sudut tetapnya. Yang termasuk dalam kelompok turbin ini adalah turbin pelton, turbin aliran diagonal, turbin banki-mitchel (cross-flow) [2].

Bentuk dari ketiga jenis turbin yang termasuk dalam kelompok turbin implus dapat dilihat pada uraian berikut ini.

- a) Turbin pelton
- b) Turbin aliran diagonal
- c) Turbin banki-Mitchell (cross flow)

2) Turbin reaksi

Pada turbin reaksi motor berputar karena adanya aliran air dan tekanan.

Jadi energi yang diberikan selain energi kinetik juga tekanan dimana proses ekspansi dari fluida kerjanya terjadi baik dalam sudu tetapnya maupun dalam sudu gerakannya. Yang termasuk dalam kelompok turbin reaksi adalah turbin prancis, turbin propeller dan turbin Kaplan [2]. Bentuk dari kelompok turbin reaksi dapat dilihat pada Gambar berikut:

- a) Turbin prancis
- b) Turbin Kaplan (propelle)

b. Kecepatan jenis turbin(specific speed)

Kecepatan spesifik (specific speed) turbin air didefinisikan sebagai jumlah putaran per menit (ppm) dari turbin untuk menghasilkan satu daya kuda pada tinggi terjun H = 1 meter. Untuk menentukan kecepatan jenis turbin pada debit atau ketinggian air tertentu dapat dihitung dengan rumus (6) sebagai berikut:

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}}\dots\dots\dots(6)$$

(Djiteng Marsudi 2005).

keterangan;

N_s = kecepatan Jenis turbin (rpm)

n = putaran turbin(rpm)

H = tinggi terjun (m)

P = daya keluaran rotor (kW)

Langkah pertama dalam pemeliharaan turbin adalah memilih kecepatan jenis yang tergantung pada tinggi jatuh yang tersedia dan daya yang dibangkitkan. Cepat jenis berbagai macam turbin dapat dilihat pada karakteristik masing-masing jenis turbin tersebut.

Untuk semua macam turbin ada katub pengatur yang mengatur banyaknya air yang akan dialirkan ke roda air. Dengan pengaturan air ini, daya turbin dapat diatur. Didepan katup utama yang harus ditutup apabila turbin air ini dihentikan untuk melaksanakan pekerjaan pemeliharaan atau perbaikan pada turbin. Apabila terjadi gangguan listrik yang menyebabkan PMT generator trip, maka untuk mencegah turbin berputar terlalu cepat karena hilangnya beban generator yang diputar oleh turbin, katub pengatur air yang menuju ke turbin harus ditutup. Penutup ini akan menimbulkan gelombang air membalik yang biasa disebut *water hammer* (palu air). *water hammer* ini menimbulkan pukulan mekanis kepada pipa pesat ke arah atas (hulu) yang

akhirnya diredam dalam tabung peredam [10].

c. Karakteristik turbin

Berdasarkan tinggi jatuh bersih, debit air dan kecepatan jenis turbin serta efisiensinya maka pemakaian suatu turbin dapat dilihat pada karakteristik berikut ini:

- 1) Karakteristik tinggi terjun (head)
 - a) Turbin pelton : $\geq 7,200$ m
 - b) Turbin prancis : 10 - 100 m
 - c) Turbin propeller - Kaplan : ≤ 10 m
 - d) Turbin bangki - Mitchell : 1-200 m
- 2) Karakteristik debit air
 - a) Turbin pelton : $< 1,2$ m³/det
 - b) Turbin prancis : 0,1 - 30 m³/ det
 - c) Turbin propeller dan Kaplan : 5 - 100m³/det
 - d) Turbin bangki - Mitchell : 0,2 - 100 m³/det
- 3) Karakteristik kecepatan jenis
 - a) Turbin pelton : 10 - 60 rpm
 - b) Turbin prancis : 95 - 440 rpm
 - c) Turbin propeller dan Kaplan : 300 - 1200 rpm
 - d) Turbin bangki - Mitchell : 50 - 300 rpm
- 4) Karakteristik efisiensinya
 - a) Turbin pelton : 80 - 86 %
 - b) Turbin prancis : 80 - 90 %
 - c) Turbin propeller dan Kaplan : 80 - 90 %
 - d) Turbin bangki - Mitchell : 80 - 85 %

Generator

Pada umumnya generator adalah suatu alat yang dapat merubah energi mekanik menjadi energy listrik. Generator terbagi menjadi atas dua golongan yaitu:

- a. Generator arus bolak-balik (AC)
- b. Generator arus searah (DC)

