

**PERANCANGAN TURBIN dan PEMILIHAN GENERATOR  
PADA SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO**



**TUGAS AKHIR**

**Disusun Oleh :**

**Nama : Deni Aldiyansyah**

**Nim : 0852004**

**JURUSAN TEKNIK ENERGI LISTRIK D-III  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2012**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**Perancangan Turbin dan Pemilihan Generator Pada Simulator Pembangkit Listrik**

**Tenaga Mikrohidro**

**TUGAS AKHIR**

Disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh

Gelar Diploma III Teknik Listrik

Disusun Oleh :

**DENI ALDIYANSYAH**

Nim : 08.52.004



**Mengetahui  
Ketua Program Studi  
Teknik Elektro D-III**

**Diperiksa dan Disetujui  
Dosen Pembimbing**



Handwritten signature of Ir. H. Taufik Hidayat, MT in black ink.

Handwritten signature of Ir. M. Abdul Hamid, MT in black ink.

**Ir. H. Taufik Hidayat, MT**  
NIP.Y: 1018700151

**Ir. M. Abdul Hamid, MT**  
NIP.Y :1018800188

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK D-III  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2012**



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK**

BNI (PERSERO) MALANG  
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN TUGAS AKHIR**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama : DENI ALDIYANSYAH  
NIM : 08.52.004  
Jurusan : TEKNIK LISTRIK D III  
Judul Tugas Akhir : PERANCANGAN TURBIN dan PEMILIHAN GENERATOR PADA  
SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

Dipertahankan di hadapan Tim Penguji Tugas Akhir Jenjang Program Diploma Tiga (DIII), pada :

Hari/Tanggal : Selasa / 21 – 02 – 2012

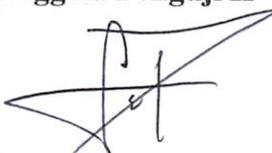
Dengan nilai :

**Panitia Ujian Tugas Akhir**

  
**Ketua**  
**Ir. H. Taufik Hidayat, MT**  
**NIP.Y 1018700151**

**Sekretaris**  
  
**Ir. Eko Nurcahyo**  
**NIP.Y. 10128700172**

**Anggota Penguji I**  
  
**Ir. Eko Nurcahyo, MT**  
**NIP.Y. 10128700172**

**Anggota Penguji II**  
  
**Sonny Prasetio, ST, MT**  
**NIP. Y.1031000433**

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan hidayah Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan baik. Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu kewajiban dimaksudkan sebagai sarana dalam menyelesaikan program studi Diploma III Institut Teknologi Nasional Malang Jurusan Teknik Listrik.

Laporan ini dapat terselesaikan atas bantuan dari berbagai pihak, untuk itu perkenalkan penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar besarnya kepada :

1. Bapak Ir. H. Taufik Hidayat, selaku Kajor DIII Teknik Listrik
2. Bapak Ir. M. Abdul Hamid, MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir.
3. Bapak atau Ibu dosen Pengajar yang telah memberikan ilmu pelajaran kepada penulis di Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Rekan-rekan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan laporan ini penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kelemahan serta jauh dari kesempurnaan oleh karena itu penulis mengharap saran dan kritik demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini .

Akhir kata semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya.

Malang , 02,2012

penulis

# **PERANCANGAN TURBIN DAN PEMILIHAN GENERATOR PADA SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO**

Oleh :

Deni Aldiyansyah (0852004)  
Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Industri, ITN, Malang  
Jln. Karang Ploso, Kampus II, Malang,  
E-mail : ined\_coffe@yahoo.co.id

## **ABSTRAK**

Deni Aldiyansyah 2012” *Perancangan Turbin dan Pemilihan Generator Pada Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*” Tugas Akhir TekniK Listrik ITN MALANG.

Turbin dan generator memegang peranan paling penting pada proses pembangkitan energi listrik, kedua komponen tersebut adalah alat yang aktif atau bergerak, lain halnya seperti trafo atau komponen listrik yang lain kecuali motor. Pergerakan alat ini berupa putaran yang di hitung dalam satuan rpm. Penyaluran putaran turbin ke putaran generator dilakukan melalui pengkonversi putaran dengan menggunakan perbandingan pulley.

