

LAPORAN TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN

PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA

MICROHIDRO KAPASITAS 10 kW



LAPORAN TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu
Syarat Ujian Guna Menyelesaikan Studi pada
Program Pendidikan Diploma III
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Oleh

SANDYASTIAN LETHE 342 07 001

FAJAR ASWAD 342 07 012

PROGRAM STUDI TEKNIK KONVERSI ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

MAKASSAR

2010

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : **“Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro Kapasitas 10 Kw”**.

Oleh : 1. Sandyastian Lethe (34207001)
2. Fajar Aswad (34207012)

Program Studi : Teknik Konversi Energi

Jurusan : Teknik Mesin

Tugas akhir ini telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi program diploma III (D3) pada program studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 19 November 2010

Disetujui,

Pembimbing I

Ir. Muh. Anshar, M.Si
NIP 196008171989031002

Pembimbing II

Akhmad Taufik, S.T., M.T.
NIP 197604132008121002

**Mengetahui,
a.n Direktur**

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Muh. Tekad, ST. MT
NIP : 19650824 199003 1 003

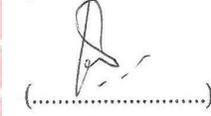
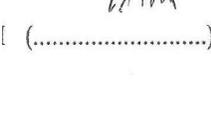
PENERIMAAN PANITIA UJIAN

Pada hari ini, hari Jumat tanggal 19 November 2010, Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir, telah menerima dengan baik hasil Tugas Akhir oleh mahasiswa:

Sandyastian Lethe/342 07 001, dan Fajar Aswad/342 07 012 Dengan judul **“Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro Kapasitas 10 Kw”**.

Makassar, 19 November 2010

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir :

- | | | |
|--|------------|--|
| 1. Ir. Andreas Pangkung, MT.
NIP. 19620828 198903 1 003 | Ketua |  |
| 2. Ir. Laode Musa, MT
NIP. 19601231 199003 1 021 | Sekretaris |  |
| 3. Ir. Remigius Tandioga, M.Eng.SC
NIP. 131 844 833 | Anggota |  |
| 4. Marhatang T.S.ST
NIP. 19741117 200212 1 002 | Anggota |  |
| 5. Ir. Muh Anshar, M.Si
NIP. 196008171989031002 | Pembimbing |  |
| 6. Akhmad Taufik, ST,MT.
NIP. 19760413 200812 1 003 | Pembimbing |  |

ABSTRAK

Sandyastian Lethe, Fajar Aswad, Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro kapasitas 10 kW. (Dibimbing Oleh Muh. Anshar dan Akhmad Taufik)

Rancang bangun ini bertujuan untuk membuat model/prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro dengan kapasitas 10 kW, menghasilkan energy listrik dengan memanfaatkan pembangkit tenaga listrik mikrohidro dan mengetahui kinerja generator yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan adalah pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Keunggulan PLTMH terletak pada biaya pembangkitan energi listrik yang kompetitif dan teknologi yang sederhana sehingga dapat dikelola dan dioperasikan oleh masyarakat setempat. Bagi masyarakat Desa Pallawa keberadaan energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro sangat diharapkan karena masyarakat dapat menikmati energi listrik serta meningkatkan taraf hidup dan kehidupan. Selain itu, masyarakat dapat terbebas dari isolasi keterbelakangan sosial dan peningkatan akses sosial.

Dalam proses pembuatan pembangkit listrik tenaga Microhidro ini berorientasi pada penerapan teknologi tepat guna yang terdiri atas tiga tahapan, yaitu: tahap perancangan, tahap pembuatan, dan tahap perakitan. Adapun langkah-langkah pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro ini dilakukan berdasarkan pengelompokan komponen-komponen. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam proses pengerjaan dan perakitan alat.

Setelah menyelesaikan rancang bangun ini, maka dilakukan pengambilan data pada alat turbin, dimana daya generator maksimum yang dihasilkan adalah 2800 Watt dimana perbedaan hasil daya listrik yang diperoleh disebabkan karena adanya perbedaan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT karena atas berkat Rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan Proposal Proyek Akhir ini dengan judul “*Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro Kapasitas 10 kW* ” sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Terwujudnya Proyek Akhir ini, tidak terlepas dari proses yang membutuhkan tenaga dan pikiran serta bantuan dan bimbingan yang sangat berharga dari berbagai pihak, baik secara moril maupun materi sehingga pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Orang tua beserta anggota keluarga lainnya yang telah banyak memberi dorongan spiritual, bantuan moril dan materi, serta telah banyak mendoakan penulis sehingga Proyek Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Dr. Pirman, M.Si (Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang)
3. Muh. Tekad, ST. MT (Ketua Jurusan Teknik Mesin)
4. Jamal, ST. MT (Ketua Program Studi Teknik Konversi Energi)
5. Ir. Muh. Anshar, M.Si selaku Pembimbing I dan Akhmad Taufik, ST,MT selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya dalam memberikan petunjuk, bimbingan, arahan serta dorongan moril dan materi.
6. Segenap dosen Jurusan Teknik Mesin pada umumnya dan Program Studi Teknik Konversi Energi pada khususnya yang selama kurang waktu 3 tahun dengan ikhlas dan penuh kerelaan hati telah mendidik dan mengajar penulis.

7. Para Staf Pegawai dan Teknisi Program Studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin yang dengan kesabaran telah banyak membantu penulis.
8. **Keluarga Besar Himpunan Mahasiswa Mesin** atas motivasi dan dukungan serta bantuan yang tak terputus dalam pengerjaan tugas akhir ini, terima kasih atas apa yang kalian berikan kepada kami... *Salam Solidarity Forever....!!!!*
9. Teman-teman masyarakat Mesin terutama dari kelas III-A Energi (**CONERA'07**) yang \pm 3 tahun lamanya bersama-sama dalam menimba ilmu di Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah bersedia bekerja sama dan banyak memberikan bantuan berupa saran dan materi serta semangat baik secara langsung maupun tidak langsung.

Namun demikian penulis menyadari sebagai manusia biasa yang tak pernah luput dari kesalahan serta dalam segala keterbatasannya hingga Proyek Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan saran dan kritikan yang positif demi kesempurnaan Proyek Akhir ini.

Akhirnya penulis memohon kepada Allah SWT semoga apa yang kita dapatkan bernilai ibadah di sisiNya. Amin.

Makassar, 2010

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
HALAMAN PENGESAHAN PANITIA UJIAN SIDANG	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan	3
D. Manfaat	4
BAB II TEORI DASAR	5
A. Hidro Power	5
1.) Microhidro	5
B. Komponen Microhidro	8
C. Prinsip kerja Microhidro	8
D. Dasar Rancang Bangun.....	10
1). Pemilihan Lokasi Pemasangan Prototipe Microhidro	10
2). Perancangan Turbin Air	12
3). Pemilihan Generator	17

BAB III METODE RANCANG BANGUN.....	21
A. Tempat dan Lokasi Kegiatan	21
B. Alat dan Bahan	21
1). Pembuatan Turbin	21
2). Generator	22
3). Cotrol Box Microhidro	23
C. Flow Chart Penelitian	24
D. Gambar Kerja	25
E. Prosedur Kerja	25
1). Tahap Perancangan.....	25
2). Tahap Pembuatan.....	32
3). Tahap Perakitan.....	38
F. Prosedur Pengujian	39
G. Teknik Analisa Data	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
A. Hasil	41
1. Pengambilan Data	41
2. Perhitungan.....	42
3. Hasil Analisa Data	46
B. Pembahasan.....	47
BAB V PENUTUP	50
A. Kesimpulan.....	50

B. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	53



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Bagan alir proses konversi energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro.....	8
Gambar 2	Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro.....	9
Gambar 3	Profil segitiga kecepatan.....	15
Gambar 4	Generator Sinkron Satu Phasa.....	17
Gambar 5	Karakteristik Beban.....	18
Gambar 6	Flowchart(Diagram Alir) Rancang Bangun.....	24
Gambar 7	Turbin <i>Crossflow</i>	25
Gambar 8	Runner.....	27
Gambar 9	Proses perakitan Runner.....	27
Gambar 10	Katup.....	27
Gambar 11	Komponen rakitan katup.....	28
Gambar 12	Nozel.....	28
Gambar 13	Penampang samping.....	28
Gambar 14	Elemen rakitan nozel.....	29
Gambar 15	Tutup Turbin.....	29
Gambar 16	Komponen rakitan tutup turbin.....	29
Gambar 17	sketsa kolam penenang.....	41
Gambar 18.	Grafik antara Daya Hidrolik (N_h), Daya Listrik(P_e) dan Efisiensi Turbin (η_T) terhadap debit (Q).....	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1. Penggolongan turbin air berdasarkan kecepatan spesifik.....	14
Tabel 4-1. Data Hasil Pengamatan	41
Tabel 4-2. Hasil Analisa Data	46



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi merupakan kebutuhan esensial bagi hidup dan kehidupan manusia, dan salah satu kebutuhan manusia di zaman modern ini yang telah menimbulkan ketergantungan adalah kebutuhan energi listrik. Ketersediaan energi listrik merupakan keharusan dalam menunjang aktifitas manusia saat ini karena energi listrik memiliki pengaruh yang besar untuk mempermudah dan memperlancar produktifitas manusia sehari-hari. Di sisi lain, kebutuhan akan energi listrik ini tidak dapat terpenuhi akibat keterbatasan suplai energi listrik atau terisolasinya suatu daerah dari keberadaan energi listrik. Salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah terpencil adalah melalui pemanfaatan energi alternatif.

Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin meningkat, saat ini PLN melaksanakan proyek percepatan pembangunan pembangkit listrik berbahan bakar batubara 10.000 MW yang segera akan disusul dengan proyek 10.000 MW tahap II. Namun selain membangun pembangkit-pembangkit listrik berkapasitas besar tersebut, pada daerah-daerah terpencil dan jauh dari lokasi jaringan transmisi, diperlukan pasokan dari pembangkit-pembangkit listrik berkapasitas kecil, terutama yang memanfaatkan potensi energi setempat yang bersifat terbarukan (*renewable*).

Salah satu sumber energi terbarukan yang berpotensi untuk dikembangkan adalah pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Keunggulan PLTMH terletak pada biaya pembangkitan energi listrik yang kompetitif dan teknologi yang sederhana sehingga dapat dikelola dan dioperasikan oleh masyarakat setempat.

Dewasa ini, pembangunan PLTMH menjadi pilihan dan merupakan salah satu pembangkit listrik yang populer yang dibangun oleh pemerintah dalam menangani persoalan krisis energi. Di Propinsi Sulawesi Selatan, beberapa unit PLTMH yang berskala menengah (20 – 50 kW) telah dibangun oleh Pemerintah Daerah Tingkat II. Oleh karena itu, kebijakan pemerintah saat ini adalah membangun pembangkit listrik yang menggunakan energi air seperti PLTA maupun PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro) yang memiliki daya output di atas 1 kW (atau antara 1 kW hingga 50 kW). Selain itu PLTMH juga merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan dengan biaya operasional yang relatif murah.

Di Desa Pallawa Kabupaten Bone sebagian besar masyarakatnya saat ini hidup dalam kondisi tanpa energi listrik dan hanya sebagian kecil masyarakatnya sudah menikmati energi listrik. Keberadaan satu unit Kincir Air yang bersumber dari swadana masyarakat setempat dengan kapasitas daya 1000 W belum dapat menjangkau kebutuhan listrik masyarakat di Desa Pallawa karena keterbatasan kapasitas daya dan jumlah penduduk yang relatif besar. Di sisi lain, desa ini memiliki potensi sumber daya air dengan debit air berkapasitas sedang. Dengan

struktur alam yang dimilikinya, Desa Pallawa sangat sesuai untuk pembangunan turbin air yang berskala kecil seperti Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro.

