

# Perancangan Sistem Kelistrikan Pada Pusat Listrik Tenaga Minihidro Lapai 2x2000 kW di Sulawesi Tenggara

**TOPAN TAOFEQ<sup>1</sup>, BAMBANG ANGGORO<sup>2</sup>, TEGUH ARFIANTO<sup>3</sup>**

1. Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung
2. Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Bandung
3. Jurusan Teknik Elektro – Institut Teknologi Nasional (Itenas) Bandung

Email: [ttaopeq@gmail.com](mailto:ttaopeq@gmail.com)

## ABSTRAK

Sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk di provinsi Sulawesi Tenggara dengan rasio elektifitas yang mencapai 38 %, maka untuk menselaraskan kebutuhan energi di daerah terpencil yang jauh dari jaringan sistem tegangan tinggi yang ada di Sulawesi Tenggara, diperlukan percepatan pembangunan energi listrik melalui energi baru terbarukan. Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro yang akan dirancang di kecamatan Ngapa, kabupaten Kolaka Utara, provinsi Sulawesi Tenggara, yang dialiri oleh sungai Wwatuohu dengan debit sungai 16-42 m<sup>3</sup>/detik. Dari kondisi hidrologi sungai maka didapatkan debit rencana sebesar 8,264 m<sup>3</sup>/detik. Dengan gross head sebesar 39,3 m, maka digunakan turbin francis dengan daya keluaran yang dihasilkan generator mencapai 2.301 kW (per-unit).

**Kata kunci: Minihidro, Debit, Head, Turbin, Generator.**

## ABSTRACT

*In line with the increase of population in Southeast Sulawesi province elektifitas ratio reached 38%, to harmonize energy needs in remote areas far from the high-voltage system networks in Southeast Sulawesi, needed accelerated development of electric energy through renewable energy. Minihidro Power Plant will be designed in sub Ngapa, North Kolaka district, Southeast Sulawesi province, which is fed by the river with river discharge Wwatuohu 16-42 m<sup>3</sup>/sec. From the river hydrological conditions are obtained discharge of 8.264 m<sup>3</sup>/sec. With a gross head of 39.3 m, then used a francis turbine with generator output power generated reached 2,301 kW (per-unit).*

**Key words: Minihidro, Discharge, Head, Turbin, Generator.**

### 1. PENDAHULUAN

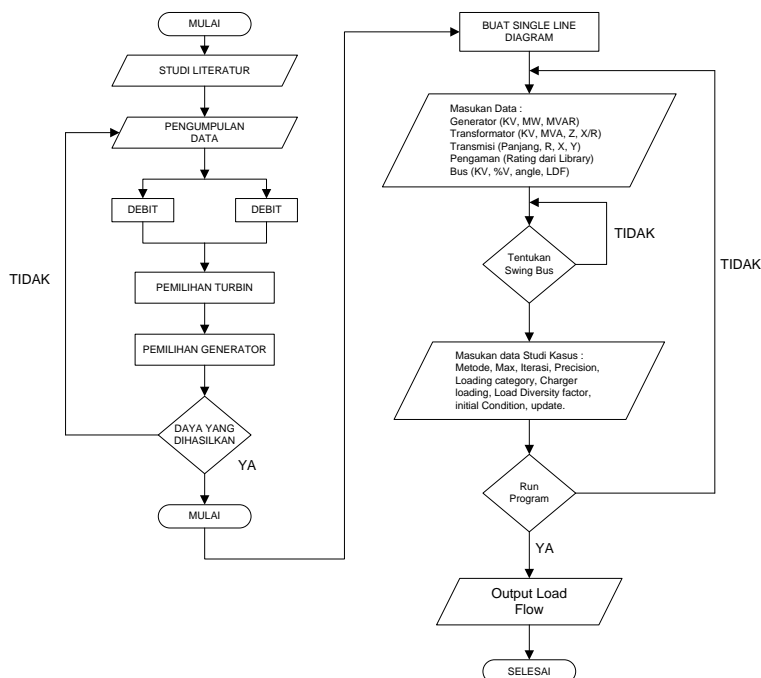
Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) adalah pembangkit tenaga listrik berskala (200 kW – 5 MW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTM termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan, maka kebijaksanaan pemerintah saat ini berkenaan dengan pengembangan pembangkit listrik ditekankan pada pemanfaatan sumber energi primer terbarukan (*Renewable Energy*).