Pada saat pompa beroperasi maka debit air dan tekanan air yang keluar dari pompa akan mendorong sudu turbin yang menghasikan gaya putar pada turbin. Perputaran turbin yang dikopel dengan pulley akan disalurkan ke generator dengan menggunakan v-belt. Perbandingan ukuran pulley menyebabkan putaran pada generator menjadi lebih tinggi dari pada putaran turbin. Medan magnet yang ditimbulkan rotor menginduksi lilitan penguat pada stator, induksi yang ada pada stator lalu d terima oleh kapasitor dan mengmbalikan lagi ke rotor untuk membentuk perpotongan medan magnet, perpotongan medan magnet ini diterima oleh belitan stator dan di teruskan ke beban.

Dari hasil analisa didapatkan nilai putaran turbin yang sesuai yaitu 3000rpm, dengan tegangan 220V, dapat melayani hingga 60W beban lampu, pembebanan secara bertahap akan mempengaruhi putaran dan tegangan yangdihasilkan.

**Kata Kunci :** TURBIN, PULLEY, GENERATOR

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL TUGAS AKHIR</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN DAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR</b> .....	<b>ii</b>
<b>BERITA ACARA</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Manfaat.....	3
1.6. Metodologi .....	3
1.7. Tinjauan Pustaka .....	4
1.8. Sistem Penulisan .....	5

## **BAB II LANDASAN TEORI**

2.1	Generator Sinkron	7
2.1.1	Prinsip Dasar Generator Sinkron	7
2.1.2	Konstruksi Generator Sinkron	8
a.	Stator	9
b.	Rotor	10
2.1.3	Kecepatan Putaran Generator Sinkron	12
2.1.4	Daya yang Dihasilkan	13
2.2	Nozzle	14
2.3	Tubin Air	15
2.3.1	Pengelompokkan Turbin	16
2.3.1.1	Turbin Impuls	16
a.	Turbin Pelton	17
b.	Turbin Crossflow	17
2.3.1.2	Turbin Reaksi	18
a.	Turbin Francis	18
b.	Turbin Kaplan & Propeller	19
2.3.1.3	Pemilihan Turbin	19
2.3.1.4	Kriteria Pemilihan Jenis Turbin	20
2.4	Pengkonversi Putaran Turbin ke Putaran generator	22
2.4.1	Sistem Pereduksi Putaran	28

2.5	Pillow block dan Bearing.....	32
-----	-------------------------------	----

### **BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN**

3.1	Diagram Blok Sistem.....	34
-----	--------------------------	----

3.2	Perancangan <i>Hard Ware</i> Mikrohidro.....	35
-----	--	----

3.2.1	Pemilihan Generator.....	35
-------	--------------------------	----

a.	Stator.....	36
----	-------------	----

b.	Rotor.....	37
----	------------	----

3.2.2	Perancangan Nozzle.....	40
-------	-------------------------	----

3.2.3	pemilihan dan perhitungan pulley.....	43
-------	---------------------------------------	----

3.2.4	Perancangan dan Pembuatan Turbin.....	43
-------	---------------------------------------	----

3.2.4.1	Perancangan tubin.....	45
---------	------------------------	----

3.2.4.2	Perancangan dan Pembuatan Sudu ( <i>Runner</i> ).....	49
---------	---	----

a.	Penentuan jumlah sudu.....	49
----	----------------------------	----

b.	Pembentukan sudut tiap sudu.....	50
----	----------------------------------	----

