

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Pemasalahan

Indonesia adalah Negara kepulauan dengan jumlah pulau yang mencapai 17.000 pulau. Dari sekian banyak pulau tersebut belum semua pulau yang dihuni manusia dapat menikmati listrik akibat lokasi yang tidak dapat dijangkau oleh jaringan listrik PLN.

Pembahasan sumber daya energi sangatlah penting karena dapat menggambarkan potensi dan prospek pemamfaatannya di masa depan, penggunaan energi dapat membawa dampak yang negatif bagi lingkungan, penggunaan energi dapat menimbulkan polusi udara adanya limbah padat, limbah cair dan gas buang. Seiring dengan meningkatnya pengguna energi saat ini aspek lingkungan dalam pembangunan mendapat perhatian yang serius.

Salah satu opsi dalam pengembangan sektor energi pemamfaatan pembangkit listrik tenaga mini (PLTM) untuk daerah yang di aliri sungai yang cukup dan dapat mensupplay energi kepada masyarakat. Pembangunan pembangkit yang mempunyai aliran sungai skala Mini (PLTM) ini tidak memerlukan relokasi tempat tinggal masyarakat setempat akibat pembuatan bendungan dan waduk. Lebih jauh pemamfaatan PLTM ini diharapkan dapat menyediakan tenaga listrik yang murah dan ramah lingkungan serta dapat berdampak pada kesadaran masyarakat untuk melestarikan hutan sebagai penjaga kelestarian sumber daya air.

Potensi air yang ada di Indonesia belum termamfaatkan secara maksimal karena belum tergalinya potensi teknologi PLTM. Padahal pada teknologi ini sangat cocok digunakan untuk daerah pedesaan yang berpotensi. Untuk itu di perlukan percobaan PLTM yang tepat untuk kondisi lingkungan dan sosial di Indonesia untuk mendapatkan desain PLTM yang sederhana dan handal.

Dengan melihat besarnya potensi tersebut dan rasio elektrifikasi tiap daerah di Indonesia terutama di daerah Sumatera Utara yaitu desa Tinada Kecamatan Tinada Kabupaten Pakpak Barat telah ada dibangun sebuah PLTM dengan kapasitas 700 kW. Namun pada kenyataannya pembangkit tersebut tidak

mampu mengeluarkan daya sebesar kapasitas terpasang yaitu 700 kW. Maka perlu dianalisa apa penyebab sehingga tidak tercapai daya keluaran pembangkit tersebut sebesar 700 kW.

1.2 Tujuan Pembahasan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk dapat menjelaskan tentang pembangkit listrik tenaga mini hidro (PLTM) Kombih I di desa tinada, kabupaten pakpak barat. Tujuan utama dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk menganalisa kerja generator pembangkit listrik unit PLTM Kombih I.

1.3 Rumusan Masalah

Dari latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan yaitu, meguraikan rumusan masalah yang dibuat dalam tugas akhir ini antara lain membahas susunan komponen utama di PLTM Kombih I, dan bagaimana cara menghitung nilai debit air dan daya yang dikeluarkan generator di PLTM Kombih I, serta cara memperoleh data hasil percobaan debit air di PLTM Kombih I.

1.4 Batasan Masalah

Melihat masalah yang ada pada PLTMH Kombih begitu luas, maka perlu dilakukan pembatasan masalah pada penulisan tugas akhir ini. Adapun batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini antara lain, hanya membahas hal-hal yang berkaitan dengan perencanaan pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro (PLTM) Kombih I seperti :

1. Membahas komponen – komponen / peralatan terpasang di PLTMH Kombih I secara umum.
2. Membahas tentang efesiensi daya pada generator pembangkit pada PLTMH Kombih I.
3. Membahas mengenai transformator pada PLTMH Kombih I secara umum.

1.5 Metodologi Pembahasan

Didalam memenuhi dan melengkapi data data yang diperlukan untuk memperkuat penulisan skripsi ini, penulis melakukan berbagai macam metode antara lain, Study literature yaitu dengan mengkaji dan mempelajari beberapa buku-buku (teks book) tentang pembangkit listrik tenaga mini hydro (PLTM), baik yang bersumber dari media cetak, elektronik maupun internet.

Selanjut melakukan Study lapangan berupa diskusi dalam bentuk tanya jawab dengan pihak perusahaan menyangkut hal hal yang berkaitan dengan rancangan bangunan instalasi PLTM Kombih I. serta melakukan pengamatan lapangan langsung ke PLTM Kombih I dengan mengambil data yang diperoleh langsung dari lapangan yang berhubungan dengan unjuk kerja generator yang digunakan pada PLTM Kombih I tersebut.

Lalu melakukan study bimbingan dengan dosen pembimbing yang telah ditunjuk, untuk membantu membahas mengenai penelitian skripsi yang sedang dikerjakan. Serta melakukan analisa data hasil pengamatan yang telah diperoleh selama penelitian di PLTM Kombih I, dan membandingkannya dengan buku-buku teori umum yang telah dikaji dan dipelajari sebelumnya untuk memperoleh kesimpulan dari penelitian tersebut.

1.6 Sistematika Penulisan

Di dalam penulisan tugas akhir ini dan untuk memudahkan pembahasan sesuai dengan judul yang telah dibuat, maka sistematika penulisannya diatur dalam 5 (lima) bab antara lain, pada bab I dijelaskan tentang pendahuluan membahas tentang latar belakang masalah, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah, metode pembahasan, dan sistematika penulisan untuk bisa membahas ke bab selanjutnya. Pada bab II akan diuraikan mengenai teori suatu pembangkit listrik tenaga mini hidro (PLTM). Disini akan dijelaskan mengenai prinsip kerja dari PLTM, dan membahas komponen utama dari PLTM, seperti bendungan, kolam penenang, kanal, pintu pengatur, pintu penguras, pipa pesat (*penstock*), rumah pembangkit, turbin air, saluran buang, generator. Pada bab III berisi deskripsi lokasi dan survey lapangan PLTM Kombih I, serta membahas

komponen-komponen terpasang pada PLTM Kombih I.

Dan pada bab IV akan diuraikan pokok permasalahan dari penulisan tugas akhir ini yaitu, Berisikan tentang hasil pengamatan dan pembahasan pokok permasalahan yaitu menganalisis unjuk kerja generator pada PLTM Kombih I. dan pada bab V, berisikan tentang kesimpulan dan saran, yang merupakan hasil dari analisa perbandingan pada data-data yang tertera pada bab IV, maka dapat diambil pembahasan dari tugas akhir ini.