Generator arus bolak balik terdiri dari dua jenis yaitu generator sinkron dan generator induksi. Untuk pembangkit tenaga listrik umumnya digunakan generator sinkron, Karena generator sinkron menghasilkan frekuensi listrik sebanding

dengan jumlah kutub dan putaran generator, sesuai dengan persamaan (7) :

$$f = \frac{p.n}{120} \dots\dots\dots(7)$$

(Sumanto,1993)

keterangan;

- f = frekuensi listrik
- p = banyaknya kutub magnet
- n = putaran generator per menit

kontruksi generator sinkron merupakan susunan *ferromagnetic* yang terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian yang diam (*stator*) dan bagian yang berputar (*rotor*), dimana dipisahkan oleh celah udara.

Umumnya tegangan yang keluar dari PLTMH adalah arus bolak balik AC dapat juga searah DC (*alternating current direct current*) Tegangan AC dapat diubah menjadi tegangan tinggi secara mudah dan murah dengan menggunakan sehingga energi, listrik dapat ditransmisikan pada jarak yang cukup jauh dari rumah pembangkit sehingga lebih ekonomis dan kerugian (*power house transformator*) transmisiya dapat diminimalkan Keuntungan lain dari penggunaan arus AC ialah konstruksi generator AC yang lebih sederhana Arus AC menuntut frekuensi sistem tetap konstan terutama jika menggunakan motor induksi sebagai generator Untuk itu diperlukan pengaturan kecepatan putar generator di samping pengatur tegangan (*voltage regulator*).

Kombinasi pengadaan tenaga listrik AC dan DC pada prakteknya merupakan pilihan yang baik Penyimpanan tenaga listrik AC ke baterai memberikan alternatif lain bagi masyarakat (*accumulator*) yang tidak terjangkau jaringan listrik PLTMH untuk dapat menikmati penerangan komunikasi atau penerapan lainnya yang memerlukan tenaga listrik dalam jumlah kecil Frekuensi yang dipakai untuk arus AC adalah 50 Hz Tegangan standar yang dihasilkan adalah 110 V dan atau 240 V untuk generator 1 fasa serta 240 415 V untuk generator 3 fasa [9].

Tabel 2. perbandingan sistem AC dan DC

Sistem AC		Sistem DC	
kelebihan	kekurangan	kelebihan	kekurangan
1. Sebagian besar peralatan listrik dan elektronik menggunakan sistem AC dan tersedia melimpah	1. Diperlukan alat pengontrol untuk menjaga tegangan dan frekuensi tetap konstan yang pada	1. Energi listrik dapat disimpan dalam kapasitas pembangkit dapat dioptimalkan. (<i>battery</i>)	1. Hanya untuk beban tertentu saja, tidak dapat digunakan untuk kegiatan produktif.

<p>di pasaran dengan harga murah.</p> <p>2. Generator AC (sinkron dan asinkron) diproduksi secara massal dan mudah ditemukan dengan harga murah dengan kapasitas daya beberapa ratus sampai dengan mega watt.</p> <p>3. Transportasi dan transformasi listrik mudah untuk dilakukan dengan konduktor dan <i>Transformator</i>.</p> <p>4. Tidak diperlukan peralatan penyimpanan energi (<i>battery/ accumulator</i>).</p> <p>5. Listrik bisa langsung digunakan tanpa menggunakan peralatan tambahan (<i>inverter</i>).</p> <p>6. Pengaturan dan pengukuran listrik AC mudah dilakukan dengan ketersediaan berbagai peralatan dipasaran seperti MCB dan kWh meter.</p>	<p>akhirnya menambah komponen biaya.</p> <p>2. Energi listrik tidak dapat disimpan seperti pada sistem DC.</p>	<p><i>load factor</i>)</p> <p>2. Energi dapat dipindahkan/dibawa langsung ke pemakai melalui tanpa harus menggunakan penghantar. <i>battery</i></p> <p>3. Generator DC lebih simpel dan dilengkapi dengan <i>automatic voltage regulator</i> (AVR) sehingga tidak diperlukan kontroler, yang pada akhirnya dapat lebih murah.</p> <p>4. Generator dapat menggunakan generator mobil atau truk untuk kapasitas kecil yang harganya murah dan mudah didapat.</p> <p>5. Kebanyakan peralatan sistem (turbin dan generator) dalam ukuran kecil sehingga lebih mudah dipindahkan jika perlu.</p> <p>6. Umumnya digunakan untuk kapasitas kecil (lebih kecil 5 kW) sehingga daerah yang tidak memiliki potensi air yang cukup besar dapat mengaplikasikannya</p>	<p>2. cukup mahal dan memiliki usia pakai yang pendek jika tidak dirawat dengan baik.</p> <p>3. Kurang praktis, dimana harus diisi ulang tiap kali habis.</p> <p>4. Peralatan listrik DC khususnya peralatan rumah tangga masih jarang diproduksi</p>
--	--	--	---