Salah satu sumber energi terbarukan dan memiliki potensi sumber daya alam yang besar di Indonesia yang belum di manfaatkan sebagai sumber energi primer guna keperluan Pembangkit listrik adalah energi *Hydro*. Potensi *energi hydro* yang dimiliki oleh Indonesia sangat besar, sementara pemanfaatanya sebagai energi primer guna keperluan pembangkit hanya sekitar 6 % saja dari potensi yang ada.

Pembangkit Listrik Tenaga *MiniHydro* (PLTM) merupakan suatu pembangkit tenaga listrik yang menggunakan tenaga air dengan batasan daya terpasang dari 200 kW hingga 5000 kW per unit, sedangkan kapasitas daya terpasang di atas 5000 kW/unit diklasifikasikan sebagai Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA). Untuk kapasitas daya terpasang di bawah 200 kW/unit diklasifikasikan sebagai Pusat Listrik Tenaga MikroHydro (PLTMH) (PT.PLN (Persero),2010).

### 2. METODOLOGI PERANCANGAN

Metodologi penelitian merupakan proses ataupun langkah-langkah yang bertujuan supaya perancangan dapat dilakukan secara sistematis. Metode penelitian dapat dibuat dengan diagramalir. Gambar 1 menunjukkan proses perancangan pembangkit listrik tenaga air digambar pada *flowchart* berikut :

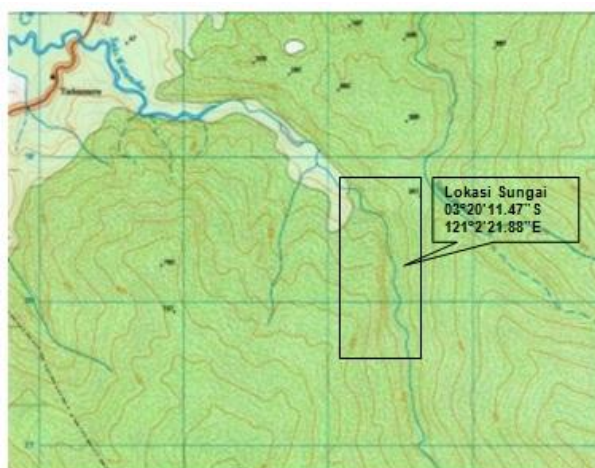


**Gambar 1. Diagram Alir Perancangan**

Gambar 1 diatas menjelaskan diagram alir/flowchart yang berisi langkah-langkah dalam penelitian ini. Ketika daya yang dihasilkan generator tidak mencapai/kurang dari daya yang dibutuhkan maka akan dilakukan pengulangan tahap mencari debit dan *head* pada lokasi lain, apabila daya yang dibutuhkan mencukupi maka proses selanjutnya menentukan kapasitas Trafo, dan komponen-komponen lainnya sampai proses selesai.

## 2.1 Pemilihan Lokasi

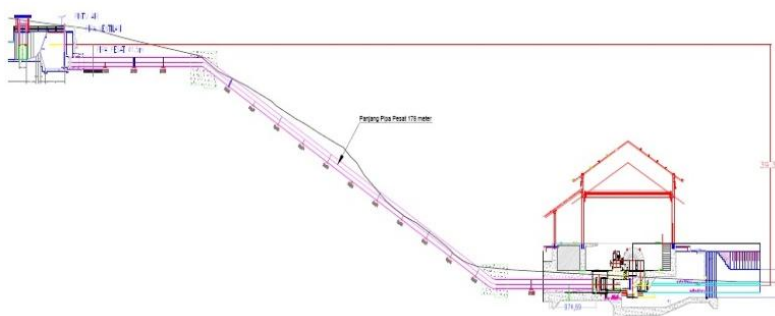
Ditinjau dari kondisi topografi daerah Aliran Sungai (DAS) Bantal memiliki topografi yang sangat beragam, mulai dari daerah berbukit dan bergunung sampai dataran disekitar muara sungai. Secara geografis lokasi pembangunan PLTM Lapai 2 di sungai Watunohu terletak pada koordinat S 03°20'11.47" ; E 121°2'21.88". Hasil dari pengamatan/pengukuran diperoleh data-data karakteristik sungai adalah : gradien rata-rata 15%, lebar rata-rata 12 m, diapit oleh perbukitan dengan topografi terjal. Sungai ini bersifat permanen, dibagian hulunya masih merupakan hutan yang sangat lebat, sehingga debit air yang digunakan untuk pembangkit hanya 75% sebesar 16,528 m<sup>3</sup>/detik. Gambar 2 Menunjukkan lokasi sungai yang digunakan untuk perancangan pembangkit listrik tenaga air. (Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral RI, 2005).