BAB II
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

2.1. Spesifikasi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air adalah suatu bentuk perubahan energi dari energi potensial air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi energi mekanik dengan menggunakan roda air atau yang paling sering disebut dengan turbin air dan mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan generator. Air mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah, aliran air ini akan memutar poros turbin hingga berputar dan dikopel langsung terhadap generator dan generator berputar sehingga menghasilkan energi listrik. Daya yang dibangkitkan generator yang diputar oleh turbin adalah :

$$P = \eta \cdot 9,8 \cdot H \cdot Q \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

- P : daya (kW)
- H : tinggi jatuh air (m)
- Q : debit air (m³/s)
- η : efesiensi turbin bersama generator

Berdasarkan output yang dihasilkan, Pembangkit Listrik Tenaga Air dibedakan atas :

1. PLTA Mikro < 100 kW
2. PLTA Mini 100 – 999 kW
3. PLTA Kecil 1000 – 10.000 kW
4. PLTA Besar > 10 MW

2.2. Komponen – Komponen dari PLTM

Komponen – komponen yang dibutuhkan dalam suatu PLTM adalah sebagai berikut :

1. Bendungan
2. Kanal
3. Kolam penenang (*Forebay Tank*)
4. Pintu pengatur
5. Pintu penguras
6. Pipa pesat (*Penstock*)
7. Rumah pembangkit
8. Turbin air
9. Saluran buang
10. Generator

2.2.1. Bendungan

Bendungan berfungsi untuk mengumpulkan air yang akan digunakan untuk pembangkitan listrik tenaga air. Dari bendungan ini air memasuki pintu masuk (intake gate) ke kanal menuju kolam penenang melalui pipa pesat. Contoh bendungan PLTM dapat dilihat seperti gambar 2.1 di bawah ini :



Gambar 2.1. Bendungan

2.2.2. Kanal

Kanal berfungsi sebagai saluran pembawa air dari bendungan sampai kolam penenang. Pada kanal juga terdapat filter untuk menyaring air dan kotoran atau sampah-sampah yang hendak masuk dari bendungan ke kanal agar kotoran tidak dibawa ke kolam penenang melalui pipa pesat.



Gambar 2.2. Kanal

2.2.3 Kolam Penenang

Kolam penenang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kembali air yang masuk melalui saluran kanal, menuju turbin agar tidak merusak peralatan pembangkit tersebut. Selain itu kolam penenang ini juga berfungsi untuk menenangkan aliran air yang masuk ke pipa pesat.



Gambar 2.3. Kolam Penenang

2.2.4. Pintu Pengatur

Pintu pengatur berfungsi untuk mengatur volume air yang akan masuk dari kolam penenang ke pipa pesat menuju turbin. Pintu pengatur ini juga berfungsi untuk menutup aliran air menuju turbin apabila terjadi pemeliharaan pada peralatan pembangkit tersebut.



Gambar 2.4. Pintu Pengatur

2.2.5. Pintu Penguras

Untuk bendungan yang relatif rendah dibangun di sungai-sungai yang membawa banyak tanah, pasir, batu dan lain-lainnya, maka beberapa tahun sesudah pembangun selesai bahan-bahan tadi akan terkumpul dalam ruangan penampungan bendungan dan kemudian akan turut meluap melalui puncak bendungan pada waktu banjir, lalu masuk dalam pintu masuk (intake). Oleh karena itu diadakan pipa kuras (*Scouring Sluice*) untuk mencegah terjadinya keadaan tersebut. Tempat penguras biasanya dilengkapi dengan pintu (gate).

2.2.6. Pipa Pesat

Pipa pesat adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang yang membawa air jatuh ke arah mesin turbin. Di samping itu, pipa pesat juga mempertahankan tekanan air jatuh sehingga energi di dalam gerakan air tidak terbuang. Pipa pesat tidak boleh bocor karena dapat mengakibatkan

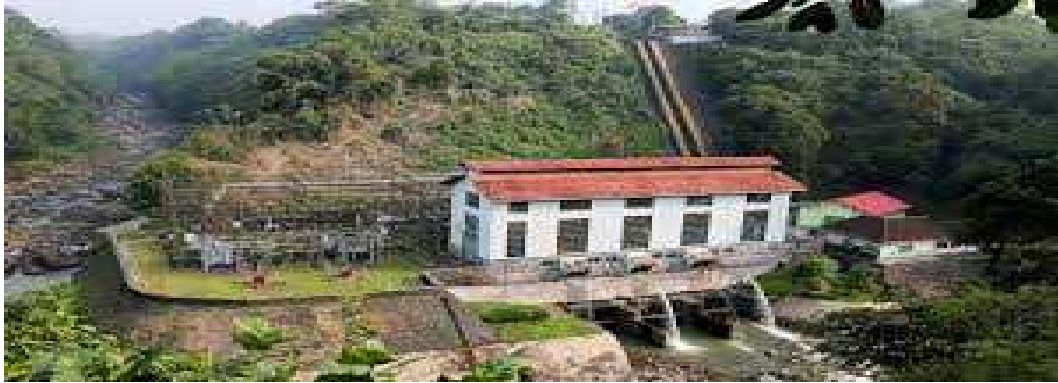
hilangnya tekanan air. Pipa pesat di hubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air atau yang sering disebut dengan turbin. Diameter pipa pesat di pilih dengan mempertimbangkan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugi-rugi (*fiction losses*) seminimal mungkin. Ketebalan pipa pesat dipilih untuk menahan tekanan hidrolik dan *surge pressure* yang dapat terjadi. Gambar 2.4 dibawah ini merupakan contoh pipa pesat PLTA.



Gambar.2.4. Pipa Pesat

2.2.7. Rumah Pembangkit

Rumah pembangkit ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan peralatan utama dari pembangkitan listrik agar terlindung dari air hujan dan cahaya matahari. Dalam ruangan ini berisi peralatan utama yang mengubah energi mekanik menjadi energi potensial air yaitu turbin dan mengubah energi potensial menjadi energi listrik yaitu generator dan juga baterai untuk menyuplai energi pada governor beserta panel-panel listriknya dan system kontrolnya.



Gambar.2.5. Rumah pembangkit

2.2.8. Turbin Air

Turbin air merupakan komponen utama dari sebuah pembangkit listrik tenaga air yang berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Air yang masuk ke turbin akan memukul sudu-sudu dari turbin sehingga turbin berputar. Perputaran dari turbin ini dihubungkan langsung ke generator.