Bagi masyarakat Desa Pallawa keberadaan energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga MicroHidro sangat diharapkan karena masyarakat dapat menikmati energi listrik serta meningkatkan taraf hidup dan kehidupan. Selain itu, masyarakat dapat terbebas dari isolasi keterbelakangan sosial dan peningkatan akses sosial.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut di atas, dapat dirumuskan masalah yang dihadapi sebagai berikut :

1. Bagaimana membuat Pembangkit Listrik Tenaga MicroHidro dengan kapasitas 10 kW.
2. Bagaimana menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro.
3. Bagaimana mengetahui kinerja generator yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro.

C. Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada proyek akhir ini adalah:

1. Membuat Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro dengan kapasitas 10 kW.
2. Menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro.
3. Mengetahui kinerja generator yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro.

D. Manfaat

Manfaat yang diperoleh dalam pembuatan proyek akhir ini adalah:

1. Membantu program pemerintah pada pengembangan energi alternatif khususnya untuk daerah-daerah terpencil.
2. Bagi masyarakat pedesaan, keberadaan pembangkit listrik di desa tersebut memberikan dampak positif yang dapat menunjang pembangunan berbagai sektor di pedesaan dan membangkitkan perekonomian masyarakat pedesaan khususnya di Desa Pallawa Kabupaten Bone



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. HIDRO POWER

Pembangkit Hidro adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi air untuk menghasilkan listrik. Energi mekanik yang dihasilkan turbin berasal dari energi kinetik air. Turbin yang digunakan memiliki jenis yang berbeda-beda, antara lain crossflow, pelton, francise, propeller.

Adapun klasifikasi Hidro Power menurut [Http://Planethijau.com/Media Energi - Lingkungan – Teknologi](http://Planethijau.com/MediaEnergi-Lingkungan-Teknologi) A division of EP Medianet/ yaitu:

Microhidro

Mikrohidro adalah istilah yang digunakan untuk instalasi pembangkit listrik yang menggunakan energi air dengan kapasitas daya yang dibangkitkan dari 10 kW hingga 500 kW.

Mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dari ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin). Turbin akan menerima energi kinetik dari air dan mengubahnya menjadi energi mekanik untuk memutar generator.

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi

terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat ke dalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2.5 meter dapat dihasilkan listrik 400 watt. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan PLTA skala besar, berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Perbedaan antara Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan mikrohidro terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA dibawah ukuran 200 KW digolongkan sebagai

mikrohidro. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut :

1. Dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam.
2. Memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan.
3. Tidak menimbulkan pencemaran.
4. Dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan.
5. Dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

Sementara berdasarkan output yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga air dibedakan atas :

1. Large-hidro : lebih dari 100 MW
2. Medium-hidro: antara 15 – 100 MW
3. Small-hidro :antara 1 – 15 MW
4. Mini-hidro :Daya diatas 100 kW, tetapi dibawah 1 MW
5. Micro-hidro: Output yang dihasilkan berkisar dari 10 kW sampai 100 kW; biasanya digunakan untuk penyediaan energi bagi komunitas

kecil atau masyarakat pedesaan yang terpencil atau susah dijangkau.

6. Pico-hidro: daya yang dikeluarkan berkisar ratusan watt sampai 10 kW

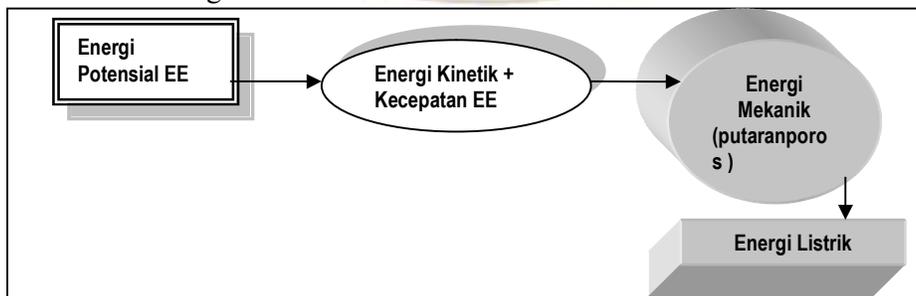
B. Komponen Microhidro

Berdasarkan buku “pompa, turbin, dan kompresor, Fritz, D.1988. Jakarta.” Proyek pembuatan prototype Microhidro yang akan kami buat secara umum terdiri dari beberapa bagian yaitu Turbin *Crossflow (prime mover)*, generator, peralatan proteksi (*dumploads*) serta peralatan pendukung berupa *control box*

C. Prinsip Kerja Microhidro

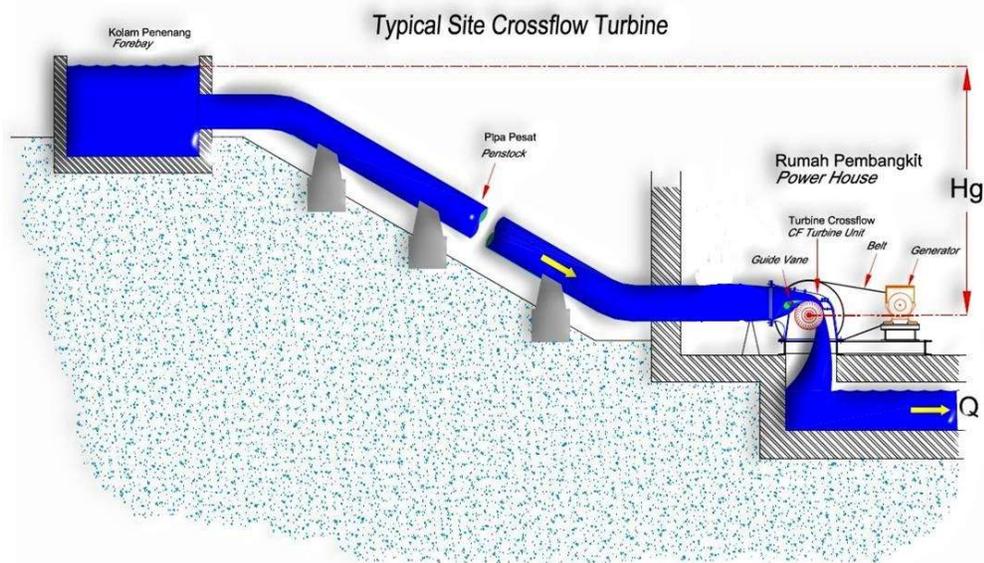
Sesuai dengan prinsip kerja turbin air pada buku ” “pompa, turbin, dan kompresor, Fritz, D.1988. Jakarta.” Mengatakan bahwa Prinsip kerja Microhidro pada dasarnya sama dengan pembangkit tenaga air lainnya yang merubah energi potensial dan kinetik air menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros untuk memutar turbin dimana poros turbin terhubung langsung dengan sebuah generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Secara umum diagram proses konversi energi pada Pembangkit listrik Tenaga Microhidro sebagai berikut :



Gambar 1. Bagan alir proses konversi energi pada pembangkit listrik tenaga Microhidro

Adapun prototype Microhidro yang kami desain bekerja dengan memanfaatkan aliran-aliran sungai atau irigasi yang memiliki beda ketinggian (*head*) berkisar 4 m, sebagaimana terlihat pada **Gambar 2**. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (rumah turbin). Di rumah instalasi, air tersebut akan menumbuk turbin dimana turbin akan menerima energi air tersebut dan mengubahnya menjadi energi mekanik berupa berputarnya poros turbin.. Makin besar variabel beda ketinggian (*Head*) maka kekuatan atau daya hisap turbin akan semakin besar sehingga daya yang dihasilkanpun akan meningkat.



Gambar2.Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro
(Sumber: <http://Siberwolf di Wikipedia/2009>)

D. Dasar – Dasar Rancang Bangun

Dalam rancang bangun prototipe Microhidro ini, beberapa hal yang menjadi dasar-dasar desain dan perancangan yaitu:

1. Pemilihan Lokasi Pemasangan Prototipe Microhidro

Salah satu syarat yang penting dalam pemilihan lokasi pemasangan PLTA jenis Microhidro adalah pengukuran debit air (Q) dan tinggi jatuh air (H). Kedua faktor ini merupakan besaran yang sangat penting dalam pemanfaatan Microhidro untuk menentukan daya listrik yang dibangkitkan.

Daya yang dapat dihasilkan diperlihatkan dalam persamaan berikut ini :

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

P_h = Daya hidrolis (W)

H = Head (m)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Gaya gravitasi (m^2/s)

Q = Debit air (m^3/s)

Berikut mengenai perhitungan parameter *Head dan Debit* :

a. Pengukuran Tinggi Jatuh Air (*Head*)

Tinggi jatuh air merupakan salah satu faktor yang menentukan daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh suatu pembangkit listrik tenaga air. tanpa terkecuali pada PLTA dengan daya yang besar atau dengan daya yang kecil. Tinggi jatuh air (*head*) adalah perbandingan antara ujung

propeller turbin dengan ujung permukaan pembuangan air. Untuk mendapatkan tinggi jatuh air (*head*) yang efektif maka digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma_2} + Z_2$$

Karena $Z_1 - Z_2 = H$, dan tekanan keluar sama dengan tekanan atmosfer maka :

$$\frac{P_1}{\gamma_1} = \frac{P_2}{\gamma_2} = 0 \text{ Sehingga diperoleh, } Z_1 - Z_2 = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \text{ maka}$$

:

$$H_{\text{tot}} = h \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

h = Tinggi jatuh air (m)

H = Jarak antara kolam penenang dengan ujung pipa keluaran (m)

P = Tekanan yang terjadi di dalam pipa (Nm)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

b. Pengukuran Kapasitas Aliran atau Debit (Q)

Pengukuran kapasitas aliran atau debit yang merupakan jumlah aliran air rata – rata tiap satuan waktu. Pengukuran besarnya kapasitas aliran apabila tidak terlalu besar, dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

- Pengukuran waktu (*stop watch*)
- Alat yang bekerja berdasarkan prinsip Bernoulli, seperti orifice atau *venturi*

- Dengan alat ukur aliran PD meter (*positive displacement meter*)
- *Area meter*

Persamaan umum debit :

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Q = Debit air (m³/s)

V = Kecepatan (m/s)

A = Luas permukaan (m²)

2. Perancangan Turbin Air

Turbin konvensional, dalam kelompok mesin penggerak mula atau *prime movers* ada tiga macam. Turbin air dengan media kerja air, turbin gas dengan media kerja gas panas yang bertekanan, dan turbin uap dengan media kerja uap. Ketiga macam turbin tersebut mempunyai kemiripan dalam konstruksi, namun berbeda dalam termodinamika, karena fluida kerjanya yang tidak sama. Teknologi turbin air merupakan perkembangan dari kincir air (*water wheel*). Perbedaan utama kincir air dan turbin air adalah bahwa kincir air hanya mengubah kecepatan aliran, sedangkan turbin mengubah arah dan kecepatan aliran. Turbin air berperan mengubah energi air (energi potensial, tekanan, dan energi kinetik) menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros.

a. Pengelompokan Turbin Air

Berdasarkan prinsip kerjanya, turbin air dibagi menjadi dua kelompok :

1) Turbin Impuls

Turbin jenis ini dibuat sedemikian sehingga rotor bekerja karena aliran air dimana beda tinggi diubah menjadi kecepatan karena perbedaan tinggi. Sebagai contoh : turbin aliran silang (*cross flow*), pelton dan turgo.

2) Turbin Reaksi

Turbin jenis ini dibuat sedemikian hingga rotor bekerja karena aliran air dengan tinggi jatuh air karena tekanan. Sebagai contoh : turbin francis, turbin kaplan propeller, dan turbin jonval.