Gambar 2. Lokasi Sungai Watunohu (Sumber : Bakusortanal, 2010)

## 2.2 Ketinggian Jatuh Air

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga minihidro, tinggi jatuh air yang diambil untuk lokasi desa Lapai dari penstock sampai As Turbin ialah 39,3 meter. Gambar 3 Menjelaskan cara pengukuran *head* yang akan digunakan (Marsudi Djiteng, 2005):



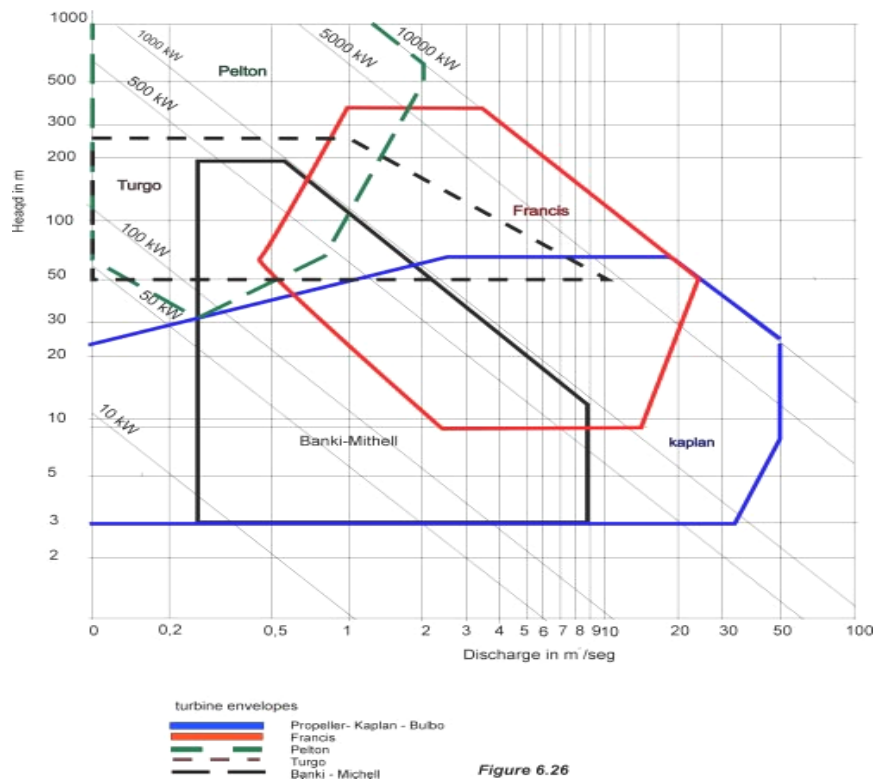
Gambar 3. Ketinggian Jatuh Air (*Head*)

## 2.3 Pemilihan Turbin

Turbin air adalah alat utama untuk mengkonversikan energi air menjadi energi mekanik berbentuk putaran. Turbin ini direncanakan dapat beroperasi dengan baik pada rentang *head* dan debit yang direncanakan. Turbin harus aman dan mampu beroperasi stabil pada rentang debit yang ada tanpa mengalami getaran berlebih, tidak bising, tahan korosi, tidak patah/*fatigue* dan tahan terhadap keausan.

Ada banyak tipe turbin air yang dapat digunakan pada Pembangkit Tenaga Air sesuai dengan karakteristik potensi energi hidrolik yang tersedia. Penentuan jenis turbin yang tepat

ditentukan dari kriteria Debit dan Ketinggian potensi air. Turbin yang direncanakan untuk menghitung kapasitas. Gambar 4 menunjukkan *chart* untuk menghitung rencana pemilihan turbin.