(sumber: IMIDAP, 2009)

Spesifikasi generator adalah putaran 1500 rpm 50 Hz 3 fasa dengan keluaran tegangan 220V 380V Efisiensi generator secara umum adalah : (IMIDAP, 2009).

Aplikasi <10 kVA efisiensi 0,7 - 0,8

Aplikasi 10 - 20 kVA efisiensi 0,8 - 0,85

Aplikasi 20 - 50 kVA efisiensi 0,85

Aplikasi 50 - 100 kVA efisiensi 0,85 - 0,9

Aplikasi 100 kVA efisiensi 0,9 - 0,95

METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah penelitian deskriptif dengan menganalisis kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Rampusa yang ditinjau dari aspek analisis teknis. Penelitian ini dilaksanakan di Rampusa

Kecamatan Lembang Kabupaten Pinrang. Variabel penelitian meliputi analisis input dan output dari PLTMH yang diukur dengan indikator besar debit air (Q) tinggi terjun efektif ($head=H$) dan daya yang dihasilkan (P) definisi indikator tersebut adalah:

1. Debit air adalah jumlah air yang mengalir pada suatu penampang tertentu dalam setiap detik.
2. Tinggi efektif adalah selisih antara tinggi jatuh total dengan rugi-rugi ketinggian (*head loss*)
3. Daya adalah daya beban yang tersedia pada PLTMH Rampusa.

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Teknik observasi yaitu mengadakan observasi awal pada lokasi PLTMH Rampusa. Teknik ini digunakan untuk mengetahui keadaan Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH) Rampusa.
2. Teknik wawancara yaitu mengadakan wawancara langsung dengan pemerintah setempat dan masyarakat setempat tentang PLTMH. Teknik ini langsung digunakan untuk mengetahui keadaan penduduk setempat dan sebagai pengambilan data awal tentang geologis, hidrologis, jumlah penduduk, jumlah kepala keluarga dan rata-rata pertambahan penduduk setiap tahun.
3. Teknik dokumentasi yaitu usaha untuk memperoleh data dan informasi melalui pengamatan dan pencatatan baru dokumen yang berhubungan dengan PLTMH Rampusa. Teknik ini digunakan untuk mengetahui data debit air (Q), tinggi terjun efektif (H) dan daya output.

Analisis data yang digunakan adalah analisis deskriptif dengan menggambarkan keadaan yang berhubungan dengan pembangunan PLTMH ditinjau dari aspek teknis. Data yang jelas diperoleh kemudian dianalisis secara kualitatif. Langkah-langkah teknis yang digunakan dalam perhitungan layak atau tidak PLTMH Rampusa adalah

1. Menghitung diameter pipa digunakan persamaan (5).
2. Menghitung kecepatan jenis turbin digunakan persamaan (6).
3. Menghitung daya output turbin menggunakan persamaan (2).
4. Menghitung daya generator menggunakan persamaan (3).
5. Menentukan tipe turbin yang digunakan berdasarkan data hasil

perhitungan kecepatan jenis turbin, tinggi terjun efektif (H) dan debit air (Q).

6. Membandingkan data hasil perhitungan turbin dengan data turbin yang digunakan pada PLTMH Rampusa.
7. Membandingkan data perhitungan daya output generator dengan data daya output generator pada PLTMH Rampusa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PLTMH Rampusa yang terletak di Rampusa itu sendiri dibangun untuk meningkatkan produksi tenaga listrik non BBM di Kabupaten Pinrang. PLTMH yang dibangun dengan memanfaatkan potensi tenaga air dari aliran sungai liku dodo. Lokasi PLTMH ini terletak di pemukiman penduduk yang begitu padat dan merupakan pertanian dan perkebunan yang sangat subur. Pembangunan PLTMH ini merupakan bentuk peduli pemerintah Kabupaten Pinrang terhadap masyarakat yang belum di jangkau jaringan distribusi dari PLN, dengan memberikan dana untuk pembangunan PLTMH. Pembangunan PLTMH Rampusa di laksanakan atas kerja sama pemerintah kabupaten pinrang dengan kontraktor serta bantuan swadaya dari masyarakat Rampusa. Dengan kerja sama tersebut maka PLTMH ini sudah dapat di rasakan masyarakat Rampusa.