Adapun jenis jenis Turbin adalah sebagai berikut :

- a) Turbin Impuls
- b) Turbin Reaksi

2.2.8.1. Turbin Impuls

Turbin impuls adalah turbin air yang cara kerjanya merubah seluruh air (yang terdiri dari energi potensial ditambah tekanan dan kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi kinetik.

Jenis-jenis turbin Impuls adalah sebagai berikut :

- a) Turbin pelton
- b) Turbin turgo
- c) Turbin cross-flow

a. Turbin pelton

Turbin pelton adalah jenis dari turbin impuls dimana salah satu atau semburan air mengenai roda pembawa dan pada ujung roda pembawa tersebut terdapat sejumlah bucket. Tiap semburan air yang melalui sebuah nosel dengan valve berupa jarum sebagai pengatur laju aliran air yang akan mengenai bucket. Gambar 2.6 dibawah ini merupakan contoh dari turbin pelton.



Gambar 2.6. Turbin Pelton

b. Turbin Turgo

Turbin turgo adalah jenis turbin impuls yang dapat dioperasikan pada head 30-300 m. seperti halnya turbin pelton, turbin turgo adalah jenis turbin impuls tapi bentuk sudunya berbeda, dimana semburan air akan membentur bidang datar terlebih dahulu, baru kemudian masuk atau mengalir ke sudu turbin pada sudut 20° . Air masuk melalui salah satu sisi pengerak dan kemudian akan keluar dari sisi yang lain. Selain itu turbin turgo juga dapat menampung air yang tidak terbatas, berbeda dengan turbin pelton yang daya tampung dari air yang akan melalui sudunya terbatas dikarenakan arah air yang meninggalkan sudu berlawanan dengan arah air yang akan menuju sudu. Dengan demikian kecepatan yang dihasilkan dari turbin ini lebih tinggi, selain itu juga memungkinkan untuk membuat kopling dan generator secara langsung dan dapat mengembangkan

efisiensi, juga dapat menekan harga perawatan dari turbin ini. Gambar 2.7. dibawah ini merupakan contoh turbin turgo.



Gamabr 2.7. Turbin Turgo

c. Turbin Cross – flow

Turbin Cross – flow ternasuk juga salah satu turbin impuls yang juga dikenal sebagai *Banki – Michell* yang merupakan penemunya. Selain itu juga disebut turbin *Osberger* yang merupakan perusahaan yang memproduksi turbin Crossflow. Turbin Crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 liter/sec hingga 10 m³/sec dan head antara 1 s/d 200m. Turbin aliran pemasukan air ke sudu turbin secara radial. Air dialirkan melwati sudu-sudu jalan yang membentuk silinder, pertama tama air dari luar masuk ke dalam silinder sudu-sudu dan kemudian dari dalam ke luar. Jadi kerjanya roda jalan turbin ini adalah seperti turbin pelton yaitu hanya sebagian sudu-sudu saja bekerja membalikan aliran air. Contoh dari turbin Cross – flow dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah ini.



Gambar 2.8. Turbin Cross – flow

2.2.8.2. Turbin Reaksi

Yang dimaksud dengan turbin reaksi adalah turbin yang cara kerjanya merubah seluruh energi air yang tersedia menjadi energi kinetik. Turbin jenis ini adalah yang paling banyak digunakan. Sudu pada turbin eaksi mempunyai profil khusus yang menyebabkan terjadinya penurunan tekanan air selama melalui sudu. Perbedaan tekanan ini memberikan gaya pada sudu sehingga runner (bagian turbin yang berputar) dapat berputar. Turbin yang bekerja berdasarkan prinsip ini dikelompokkan sebagai turbin reaksi.

Turbin reaksi dibagi atas beberapa jenis, yaitu :

- a) Turbin francis
- b) Turbin kaplan
- c) Turbin propeller (baling-baling)

a. *Turbin Francis*

Turbin francis adalah jenis turbin reaksi dimana air mengalir ke rotor dengan arah radial dan keluar dengan arah aksial. Perubahan arah terjadi sambil melewati rotor. Turbin francis dipakai untuk berbagai keperluan (*wide ring*) dengan tinggi terjun menengah (*medium head*). Rumah siput (*scroll case*) dibuat dari plat baja, baja cor, atau besi cor sesuai dengan tinggi terjun dan kapasitasnya dan bertugas menahan bagian terbesar dari beban tekanan hidrolis yang diterima oleh turbin. Tekanan selebihnya ditahan oleh sudu kukuh (*stay vane*) atau cincin

kukuh (*stay ring*). Sudu-sudu antar (*guide vane*) diatur dikelilingi luar rotor (*runner*) dan mengatur daya keluar (*output*) turbin dengan mengubah ubah bukaannya sesuai dengan perubahan beban melalui suatu mekanisme pengatur. Gambar 2.9 berikut merupakan contoh dari turbin francis.



Gambar 2.9. Turbin Francis

b. Turbin Kaplan

Adalah salah satu jenis turbin reaksi yang bekerja dengan aliran aksial, yang umumnya digunakan untuk head yang rendah. Turbin kaplan mempunyai sudu penggerak yang dapat diatur dan mungkin memiliki atau tidak memiliki sudu pengarah. Jika sudu dari pengarah bisa diatur “double regulative”, jika sudu pengarah tidak bisa diatur disebut “single regulative”. Gambar 2.10 berikut ini merupakan contoh dari turbin kaplan.



Gambar 2.10. Turbin Kaplan

c. *Turbin Propeller*

Turbin propeller disebut juga turbin baling – baling poros horizontal adalah turbin yang bekerja di dalam air yang dapat mengubah head / kecil rendah menjadi power yang besar. Turbin baling – baling ini mempunyai keuntungan dimana harga relative murah dan dapat dioperasikan pada kondisi kapasitas air yang relative konstan. Kelemahan turbin ini dibandingkan turbin kaplan adalah sudu turbin air nya tidak dapat diubah – ubah sesuaidengan kondisi pergolakan air. Dengan demikian efesiensinya akan berubah – ubah pula. Gambar 2.11 berikut ini merupakan contoh turbin propeller.