**Gambar 4. Krateria Pemilihan Jenis Turbin (Sumber : Handbook On How To Develop A Small Hydro Site : 1998)**

Gambar di atas menunjukkan *chart* antara *head* dan debit, Untuk suatu *head* tertentu dapat dipilih salah satu jenis turbin, tetapi pemilihannya harus dilakukan dengan tepat. Dapat dikatakan bahwa turbin dengan kecepatan spesifik yang lebih tinggi adalah lebih ekonomis karena turbin dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya unit turbinnya lebih kompak, tetapi kecepatan yang tinggi ini juga harus disertai dengan kontruksi yang baik, kekuatan material dari turbin, dan kemampuan generator atau bebannya (Layman’s Handbook,1998):

**2.4 Pemilihan Generator**

Generator adalah suatu peralatan yang berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Sedangkan jenis generator yaitu generator sinkron, dan generator asinkron (induksi). Salah satu kriteria pemilihan penggunaan generator pada PLTM Lapai 2, yaitu cara pengoperasian PLTM Lapai 2 itu sendiri apakah paralel dengan Sistem atau bekerja “isolated”.

Generator sinkron berputar pada kecepatan 6000/2P putaran per menit, 2P adalah jumlah kutubnya. Generator sinkron terdiri atas tiga komponen utama yaitu stator, rotor, dan sistem penguatannya (*exitation*). Ditinjau dari Sistem eksitasinya generator sinkron dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

1. Sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless exitation*);
2. Sistem eksitasi statis / tanpa sikat dengan *generator magnet permanent* (PMG); dan
3. Sistem eksitasi dengan “*slip ring*”.

Kapasitas generator yang dipakai ditentukan berdasarkan kapasitas turbin yang tersedia.

$$Pin = g \times Q \times H \times \eta \text{ turbin} \dots\dots\dots (1)$$

$$Pg = \eta(\text{generator}) \times Pin \times \eta(\text{saluran}) \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

$P_g$  = Daya *Output* generator (kW)

$\eta_g$  = Efisiensi Generator

$P_{in}$  = Daya *Output* Turbin yang ditransmisikan oleh *gearbox* menjadi daya *input* generator

Pemilihan kapasitas generator ini harus disesuaikan dengan ketersediaan dipasar.

Hal yang harus diperhatikan dalam menentukan tegangan *output* generator adalah ketahanan isolasi terhadap tegangan, kemampuan pelaluan arus kabel, sistem proteksi dan biaya. Adapun tegangan *output* generator yang tersedia dipasar, Tabel 1 dibawah ini memperlihatkan variasi tegangan pada generator yang berada di pasaran (Layman's Handbook, 1998):

**Tabel 1. Tegangan generator**

No.	Jenis Tegangan	Tegangan <i>Output</i>
1	Tegangan Rendah	400 V & 1000 V
2	Tegangan Menengah	1,5 kV – 4,16 kV
3	Tegangan Menengah	4,2 kV – 6,9 kV
4	Tegangan Menengah	7,0 kV – 11,5 kV

## 2.5 Pemilihan Trafo

Pemilihan trafo yang digunakan sebagai acuan dalam desain, yang terdiri dari trafo utama dan trafo pemakaian sendiri meliputi, yaitu:

- a. Tipe trafo
- b. Tegangan dasar trafo
- c. Pengubah tap
- d. Isolasi
- e. Hubungan trafo
- f. Kenaikan trafo
- g. Sistem pendingin

Trafo daya pada pembangkit ini harus memiliki tipe yang disesuaikan dengan fungsinya masing – masing. Untuk trafo utama dianjurkan tipe pasangan luar (*outdoor*), dan trafo pemakaian sendiri tipe pasangan dalam (*indoor*). Bersarnya kapasitas dari *trafo* utama harus disesuaikan dengan kapasitas generator, dan untuk trafo pemakaian sendiri harus disesuaikan dengan kapasitas pemakaian beban yang terdiri dari beban esensial dan non esensial pada PLTM Lapai 2, Penentuan kapasitas trafo bisa dilakukan dengan cara : (Zuhail, 1991).

- 1.1 Menghitung beban yang akan ditanggung oleh trafo tersebut, biasanya dalam satuan kVA, yang nantinya akan digunakan sebagai acuan pemilihan kapasitas trafo. Untuk menentukan kapasitas trafo yang akan digunakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$S_{trafo} = \frac{S_{max}}{0,8} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan :  $S_N$  = Daya maksimum generator/beban  
0,8 = Konstanta/batas aman penentuan rating trafo

- 2.1 Penentuan pengaman trafo. Sebelum dilakukan penentuan pengaman untuk trafo maka kita harus mengetahui dulu arus nominal dari trafo tersebut ( $I_n$ ).