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis – jenis turbin khususnya untuk suatu desain. Tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter – parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin antara lain yaitu :

- Faktor Tinggi Jatuh Air (*Net Head*) dan kapasitas laju aliran (debit) yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin.
- Faktor Daya (*Power*) yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia.
- Kecepatan (putaran) turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh untuk sistem transmisi direct couple antara generator dengan turbin pada head rendah, sebuah turbin reaksi

(*propeller*) dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan turbin aliran silang (*cross flow*) berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi.

Berikut tabel penggolongan beberapa jenis turbin berdasarkan parameter khusus di atas yang mempengaruhi sistem operasi turbin.

Tabel 2.1. Penggolongan turbin air berdasarkan kecepatan spesifik

No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	<i>Pelton dan kincir air</i>	10 - 35
2.	<i>Francis</i>	60 - 300
3.	<i>Cross-Flow</i>	70 - 80
4.	<i>Kaplan dan propeller</i>	300 - 1000

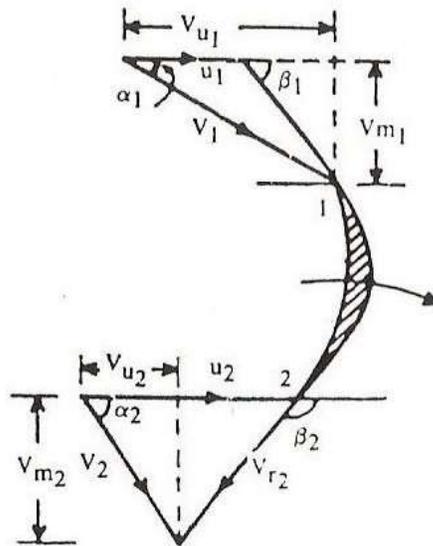
Sumber : Dandekar, M.M dan Sharma, K.N, 1991, *Pembangkit Listrik Tenaga Air*

Oleh karena itu, pada perencanaan PLTMH pilihan turbin yang cocok ialah jenis turbin Impuls dengan aliran kedalam atau yang lebih dikenal dengan turbin aliran silang atau turbin *crossflow*.

b. Segitiga Kecepatan

Pada turbin-turbin, air mengalir melalui penggerak dimana penggerak itu sendiri berputar dengan kecepatan tertentu. Air mengalir melalui penggerak dan meninggalkannya pada titik luarnya. Bagaimanapun bicara tentang kecepatan mutlak dari air sebelum alirannya ke penggerak, kecepatan relatif air (ketika air mengalir diatas penggerak) serta kecepatan mutlak air setelah meninggalkan penggerak semua itu berkenaan dengan penggerak. Dalam usaha untuk mengetahui dengan pasti hubungan antara kecepatan-kecepatan tersebut, dibuatlah diagram vektor

kecepatan yang disebut sebagai segitiga kecepatan sebagaimana terlihat pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 3. Profil Segitiga Kecepatan

Komponen komponen V_{u1} dan V_{u2} disebut sebagai kecepatan putaran dan V_{m1} dan V_{m2} disebut sebagai kecepatan meridional atau kecepatan aliran.

c. Turbin Crossflow

Turbin Crossflow menggunakan nozle persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar runner. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. Runner turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel.

Untuk turbin *Crossflow*, persamaan didasarkan pada daerah aliran anular pada pemasukan penggerak. Jadi persamaan yang digunakan untuk menentukan besaran dimensi turbin yang sesuai (M.M. Dandekar dan K.N. Sharma, 1991) adalah:

$$Q = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_h^2) \cdot V_m \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

D_1 = garis tengah ujung ke ujung dayung pada pemasukan dayung

D_h = garis tengah pusat pada seksi yang sama

V_m = Kecepatan meridional atau kecepatan aliran.

Adapun perhitungan daya turbin atau sering disebut dengan daya poros menggunakan formula berikut :

$$P_s = T \cdot \omega \text{ (watt)} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \text{ (rad/sec)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

P_s = Daya poros merupakan keluaran daya mekanis turbin (watt)

T = torsi (Nm)

n = putaran (rpm)

d. Efisiensi turbin:

$$\eta_t = \frac{P_s}{P_h} \times 100 \dots\dots\dots (2.7)$$

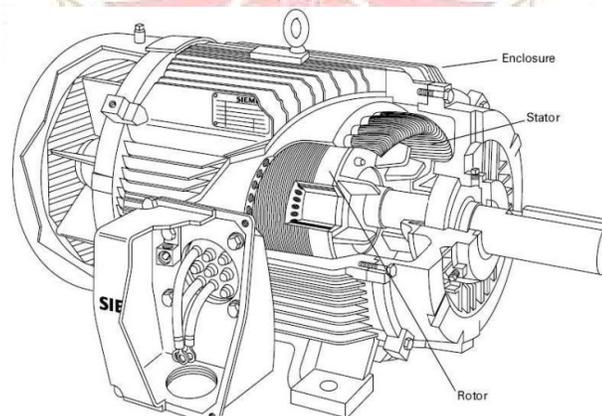
Untuk berbagai kondisi kerja mesin, harga parameter tersebut akan bervariasi dan menunjukkan kemampuan kerja mesin untuk daerah kerja tertentu.

Jika dapat diasumsikan Efisiensi Turbin (η_t) = 0,8 (Teoritis)

$$\text{Sehingga, } P_s = P_h \cdot \eta_t \text{ (watt) (2.8)}$$

3. Pemilihan Generator

Generator sinkron adalah sebuah mesin listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator terdiri dari dua bagian utama yaitu stator dan rotor dan mempunyai kumparan jangkar pada stator dan kumparan medan pada rotor. Apabila kumparan medan pada rotor dikopel dengan poros penggerak mula (turbin) sehingga berputar dengan kecepatan putar tertentu maka pada kumparan jangkar stator terinduksi fluks magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan putar rotor, maka kejadian ini dikatakan kondisi sinkron.

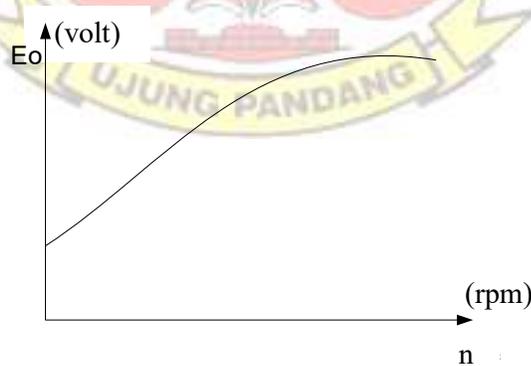


Gambar 4. Generator Sinkron Satu Phasa

Generator yang digunakan ialah generator sinkron tipe magnet semi permanent, dimana frekuensi listrik yang dihasilkan sebanding dengan jumlah kutub dan putaran yang dimilikinya. Listrik yang dihasilkan adalah listrik arus bolak balik (*Alternating Current*). Klasifikasi yang digunakan untuk generator AC adalah sebagai berikut : Generator tiga fasa (3), Generator satu fasa (1).

Karakteristik Beban Nol $E_0 = f(I_{exc}) ; I = 0; n = constant$

Karakteristik Beban Nol diperoleh dengan mengoperasikan mesin tanpa beban, kemudian diamati perubahan tegangan terminal terhadap penambahan arus excitasi. Selama percobaan ini putaran konstan. Namun untuk generator tipe magnet semi permanen maka dapat pula yang menjadi variabel adalah penambahan putaran dimana flux atau excitasi dalam hal ini dianggap konstan karena efek dari magnet atau penggunaan kapasitor. (Job Sheet Praktikum Mesin Listrik, 2009)



Gambar 5. Karakteristik Beban Nol. Tegangan yang dibangkitkan pada generator adalah sebanding dengan fluks dan putarannya:

$$E = c n \Phi \text{ (volt) } \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana :

E = Tegangan GGL yang dibangkitkan

c = Constanta

n = Jumlah putaran

\emptyset = fluks magnet

Parameter yang dihitung :

a. Output Generator

Output generator ditunjukkan dengan rumus berikut :

$$P_g = V \cdot I \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

P_g = Daya Generator (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \varphi = 0,8$ (asumsi)

b. Kecepatan dan jumlah kutub generator

Nilai kecepatan putaran dispesifikasikan menurut frekuensi (50Hz) dari jaringan listrik dan jumlah kutub, seperti pada rumus berikut :

$$n = \frac{120 \cdot f}{P} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

P = Jumlah Kutub

n = Putaran (rpm)

f = Frekuensi (Hz)

c. Efisiensi Generator

$$\eta_g = \frac{P_s}{P_g} \times 100 \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

η_g = Efisiensi Generator (%)

P_g = Daya Generator (Watt)

P_s = Daya Poros (Watt)

d. Efisiensi Overall Sistem Prototipe Microhidro

$$\eta_s = \frac{P_g}{P_h} \times 100 \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana :

η_s = Efisiensi Sistem (%)

P_g = Daya Generator (Watt)

P_h = Daya hidrolis air (Watt)



BAB III

METODE RANCANG BANGUN

A. Waktu dan Lokasi Kegiatan

Waktu pengerjaan tugas akhir direncanakan dimulai dari minggu Pertama bulan Juli sampai dengan minggu kedua bulan Oktober tahun 2010. Tugas akhir ini dilakukan di Laboratorium Teknik Konversi Energi, Bengkel Mekanik Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang dan Desa Pallawa Kabupaten Bone

B. Alat dan Bahan

Untuk menghasilkan pembangkit listrik tenaga microhidro maka diperlukan beberapa alat dan bahan berikut ini :

1. Pembuatan Turbin, Poros, dan Rumah Turbin

a. Peralatan

- | | |
|----------------|-------------------|
| 1) Mesin las | 7) Mesin potong |
| 2) Mesin bubut | 8) Mesin milling |
| 3) Mesin bor | 9) Amplas |
| 4) Toolset | 10) Jangka sorong |
| 5) Ragum | 11) Meteran |
| 6) Grinder | |

b. Bahan

- 1) Besi Baja Plat ST 42 (tebal 5 mm)
- 2) Besi Baja poros ST 60
- 3) Baut/mur
- 4) Bearing

- 5) Karet seal
- 6) Elektroda
- 7) Cat dan kelengkapannya.

2. Generator

Jenis yang digunakan : Generator ST-10, 1 Phasa, 10Kw, 1500 rpm. Dasar pertimbangan pemilihan daya output 10 Kw adalah berdasarkan data potensi lapangan pada saat survey awal yang dilakukan yaitu debit air sebesar 4300 ltr/detik dan head 3,43 m. Disamping itu generator yang tersedia dipasaran memang memiliki spesifikasi daya 10 Kw.