Gambar 2.11. Turbin Propeller

Aplikasi penggunaan turbin berdasarkan tinggi (*head*) yang didapatkan adalah sebagai berikut ini :

Tabel 1.1 : Ketinggian operasi turbin

No	Jenis Turbin	Variasi Head (meter)
1	Turbin Kaplan dan Propeller	$2 < H < 20$
2	Turbin Francis	$10 < H < 350$
3	Turbin pelton	$50 < H < 1000$
4	Turbin Cross – flow	$6 < H < 100$
5	Turbin Turgo	$50 < H < 250$

Posisi penyemburan terhadap sumbu roda jalan dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu :

- 1) Posisi vertikal
- 2) Posisi horizontal
- 3) Posisi miring

2.2.9. Governor

Seperti halnya pengaturan tegangan yang dilakukan oleh alat pengatur tegangan, dalam pusat listrik terdapat pengatur frekuensi pada setiap unit pemangkit. Pengatur frekuensi bisa disebut *governor*. Karena pengaturan frekuensi dilakukan dengan mengatur daya aktif yang dibangkitkan generator maka governor harus mengatur kopel mekanis yang dihasilkan mesin penggerak generator. Pengaturan kopel mekanis dilakukan dengan cara :

- a. Mengatur pemberian uap penggerak turbin dalam PLTU
- b. Mengatur pemberian air penggerak turbin dalam PLTA
- c. Mengatur bahan bakar dalam ruang bakar turbin PLTG
- d. Mengatur pemberian bahan bakar oleh pompa injeksi bahan bakar ke silinder mesin diesel dalam PLTD

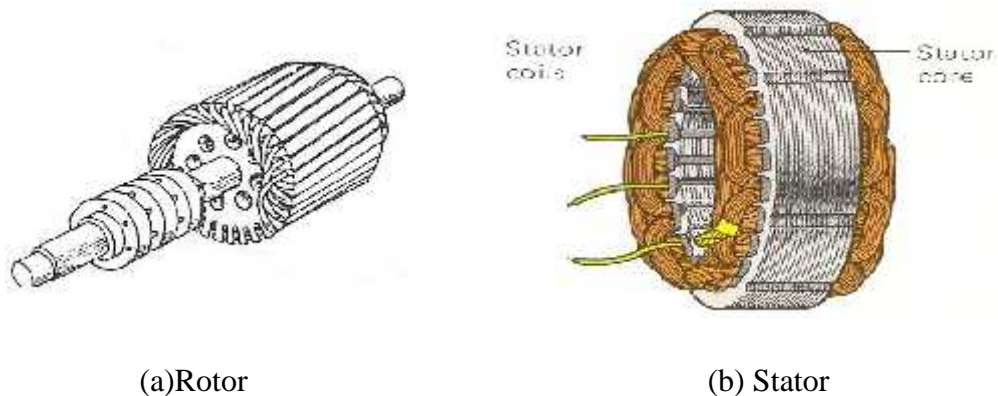
Untuk melakukan fungsinya tersebut diatas, governor mengukur frekuensi yang dihasilkan generator sebanding dengan kecepatan putar poros generator. Pada governor mekanis, kecepatan putar poros generator yang sebanding dengan frekuensi yang dihasilkan generator didapat dengan menggunakan bola-bola berputar yang menghasilkan gaya sentrifugal. Gaya sentrifugal ini dibandingkan dengan gaya mekanik yang didapat dari pegas referensi. Selisih besarnya gaya sentrifugal dengan gaya pegas ini menjadi sinyal penggerak sistem mekanik atau sistem hidrolik yang selanjutnya akan menambah uap, air, atau bahan bakar mesin penggerak generator.

2.2.10. Saluran Buang (*Spill Way*)

Saluran buang merupakan saluran yang berfungsi untuk mengalirkan air yang keluar setelah memutar sudu turbin dan kembali ke aliran sungai. Air yang keluar dari saluran buang tersebut dapat dimanfaatkan kembali sebagai irigasi.

2.2.11. Generator

Untuk pembangkit tenaga listrik yang lazim dipakai adalah generator sinkron. Generator dihubungkan dengan turbin melalui kopling langsung sehingga ketika sudu sudu turbin berputar maka generator juga ikut berputar. Generator selanjutnya mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik ini dikonversi menggunakan media medan magnet. Komponen utama generator terdiri dari bagian yang berputar disebut rotor dan bagian yang tidak berputar disebut stator.



Gambar 2.12 : Konstruksi Generator

2.2.11.1. Prinsip Dasar Generator Sinkron

Generator sinkron bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Generator sinkron mempunyai belitan jangkar yang merupakan elemen diam pada stator dan belitan eksitasi itu dimagnetisasikan oleh arus searah yang dipasok oleh sumber arus searah dari luar atau dari generator itu sendiri dengan jalan mengambil sebagian arus yang keluar dari stator lalu diserahkan sebagai penguat. Jika stator generator sinkron diputar pada suatu kecepatan tertentu yang disebut dengan putaran sinkron, belitan medan magnet pada rotor tersebut dialiri arus searah

sehingga menghasilkan fluksi yang turut berputar dan memotong belitan jangkar yang terdapat pada bagian stator. Akibat adanya perubahan fluksi persatuan waktu yang dirasakan oleh belitan jangkar, maka pada belitan jangkar akan terjadi tegangan induksi.

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik. Setelah rotor diputar oleh penggerak mula (*prime mover*), dengan demikian kutub – kutub yang ada pada rotor akan berputar. Jika kumparan kutub diberi arus searah maka pada permukaan kutub akan timbul medan magnet (garis – garis gaya fluksi) yang berputar, kecepatannya sama dengan putaran kutub. Garis – garis gaya fluks yang berputar tersebut akan memotong kumparan jangkar di stator, sehingga menimbulkan EMF atau GGL atau tegangan induksi, yang sama besarnya.

$$E = N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan :

E = Gaya Gerak Listrik (Volt)

N = Jumlah Belitan

$\frac{d\phi}{dt}$ = Perubahan fluks magnet (weber / sec)

2.2.11.2. Kecepatan Putaran Generator Sikron

Kecepatan putaran suatu generator sinkron tergantung pada penggerak mulanya, seperti pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA), penggerak mulanya berupa turbin. Jadi apabila putaran turbinnya tinggi, maka putaran pada generator juga akan tinggi. Dan jika sebaliknya, jika putaran turbin rendah maka putaran generator juga akan rendah. Putaran pada generator selalu dijaga konstan agar frekuensi dan tegangan yang dihasilkan generator sinkron tetap konstan. Untuk menentukan besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh generator dapat dicari berdasarkan besarnya jumlah putaran dan banyaknya jumlah pasang kutub pada generator sinkron, sehingga diperoleh hubungan.