Pembangkit yang sudah beroperasi hampir dua tahun, masih beroperasi dan belum pernah mengalami kerusakan dan telah banyak memberikan kontribusi dalam kehidupan masyarakat Rampusa. Data PLTMH Rampusa dapat dilihat pada tabel data berikut:

Tabel 3. data turbin PLTMH Rampusa

Jenis Turbin	Crossflow
--------------	-----------

Type Turbin	T-14 D150
Putaran Turbin	315 rpm
Diameter Turbin	14"
Diameter bantalan (bearing)	37,4 cm

(sumber: PLTMH Rampusa, 2011)

Tabel 4. data generator PLTMH Rampusa

Type Generator	Sinkron, MJB 160
Kapasitas Generator	15 Kw, 20 Kva
Kutub Generator	4
Tegangan Arus	400 Volt
Faktor Daya	29 Ampere
Kecepatan Putar	0,8
Frekuensi	1500 Rpm
Diameter bantalan (bearing)	50 Hz
	9,7 cm

(sumber: PLTMH Rampusa, 2011)

Tabel 5. data hasil pengukuran pada PLTMH Rampusa

Debit Air	0,17 m ³ /det
Tekanan Air	18 kg/m ²
Tinggi Terjun	23 m
Kecepatan Generator	1500 rpm
Jenis Pipa	Pipa PVC
Diameter Pipa	12 "
Luas Power House	2 x 4 m
Luas Kolam Penenang	3 x 4 m
Tipe Bendungan	Bendungan pelimpah bebas

(sumber: PLTMH Rampusa, 2011)

Tabel 6. data sistem proteksi PLTMH Rampusa

MCB	3 fhasa 35ampere
-----	------------------

MCB	1 fhasa 1 dan 2 ampere
-----	------------------------

(sumber: PLTMH Rampusa, 2011)

Tabel 7. data jaringan dan distribusi PLTMH Rampusass

Tipe tiang	Tiang besi
Jenis kabel distribusi	Twisted
Jenis kabel instalasi	NYAM 1,5 mm

(sumber: PLTMH Rampusa, 2011)

Pembahasan

1. Hidrologi dan Geologi

Data hidrologi mengenai debit rencana (*planed debit*) PLTMH Rampusa diperoleh dari hasil survei tim minihidro dan kontraktor PT. Heksa Prakarsa Teknik sebelum pembangkit mikrohidro ini di bangun. Hasil pengamatan didapatkan kesimpulan bahwa bentuk tanah pada aliran sungai likudodo terdiri dari batu-batu sedimen yang menempati hamper keseluruhan aliran sungai liku dodo. Debit air di Rampusa di pengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: curah hujan, keadaan geologi flora dan temperature. Curah hujan yang tinggi disebabkan karena daerah Rampusa banyak terdapat gunung-gunung yang mempunyai flora yang sangat subur sehingga kandungan air dalam tanah sangat banyak.

Data aliran sungai atau data debit air adalah jumlah penampalah air yang mengalir melalui suatu penampang tertentu persatuan waktu. Data pengukuran debit air sangat sangat penting untuk menentukan tenaga listrik yang dihasilkan oleh pusat pembangkit listrik. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Rampusa debit air adalah 0,17 m³/ det dan tinggi terjun air 23 meter (PT. Heksa Prakarsa Teknik, 2009).

2. Tinjauan teknik sipil

a. Bendungan dan waduk

Pasokan air PLTMH ini berasal dari sungai likudodo yang di bendung langsung. Bendungan dalam hal ini berfungsi mengarahkan aliran air ke kolam pengambilan air (intake) dan penyimpanan air yang dilengkapi dengan saluran air sungai, bak kolam, saluran pelimpah dan saluran waduk. Bendungan dibuat dari batu kali dengan tipe bendungan pelimpah bebas, bendungan mempunyai kapasitas yang cukup untuk pembuangan dan menyalurkan air dengan stabil. Bendungan PLTMH Rampusa menggunakan besi plat sebagai pintu pelimpah, jenis pintu-pintu pelimpah PLTMH Rampusa adalah jenis pintu-pintu putar.