$$I_n = \frac{S_{3\phi}}{3 \times V} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan :  $I_n$  = Arus nominal trafo (Ampere)  
 $S_{3\phi}$  = Daya Trafo (kVA)  
V = Tegangan operasi (V)

## 2.6 Perhitungan Arus Saluran

Arus saluran (A) pada panel atau saluran tersebut. Besarnya arus dapat diperoleh dengan rumus : (A.S Pabla, Ir. Abdul Hadi, 1994).

$$I_n = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V_{LL}} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan :  $I_L$  = Arus saluran (Ampere)  
 $S_{3\phi}$  = Daya semu maksimum (kVA)  
 $V_{LL}$  = Tegangan fasa-fasa (V)

## 2.7 Pemilihan Penghantar

Dalam pemilihan jenis penghantar yang akan digunakan dalam suatu instalasi dan luas penghantar yang akan dipakai dalam instalasi tersebut ditentukan berdasarkan pertimbangan : (A.S Pabla, Ir. Abdul Hadi, 1994).

- Kemampuan hantar arus
- Kondisi suhu
- Jatuh tegangan
- Kondisi lingkungan
- Kekuatan mekanis
- Kemungkinan perluasan

## 2.8 Kemampuan Hantar Arus

Untuk menentukan luas penampang penghantar yang diperlukan, maka harus ditentukan berdasarkan atas arus yang melewati penghantar tersebut arus nominal yang melewati suatu penghantar dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (A.S Pabla, Ir. Abdul Hadi, 1994).

Untuk arus bolak-balik (AC) tiga fasa :

$$I_{3\phi} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan :  $I$  = Arus nominal (A)  
 $P$  = Daya aktif (W)  
 $V_{LL}$  = Tegangan (V)  
 $\cos \phi$  = Faktor daya

## 2.9 Drop Tegangan (Jatuh Tegangan)

Dalam penyaluran tenaga listrik dari suatu sumber ke beban pada suatu instalasi, akan terjadi suatu perbedaan tegangan antara tegangan di sisi sumber dengan tegangan di sisi beban. Dimana tegangan pada sisi sumber lebih besar dari pada tegangan di sisi beban. Hal ini disebabkan oleh adanya jatuh tegangan di dalam sistem instalasinya (A.S Pabla, Ir. Abdul Hadi, 1994).

Rugi tegangan biasanya dinyatakan dalam satuan persen (%) dalam tegangan kerjanya yaitu :

Untuk arus bolak-balik tiga fasa :

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times I_{LL} \times l \times (R \cos \phi + X \sin \phi)}{V_{LL}} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :  $\Delta V$  = Jatuh tegangan dengan penghantar (%)  
 $I_{LL}$  = Arus dalam penghantar (A)  
 $L$  = Jarak dari permulaan penghantar sampai ujung (m)  
 $R$  = Resistansi penghantar (Ohm)  
 $X$  = Reaktansi penghantar (Ohm)  
 $V_{LL}$  = Tegangan fasa-fasa (Volt)

## 2.10 Menentukan Kapasitas *Circuit Breaker* (CB)

Selain menentukan arus saluran, dalam penentuan kapasitas CB yang digunakan perlu diketahui pula besar arus hubung singkat, untuk mengetahui nilai arus hubung singkat pada saluran dapat diketahui dari persamaan sebagai berikut : (A.S Pabla, Ir. Abdul Hadi, 1994).

$$I_{HS} = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3} \times \sqrt{R^2 + X^2}} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :  $V_{LL}$  = Tegangan sistem (V)  
R = Resistansi penghantar ( $\Omega$ )  
X = Reaktansi penghantar ( $\Omega$ )

## 3. HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN

Dalam proses konversi tenaga air menjadi energi listrik terdapat efisiensi, dimana efisiensi ini dipengaruhi oleh efisiensi turbin, efisiensi generator dan efisiensi saluran. Jika diasumsikan Efisiensi turbin sebesar 85%, efisiensi generator sebesar 85%, efisiensi trafo 100% (asumsi), maka dengan adanya ketiga faktor efisiensi ini, persamaan daya *output* diatas menjadi :