$$f = \frac{p \cdot n}{120} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

- F = Frekuensi listrik (Hz)
- P = Jumlah kutub pada rotor
- n = Kecepatan putaran rotor (rpm)

Umumnya frekuensi listrik yang dihasilkan suatu generator sinkron di Indonesia 50 Hz. Ini berarti untuk generator sinkron yang mempunyai satu pasang kutub diperlukan sebanyak 25 putaran setiap detik atau sama dengan $60 \times 25 = 1500$ putaran per menit. Untuk menjaga frekuensi yang dihasilkan generator sinkron 50 Hz dan untuk generator sinkron yang mempunyai jumlah kutub pada rotornya lebih dari satu pasang maka jumlah putarannya ini disesuaikan dengan persamaan di atas. Kecepatan putaran juga sangat berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan generator sinkron. Jika putarannya turun maka tegangan generator sinkron juga akan turun dan apabila putarannya bertambah maka akan mengakibatkan bertambahnya tegangan yang dihasilkan oleh generator. Jadi, jika putaran generator sinkron bertambah maka akan mengakibatkan bertambahnya kemampuan pembangkitan daya dari generator sinkron. Tetapi biasanya dalam pengoperasiannya jumlah putaran generator sinkron dijaga konstan dan yang diatur biasanya adalah arus penguat medannya.

BAB III

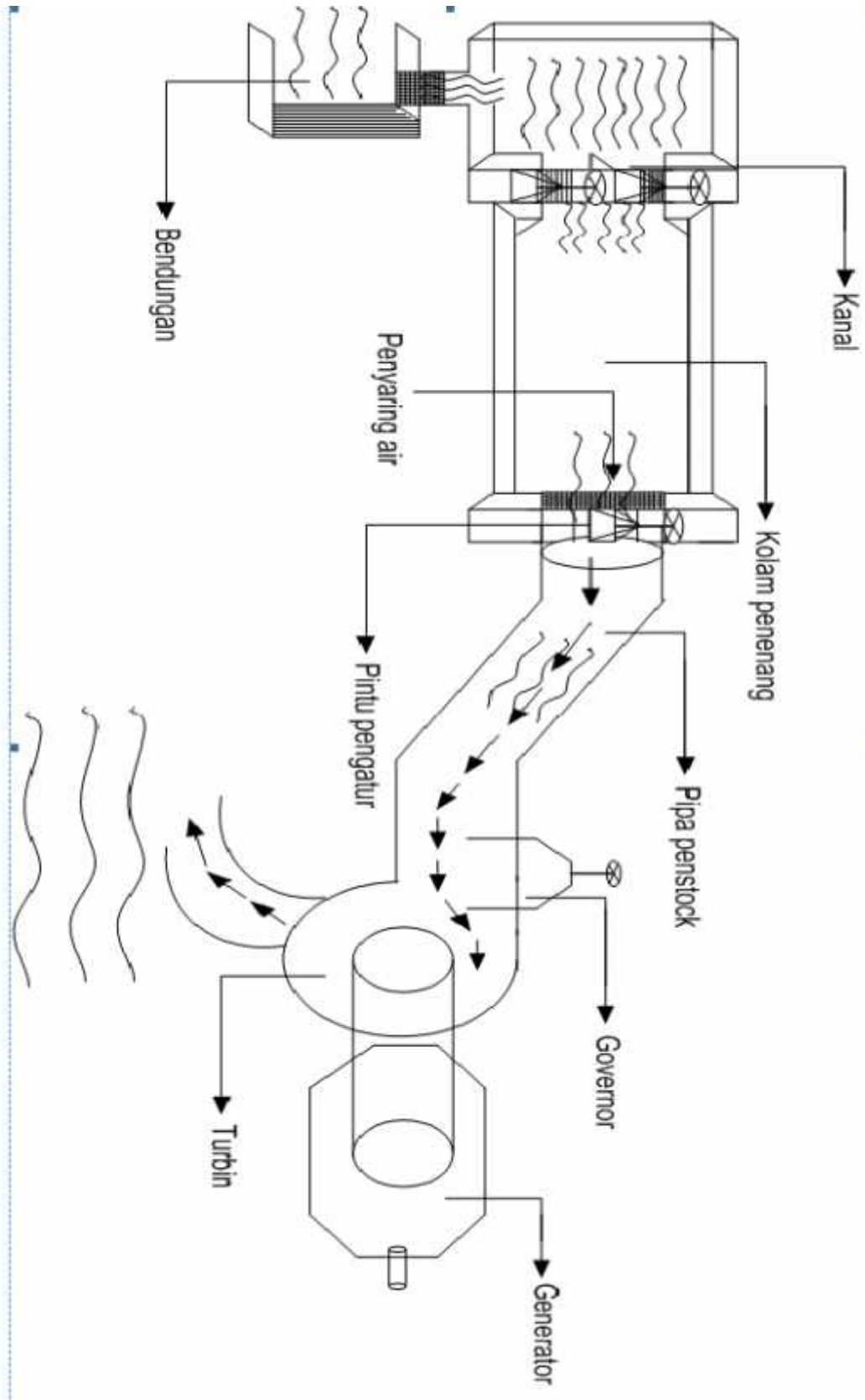
PLTM KOMBIH I

3.1. Umum

Pakpak Barat merupakan salah satu Kabupaten yang terdapat di Sumatera Utara, Indonesia Kabupaten ini dibentuk pada tahun 2003, dengan jumlah penduduk pada Kabupaten Pakpak Barat mencapai 40.505 jiwa. Seiring dengan pertambahan jumlah penduduk di daerah tersebut maka kebutuhan listrik pun semakin meningkat. Hal itu sangat berpengaruh terhadap pemasokan listrik dari PLN dimana daya yang tersedia dari PLN tidak mencukupi sehingga sering terjadi pemadaman bergilir di daerah tersebut. Untuk mengatasi hal ini maka PLN mengambil inisiatif untuk membangun suatu pembangkit skala menengah yang memanfaatkan potensi alam yaitu air. Dan pada tahun 1989 telah dibangun suatu pembangkit tenaga listrik tenaga mini (PLTM) dengan kapasitas 700 kW, karena pembangkit ini memanfaatkan aliran sungai Kombih maka pembangkit ini diberi nama PLTM Kombih, yang terletak di desa Tinada Kecamatan Tinada Kabupaten Pakpak Barat. Sampai sekarang pembangkit ini masih beroperasi dan telah mampu mensuplai daya ke sebagian daerah di Pakpak Barat.