DATA TEKNIS GENERATOR :

Type : ST-10

AC Voltage : 220-250 V

Exitasi Voltage : 80 V

Exitasi current : 4,1 A

Power Capacity : 10 Kw

Speed Ratio : 1500 rpm

Current Range : 43,5 A

3. Control Box Microhidro

a. Peralatan

- 1) Solder
- 2) Timah
- 3) Penghisap Timah

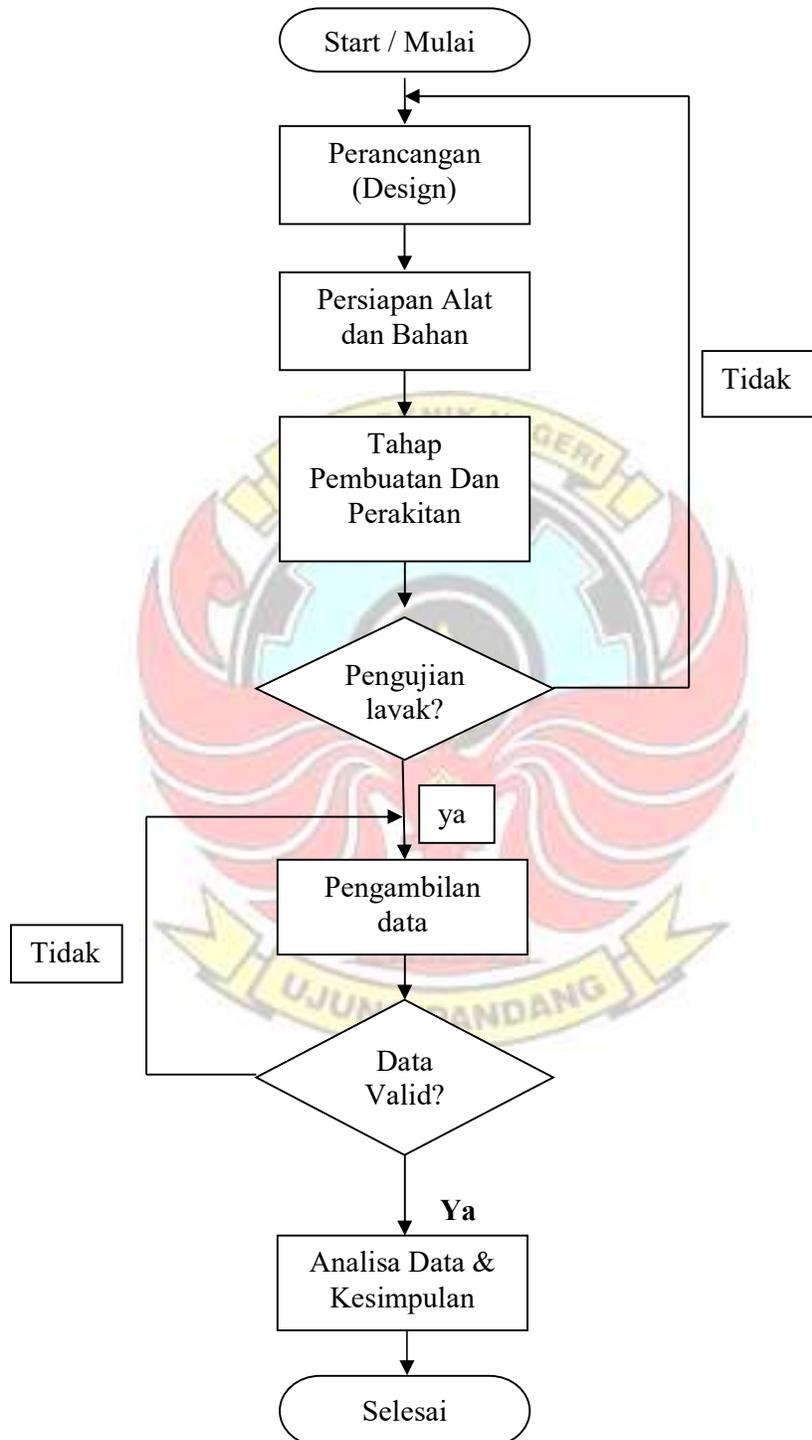
- 4) Tang Kombinasi, lancip, dan potong.
- 5) Obeng Plus, Minus, dan Test
- 6) Isolasi Instalasi Listrik

b. Bahan

- 1) Panel Voltmeter
- 2) Switch ON/OFF
- 3) Stop Kontak
- 4) Kabel NYAdan NYAF

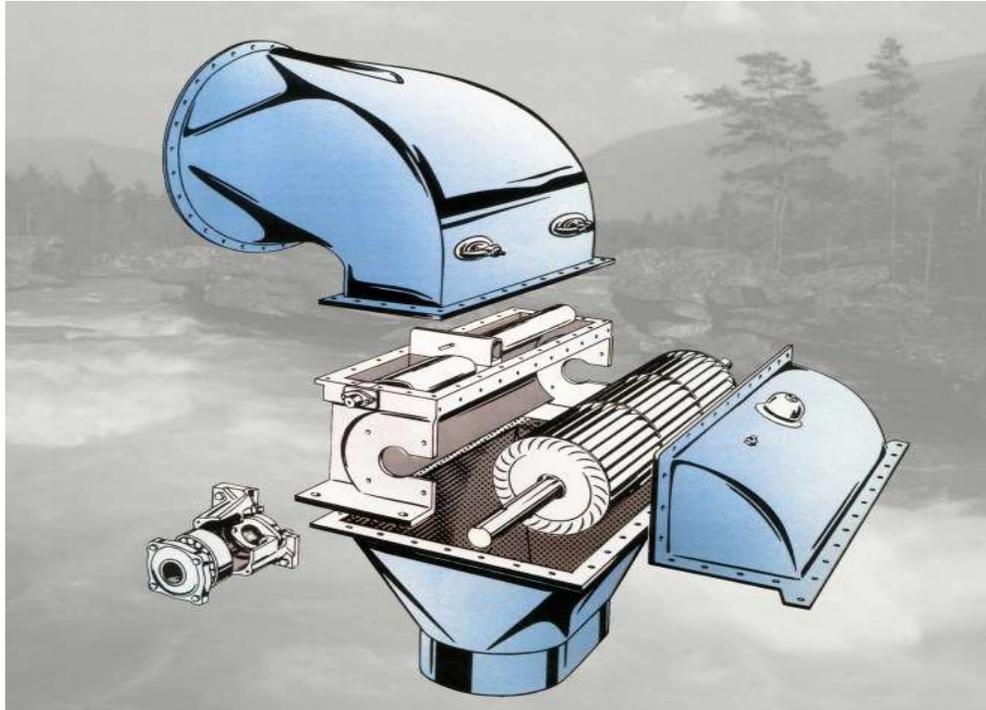


C. Flowchart Rancang Bangun



Gambar 6. Flowchart (Diagram Alir) Rancang Bangun

D. Gambar Kerja



Gambar 7. Turbin Crossflow

E. Prosedur kerja

Dalam proses pembuatan pembangkit listrik tenaga Microhidro ini berorientasi pada penerapan teknologi tepat guna yang terdiri atas tiga tahapan, yaitu: tahap perancangan, tahap pembuatan, dan tahap perakitan.

1. Tahap Perancangan

Kegiatan yang dilakukan pada tahapan ini diantaranya:

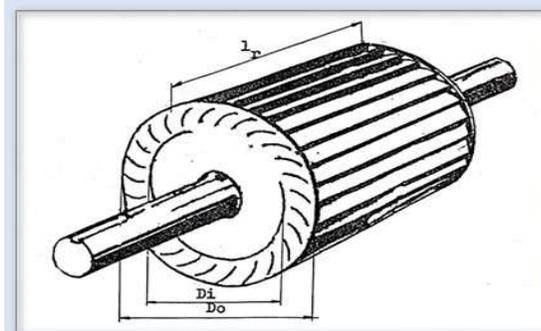
- Membuat desain (gambar sketsa) dari alat yang akan dibuat.
- Menentukan jenis generator serta kapasitas yang diinginkan sesuai potensi lokasi dan kebutuhan masyarakat.

- Merancang dimensi konstruksi dan kekuatan komponen utama Microhidro yaitu komponen turbin (*prime mover*), untuk menentukan besaran kecepatan serta daya poros.
- Merancang dimensi konstruksi komponen pendukung Microhidro yaitu control box untuk memudahkan pengamatan terhadap parameter operasi turbin Microhidro.
- Merancang dimensi konstruksi dan kekuatan komponen pendukung Microhidro lainnya meliputi poros penghubung antara turbin dan generator, rumah turbin, sistem proteksi (Dumpload), serta sistem pelumasan.
- Pemilihan material dan pembuatan komponen-komponen desain konstruksi turbin Microhidro.
- Perakitan (*erection*) dan penyetelan (*adjusting*) setiap komponen konstruksi.

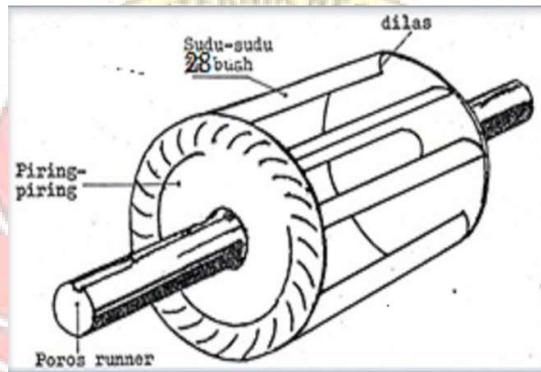
➤ **Perancangan Crossflow**

Yang termasuk komponen penggerak mula turbin ialah nozel, katup, runner, poros runner, tutup turbin dan rangka pondasi. Berikut ini akan dijelaskan proses pembuatan dan perakitan komponen- komponen penggerak mula tersebut.

- Runner

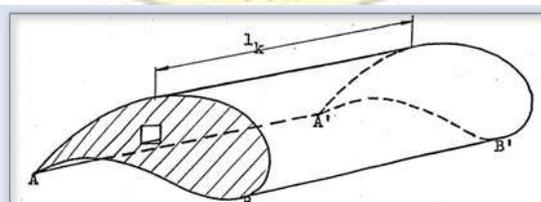


Gambar 8. Runner (sumber : Bachtiar, Asep Neris.1988).

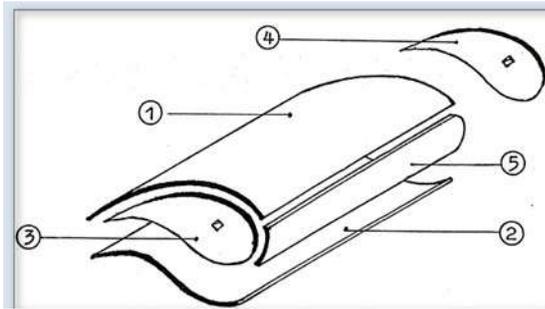


Gambar 9. Proses perakitan Runner (sumber : Bachtiar, Asep Neris.1988).

- Katup

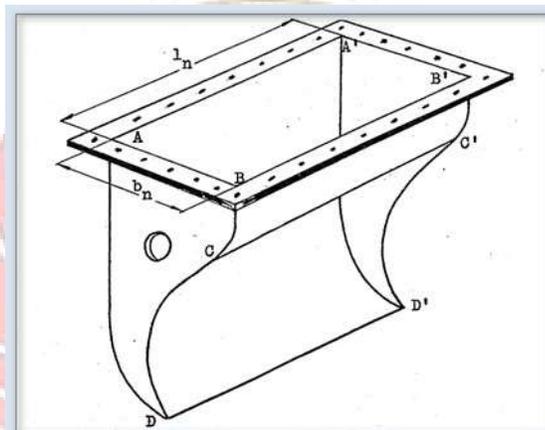


Gambar 10. Katup (sumber : Bachtiar, Asep Neris.1988).

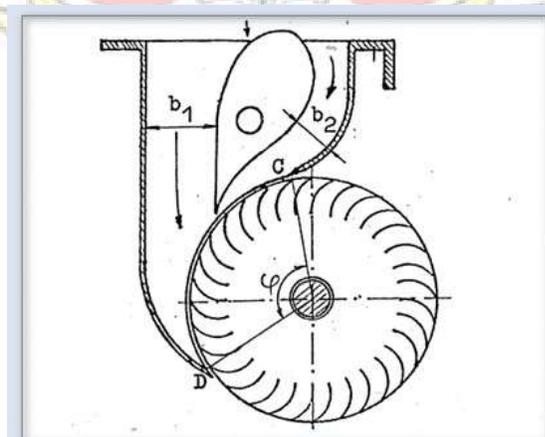


Gambar 11. Komponen Rakitan Katup (sumber : Bachtiar, Asep Neris.1988).