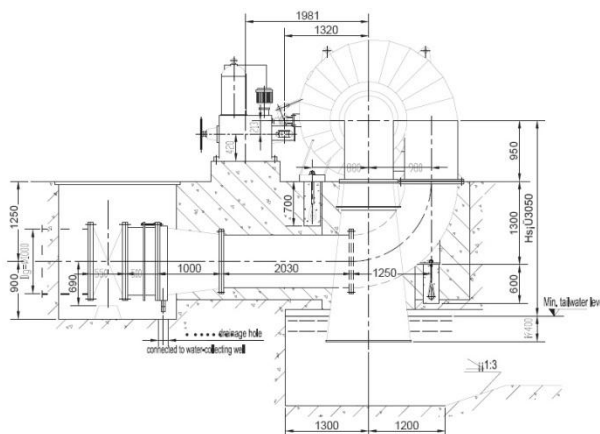
Q rata-rata = 20.66 m<sup>3</sup>/detik, Q rencana = 16,53 m<sup>3</sup>/detik

$$P = g \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_{trans}$$

$$P = 9,8 \times 8,264 \times 39,3 \times 0,85 \times 0,85 \times 1$$

$$P = 2,300 \text{ kW}$$

Pada PLTM lapai ini turbin yang digunakan adalah jenis turbin francis digunakan turbin francis karena efisiensi maksimum yang tinggi berkisar 0,8 – 0,9 dan head medium-tinggi adalah turbin francis horizontal dengan efisiensi turbin yang relatif tinggi dengan konstruksi sederhana. Turbin francis umumnya memiliki variasi debit yang lebar (beroperasi s/d 0,4 Qmaks) dengan efisiensi tinggi (0,70 – 0,90). Gambar 5 memperlihatkan konstruksi sebuah turbin francis yang akan digunakan.



**Gambar 5. Kontruksi Turbin Francis**

Spesifikasi teknis :

Nama : Turbin Francis, Tipe : Turbin Francis, *Shaft tipe* : Horizontal, *Speed* : 750 rpm, Kapasitas : 2 x 2000 kW, Berat : 10000 KG,  $\varnothing$ Runner : 0,40 m,  $\eta$  : 80%, *Material Runner Blade* Baja.

Dengan demikian besarnya daya poros turbin yang dihasilkan adalah :

$$P = g \times Q \times H \times \eta_{turbin}$$

$$P = 9,8 \times 8,264 \times 39,3 \times 0,85$$

$$P = 2,708 \text{ kW}$$

Bagian sangat penting pada pembangkit ialah Generator yang berfungsi sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada PLTM Lapai jenis generator yang digunakan adalah jenis generator sinkron karena sesuai dengan daya keluaran.

Berdasarkan perhitungan dalam perancangan PLTM dengan potensi sungai Watunohu ini besar kapasitas daya yang dihasilkan setelah memperhitungkan efisiensi turbin, efisiensi generator adalah sekitar 85%, maka diperoleh daya :

$$P_{in} = g \times Q \times H \times \eta_{turbin}$$

$$P_{in} = 9,8 \times 8,264 \times 39,3 \times 0,85$$

$$P_{in} = 2,708 \text{ kW}$$

Dari perhitungan di atas, maka didapat *output* generator yaitu:

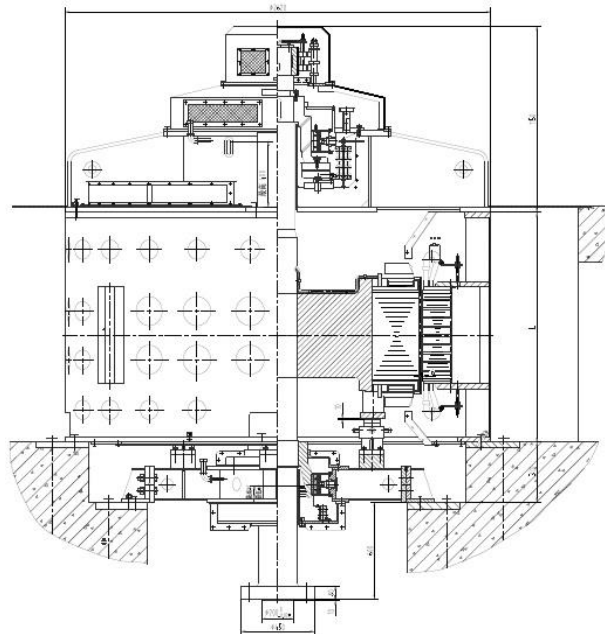
$$P_g = 0,85 \times 2,708 \times 1$$

$$P_g = 2,301 \text{ kW} = 2,877 \text{ kVA}$$

Sedangkan arus pada generator sinkron :

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot \cos\phi} = \frac{230100}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 411,3 \text{ A}$$

Gambar 6 memperlihatkan konstruksi sebuah generator sinkron yang akan digunakan.