Pintu-pintu putar terdiri dari sebuah batang besi silinder, yang jarak antara tembokan diberi rak miring. Rak mempunyai gigi pemotong mengelilingi silinder pada tiap akhirnya. Bila pintu-pintu diangkat ke atas, maka berputar pada rak. Alat ini dapat digunakan sampai 45 m panjang dan ketinggian 10 meter (dandeker Dandekar, M.M, 1991) Bendungan PLTMH Rampusa ini dibangun oleh swadaya masyarakat Rampusa dengan menggunakan material dari kontraktor yang bekerja sama dengan pemerintah kabupaten.

b. Pipa

Secara umum, jalur pipa pesat (*penstock*) mempunyai tingkat kemiringan yang tinggi, tanah pemukimannya cenderung mudah terkikis oleh hujan. Karena langkah-langkah pencegahan yang sesuai seperti pemasangan selokan dan penanaman rumput perlu diatur sebelumnya. Didalam kasus skala pembangunan pembangkit yang

berskala kecil, penggunaan tipe pipa pesat (*penstock*) yang ditanam dalam tanah akan sangat efektif karena disamping dapat mencegah pengikisan tanah permukaan juga membuat perawatan lebih mudah.

c. Gardu sentral (*power house*)

Pada dasarnya setiap pembangunan mikrohidro berusaha untuk mendapatkan head yang maksimum. Konsekuensinya lokasi rumah pembangkit (*power house*) berada pada tempat yang serendah mungkin. Karena alasan keamanan dan konstruksi, lantai rumah pembangkit harus selalu lebih tinggi dibandingkan permukaan air sungai. Data dan informasi ketinggian permukaan sungai pada waktu banjir sangat diperlukan dalam menentukan lokasi rumah pembangkit.



Gambar 10. Gardu sentral (power house) PLTMH Rampusa

Selain lokasi rumah pembangkit berada pada ketinggian yang aman, saluran pembuangan air (*tail race*) harus terlindung oleh kondisi alam, seperti batu-batuan besar. Disarankan ujung saluran *tail race* tidak terletak

pada bagian sisi luar sungai karena akan mendapat beban yang besar pada saat banjir, serta memungkinkan masuknya aliran air menuju ke rumah pembangkit (<http://www.alpensteel.com/article/50-104-energi-sungai-pltmh--micro-hydro-power/168--perencanaan-dasar-pltmh.html>, 2011)

Gardu sentral pada PLTMH Rampusa dibangun ditempat yang kondisi tanahnya yang mempunyai daya dukung yang tinggi, hal ini dimaksudkan agar dalam pemasangan pondasi tidak akan mengalami kerusakan apabila suatu saat terjadi banjir yang melimpah dan mencegah terjadinya lonsor yang akan merusak gardu sentral. Pondasi terbuat dari batu kali dengan luas 8 m². Luas bangunan 2 x 4 meter terdiri dari ruang turbin dan generator serta di lengkapi dengan alat-alat bantu lainnya.

d. Jenis turbin

Jenis turbin untuk PLTMH didasarkan pada karakteristik masing-masing turbin kemudian disesuaikan dengan data hasil pengukuran, karakteristik tersebut meliputi; tinggi terjun air (H), debit air (Q), kecepatan jenis turbin (*specific Speed*, n_{sp}) dan efisiensi turbin (η_T). Berdasarkan karakteristik dari jenis-jenis turbin pada bab II dan sesuai dengan data hasil pengukuran yaitu:

Debit air : 0,17 m³/det

Tinggi terju efektif : 23 m

Daya yang dihasilkan oleh turbin berdasarkan rumus pada

persamaan (2) dapat kita lihat berikut ini:

$$P = 9,8 \times Q \times H \times \eta_T$$

Untuk turbin *Prancis* efisiensinya 80 -90 % (Vairus Zarausda dalam Yusran, 2003) dengan demikian daya yang dihasilkan turbin adalah sebagai berikut:

$$P = 9,8 \times 0,17 \times 23 \times 90\% \\ = 34,48 \text{ kW}$$

Kecepatan jenis turbin (N_s) dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (6) berikut ini (Wiranto arismunandar, 1988):

$$N_s = \frac{N \cdot \sqrt{P}}{H^{5/4}} \\ = \frac{1500 \cdot \sqrt{34,48}}{23^{5/4}} \\ = \frac{1500 \cdot 5,871}{23^{5/4}}$$

$$N_s = 306,313 \text{ rpm}$$

Dengan kecepatan jenis turbin (N_s) sebesar 306,313 yang berada pada rentangan 95 - 440 rpm maka dapat digunakan turbin jenis *Prancis*.