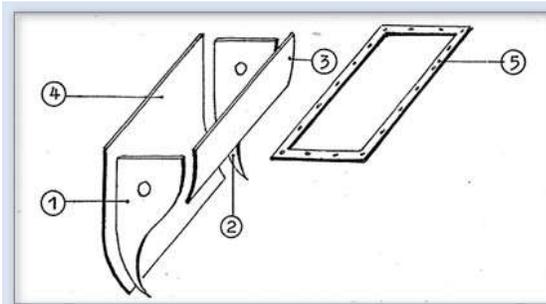
- Nozel



Gambar 12. Nozel (sumber : Bachtiar, Asep Neris.1988).

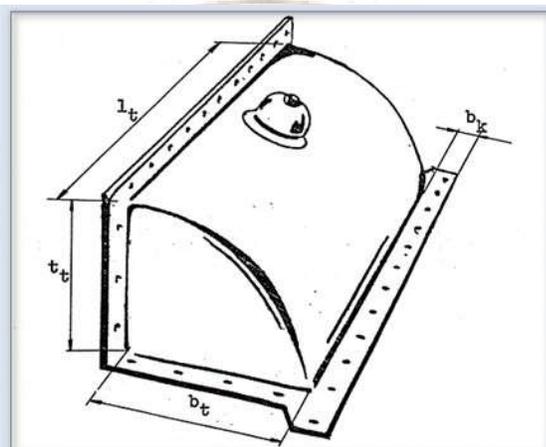


Gambar 13. Penampang Samping (sumber : Bachtiar, Asep Neris.1988).

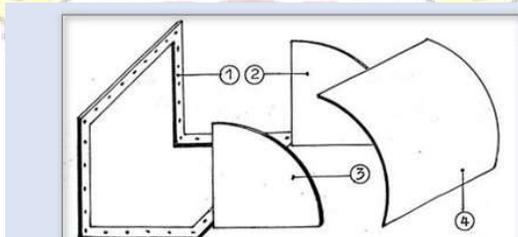


Gambar 14. Elemen Rakitan Nozel (*sumber : Bachtiar, Asep Neris.1988*).

- Tutup Turbin



Gambar 15. Tutup Turbin (*sumber : Bachtiar, Asep Neris.1988*).



Gambar 16. Komponen rakitan tutup turbin (*sumber : Bachtiar, Asep Neris.1988*).

➤ **Melukis Busur Sudu Dengan Analisa Segitiga Kecepatan**

- **Variabel Analisa Segi Tiga Kecepatan**

Variabel - variabel awal yang dibutuhkan dalam analisa segi tiga kecepatan antara lain:

1. **Kecepatan air masuk runner (Vr)**

Dalam hal ini kecepatan air masuk runner sama dengan kecepatan air keluar dari nozel (Vn) yaitu,

$$V_r = V_n$$

$$V_r = K_n \cdot (2 \cdot g \cdot H_{efs})^{1/2}$$

Diketahui, K_n = koefisien tahanan nozel = 0,96 (Sutarno, 1973)

g = percepatan gravitasi bumi = 9,81 m/det²

H_{efs} = head efektif sebenarnya

2. **Kecepatan keliling diameter luar runner (Uo)**

Dalam hal ini harga U_o dapat ditentukan dari persamaan berikut (Sutarno, 1973),

$$U_o = 0,5 \cdot V_r$$

Hasil percobaan para ahli Turbin Cross Flow, mereka menyimpulkan bahwa dengan menentukan harga $U_o = 0,5 \cdot V_r$ ternyata didapatkan efisiensi turbin yang paling besar, kebenaran tentang kesimpulan ini akan diuji pada uraian nanti dengan memasukan macam-macam nilai perbandingan U_o/ V_r ke dalam analisa segitiga kecepatan seperti yang dimaksud, dengan demikian maka,

3. Kecepatan Keliling Diameter Dalam Runner (U_i)

Dalam hal ini nilai U_i dapat ditentukan dari perbandingan diameter dalam dan luar runner yaitu,

$$U_i = (D_i / D_o) \cdot U_o$$

4. Diameter luar runner (D_o)

5. Diameter dalam runner (D_i)

6. Sudut air masuk sudu (θ)

Selanjutnya dengan data-data di atas dapat ditentukan model busur sudu sekaligus dapat diketahui berapa persen energi kecepatan air yang dimanfaatkan oleh runner. Untuk memudahkan analisa, nilai-nilai dari variabel di atas diskalakan. Dengan asumsi harga sudut $\theta = 150$.

Setelah semua data diskalakan, selanjutnya masukan ke dalam analisa segi tiga kecepatan berikut melalui dua tahap penggambaran yaitu,

- Tahap 1, Air masuk runner

V_r = kecepatan air masuk sudu rim luar

U_o = kecepatan keliling diameter luar runner

U_i = kecepatan keliling diameter dalam runner

V_f = kcepatan relatif air masuk sudu rim luar

V_{fi} = kecepatan relatif air keluar sudu rim dalam

V_i = kecepatan air keluar sudu rim dalam

- Tahap 2, Air keluar runner.

V_o = kecepatan air masuk sudu rim dalam

V_{fo} = kecepatan relatif air masuk sudu rim dalam

$V_{r'}$ = kecepatan air keluar sudu rim luar

$V_{f'}$ = kecepatan relatif air keluar sudu rim luar

2. Tahap Pembuatan

Dalam proses pembuatan Turbin Crossflow perlu diperhatikan urutan-urutan atau prosedur, baik dari perancangan yang akan dibuat maupun prosedur pembuatan turbin Crossflow.

Adapun langkah-langkah pembuatan turbin Crossflow ini dilakukan berdasarkan pengelompokan komponen-komponen. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan dalam proses pengerjaan dan perakitan alat.

a) *Pembuatan Runner*

- ✓ Pemotongan

Pada tahap pemotongan ini, yang dilakukan adalah memotong plat baja yang akan digunakan sebagai diameter runner tempat pemasangan sudu runner. Plat baja di potong dengan diameter 200 mm Sebanyak 2 buah..

Kemudian tahap pemotongan selanjutnya yaitu memotong baja poros dengan ukuran panjang 180 mm di sebelah kiri dan 132 mm sebelah kanan dengan diameter 50 mm

✓ Pengelasan

Setelah pembentukan plat baja dan baja poros selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pengelasan. Pengelasan dilakukan untuk mengikat antara baja poros, plat baja, dan sudu runner

b) Pembuatan Sudu Runner

✓ Pemotongan

Pada tahap pemotongan ini, yang dilakukan adalah memotong plat yang akan digunakan sebagai Sudu runner. Plat di potong dengan bentuk Persegi panjang dengan Ukuran panjang 480 mm dengan lebar 10 mm Sebanyak 28 buah.

✓ Pengelasan

Setelah pembentukan plat selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pengelasan. Pengelasan dilakukan untuk mengikat sudu runner tersebut pada poros runner.

✓ Pembubutan

Dan untuk menghasilkan permukaan yang halus dan rata pada Runner dan sudu runner tersebut maka tahap selanjutnya

adalah proses pembubutan. Pembubutan juga dilakukan untuk mendapatkan ukuran yang sesuai.

c) Pembuatan casing runner

1. Casing sebelah kiri

✓ Pemotongan

Pada tahap pemotongan ini, yang dilakukan adalah memotong plat baja yang akan digunakan sebagai casing runner sebelah kiri dengan ukuran 460 mm X 330 mm. Plat baja tersebut kemudian di potong dilubangi dengan diameter 220 mm yang di pinggirnya dibor \varnothing 13mm sebanyak 12 pcs

2. Casing sebelah kanan

✓ Pemotongan

Pada tahap pemotongan ini, yang dilakukan adalah memotong plat baja yang akan digunakan sebagai casing runner sebelah kanan dengan ukuran 460 mm X 330 mm. kemudian dinding sebelah kanan di pasang casing untuk lahar UCP205 menggunakan las

3. Casing Bagian Depan

✓ Pemotongan

Pada tahap pemotongan ini, yang dilakukan adalah memotong plat baja yang akan digunakan sebagai casing runner bagian depan (nozel) dengan ukuran 600 mm dan

ukuran 250 mm dengan lebar plat 50 mm masing-masing
2 buah.

✓ Pengelasan

Setelah pembentukan plat baja selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pengelasan. Pengelasan dilakukan untuk mengikat keempat plat tersebut agar berbentuk nozel.

4. Casing bagian belakang dan atas

✓ Pemotongan

Pada tahap pemotongan ini, yang dilakukan adalah memotong plat baja yang akan digunakan sebagai casing bagian belakang dengan ukuran 330mm X 560mm serta casing bagian atas dengan ukuran 460mm X 560mm dimana pada sisi pertemuannya dilas kemudian bending sehingga berbentuk sudut 90°

5. Casing runner secara keseluruhan

✓ Pengelasan

Setelah pembentukan plat baja untuk casing selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pengelasan. Pengelasan dilakukan untuk mengikat casing bagian depan samping kiri dan kanan serta bagian depan agar berbentuk sebuah casing runner yang utuh.

d) Pembuatan sudu pengarah

✓ **Pemotongan**

Pada tahap pemotongan ini, yang dilakukan adalah memotong plat baja dengan ukuran 500 mm X 80 mm. Dan baja poros diameter 50mm dengan panjang 500mm.

✓ **Pengefraisan**

Pada tahap ini., baja poros yang telah di potong tadi kemudian di frais dengan tebal 50mm dan kedalaman 50mm.

✓ **Pengelasan**

Pada tahap pengelasan ini, plat baja kemudian dipasang pada baja poros yang telah di frais tadi kemudian di ikat menggunakan las.

e) Pembuatan Dudukan Casing runner

✓ **Pemotongan**

Pada tahap pemotongan ini, yang dilakukan adalah memotong plat baja yang akan digunakan sebagai dudukan casing runner dengan ukuran panjang 660mm, tinggi 100mm dan lebar 100mm sebanyak 2 buah dan ukuran 560 mm, tinggi 100mm dan lebar 100mm sebanyak 2 buah.

✓ ***Pengelasan***

Setelah pembentukan plat baja selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pengelasan. Pengelasan dilakukan untuk mengikat keempat plat tersebut agar berbentuk dudukan turbin

f) Pembuatan sambungan pipa(adaptor)

✓ ***Pemotongan***

Pada tahap pemotongan ini, yang dilakukan adalah memotong plat baja yang akan digunakan sebagai Adaptor dengan ukuran panjang 315mm, dan lebar 400mm sebanyak 3 buah. Serta memotong plat dengan ukuran lebar 450mm dengan panjang bagian atas 610mm dan panjang bagian bawah 515mm sebanyak 2 buah. Dan dengan ukuran lebar 450mm dengan panjang bagian atas 235mm dan panjang bagian bawah 160mm sebanyak 2 buah

✓ ***Bending***

Setelah melakukan pemotongan maka ketiga plat baja tersebut kemudian di bending hingga membentuk lingkaran dengan diameter 315mm.

✓ ***Pengelasan***

Setelah pembentukan plat baja selesai dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah pengelasan. Pengelasan dilakukan

untuk mengikat keempat plat tersebut agar berbentuk adaptor bagian bawah yang kemudian di bagian atasnya disambungkan dengan plat yang sudah di bending menggunakan las

3. Tahap Perakitan

Tahap selanjutnya yang harus dilakukan setelah tahap pembuatan adalah tahap perakitan. Proses perakitan merupakan proses merangkai atau menggabungkan tiap komponen menjadi bentuk yang saling mendukung sehingga terbentuk suatu mekanisme kerja yang sesuai dengan yang direncanakan sebelumnya.

Adapun langkah-langkah dalam proses perakitan adalah sebagai berikut:

- a. Menyiapkan plat ST 42 dan poros ST 60 untuk runner, katup, casing dan sambungan pipa (*adaptor*) yang telah dibuat/disiapkan sebelumnya.
- b. Merangkai plat ST 42 dan poros ST 60 yang telah disiapkan untuk runner dengan menggunakan mesin bubut dan mesin las.
- c. Merangkai plat ST 42 yang telah disiapkan untuk casing runner menggunakan mesin bending, mesin las dan mesin bor tangan.
- d. Merangkai plat ST 42 yang telah disiapkan untuk Sambungan pipa (*adaptor*) menggunakan mesin bending, mesin las dan mesin bor tangan.
- e. Merangkai plat ST 42 dan poros ST 60 yang telah disiapkan untuk katup menggunakan mesin bubut dan mesin las.