**Gambar 6. Kontruksi Generator Sinkron**

Spesifikasi teknis :

Nama : Generator Sinkron, Tipe : 3 fasa, poros *Horizontal*, PF: 0.85, Kapasitas : 2400 kVA, Tegangan *output* : 6.3 kW, *Frekuensi* : 50 Hz, Berat Total : 10000 KG, Kecepatan : 750 rpm, *Overspeed* : 150 menit, Sistem *Exitasi* : Brushless *Exitasi*, Tipe *Exitation* : *Brushless Exitation*, *Isolasi Class* : Class A, *Cooling Sistem* : Udara, *Governor and Inlet Valve Sistem Pressure* : 10 Bar, Total berat : 10000 kg.

Rating trafo yang akan digunakan maka dilakukan perhitungan dari persamaan sebagai berikut. Tabel 2 dibawah ini memperlihatkan hasil perhitungan daya dua buah trafo yang akan digunakan.

Trafo 1 :

$$S_{trafo} = \frac{2877}{0,8} = 3597 \text{ kVA}$$

Trafo 2 :

$$S_{trafo} = \frac{2877}{0,8} = 3597 \text{ kVA}$$

**Tabel2.Hasil Perhitungan daya trafo.**

Trafo	Daya Maksimum (kVA)	Daya Trafo (kVA)	Daya Trafo Yang Digunakan (kVA)
Trafo_1	2877	2877	3597
Trafo_2	2877	2877	3597



### 3.1 Pehitungan Arus Saluran

Arus saluran (A) pada sistem ini, besarnya arus dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$I_L = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} x V_{LL}}$$

- Arus Saluran dari Generator 1 ke Bus 1
- Arus Saluran dari Generator 2 ke Bus 2

$$I_L = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} x V_{LL}} = \frac{2877}{\sqrt{3} x 20} = 83 \text{ Ampere} \quad I_L = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} x V_{LL}} = \frac{2877}{\sqrt{3} x 20} = 83 \text{ Ampere}$$

Perhitungan diatas dapat dipetakan pada Tabel 3 yang menunjukkan hasil perhitungan arus saluran.

**Tabel 3 Hasil Perhitungan arus saluran.**

No	Dari	Ke	Arus (A)
1	Gen_1	Bus_1	100
2	Gen_2	Bus_2	100

### 3.2 Pemilihan Penghantar

Aspek yang perlu diperhatikan dalam pemilihan kabel/penghantar antara lain :

- a. Jenis kabel harus sesuai dengan kondisi dan lokasi penggunaan.
- b. Ukuran kabel harus diperhitungkan terhadap arus beban, arus hubung singkat dan rugi tegangan.

Untuk kabel tegangan menengah 20 kV digunakan jenis kabel TM berisolasi XLPE(N2XS<sub>Y</sub>, N2FGb<sub>Y</sub>) sesuai dengan standar SPLN 42-10 : 1993, dengan karakteristik sebagai berikut:

N: *Copper Conductor*, 2X: *XLPE insulation*, S: *Copper Screening*, Y: *PVC Insulation (First Y)*

Dari tabel 4.7 telah diperoleh perhitungan arus di sisi tegangan menengah sebesar 264 A sedangkan untuk VCB yang ada di lapangan 630 A. maka penghantar jenis kabel N2XS<sub>Y</sub> 3 x 95 mm<sup>2</sup> yang digunakan untuk arus 264 A.

Untuk penentuan jenis penghantar pun harus memperhatikan tegangan jatuh (*drop voltage*).

*Drop voltage* yang diperbolehkan pada sistem ini mengacu pada standar susut tegangan PLN, yaitu harus lebih kecil dari 5%. Untuk mendapatkan besarnya tegangan jatuh pada saluran kita harus melihat data dari kabel yang akan kita gunakan. Tabel 4 dibawah ini memperlihatkan hasil tegangan jatuh dari trafo yang digunakan ke JTM terdekat di lokasi.