c.	Pembentukan Dimensi dan Perhitungan Volume tiap Sudu.....	51
----	---	----

3.2.4.3	Pembuatan Turbin.....	56
---------	-----------------------	----

a.	Pemilihan dudukan sudu.....	56
----	-----------------------------	----

b.	Pembentukan $20^{\circ}$ tiap sudu.....	57
----	---	----

c.	Pengelasan Sudu pada Dudukan ( <i>velk</i> ).....	57
----	---	----

d.	Pembuatan chasing turbin.....	58
----	-------------------------------	----

3.2.5	Penumpuan sumbu ( as ) turbin dan generator .....	58
-------	---	----

## **BAB IV PENGUJIAN dan ANALISA**

4.1	Pengujian jumlah sudu turbin dan putaran turbin dengan generator terbebani. debit air 114 L/m.....	62
4.1.1	Tujuan Analiisa .....	63
4.1.2	alat yang digunakan untuk pengukuran .....	63
4.1.3	Prosedur pengujian.....	63
4.1.4	Hasil pengujian.....	63
4.2	Analisa perbandingan putaran turbin dengan putaran generator melalui pentransmisi perbandingan pulley 1:7,5.....	64
4.2.1	Tujuan analisa.....	64
4.2.2	Alat yang digunakan .....	65
4.2.3	Prosedur analisa dan pengujian .....	65
4.2.4	Hasil analisa perhitungan dan pengukuran.....	65
4.3	Pengukuran perbandingan putaran generator dengan tegangan yang dihasilkan berbeban bertahap dengan debit air 114 L/men, perbandinga pulley 1 : 7,5. .....	66
4.3.1	tujuan pengujian.....	66
4.3.2	Alat yang digunakan.....	67

4.3.3	Prosedur pengujian.....	67
4.3.4	Hasil pengujian.....	67
4.4	Pengukuran Rpm pada 10% lonjakan dan penurunan tegangan pada generator berbeban beban.....	68
4.4.1	Tujuan analisa.....	68
4.4.2	Alat yang digunakan.....	68
4.4.3	Prosedur pengukuran.....	68
4.4.4	Hasil pengujian dan analisa.....	69

## **BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan.....	70
5.2	Saran – saran.....	71

<b>Daftar pustaka.....</b>	<b>72</b>
----------------------------	-----------

## **Lampiran**

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Pengelempokan jenis turbin.....	16
Tabel 2.2 varian head jenis turbin.....	19
Tabel 2.3 kriteria kecepatan tubin.....	24
Tabel 3.2 perbandingan putaran generator dan turbin dengan pulley.....	43
Tabel 3.3 pebandingan keliling turbin 1 dan 2.....	48
Tabel 4.1 tabel hubungan jumlah sudu dengan rpm generator dan tegangan.....	64
Tabel 4.2 perbandingan pulley generator dengan turbin.....	65
Tabel 4.3 tabel hubungan antara beban bertahap , rpm dan tegangan.....	67
Tabel 4.4 hasil pengukuran rpm dan tegangan.....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rotor kutub menonjol.....	10
Gambar 2.2 Rotor kutub silinder.....	11
Gambar 2.3 pola nozzle 2D.....	14
Gambar 2.4 nozle tampak samping.....	14
Gambar 2.5 Nozle tampak depan.....	14
Gambar 2.6 Pereduksi sederhana.....	23
Gambar 2.7 Sistim pereduksi 2 tingkat.....	23
Gambar 2.8 Sistim pereduksi 4 tingkat.....	23
Gambar 2.9 Sistim pereduksi menggunakan Gear Box.....	24
Gambar 2.10 Gear box type Helical.....	24
Gambar 2.11 Gear box type Worm.....	24
Gambar 2.12 Bearing dan Pillowblock.....	32
Gambar 3.1 generator.....	35
Gambar 3.2 Stator.....	36
Gambar 3.3 Rotor.....	37
Gambar 3.4 Rotor kutub menonjol.....	38
Gambar 3.5 Pola nozzle 2D.....	41
Gambar 3.6 Nozzle tampak samping.....	42
Gambar 3.7 Nozle tampak depan.....	42
Gambar 3.8 turbin.....	44

Gambar 3.9 dimensi sudu.....	54
Gamba 3.10 dimensi sudu tampak samping.....	55
Gambar 3.11 sudu turbin.....	55
Gambar 3.12 velk sebagai dudukan sudu.....	56
Gambar 3.13 pembentukan sudut $20^{\circ}$ tiap sudu turbin.....	57
Gambar 3.14 Proses Pengelasan Sudu Pada Dudukan velg.....	58
Gambar 3.15 peletakan tumpuan bearing pada as rotor generator.....	59
Gambar 3.16 peletakan tumpuan bearing pada turbin.....	60
Gambar 4.1 jumlah sudu awal dan jumlah sudu penggunaan.....	62