- f. Memasang komponen-komponen pendukung turbin pada posisinya masing-masing.
- g. Memasang generator pada posisinya. Pada bagian samping turbin.
- h. Pemasangan sabuk dari pulley poros turbin ke pulley poros generator.
- i. Atur kekencangan sabuk dengan cara mengatur jarak pulley poros generator ke pulley poros turbin.
- j. Menggabungkan antara runner, casing, katup dan dan sambungan pipa (*adaptor*) agar menjadi turbin
- k. Kencangkan semua mur dan baut pengikat tiap komponen agar posisi dari tiap komponen yang diikat tidak berubah atau kendur.

F. Prosedur Pengujian

Tahap prosedur pengujian bertujuan untuk menguji alat yang telah dirakit atau yang sudah dapat dioperasikan. Berikut langkah-langkah prosedur pengujian turbin Microhidro antara lain:

- Uji coba turbin Microhidro dalam membangkitkan energi listrik.
- Uji dimensi volume dari bentuk aliran yang digunakan.
- Uji kapasitas daya listrik terhadap pembebanan maupun tanpa pembebanan.
- Uji kinerja (unjuk kerja) sistem turbin Microhidro meliputi unjuk kerja komponen turbin (*prime mover*) dan komponen poros penghubung

(*shaft*), *control box*, sistem proteksi (*dump load*), serta sistem pelumasan.

G. Teknik Analisa Data

Setelah melakukan proses pengujian, maka diperoleh data yang akan dianalisis secara deskriptif, yaitu data yang telah terkumpul dianalisis dengan melihat turbin Microhidro dapat mengefisiensikan tenaga dan waktu dalam menghasilkan tenaga listrik. Kemudian membandingkan unjuk kerja turbin Microhidro melalui pembebanan maupun tanpa pembebanan, maka dapat diketahui tingkat keberhasilan dari turbin Microhidro tersebut.



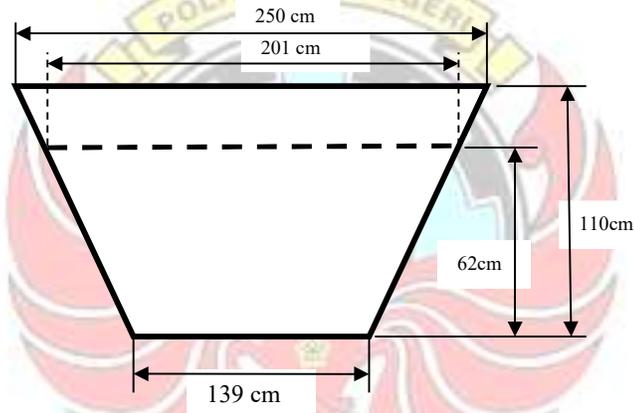
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Pengambilan Data

Dari hasil pengambilan data pada lokasi pemasangan turbin maka kami mengambil beberapa sampel data dengan waktu yang berbeda. Berikut sketsa gambar saluran penenang. Dimana temperatur konstan 34°C dan $g=9,81 \text{ m/s}^2$



Gambar 17. Sketsa saluran irigasi

Hasil dari pengambilan data tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Data hasil pengamatan

No	n (rpm)	L (m)	P (m)	V (V)	I (A)	Jam
1	376	11,5	12	210	9,5	09.00
2	367	11,5	12	205	11	11.00
3	364	11,5	12	200	13,5	13.00
4	351	11,5	12	195	16	18.00
5	351	11,5	12	195	16	20.00
6	345	11,5	12	185	17,5	22.00

Sumber : Hasil pengukuran dilapangan

2. Perhitungan

- *Kapasitas laju aliran*

$$Q = V.A$$

- Menghitung V

- ✓ Permukaan Air dengan panjang 50 meter

$$\text{Percobaan I} = 152 \text{ detik, maka } V = \frac{50}{152} = 0,328 \text{ m/s}$$

$$\text{Percobaan II} = 177 \text{ detik, maka } V = \frac{50}{177} = 0,282 \text{ m/s}$$

$$\text{Percobaan III} = 167 \text{ detik, maka } V = \frac{50}{167} = 0,299 \text{ m/s}$$

$$\text{Jadi V rata-rata} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} = 0,487 \text{ m/s}$$

- ✓ Kedalaman air dengan panjang 50 meter

$$\text{Percobaan I} = 146 \text{ detik, maka } V = \frac{50}{146} = 0,342 \text{ m/s}$$

$$\text{Percobaan II} = 153 \text{ detik, maka } V = \frac{50}{153} = 0,326 \text{ m/s}$$

$$\text{Percobaan III} = 154 \text{ detik, maka } V = \frac{50}{154} = 0,324 \text{ m/s}$$

$$\text{Jadi V rata-rata} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{3} = 0,31 \text{ m/s}$$

$$\text{Maka } V = \frac{V_{\text{kedalaman}} + V_{\text{permukaan}}}{2} = \frac{0,31 + 0,487}{2}$$

$$= 0,4085 \text{ m/s}$$

- Menghitung A.

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Menghitung Luas segiempat} &= P \times L \\ &= 1,39 \text{ m} \times 0,62 \text{ m} \\ &= 0,86 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Menghitung Luas segitiga} &= \frac{1}{2} \times a \times t \\ &= \frac{0,31 \times 0,62}{2} \\ &= 0,0961 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \checkmark \text{ Menghitung Luas Penampang (A)} & \\ &= \text{Luas segiempat} + 2 \cdot \text{Luassegitiga} \\ &= 0,86 + (2 \cdot 0,0961) \\ &= 1,053 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi } Q &= V \cdot A \\ &= 0,4085 \text{ m/s} \cdot 1,053 \text{ m}^2 \\ &= 0,43 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

- **Massa jenis air, ρ (Kg/m³)**

$$T = 34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dengan menggunakan Tabel Air dan Interpolasi maka akan di dapat massa jenis Air

T (°C)	ρ (Kg/m ³)
20	1000,52
34	X
40	994,59

$$\frac{1000,52-x}{1000,52 - 994,59} = \frac{20-3}{20-40}$$

$$\frac{x-1000,52}{5,93} = \frac{-14}{-20}$$

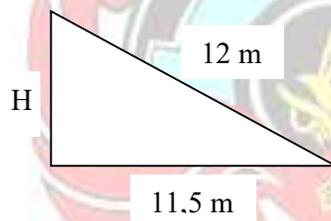
$$x - 1000,52 = \frac{-14}{-20} x - 5,93$$

$$x = -4,151 + 1000,52$$

$$x = 996,369 \text{ Kg/m}^3$$

- **Head**

Dengan menggunakan rumus Pythagoras



$$H = \sqrt{12^2 - 11,5^2}$$

$$= \sqrt{144 - 132,25}$$

$$= \sqrt{11,75}$$

$$H = 3,43 \text{ m}$$

- **Daya hidrolik**

$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$= 996,369 \cdot 9,81 \cdot 0,43 \cdot 3,43$$

$$P_h = 14416,2 \text{ watt}$$

- **Torsi**

$$\begin{aligned} T &= \frac{Pl \cdot 60}{\eta G \cdot 2\pi n} \\ &= \frac{1995 \cdot 60}{0,85 \cdot 2.314.376} \\ &= \frac{119700}{2007,088} \\ &= 59,63 \text{ Nm} \end{aligned}$$

- **Daya Poros**

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{2\pi n T}{60} \\ &= \frac{2.314.376 \cdot 59,63}{60} \\ &= 2346,72 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- **Daya Listrik**

$$\begin{aligned} P_l &= V \cdot I \cdot \text{COS}\phi \\ &= 210 \cdot 9,5 \cdot 1,0 \\ P_l &= 1995 \text{ W} \end{aligned}$$

- **Efisiensi turbin**

$$\begin{aligned} \eta_T &= \frac{P_s}{P_h} \times 100 \% \\ &= \frac{2346,72}{14416,2} \times 100 \% \\ &= 0,162 \cdot 100\% \\ \eta_T &= 16,2 \% \end{aligned}$$

- Efisiensi Generator

$$\eta_G = \frac{P_l}{P_s} \times 100 \%$$

$$= \frac{1995}{2346,72} \times 100 \%$$

$$= 0,85. 100\%$$

$$\eta_G = 85 \%$$

3. Hasil Analisa Data

Tabel 4.2 Hasil Analisa Data

No	T (Nm)	Q (m ³ /s)	H(m)	P _h (watt)	P _l (Watt)	P _s (Watt)	η _T (%)	η _G (%)
1	59,63	0,43	3,43	14416,2	1995	2346,72	16,2	85,0
2	69,06	0,43	3,43	14416,2	2255	2652,89	18,4	85,0
3	83,36	0,43	3,43	14416,2	2700	3175,90	22,03	85,0
4	99,91	0,43	3,43	14416,2	3120	3670,49	25,46	85,0
5	99,91	0,43	3,43	14416,2	3120	3670,49	25,46	85,0
6	105,48	0,43	3,43	14416,2	3237,5	3808,82	26,42	85,0

Sumber : Hasil perhitungan

B. Pembahasan

Dari hasil pengambilan data pada lokasi pemasangan turbin, kami mengambil beberapa sampel data dengan waktu yang berbeda yaitu, pada pukul 09.00, 11.00, 13.00, 18.00, 20.00, dan 22.00. Data-data yang diperoleh meliputi Temperatur udara sekitar ($^{\circ}\text{C}$), Grafitasi (m/s^2), Luas Penampang saluran irigasi (m^2), Jarak turbin dari bendungan secara horizontal (m), Panjang pipa penstock (m), Tegangan (V), Arus (I), Torsi(Nm), Putaran(rpm).

Berdasarkan sampel data yang diperoleh maka kami dapat menghitung beberapa data yaitu, Torsi (Nm), Kapasitas laju aliran (m^3/s), Tinggi pipa penstock/tinggi jatuh air (m), Daya hidrolis (watt), Daya listrik (watt), Daya Poros (Watt), Efisiensi turbin (%), Efisiensi generator (%).

Pada pukul 09.00 temperatur $34\text{ }(^{\circ}\text{C})$, grafitasi $9,81\text{ }(\text{m/s}^2)$, Luas Penampang saluran irigasi $1,053\text{ }(\text{m}^2)$ Jarak turbin dari bendungan secara horizontal $11,5\text{ }(\text{m})$, Panjang pipa penstock $12\text{ }(\text{m})$, Tegangan $210\text{ }(\text{V})$, Arus $9,5\text{ }(\text{A})$, Torsi $59,63\text{ }(\text{Nm})$, Putaran $376\text{ }(\text{rpm})$, Kapasitas laju aliran $0,43\text{ }(\text{m}^3/\text{s})$, Tinggi pipa penstock/tinggi jatuh air secara tegak lurus/vertical $3,43\text{ }(\text{m})$, Daya hidrolis $14416,2\text{ }(\text{watt})$, Daya listrik $1995\text{ }(\text{watt})$, Daya Poros $2346,72\text{ }(\text{Watt})$, Efisiensi turbin $16,2\text{ }(\%)$, Efisiensi generator $85\text{ }(\%)$.