3.2. PLTM KOMBIH I

PLTM Kombi I merupakan suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan potensi air dari sungai Lae Kombih. Untuk menghasilkan energi listrik. Lokasi PLTM ini berjarak 8 km menuju kota Salak yang merupakan ibukota Kabupaten Pakpak Barat. Pembangkit ini merupakan salah satu PLTM terbesar di Provinsi Sumatera Utara yang dikelola oleh PT.PLN (persero) Sektor Pembangkitan Pandan. Pada dasarnya prinsip pembangkitan dari PLTM hampir sama dengan PLTA yaitu air mengalir dari tempat yang lebih tinggi menuju tempat yang lebih rendah. Proses dalam pipa energi potensial kembali menjadi energi kinetik dan energi kinetik tersebut akan berubah menjadi energi mekanik di dalam turbin dan selanjutnya proses dari turbin akan berputar. Putaran turbin inilah yang digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik.



Gambar 3.1. Skema Pemabgkit PLTM Kombih I

Keterangan gambar :

1. Bendungan
2. Kanal
3. Pintu pengatur
4. Pintu penguras
5. Kolam penenang
6. Pipa lubang angin
7. Pipa pesat (*penstock*)
8. Katub
9. Turbin
10. Generator
11. Saluran pembuang
12. Rumah pembangkit (*power house*)

Air yang berasal dari sungai Lae Kombih dialirkan ke bendungan penampungan air untuk keperluan pembangkitan energi listrik. Air dari bendungan tersebut masuk ke kanal melalui intake gate. Pada bendungan tersebut dipasang filter mekanis untuk memisahkan air dan kotoran yang hendak masuk ke kanal. Dan air dari kanal akan mengalir menuju kolam penenang melalui pipa pesat yang di atur oleh pintu pengatur yang terdapat di kanal dan air akan di tenangkan di kolam penenang. Air dalam kolam penenang akan di salurkan ke turbin melalui pipa pesat.

Pembangunan PLTM ini sangat bermamfaat bagi masyarakat di daerah Pakpak Barat. Disamping pemenuhan akan kebutuhan akan pasokan energi listrik, ada beberapa keuntungan lain dari pembangunan PLTM ini antara lain :

- a. Air tidak perlu dibeli karena air disediakan oleh alam sehingga biaya pembangkit relatif mudah.
- b. Tidak menimbulkan polusi.
- c. Tidak menimbulkan kebisingan karena jauh dari pemukiman.
- d. Mempunyai useful life yang lama.
- e. Air bisa digunakan kembali sebagai irigasi

- f. Dapat meningkatkan perekonomian masyarakat karena dengan pembangunan PLTM ini akan membutuhkan tenaga kerja.

Akan tetapi disamping keuntungannya, PLTM Kombih ini juga mempunyai kekurangan / kerugian yaitu.

- a. Pengoperasian PLTM tergantung pada curah hujan. Kalau curah hujan rendah, maka PLTM tidak beroperasi secara normal.
- b. Jauh dari pusat beban sehingga membutuhkan biaya transmisi yang besar
- c. Biaya pembangunan relatif besar.

3.3. Lokasi PLTM Kombih

Lokasi PLTMH Kombih I berjarak \pm 380 km dari kota Medan atau sekitar 8 km sebelum sampai kota Salak. PLTM Kombih I berada pada kordinat $02^{\circ} 37' 11,9''$ LU dan $98^{\circ} 17' 21,9''$ BT. Lokasi tersebut dapat dicapai melalui jalan Medan – Berastagi – Kabanjahe – Sidikalang. PLTM Kombih I berada di tepi sungai Lae Kombih dan guna mendapatkan air sesuai kebutuhan maka dibangun bendungan yang berguna menaikkan permukaan air sungai untuk kemudian masuk ke saluran terbuka. Lokasi PLTM berada ditepi sungai dan tidak jauh dari jalan utama. Pemukiman terdekat berjarak 100 m yakni Desa Tinada.

3.4. Komponen Utama PLTM Kombih I

Seperti halnya PLTA, PLTM juga memerlukan komponen – komponen utama yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik baik dari komponen esensial maupun komponen pada power haouse. Dari hasil pengamatan dan penelitian pada PLTM Kombih I, beberapa komponen utama yang dibutuhkan antara lain :

- a) Bendungan
- b) Kanal
- c) Kolam penenang (*Forebay Tank*)
- d) Pintu pengatur
- e) Pintu penguras
- f) Pipa pesat (*Penstock*)

- g) Rumah pemangkit (*Power House*)
- h) Turbin air
- i) Saluran buang (*Spill Way*)
- j) Generator
- k) Transformator

3.4.1. Bendungan

Bendungan merupakan komponen utama yang dibutuhkan dalam sebuah pembangkitan tenaga listrik air dan berfungsi sebagai tempat penampungan air dari berbagai sumber untuk memutar turbin. Dan dari hasil penelitian di PLTM Kombih I, panjang dari bendungan adalah 20 meter, lebar 14 meter, tinggi air jatuh bendungan 7 meter dan tinggi ke dalaman air pada bendungan 2,5 meter . Seperti ditunjukkan pada gambar 3.3 di bawah ini, bendungan ini juga dilengkapi dengan pintu pengatur yang mengatur masuknya air dan juga terdapat saringan sampah berbentuk grizly agar kotoran tidak masuk ke saluran kolam penenang.