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Listrik merupakan komponen yang penting dalam kehidupan manusia. Banyak daerah di Indonesia yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Sehingga sebagai jalan alternatif masyarakat di daerah tersebut menggunakan grnset untuk memperoleh energi listrik yang mereka akan penggunaan untuk penerangan maupun proses produksi tanpa melihat potensi alam yang ada di sekitarnya yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik.

Perancangan simulator mikro hidro ini diharapkan dapat menginspirasi masyarakat dalam pemanfaatan sumber daya alam. Hal ini juga diharapkan dapat menginspirasi masyarakat tentang pengembangan pembangkit listrik di indonesia. Perancangan alat ini sekaligus juga dapat dijadikan alat peraga dalam praktikum konfersi energi.

Peerancangan dan pembuatan turbin ini bertujuan untuk melayani putaran generator yang akan menghasilkan energi listrik. Perancangan dan pembuatan ini didasarkan pada volume air yang keluar dari pompa. Perancangan turbin ini sendiri juga bertujuan agar potensi air yang keluar dari pompa dapat di manfaatkan semaksimal mungkin agar putaran turbin dapat tercapai secara maksimal dan dapat melayani putaran generator.

Sedangkan dalam hal pemilihan generator, pemilihan didasarkan pada survey yang telah dilakukan di pasaran, daya paling rendah yang ada di pasaran adalah 300watt. Kami menggunakan generator ini dikarenakan kami menggunakan debit air dari pompa yang hal ini sudah dibatasi oleh spesifikasi pompa itu sendiri. Disamping itu juga harga yang relatif murah dan pembatasan alat ini yang hanya merupakan simulator.

## 1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana merancang dan pembuatan turbin yang sesuai dengan volume air yang keluar dari pompa menggunakan rumus-rumus sederhana.
- b. Bagaimana menentukan jenis turbin dan pengkonversian putaran turbin dengan perbandingan pulley yang akan digunakan
- c. Bagaimana cara kerja turbin dan generator dalam unit simulator ini

## 1.3 Batasan Masalah

Penulis menyadari ilmu pengetahuan yang dimiliki terbatas, sehingga dalam pembuatan tugas akhir dibuat suatu batasan masalah. Adapun batasan masalah yang akan dibuat adalah :

- a. Pemilihan jenis generator
- b. Pemilihan jenis dan dimensi turbin
- c. Sistem pengkonversian
- d. Pembebanan turbin

## 1.4 Tujuan

Pembuatan dan perancangan simulator mikrohidro ini kami harap dapat bermanfaat bagi kami dan juga dapat dijadikan suatu pembelajaran bagi teman-

teman yang lain tentang pembangkitan energi listrik. Hal ini juga kami harap dapat digunakan sebagai alat peraga dalam proses praktikum di laboratorium.

### 1.5 Manfaat

Manfaat secara umum dari perancangan dan pembuatan simulasi ini adalah sebagai pembangkit energi listrik yang memanfaatkan potensi air yang keluar dari pompa. Secara khusus perancangan dan pembuatan simulator ini adalah sebagai alat peraga dan juga sebagai bahan analisa di laboratorium.

### 1.6 Metodologi

Untuk mencapai tujuan di atas maka ditempuh langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Penentuan dan perhitungan.

Mengumpulkan dan mempelajari literatur sehubungan dengan permasalahan yang dihadapi seperti literatur perhitungan turbin, dasar teknik tenaga listrik, mekanika fluida, dan mempelajari langsung dari proses pembuatan alat.

#### 2. Studi literatur tentang teori penunjang tugas akhir

Mempelajari secara teoritis dan praktis tentang mikrohidro, perhitungan turbin dan teori generator, serta alat penunjang yang lain

#### 3. Perencanaan sistem

Melakukan perancangan sistem tugas akhir secara umum, yaitu merancang dan membuat turbin serta pemilihan generator agar putaran turbin dan generator tercapai secara maksimal.