Pada pukul 11.00 temperatur $34\text{ }(^{\circ}\text{C})$, grafitasi $9,81\text{ }(\text{m/s}^2)$, Luas Penampang saluran irigasi $1,053\text{ }(\text{m}^2)$, Jarak turbin dari bendungan secara horizontal $11,5\text{ }(\text{m})$, Panjang pipa penstock $12\text{ }(\text{m})$, Tegangan $205\text{ }(\text{V})$, Arus $11\text{ }(\text{A})$, Torsi $69,06\text{ }(\text{Nm})$, Putaran $367\text{ }(\text{rpm})$, Kapasitas laju aliran $0,43$

(m³/s), Tinggi pipa penstock/tinggi jatuh air secara tegak lurus/vertical 3,43 (m), Daya hidrolis 14416,2 (watt), Daya listrik 2255 (watt), Daya Poros 2652,89 (Watt), Efisiensi turbin 18,4 (%), efisiensi generator 85 (%)

Pada pukul 13.00 temperatur 34 (°C), grafitasi 9,81 (m/s²), Luas Penampang saluran irigasi 1,053 (m²), Jarak turbin dari bendungan secara horizontal 11,5 (m), Panjang pipa penstock 12 (m), Tegangan 200 (V), Arus 13,5 (A), Torsi 83,36 (Nm), Putaran 364 (rpm), Kapasitas laju aliran 0,43 (m³/s), Tinggi pipa penstock/tinggi jatuh air secara tegak lurus/vertical 3,43 (m), Daya hidrolik 14416,2 (watt), Daya listrik 2700 (watt), Daya Poros 3175,90 (Watt), Efisiensi turbin 22,03 (%), efisiensi generator 85 (%)

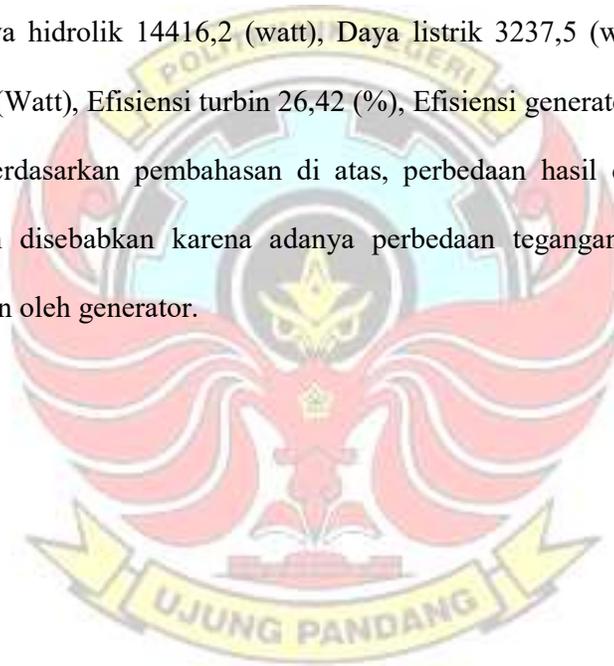
Pada pukul 18.00 temperatur 34 (°C), grafitasi 9,81 (m/s²), Luas Penampang saluran irigasi 1,053 (m²), Jarak turbin dari bendungan secara horizontal 11,5 (m), Panjang pipa penstock 12 (m), Tegangan 195 (V), Arus 16 (A), Torsi 99,91 (Nm), Putaran 351 (rpm), Kapasitas laju aliran 0,43 (m³/s), Tinggi pipa penstock/tinggi jatuh air secara tegak lurus/vertical 3,43 (m), Daya hidrolik 14416,2 (watt), Daya listrik 3120 (watt), Daya Poros 3670,49 (Watt), Efisiensi turbin 25,46 (%), efisiensi generator 85 (%).

Pada pukul 20.00 temperatur 34 (°C), grafitasi 9,81 (m/s²), Luas Penampang saluran irigasi 1,053 (m²), Jarak turbin dari bendungan secara horizontal 11,5 (m), Panjang pipa penstock 12 (m), Tegangan 195 (V), Arus 16 (A), Torsi 99,91 (Nm), Putaran 351 (rpm), Kapasitas laju aliran 0,43 (m³/s), Tinggi pipa penstock/tinggi jatuh air secara tegak lurus/vertical 3,43

(m), Daya hidrolik 14416,2 (watt), Daya listrik 3120 (watt), Daya Poros 3670,49 (Watt), Efisiensi turbin 25,46 (%), efisiensi generator 85 (%)

Pada pukul 22.00 temperatur 34 (°C), grafitasi 9,81 (m/s²), Luas Penampang saluran irigasi 1,053 (m²), Jarak turbin dari bendungan secara horizontal 11,5 (m), Panjang pipa penstock 12 (m), Tegangan 185 (V), Arus 17,5 (A), Torsi 105,48 (Nm), Putaran 345 (rpm), Kapasitas laju aliran 0,43 (m³/s), Tinggi pipa penstock/tinggi jatuh air secara tegak lurus/vertical 3,43 (m), Daya hidrolik 14416,2 (watt), Daya listrik 3237,5 (watt), Daya Poros 3808,82 (Watt), Efisiensi turbin 26,42 (%), Efisiensi generator 85 (%).

Berdasarkan pembahasan di atas, perbedaan hasil daya listrik yang diperoleh disebabkan karena adanya perbedaan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator.



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Setelah membuat Pembangkit Listrik Tenaga Microhidro dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. PLTMH pada desa Pallawa Kabupaten Bone mempunyai kapasitas 10 kW namun karena faktor daya yang digunakan oleh masyarakat setempat masih kurang sehingga daya yang dibangkitkan belum optimal.
2. Dengan memanfaatkan debit air $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$ pada saluran irigasi langkemme dan head 3,43 m sehingga dapat memutar turbin yang terkopel dengan generator sehingga PLTMH Pallawa mampu membangkitkan daya listrik sebesar 3237,5 Watt yang digunakan oleh warga desa Pallawa untuk memenuhi kebutuhan listrik mereka.
3. Pembebanan sangat mempengaruhi tegangan keluaran generator pada PLTMH, seperti pada beban 1995 Watt tegangan yang dihasilkan generator 210 Volt dan arus listrik 9,5 Ampere, sedangkan pada saat beban 3237,5 Watt tegangan yang dihasilkan generator 185 Volt dan arus listrik 17,5 Ampere.

B. Saran

1. Pembebanan mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh generator, untuk itu diharapkan adanya pemasangan AVR agar tegangan tetap stabil sebelum masuk ke beban.

2. Pengetahuan tentang pembangkit listrik tenaga Microhidro perlu dikembangkan karena mempunyai potensi yang sangat besar guna memenuhi kebutuhan listrik khususnya masyarakat di pedesaan.
3. Dalam pengoperasian PLTMH sebaiknya dilakukan perawatan berkala guna menjaga efisiensi daya keluaran generator tetap terjaga



DAFTAR PUSTAKA

- Fritz, D. 1988, *Turbin, Pompa dan Kompresor*, Jakarta.
- Jackt Fritz, 1984, *Small and Mini Hydropower System*, Mc. Graw-Hill Book Company, New York.
- Meriam, J.L. and Kraige.L.G. 1988.*Mekanika Teknik-Dinamika*, Jilid I, Versi SI, edisi II, Jakarta.: Erlangga.
- Rober L. Mott, 1994, *Applied Fluid Mechanics*, Fourth Edition, Prentice Hall Career &Tchnology, New Jersey.
- Sularso.Kiyokatsu, Suga. 1991. *Dasar-dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Bachtiar, Asep Neris. (1988). Perencanaan Turbin Air Penggerak Generator Listrik Pedesaan. Tugas Akhir
- Sutarno. (1973). Sistim Listrik Mikro Hidro Untuk Kelistrikan Desa. Yogyakarta : UGM Yogyakarta
- [http://: Planethijau.com/Media Energi – Lingkungan –Teknologi A Division of EP Medianet.html](http://Planethijau.com/Media_Energi_-_Lingkungan_-_Teknologi_A_Division_of_EP_Medianet.html)
(Diunduh pada tanggal 20 Juli 2010 23:20 WITA)

**L
A
M
P
I
R
A
N**



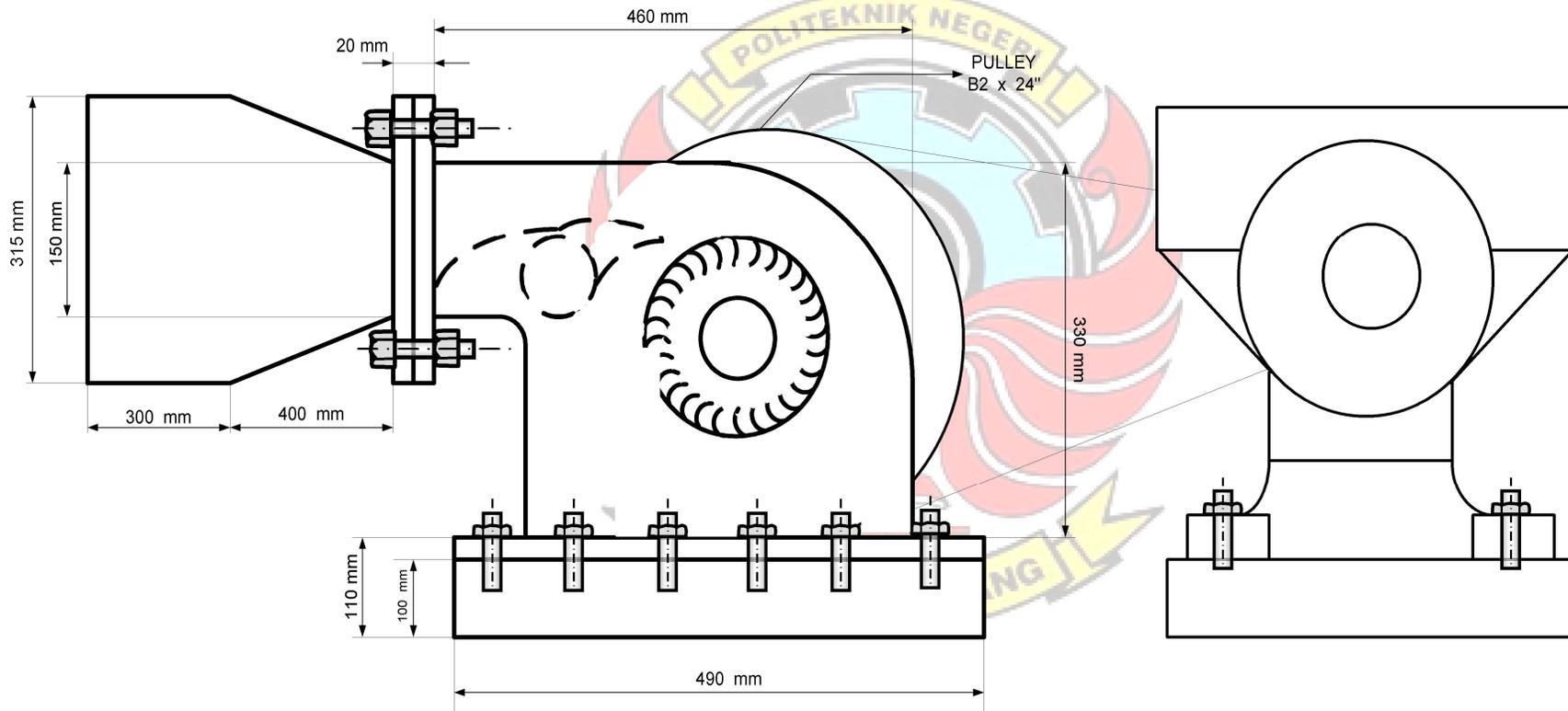
1. LAMPIRAN TABEL AIR

Tabel C.3 Sifat-sifat cairan jenuh (satuan-satuan SI)