Tegangan jatuh dari saluran :

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} x 249 x 3.5 x (0,157 x 0,8 + 0,084 x 0,6)}{20000} x 100\% = 1.41\%$$

**Tabel 4 Hasil perhitungan Drop Voltage.**

Ke	Dari	Tegangan sistem (V)	Arus saluran (I)	Panjang saluran(KM)	Size (mm <sup>2</sup> )	DV (%)
busbar	generator	20kV	264	3.5km	150	1.41%

Hasil pemilihan kabel untuk perencanaan penghantar sistem PLTMH ini sudah cukup memadai untuk sistem ketenagalistrikan yang dirancang, hal ini didasarkan pada kapasitas kuat hantar arus kabel yang diatas dari arus salurannya, dan juga tegangan jatuhnya yang sesuai dengan standar PLN yaitu, dibawah 5% dari tegangan dasar sistem telah tercapai.

### 3.3 Pemilihan Pengaman *Circuit Breaker* (CB)

Ketika akan menentukan jenis dan besarnya kapasitas pengaman, kita harus mengetahui berapa besarnya arus pada saluran untuk menentukan *level rated current* dari *circuit breaker* (CB). Selain mengetahui arus saluran, perlu diketahui pula arus hubung singkat dari saluran, untuk menentukan kapasitas *breaking capacity* dari CB yang akan digunakan. Untuk menentukan arus saluran dari persamaan (3.5) berikut :

$$I_L = \frac{S_{max}}{\sqrt{3} \times V_{LL}}$$

• Kapasitas CB\_1

$$I_L = \frac{2877}{\sqrt{3} \times 6.3} = 264 \text{ A}$$

• Kapasitas CB\_2

$$I_L = \frac{2877}{\sqrt{3} \times 20} = 83 \text{ A}$$

Dari perhitungan diatas telah didapatkan besaran arus saluran dan arus hubung singkat yang digunakan untuk menentukan kapasitas CB yang akan digunakan sebagai proteksi terhadap arus lebih dan tegangan lebih. Tabel 5 memperlihatkan hasil perhitungan kapasitas pengaman yang akan di gunakan.

**Tabel 5 Kapasitas *Circuit Breaker***

<i>Circuit Breaker</i>	Tegangan Sistem (kV)	Arus Saluran (A)
CB_1	6.3	264
CB_2	20	83

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang tertulis dalam laporan ini tentang perancangan pembangkit listrik tenaga minihidro (PLTM) lapai 2 x 2000 kW, maka dapat diambil keputusan sebagai berikut :

1. Rasio elektrifikasi kabupaten Kolaka Utara sebesar 38 % dengan jumlah penduduk di kabupaten Kolaka Utara mencapai 121,476 jiwa dan kepadatan penduduk 35,82 jiwa/km<sup>2</sup> dengan luas wilayah kabupaten Kolaka Utara sekitar 3.391,62 km<sup>2</sup>.
2. PLTM Lapai dibangun untuk memanfaatkan aliran sungai Watunohu. Debit minimum sungai Watunohu adalah 11,45 m<sup>3</sup>/detik dan debit maksimumnya adalah 54,84 m<sup>3</sup>/detik, sedangkan debit rencana yang diperoleh sebesar 16,53 m<sup>3</sup>/detik.
3. Untuk transmisi daya dari turbin yang di salurkan ke generator dalam perencanaan ini menggunakan transmisi daya langsung (*direct drives*). Daya darii poros turbin (rotor) langsung ditransmisikan ke poros generator yang disatukan dengan sebuah kopling. Dengan demikian, kontruksi sistem transmisi ini menjadi lebih kompak, mudah untuk perawatan, efisiensi tinggi, dan tidak memerlukan elemen mesin lain
4. Effisiensi nominal turbin air adalah 85%, sedangkan efisiensi rata – rata generator adalah 85%, dan efisiensi saluran pada *penstock* adalah 100%, maka daya *output* yang dihasilkan adalah 2,301 kW.

## DAFTAR RUJUKAN

- Marsudi, Djiteng. (2005). Pembangkit Energi Listrik. Bandung : Erlangga.
- Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral RI.(2005). "Manual Pengelolaan Pengembangan PLTMH untuk Program Listrik Pedesaan" Jakarta.
- PT.PLN (Persero). (2010). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL).
- Layman's Handbook.(1998). *On How To Develop To A Small Hydro Site*, European.
- A.S Pabla, Ir. Abdul Hadi. (1994). Sistem Distribusi Daya Listrik. PenerbitErlangga.Jakarta.
- Zuhal. (1991). Dasar Tenaga Listrik. Penerbit ITB. Bandung.