#### 4. Pembuatan alat

Membuat alat bagian perbagian dimulai dari konstruksi penunjan sampai konstruksi utama

#### 5. Pengujian alat

Melakukan pengujian dan analisa terhadap hasi Rpm turbin dan generator serta tegangan yang dikeluarkan

#### 6. Penyempurnaan alat

Perbaiki terhadap kerusakan dan penyempurnaan dari sistem yang dibuat agar sesuai dengan harapan

#### 7. Penyusunan buku

Menyimpulkan hasil perencanaan dan pembuatan serta penyempurnaan alat agar sesuai dengan hasil pengujian, sehingga tersusunlah buku laporan Tugas Akhir.

### 1.6 Tinjauan Pustaka

Dari masa kemasa seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan teknologi, manusia menghendaki kehidupan yang lebih nyaman. Bagi masyarakat modern, listrik merupakan kebutuhan primer. Dalam menjalani hal ini bisa kita lihat dalam kehidupan sehari-hari listrik bermanfaat untuk kebutuhan rumah tangga, antara lain sebagai penerangan rumah pada malam hari, sebagai lampu penerangan belajar, dan yang paling sering kita jumpai adalah sebagai penerangan jalan raya. Hampir setiap bangunan dan jalan raya membutuhkan listrik seperti sekolah / kampus,

perkantoran, rumah sakit, hotel, rest, terutama pada wilayah perdesaan yang terkadang jauh dari jangkauan untuk mengakses pasokan listrik

Adanya kebutuhan yang mengharuskan suplay daya yang kontinyu pada suatu instalasi sehingga sebuah power supply yang tidak hanya tergantung dari PLN melainkan dari pembangkit listrik alternatif yang siap melayani jika supply dari PLN terputus (pemadaman). Pembangkit alternatif ini dapat berupa genset atau dapat juga berupa pembangkit listrik yang sesuai dengan potensi alam yang ada pada suatu daerah tersebut.

### 1.7 Sistematis Penulisan

Agar tercapainya sasaran dari pembahasan Tugas Akhir ini sesuai dengan yang diharapkan, maka susunan dari sistematika pembahasan Tugas Akhir adalah sebagai berikut :

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Pada bab I ini menguraikan tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, manfaat, dan sistematika penulisan dari Tugas Akhir ini.

#### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab II ini menguraikan tentang teori dasar / kajian pustaka yang mendasari dari gagasan – gagasan tentang Perancangan

dan pemilihan generator pada simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.

### **BAB III : METODOLOGI**

Pada bab III ini menguraikan tentang seluruh tahapan – tahapan yang dilakukan dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

### **BAB IV : ANALISA DATA**

Pada bab IV menguraikan tentang hasil yang diperoleh dari rancangan alat yang telah dibuat.

### **BAB V : PENUTUP**

Pada bab terakhir ini menguraikan tentang simpulan dan saran dari materi Tugas Akhir yang telah diuraikan dan dibahas diatas.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Generator Sinkron**

Generator sinkron merupakan mesin listrik arus bolak-balik yang berfungsi untuk merubah energi mekanis dalam membentuk putaran menjadi energi listrik arus bolak-balik. Generator sinkron mempunyai dua bagian pokok, yaitu bagian stator atau bagian dari generator sinkron yang tidak bergerak dan bagian rotor atau bagian generator sinkron yang berputar atau bergerak. Pada generator sinkron yang berukuran besar, bagian stator dipergunakan sebagai tempat belitan medan magnet.

##### **2.1.1 Prinsip Dasar Generator Sinkron**

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 fluks) yang berputar, kecepatannya sama dengan putaran kutub.