Gambar.3.2. Bendungan PLTM Kombih I

3.4.2. Kanal

Kanal merupakan komponen sebuah pembangkit yang berfungsi sebagai saluran pembawa yang menyalurkan air dari bendungan ke kolam

penenang. Adapun panjang kanal pada PLTM Kombih I adalah 10 meter dan lebar 1,3 meter, seperti ditunjukkan pada gambar 3.3 dibawah ini :



Gambar 3.3. Kanal PLTM Kombih I

3.4.3. Kolam Penenang

Kolam penenang merupakan kolam yang berfungsi untuk menenangkan air setelah dialirkan dari bendungan dan juga untuk pemisah akhir kotoran dalam air seperti pasir, kayu – kayuan. Kolam penenang juga dilengkapi dengan filter untuk mencegah sampah dan benda – benda yang tidak diinginkan memasuki pipa pesat bersama aliran air menuju turbin. Kolam penenang tersebut juga dilengkapi dengan pintu penguras sebagai kelengkapan untuk perawatan kolam penenang. Kolam penenang ini sangat berpengaruh terhadap air yang akan masuk ke turbin, dimana air harus benar – benar tenang dan bersih agar tidak mengganggu sistem kerja dari turbin. Kolam penenang pada PLTM kombih I merupakan bangunan permanen dengan panjang 428 meter dengan lebar 10 meter dan kedalaman 2,50 meter seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 dibawah ini



Gambar 3.4. Kolam penenang PLTM Kombih I

3.4.4. Pintu Pengatur

Setiap PLTM harus dilengkapi dengan pintu pengatur, karena pintu ini mempunyai fungsi yang sangat vital. Pintu pengatur berfungsi untuk mengatur air yang masuk ke kolam penenang dan turbin. Pintu pengatur yang ditempatkan pada bendungan berfungsi untuk mengatur masuknya air ke kolam penenang sedangkan pintu pengatur yang ditempatkan pada kolam penenang berfungsi untuk mengatur masuknya air ke turbin. Adapun gambar 3.5. dibawah ini :



Gambar 3.5. Pintu Pengatur

3.4.5. Pintu Penguras

Pintu saluran penguras ini berfungsi untuk membuang air dan seluruh kotoran / sampah – sampah yang ada di dalam saluran dan juga kolam penenang ke sungai. Pintu ini digunakan pada saat terjadi pemeliharaan agar air yang masuk menuju turbin tetap bersih.

3.4.6. Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa pesat atau penstock berfungsi untuk mengalirkan air sebelum masuk ke turbin. Pipa pesat menuju turbin ini dilengkapi dengan pipa pernapasan udara gunanya agar udara yang terjebak dalam pipa bisa keluar dan tidak menghantam sudu – sudu turbin. Dalam pipa ini energi potensial air dikolam penenang diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar roda turbin, karena pada PLTM Kombih I ada 2 unit turbin yang beroperasi maka terdapat 2 buah pipa pesat dengan ukuran yang sama yakni diameter 1,0 meter dan panjang 35 meter. Pipa pesat tersebut terbuat dari besi dan air yang melewati pipa pesat akan jatuh ke arah sudu – sudu turbin dan memutarnya. Seperti pada gambar 3.6. dibawah ini ditunjukkan gambar pipa pesat pada PLTM Kombih I.



Gamabr 3.6. Pipa Pesat PLTM Kombi I

3.4.7. Rumah Pembangkit (*Power House*)

Peralatan yang berhubungan dengan PLTM seperti turbin, generator dan peralatan kontrol ditempatkan dalam satu bangunan rumah yang disebut rumah pembangkit (*power house*). PLTM Kombih I memiliki rumah pembangkit semi permanen beratap seng dengan luas 250 m². Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.7. dibawa ini :



Gambar 3.7. Rumah Pembangkit PLTMH Kombih I

Kontrol panel yang terdapat pada power house antara lain :

1. Panel pengaturan beban (keluaran generator)
2. Panel penurunan dari 20 kV / 380V (interkoneksi)
3. Panel charger dengan pemakaian sendiri



Gambar.3.8. Panel Kontrol PLTM Kombih

1. Panel keluaran generator :

- a) KVAR
- b) Kw
- c) Ampere
- d) Volt
- e) Hertz
- f) Meteran / KWH meter untuk mengukur energi yang disalurkan
- g) Kontrol gangguan panel interkoneksi

2. Panel penurun tegangan 20 kV :

- a) Volt meter
- b) Frekuensi
- c) Kotak sinkronisasi
- d) Pengukur panas bearing
- e) Kotak rpm

3. Panel PS dan charger :

- a) KWH meter
- b) Kapasitor (5 buah)

3.4.8. Turbin Air

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin, khususnya untuk suatu desain yang sangat spesifik. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter-parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin yaitu :

1. Faktor tinggi jatuh air efektif dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin.
2. Faktor daya yang diinginkan berkaitan dengan *head* dan debit yang tersedia.
3. Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

Ketiga factor diatas seringkali diekspresikan sebagai “kecepatan spesifik, N_s ”, yang didefinisikan dengan formula :

$$N_s = N \times P \times H$$

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Dengan :

N = kecepatan putaran turbin (rpm)

P = maksimum turbin output (rpm)

H = head efektif (meter)

Output turbin dapat dihitung dengan menggunakan rumus persamaan (2.1):

$$P = 9,8 \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

Dengan :

Q = debit air (m^3/s)

H = head efektif (m)

η = efisiensi turbin

= 0,8-0,85 untuk turbin pelton

= 0,8-0,9 untuk turbin francis

= 0,7-0,8 untuk turbin crossflow

= 0,8-0,9 untuk turbin propeller Kaplan

Turbin air yang digunakan pada PLTM Kombih I adalah turbin reaksi jenis turbin francis dimana aliran air yang masuk ke turbin secara radial dan keluar secara aksial. Gambar 3.8 berikut merupakan turbin francis yang digunakan pada PLTM Kombih I.



Gambar 3.9. Turbin Francis PLTM Kombih I

Table 3.1 : Spesifikasi Turbin PLTM Kombih I

NO	Item	Parameter
1	Turbin	Francis
2	Putaran	375 rpm
3	<i>Head</i>	15 m
4	P	790 kW

3.4.9. Generator

Generator merupakan komponen utama dalam proses konversi energi listrik, sebab generator berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator untuk pembangkit listrik tenaga air skala mini menggunakan generator sinkron 3 fasa. Generator ini memiliki kecepatan 375 rpm. Gambar 3.9 berikut merupakan generator yang digunakan pada PLMT Kombih I.



Gambar 3.10. Generator PLTM Kombih I

Tabel 3.2. Spesifikasi Generator Kombih I

No	Item	Parameter	
1	Tegangan	400	
2	Frekuensi	50 Hertz	
3	$\cos \varphi$	0.80	
4	Type	SDBG 8063-16	
5	No Series	174731 NM	
6	Putaran	375 rpm	
7	Output (p)	940 kVA	
8	Erreging Exitation	35.3 volt	4,38 Amp
9	Isolasi Klase		F / H JP 23

3.4.10. Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya., dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandingan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya. Pada PLTM Kombih I transformator yang digunakan sebanyak 2 buah, yaitu trafo step Up dan

trafo step Down. Trafo step Up berfungsi untuk menaikkan tegangan output dari generator dari 400 Volt menjadi 20 kV yang disalurkan ke sistem 20 kV dan trafo step Down berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 380/220 Volt yang digunakan untuk pemakaian sendiri (PS).