PLTMH

Rampusa menggunakan turbin *cross flow* dengan diameter 14 inci. Untuk jenis turbin *cross flow* karakteristik debit air yang digunakan berdasarkan karakteristik turbin pada BAB II adalah 0,2 - 100 m³/det, sedangkan data yang diperoleh dari PLTMH Rampusa hanya 0,17 m³/det. Dengan melihat data debit air pada tabel 5 dan berdasarkan karakteristik turbin pada BAB II maka turbin *Prancis* layak digunakan. Melihat hasil perhitungan di atas, Kecepatan putar turbin berdasarkan perhitungan data yang di peroleh dari PLTMH Rampusa adalah 314,86 rpm, maka data ini sesuai dengan kecepatan jenis turbin *Prancis* yaitu 95 - 440 rpm sedangkan pada PLTMH Rampusa

menggunakan turbin *cross flow* dengan kecepatan jenis 50 - 300 rpm, maka penggunaan turbin *cross flow* pada PLTMH Rampusa dengan melihat hasil perhitungan kecepatan turbin diatas tidak tepat. Pada karakteristik tinggi terjun (H) untuk turbin *Prancis* adalah 10 - 100 m, sedangkan untuk turbin *cross flow* adalah 1-200 m. Dengan melihat karakteristik debit air dan karakteristik kecepatan jenis turbin yang menggunakan turbin yang cocok dengan turbin *Prancis*

maka karakteristik tinggi terjun efektif dengan tinggi 10 -100 m maka digunakan turbin *Prancis*. Dengan melihat data dalam tabel diatas maka jenis turbin yang sesuai dengan kondisi ini adalah turbin *Prancis* dengan efesiensi 80 - 90 %.

Dalam tabel berikut dapat kita lihat lebih jelas perbandingan data PLTMH Rampusa dengan hasil perhitungan berdasarkan teori yang relevan dalam pemilihan turbin suatu PLTA atau PLTMH.

Tabel 8. Perbandingan data PLTMH Rampusa dengan hasil perhitungan berdasarkan teori yang relevan

No	Jenis karakteristik	Data PLTMH Rampusa	Data hasil perhitungan
1	Debit air (Q)	0,17 m ³ /s	-
2	Tinggi terjun (H)	23 m	-
3	Kecepatan turbin	315 rpm	314,86
4	Daya turbin	-	34,48 kW
5	Jenis turbin yang digunakan	<i>Crossflow</i>	<i>Prancis</i>

(sumber: hasil olah data PLTMH Rampusa,2011)

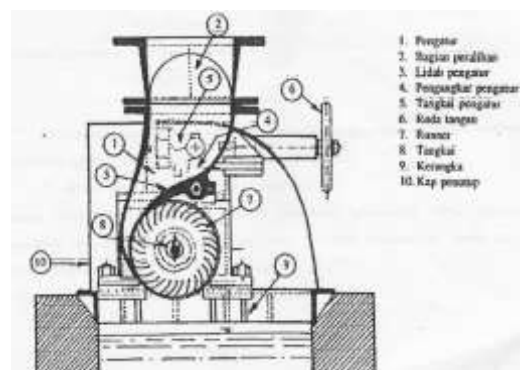
Berdasarkan hasil perhitungan maka turbin yang seharusnya digunakan pada PLTMH Rampusa Kecamatan Lembang Kabupaten Pinrang adalah jenis turbin *Prancis*.

Tipe turbin : T-14
 D150
 Jenis turbin : *cross flow*
 Putaran : 315 rpm
 Debit air : 0,17 m³/det
 Tinggi terjun air meter : 23
 Diameter turbin : 14 “

Berikut ini diperlihatkan gambar turbin untuk PLTMH Rampusa



Gambar 11. Turbin PLTMH Rampusa



Gambar 12. konstruksi turbin *crossflow*.

e. Pemilihan generator

Pada PLTMH Rampusa menggunakan generator sinkron (AC) dengan frekuensi 50 Hz. Daya listrik yang dibangkitkan oleh generator dihitung dengan menggunakan rumus persamaan (1) sebagai berikut:

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

$$P \text{ input Turbin}$$

$$= 9,8 \times 0,17 \times 23$$

$$= 38,31 \text{ kW}$$

$$P \text{ output turbin}$$

$$= P \text{ input Turbin} \times \eta_T$$

$$= 38,31 \times 0,8$$

$$= 30,64 \text{ kW}$$

Daya yang keluar dari generator atau biasa juga di sebut juga daya output generator adalah daya output turbin yaitu :

$$P \text{ output Generator} =$$

$$P \text{ output Turbin} \times \eta_G$$

Melihat daya output generator maka dipilih efisiensi generator 85 % dengan demikian daya yang dibangkitkan oleh generator pada $Q = 0,17 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $H = 23 \text{ meter}$ yaitu:

$$P \text{ output Generator}$$

$$= P \text{ output turbin} \times \eta_G$$

$$= 30,64 \times 0,85$$

$$= 26,04 \text{ kW}$$

Untuk generator sinkron faktor daya = 0,8, maka kapasitas generator dalam kVA adalah sebagai berikut :

$$S = P / \cos\theta$$

$$= 26,04 / 0,8$$

$$= 32,55 \text{ kVA}$$

Dari hasil perhitungan kapasitas generator dalam kVA, maka dipilih generator sinkron 3 fasa dengan kapasitas 50 kVA. Penentuan kecepatan putaran sinkron dan jumlah kutub generator. Generator Rampusa dikopel dengan menggunakan belt ke

poros turbin sebagai penggerak mulanya. Dari data teknik turbin diketahui bahwa putaran turbin adalah 315 rpm sedangkan putaran generator yaitu 1214 rpm. Untuk menentukan jumlah kutub generator digunakan persamaan (7) yang menyatakan hubungan antara frekuensi, kecepatan putar dan jumlah kutub yaitu :

$$f = \frac{pn}{120}$$

(Sumanto, 1993)

Dimana :

f : frekuensi, (Hz)

n : putaran, (rpm)

p : Jumlah kutub

dengan menggunakan persamaan (7) diatas maka jumlah kutub generator adalah sebagai berikut:

$$p = \frac{120 \cdot f}{n}$$

$$n_s = 1500 \text{ rpm}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Sehingga diperoleh

$$p = \frac{120 \times 50}{1500}$$

$$= 4 \text{ kutub}$$

Dari hasil perhitungan diatas yang menggunakan data yang di peroleh dari PLTMH Rampusa maka jumlah kutub Generator pada PLTMH Rampusa adalah 4 kutub. PLTMH Rampusa menggunakan generator dengan kapasitas 20 kVA dengan efisiensi 80 % sedangkan hasil perhitungan menunjukkan kapasitas generator adalah 32,55 kVA maka generator yang seharusnya digunakan pada PLTMH menurut teori adalah generator dengan kapasitas 50 kVA dengan efisiensi 85 %, maka penggunaan generator pada PLTMH Rampusa tidak sesuai dengan teori yang ada. Pada hal dengan penggunaan generator 50 kVA akan memperbesar daya yang mampu dibangkitkan generator, tetapi memang perlu di pertimbangkan dari segi ekonomis besar kecil kapasitas generator berbanding lurus dengan harga generator. Pada tabel berikut dapat

kita lihat perbandingan data generator PLTMH Rampusa dengan hasil

perhitungan berdasarkan teori yang relevan.

Tabel 9. Perbandingan data generator PLTMH dengan hasil perhitungan berdasarkan teori yang relevan.

No	Jenis Karakteristik	Data PLTMH Rampusa	Data Hasil Perhitungan
1	Daya input generator	-	30,64 kW
2	Daya output generator	15 kW	26,04 kW
3	Kapasitas generator	20 kVA	32,55 kVA

(sumber: hasil olah data PLTMH Rampusa,2011)

Generator pada PLTMH Rampusa dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 13. Generator PLTMH Rampusa.

Tipe Generator : Sinkron,
 MJB 160
 Kapasitas : 15,kW, 20
 kVA
 Tegangan : 400 volt
 Arus : 29 ampere
 Fakor daya : 0,8
 Jumlah kutub : 4
 Kecepatan putar : 1214 rpm
 Kecepatan Jenis : 1500 rpm
 Frekuensi : 50 Hz

Sistem Distribusi

1) Beban Terpasang

a) Beban untuk penerangan rumah tangga

Beban untuk penerangan rumah tangga adalah daya listrik yang digunakan masyarakat untuk keperluan rumah tangga seperti : penerangan Rumah, radio, TV dan alat-alat rumah tangga lainnya. Pada penelitian ini

daya yang diberikan untuk setiap rumah adalah sebesar 220 VA, jumlah rumah yang mendapat penerangan 85 rumah, 69 rumah menggunakan MCB 1A dan 16 rumah menggunakan MCB 2A maka, $69 \times 220 = 15180$ VA dan $16 \times 440 = 8360$ VA. Sehingga jumlah keseluruhan untuk kebutuhan rumah tangga adalah 23540 VA.