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 berputaran 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

### **2.1.2 Konstruksi Generator Sinkron**

Pada dasarnya konstruksi dari generator sinkron adalah sama dengan konstruksi motor sinkron, dan secara umum biasa disebut mesin sinkron. Ada dua struktur kumparan pada mesin sinkron yang merupakan dasar kerja dari mesin tersebut, yaitu kumparan yang mengalirkan penguatan DC (membangkitkan medan magnet, biasa disebut sistem eksitasi) dan sebuah kumparan (biasa disebut jangkar) tempat dibangkitnya GGL arus bolak balik arus bolak-balik.

Hampir semua generator sinkron mempunyai belitan GGL berupa stator yang diam dan struktur medan magnet berputar sebagai rotor. Kumparan DC pada struktur medan yang berputar dihubungkan pada sumber DC luar melalui slipring dan sikat arang.

Suatu generator sinkron secara umum terdiri dari :

- a. Stator adalah bagian dari mesin yang diam dan berbentuk silinder
- b. Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar juga berbentuk silinder
- c. Celah udara adalah ruangan antara stator dan rotor.

**a. Stator**

Secara umum stator terdiri dari kerangka stator, inti stator, dan slot.

- **Rangka Stator**

Rangka stator berfungsi sebagai tempat melekatnya stamping jangkar dan kumparan jangkar. Pada rangka stator terdapat lubang pendingin dimana udara dan gas pendingin disirkulasikan. Rangka stator biasanya dibuat dari besi campuran baja atau plat baja giling yang dibentuk sedemikian rupa sehingga diperoleh rangka yang sesuai dengan kebutuhan.

- **Inti Stator**

Inti stator melekat pada rangka stator dimana inti ini terbuat dari laminasi-laminasi besi khusus atau campuran baja. Hal ini diperbuat untuk memperkecil rugi arus Eddy. Tiap laminasi diberi isolasi dan diantaranya dibentuk celah sebagai tepat aliran udara

- **Slot**

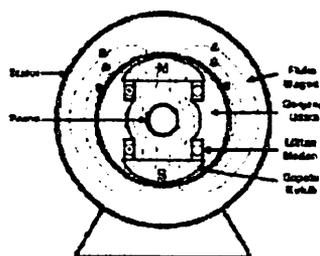
Slot adalah tempat konduktor berada yang letaknya pada bagian dalam sepanjang keliling stator. Bentuk slot ada 3 yaitu Slot Terbuka, Slot Setengah Terbuka, Slot Tertutup.

**b. Rotor**

Rotor adalah bagian generator yang bergerak atau berputar. Rotor juga berfungsi sebagai tempat belitan penguat yang membentuk kemagnetan listrik kutub Utara-Selatan pada inti rotor. Ada 2 macam bentuk rotor, yaitu :

- **Rotor kutub menonjol (Salient Pole Rotor)**

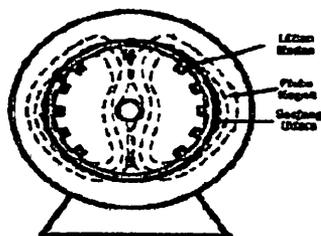
Rotor tipe ini mempunyai kutub yang jumlahnya banyak. Kumputan dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus Eddy, kumputan-kumputan medannya terdiri dari bilah tembaga persegi. Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek. Kutub menonjol di tunjukkan dalam gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Rotor kutub menonjol**

- **Rotor kutub tak menonjol (Rotor Silinder)**

Rotor tipe ini dibuat dari plat baja berbentuk silinder yang mempunyai sejumlah slot sebagai tempat kumparan. Karena adanya slot-slot dan juga kumparan medan yang terletak pada rotor maka jumlah kutub pun sedikit yang dapat dibuat. Rotor ini biasanya berdiameter kecil dan sumbunya sangat panjang. Konstruksi ini memberikan keseimbangan mekanis yang lebih baik karena rugi-rugi anginnya lebih kecil dibandingkan rotor kutub menonjol (salient pole rotor). Rotor kutub tak menonjol di tunjukkan dalam gambar 2.2.