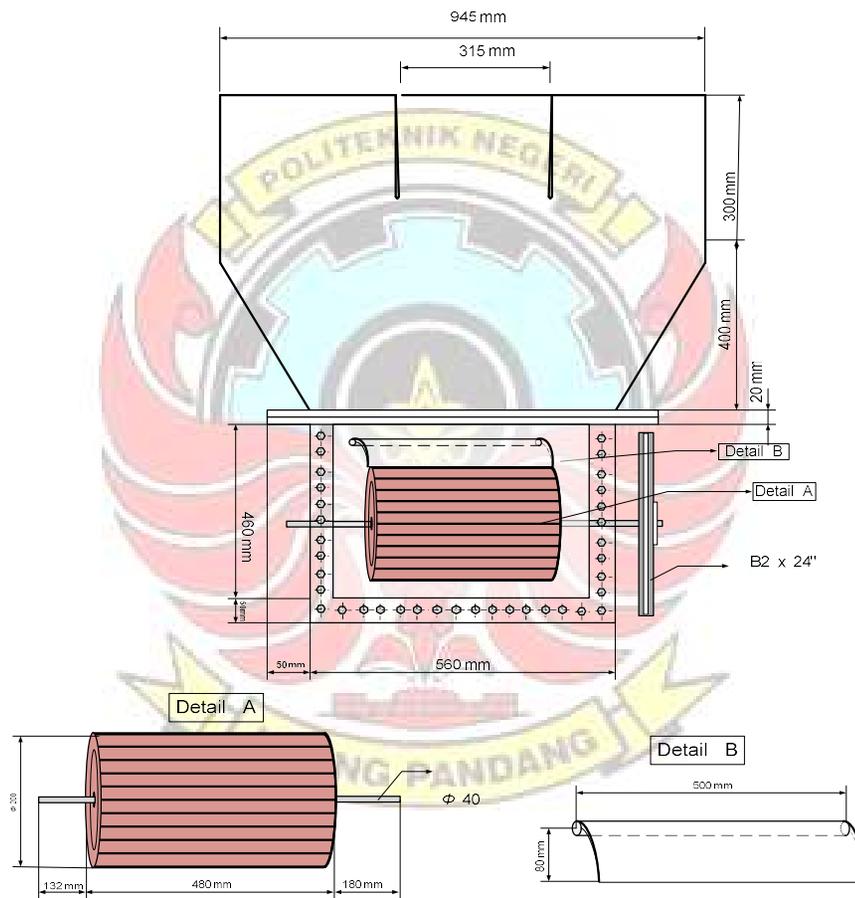
T, °C	ρ , kg/m ³	C_p , J/(kg·K)	v , m ² /s	k , W/(m·K)	α , m ² /s	Pr	β , K ⁻¹	
<i>Air, H₂O</i>								
0	1.002,28	4,2178 × 10 ³	1,788 × 10 ⁻⁶	0,552	1,308 × 10 ⁻⁷	13,6	0,18 × 10 ⁻³	
20	1.000,52	4,1818	1,006	0,597	1,430	7,02		
40	994,59	4,1784	0,658	0,628	1,512	4,34		
60	985,46	4,1843	0,478	0,651	1,554	3,02		
80	974,08	4,1964	0,364	0,668	1,636	2,22		
100	960,63	4,2161	0,294	0,680	1,680	1,74		
120	945,25	4,250	0,247	0,685	1,708	1,446		
140	928,27	4,283	0,214	0,684	1,724	1,241		
160	909,69	4,342	0,190	0,680	1,729	1,099		
180	889,03	4,417	0,173	0,675	1,724	1,004		
200	866,76	4,505	0,160	0,665	1,706	0,937		
220	842,41	4,610	0,150	0,652	1,680	0,891		
240	815,66	4,756	0,143	0,635	1,639	0,871		
260	785,87	4,949	0,137	0,611	1,577	0,874		
280	752,55	5,208	0,135	0,580	1,481	0,910		
300	714,26	5,728	0,135	0,540	1,324	1,019		
<i>Karbon dioksida, CO₂</i>								
-50	1.156,34	1,84 × 10 ³	0,119 × 10 ⁻⁶	0,0855	0,4021 × 10 ⁻⁷	2,96	14,00 × 10 ⁻³	
-40	1.117,77	1,88	0,118	0,1011	0,4810	2,46		
-30	1.076,76	1,97	0,117	0,1116	0,5272	2,22		
-20	1.032,39	2,05	0,115	0,1151	0,5445	2,12		
-10	983,38	2,18	0,113	0,1099	0,5133	2,20		
0	926,99	2,47	0,108	0,1045	0,4578	2,38		
10	860,03	3,14	0,101	0,0971	0,3608	2,80		
20	772,57	5,0	0,091	0,0872	0,2219	4,10		
30	597,81	36,4	0,080	0,0703	0,0279	28,7		
<i>Diklorodifluorometan (Freon), CCl₂F₂</i>								
-50	1.546,75	0,8750 × 10 ³	0,310 × 10 ⁻⁶	0,067	0,501 × 10 ⁻⁷	6,2		2,63 × 10 ⁻³
-40	1.518,71	0,8847	0,279	0,069	0,514	5,4		
-30	1.489,56	0,8956	0,253	0,069	0,526	4,8		
-20	1.460,57	0,9073	0,235	0,071	0,539	4,4		
-10	1.429,49	0,9203	0,221	0,073	0,550	4,0		
0	1.397,45	0,9345	0,214	0,073	0,557	3,8		
10	1.364,30	0,9496	0,203	0,073	0,560	3,6		
20	1.330,18	0,9659	0,198	0,073	0,560	3,5		
30	1.295,10	0,9835	0,194	0,071	0,560	3,5		
40	1.257,13	1,0019	0,191	0,069	0,555	3,5		
50	1.215,96	1,0216	0,190	0,067	0,545	3,5		
<i>Etyl glycol, [C₂H₄(OH)₂]</i>								
0	1.130,75	2,294 × 10 ³	57,53 × 10 ⁻⁶	0,242	0,934 × 10 ⁻⁷	615	0,65 × 10 ⁻³	
20	1.116,65	2,382	19,18	0,249	0,939	204		
40	1.101,43	2,474	8,69	0,256	0,939	93		
60	1.087,66	2,562	4,75	0,260	0,932	51		
80	1.077,56	2,650	2,98	0,261	0,921	32,4		
100	1.058,50	2,742	2,03	0,263	0,908	22,2		

Gambar 1. Tabel air untuk mencari p air

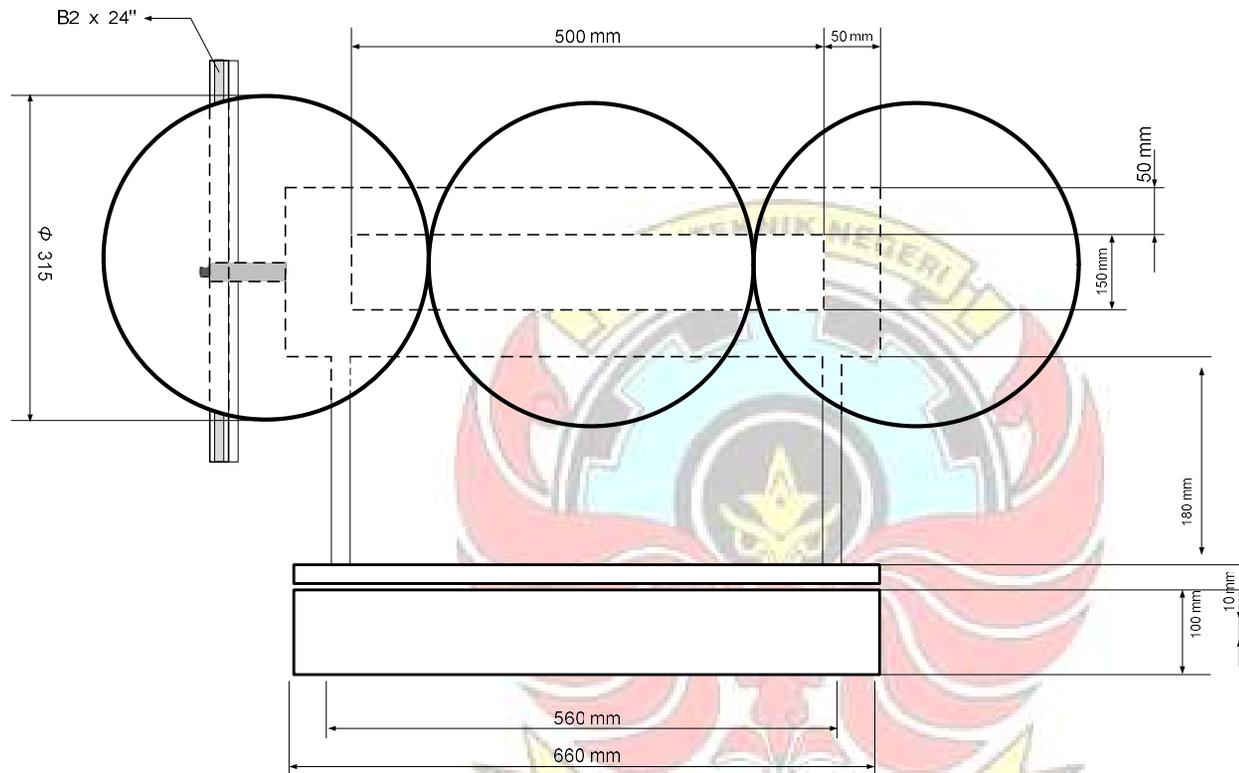
2. LAMPIRAN GAMBAR DIMENSI



Gambar 2. Dimensi Turbin PLTMH(tampak samping)



Gambar 3. Dimensi Turbin PLTMH(tampak atas)



Gambar 4. Dimensi Turbin PLTMH(tampak depan)

3. LAMPIRAN FOTO ALAT



Gambar 5. Proses pembuatan sambungan pipa (*Adaptor*)



Gambar 6. Proses pembuatan casing runner



Gambar 7. Sudu pengarah



Gambar 8. Casing turbin tampak atas yang sudah dicat



Gambar 9. Casing turbin tampak samping kanan



Gambar 10. Casing turbin tampak depan



Gambar 11. Casing turbin tampak samping kiri



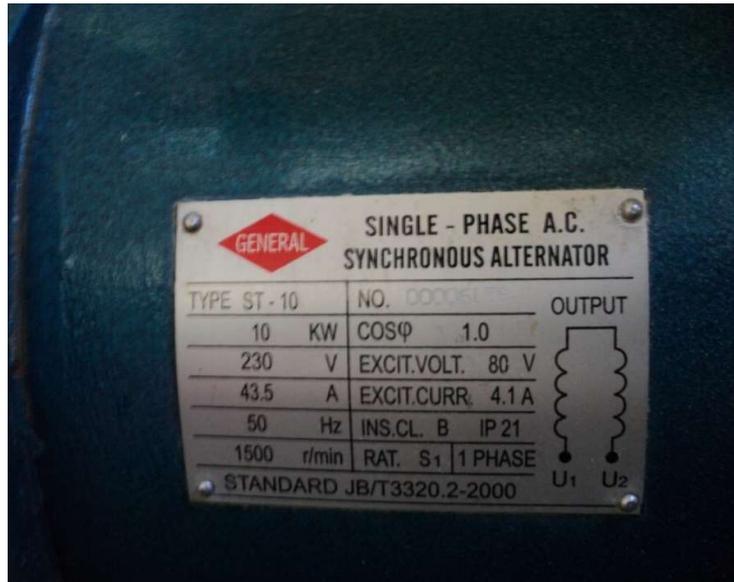
Gambar 12. Proses pengecatan sambungan pipa (*Adaptor*)



Gambar 13. Proses memfrais sudu pengarah



Gambar 14. Turbin crossflow



Gambar 15. Nameplate generator PLTMH



Gambar 16. Control Box PLTMH



Gambar 17. Heater



Gambar 18. Komponen-komponen pada Control Box



Gambar 19. Pembangkit listrik tenaga Mikrohidro (PLTMH)



Gambar 20. Kolam



Gambar 21. Kolam penenang (DAM)



Gambar 22. Saluran irigasi menuju kolam penenang