Gambar 3.11. Trafo PLTM Kombih I

Untuk pemakaian sendiri (PS) :

a) Rumah tinggal operator

- | | |
|---------------------|---------------------------|
| 1) 1 unit TV | = 1 x 120 watt = 120 watt |
| 2) 4 stop kontak | = 4 x 100 watt = 400 watt |
| 3) 1 buah dispenser | = 1 x 35 watt = 35 watt |
| 4) Lampu TL | = 2 x 40 watt = 80 watt |
| | = 2 x 25 watt = 25 watt |
| | = 2 x 8 watt = 16 watt |
| | = 4 x 18 watt = 72 watt |
| | = 2 x 350 watt = 700 watt |

b) Rumah pembangkit (power hause) :

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| 1) 1 unit TV | = 1 x 120 watt = 120 watt |
| 2) 1 unit komputer | = 1 x 450 watt = 450 watt |
| 3) 6 lampu | = 6 x 40 watt = 240 watt |
| 4) 3 stop kontak | = 3 x 100 watt = 300 watt |

3.5. Prinsip Kerja PLTM Kombih I

Sistem PLTM Kombih I secara umum persis dengan PLTA pada umumnya. Dalam PLTM, tenaga air dikonversikan menjadi tenaga listrik. Mula-mula potensi tenaga air dikonversikan menjadi tenaga mekanik dalam turbin. Kemudian turbin air memutar generator yang membangkitkan tenaga listrik. Gambar 3.1. menggambarkan secara skematis bagaimana potensi tenaga air, yaitu sejumlah air yang terletak pada ketinggian 35 m diubah menjadi tenaga mekanik dalam turbin air.

3.6. Sistem Sinkronisasi

Operasi paralel pusat – pusat tenaga listrik pada dasarnya merupakan perluasan bekerja paralel satu pembangkit dengan pembangkit yang lain, dengan tambahan resistansi dan reaktansi saluran – saluran interkoneksi. Proses menghubungkan paralel satu pembangkit tenaga listrik dengan pembangkit yang lainnya dinamakan sinkronisasi, atau dapat juga dikatakan bahwa sinkronisasi pada pembangkit adalah memparalelkan kerja dua buah pembangkit atau lebih untuk mendapatkan daya sebesar jumlah pembangkit tersebut dengan syarat – syarat yang telah ditentukan.

Sinkronisasi atau menghubungkan paralel perlu dipenuhi syarat untuk sistem yang akan diparalelkan yaitu :

1. Besar tegangan harus sama
2. Frekuensi harus sama (mempunyai frekuensi yang sama)

Proses sinkronisasi pada PLTM Kombih I, mula – mula mengatur putaran turbin hingga mencapai 375 rpm. Setelah mencapai putaran nominal tersebut generator akan beroperasi dan menghasilkan tegangan 380 Volt dan frekuensi 50 Hz. Dan selanjutnya sistem akan menyamakan tegangan hingga 380 Volt dan frekuensi 50 Hz dengan AVR agar memenuhi persyaratan interkineksi terhadap generator. Setelah tegangan, frekuensi pada generator dengan sistem telah sama maka lambang sinkronisasi dengan menggunakan arah jarum jam pada panel akan berhenti dan tidak bergerak – gerak ke kiri dan kanan sehingga dapat di sinkronkan dengan cara menekan tombol sinkron pada kotak panel.

Syarat utama agar generator dapat beroperasi adalah putaran turbin harus sama yaitu 375 rpm. Pada saat debit air menurun maka putaran turbin akan turun dan secara otomatis tegangan generator akan berkurang. Untuk mengurangi penurunan output dari generator digunakan governor untuk melebaran sirip dari sudu-sudu turbin agar air yang masuk melalui pipa pesat menuju turbin kembali stabil sesuai dengan putaran normal turbin tersebut dan keluaran generator akan maksimal kembali.

Ketepatan sudut fasa dapat dilihat dari Sinchroscope. Bila jarum penunjuk berputar berlawanan arah jarum jam berarti frekuensi dan tegangan generator lebih rendah dan apabila searah jarum jam berarti frekuensi dan tegangan generator lebih tinggi. Pada saat jarum jam telah diam dan menunjuk pada kedudukan vertikal berarti beda fasa generator dan sistem telah 0 (nol). Maka pada kondisi ini saklar di ON kan.

3.7. Data Spesifikasi PLTM Kombih I

Data dan spesifikasi pada PLTM Kombih I dapat dilihat pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Spesifikasi PLTM Kombih I

No	Nama Peralatan	Spesifikasi Teknis
1	Turbin	Merk
		- Unit 1 = HSFN
		- Unit 2 = HSFN
		Type
		- Unit 1 = Francis S Case
		- Unit 2 = Francis S Case
		No Series
		- Unit 1 = NS = 8
		- Unit 2 = NS = 7
		Putaran = 375 rpm
		Head = 15 meter
2	Generator	Merk
		- Unit 1 = Reliance
		- Unit 2 = Reliance
		Type
- Unit 1 = SDBG 8063 - 16		

		- Unit 2 = SDBG 8063 - 16
		No Series
		- Unit 1 = 174731 NM
		- Unit 2 = 174731 WL
		Tegangan (kV)
		- Unit 1 = 0,4
		- Unit 2 = 0,4
		Frekuensi = 50 Hz
		Cos φ = 0,80
		Putaran = 375 rpm
		Erreging
		- 35,3 volt
		- 4,38 Amp
3	Head	- Unit 1 = 14,5
		- Unit 2 = 14,5
4	Debit	-Unit 1 = 6,2 m / det
		- Unit 2 = 6,2 m / det
5	Kapasitas Terpasang	- Unit 1 = 750 kW
		- Unit 2 = 750 kW
6	Daya mampu	- Unit 1 = 700 kW
		- Unit = 700 kW
7	Tahun operasi	1989
8	Luas area PLTM Kombih I	\pm 17000
9	Bendungan	Panjang = 20 meter
		Lebar = 14 meter
		Tinggi air = 7 meter
		Kedalaman air pada bendungan = 2,5 meter
10	Kanal	Panjang = 10 meter
		Lebar = 2 meter
11	Kolam Penenang	Panjang = 428 meter
		Lebar = 10 meter
		Kedalaman air = 2,50 meter
12	Pipa	Diameter = 1 meter
		Panjang = 35 meter