**Gambar 2.2 Rotor kutub silinder**

### 2.1.3 Kecepatan Putaran Generator Sinkron

Kecepatan putaran suatu generator sinkron tergantung kepada 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 pada 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 :

$$F = \frac{P \cdot n}{120}$$

Dimana :

F = frekuensi listrik (Hz)

P = jumlah kutub pada rotor

n = kecepatan putaran rotor (rpm)

Pada umumnya frekuensi yang dihasilkan suatu generator sinkron adalah 50 Hz. Berarti generator sinkron yang mempunyai satu pasang kutub diperlukan 25 putaran setiap detik atau sama dengan  $60 \times 25 = 1500$  rpm. Jadi jumlah putaran dapat disesuaikan dengan persamaan di atas.

Kecepatan putaran juga sangat berpengaruh pada tegangan yang dihasilkan. Jika tegangan turun maka tegangan yang keluar juga akan menurun dan jika putaran generator bertambah maka akan mengakibatkan bertambahnya tegangan yang dihasilkan. Tetapi biasanya dalam pengoperasiannya jumlah putaran generator dijaga konstan dan yang di atur biasanya adalah arus penguat medan.

#### 2.1.4 Daya yang Dihasilkan

Generator untuk pembangkit listrik tenaga air berskala mikro kami menggunakan generator sinkron 1 phasa. Generator ini memiliki kecepatan rata-rata antara 1500-3000 rpm. Daya yang dihasilkan oleh generator 1 phasa dihitung dengan persamaan :

$$P = V.I.\cos\phi$$

Dimana :

P = daya yang dihasilkan generator

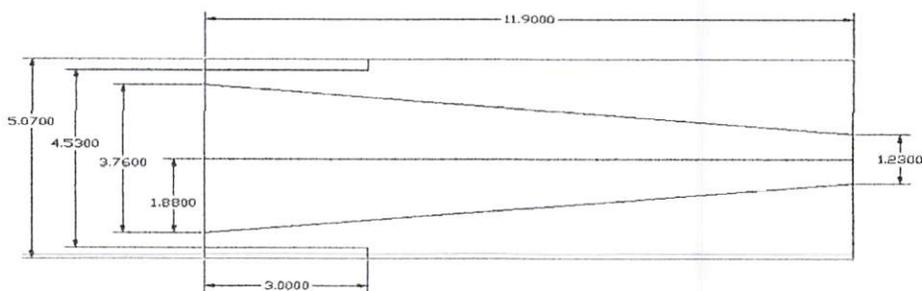
V = tegangan terminal generator

I = arus

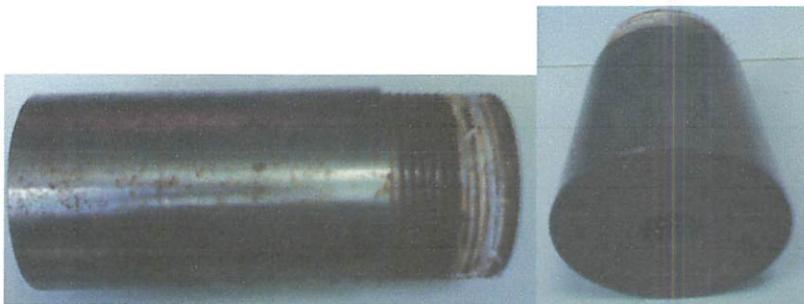
$\cos\phi$  = faktor daya

## 2.2 Nozzle

Nozle adalah alat yang berfungsi sebagai pemancar / reducer. Pada alat ini kami memilih dan merencanakan nozzle dengan perhitungan dan percobaan secara manual. Pada percobaan secara manual kami membuat nozzle dengan menggunakan Pelat besi ukuran 1mm kemudian kami bentuk pola dengan ukuran yang berbeda-beda dan akhirnya menghasilkan ukuran 1,8cm. pola nozzle dalam bentuk 2D s tunjukkan dalam gambar 2.3 , sedangkan dalam gambar 2.4 dan 2.5 menunjukkan gambar nozzle yang kami pergunakan.