b) Beban untuk pemakaian sarana umum

Rampusa mempunyai 1 buah rumah ibadah dan sebuah gedung sekolah, masing-masing daya sebesar 220 VA, sehingga daya listrik yang digunakan secara keseluruhan adalah 2×220 VA = 440 VA. Jadi jumlah beban yang terpakai pada malam hari adalah :

Beban untuk penerangan rumah tangga + Beban untuk pemakain sarana umum

$$= 23540 \text{ VA}$$

$$= \underline{\quad 440 \text{ VA} \quad}$$

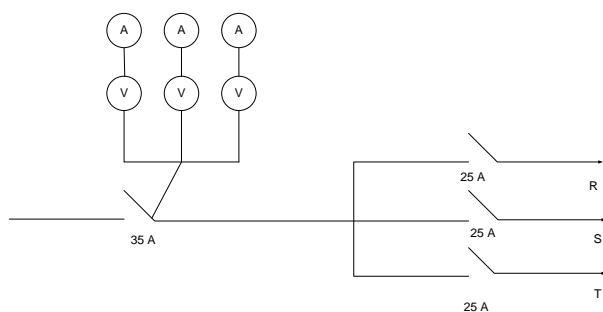
$$= 23980 \text{ VA}$$

c) Beban untuk industri kecil

Beban untuk industri kecil di lokasi PLTMH Rampusa sampai saat ini belum ada, namun diharapkan dengan adanya PLTMH Rampusa bisa tumbuh ditahun-tahun mendatang.

2) Proteksi dan jenis penghantar PLTMH Rampusa

Pada PLTMH Rampusa menggunakan proteksi Miniature Circuit Breaker (MCB), proteksi ini selain biaya murah sistemnya juga tidak rumit. Pada PLTMH Rampusa menggunakan proteksi, MCB 3 fasa dengan kapasitas 35 A dan 3 buah MCB 1 fasa dengan kapasitas 25 A untuk masing-masing fasa pada *power house*. Untuk proteksi di setiap rumah tangga / konsumen menggunakan MCB 1 fasa dengan kapasitas masing-masing 1 A.



Gambar 14. sistem proteksi PLTMH Rampusa

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dari hasil penelitian, maka dapat disimpulkan Setelah melakukan evaluasi kelayakan PLTMH Rampusa dengan debit air $0,17\text{m}^3/\text{det}$, tinggi terjun 23 m, kecepatan turbin 315 rpm dan menggunakan turbin jenis Prancis, kemudian membandingkan hasil perhitungan berdasarkan teori yang relevan, maka debit air $0,17\text{ m}^3/\text{det}$ seharusnya digunakan turbin Prancis dengan karakteristik debit air antara $0,1 - 0,2\text{ m}^3/\text{det}$, untuk tinggi terjun dapat juga digunakan turbin Prancis dengan karakteristik terjun antara 10 - 100m. Data generator yang digunakan PLTMH Rampusa 20 kVA sementara hasil perhitungan seharusnya menggunakan generator 32,55 kVA. maka kami menyimpulkan bahwa PLTMH Rampusa

tidak layak operasi ditinjau dari segi teknik.

REFERENSI

- [1] Anonim, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, Jakarta: Yayasan PUIL.
- [2]. Arismunandar, Artono dan Kuwahara Susumu. 2004, *Teknik Tenaga Listrik*, Jakarta: Paradnya Paramita.
- [3]. Bakry, Aminuddin. 2002, *Analisis Konsumsi Energi Listrik Pelanggan rumahtangga Dan Industri di Sulawesi Selatan*. Makassar: Jurnal Teknologi dan Pendidikan FT. UNM.
- [4]. Dandekar, M.M dan Sharman, K.N. 1991, *Pembangkit Listrik Tenaga Air*, Jakarta: Universitas Indonesia.
- [5]. Kadir Abdul. 1996, *Pembangkit Tenaga Listrik*, Jakarta: Universitas Indonesia.
- [6]. Kadir Abdul. 1991, *energi*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [9]. Makmun dan Rahayu Sri Lestari. 2007, *Permasalahan Bidang Ketenaga Listrikan Di Indones*, Bandung: Fokusmedia.
- [10]. Marsudi, Djiteng. 2005, *Pembangkitan Energi Listrik*, Jakarta: Erlangga.
- [11]. Patty, O.F. 1995, *Tenaga Air*, Jakarta: Erlangga.
- [12]. Pudjanarsa, Astu dan Nursuhud, Djati. 2008, *Mesin Konversi Energ*, Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- [13]. Sulasno. 2009, *Teknik Konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan*, Yogyakarta: Graha Ilmu Yogyakarta.