**Gambar 2.3** pola nozzle 2D



**Gambar 2.4** nozle tampak samping **Gambar 2.5** Nozle tampak depan

Rumus perhitungan perencanaan diameter nozzle sebagai berikut.

$$0,54 \times \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}}$$

Dimana:

0,54 = konstanta

Q = debit

H = ketinggian air

Dengan spesifikasi :

- a. Panjang Nozzle 11.9 cm
- b. Lebar total nozzle 5.07cm
- c. Lebar lubang belakang Nozzle 4.53cm
- d. Lebar lubang depan Nozzle 1.23cm
- e. Panjang Snei Ulir 3.0cm

Valve ini jenis gate vane dengan ukuran diameter keseluruhan 4,8cm. dan total panjang nozle 12cm

### 2.3 Tubin Air

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik.. Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik.

### 2.3.1 Pengelompokan Turbin

Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. dalam Tabel 2.1 menunjukkan pengelompokan jenis turbin.

**Tabel 2.1** Pengelempokan jenis turbin

	High Head	Medium Head	Low Head
Turbin Implus	Pelton	Crossflow Multi jet Pelton	crossflow
Turbin Reaksi		Francis	Plopeler Kaplan

#### 2.3.1.1 Turbin Impuls

Energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nozle. Air keluar nozle yang mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impulse). Akibatnya roda turbin akan berputar. Turbin impuls adalah sama dengan turbin tekanan karena aliran air yang keluar dari nozle tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer sekitarnya. Semua energi tinggi tempat dan tekanan ketika masuk ke sudu jalan turbin dirubah menjadi energi kecepatan.

### **a. Turbin Pelton**

Turbin pelton merupakan turbin impuls. Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nozle. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Turbin Pelton untuk pembangkit skala besar membutuhkan head lebih kurang 150 meter tetapi untuk skala mikro head 20 meter sudah mencukupi.

### **b. Turbin Crossflow**

Turbin cross-flow merupakan jenis turbin yang dikembangkan oleh Anthony Michell (Australia), Donat Banki (Hongaria) dan Fritz Ossberger (Jerman). Michell memperoleh hak paten atas desainnya pada 1903. Turbin jenis ini pertama-tama diproduksi oleh perusahaan Weymouth. Turbin ini juga sering disebut sebagai turbin Ossberger, yang memperoleh hak paten pertama pada 1922. Perusahaan Ossberger tersebut sampai sekarang masih bertahan dan merupakan produsen turbin crossflow yang terkemuka di dunia. Turbin crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 liter/s hingga 10 m<sup>3</sup>/s dan head antara 1 m s/d 200 m. 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.

### **2.3.1.2 Turbin Reaksi**

Sudu pada turbin reaksi 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. Runner turbin reaksi sepenuhnya tercelup dalam air dan berada dalam rumah turbin.

#### **a. Turbin Francis**

Turbin Francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin Francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat.

## b. Turbin Kaplan & Propeller

Turbin Kaplan dan propeller merupakan turbin rekasi aliran aksial. Turbin ini tersusun dari propeller seperti pada perahu. Propeller tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam sudu.

### 2.3.1.3 Pemilihan Turbin

Daerah aplikasi berbagai jenis turbin air relatif spesifik. Pada beberapa daerah operasi memungkinkan digunakan beberapa jenis turbin. Pemilihan jenis turbin pada daerah operasi yang overlapping ini memerlukan perhitungan yang lebih mendalam. Dalam tabel 2.2 ditunjukkan varian head jenis turbin

Pada dasarnya daerah kerja operasi turbin menurut Keller dikelompokkan menjadi :

- Low head power plant
- Medium head power plant
- High head power plant

**Tabel 2.2** varian head jenis turbin

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
Kaplan dan Propeller	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1000$
Crossflow	$6 < H < 100$
Turgo	$50 < H <$

#### **2.3.1.4 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin**

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 :

- a. Faktor tinggi jatuhan air efektif (Net Head) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin pelton efektif untuk operasi pada head tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada head rendah.
- b. Faktor daya (power) yang diinginkan berkaitan dengan head dan debit yang tersedia.
- c. 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 crossflow berputar sangat lambat (low speed) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi.

Ketiga faktor di atas seringkali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik,  $N_s$ ", yang didefinisikan dengan rumus :

$$NS = \frac{N \sqrt{P}}{H^{5/4}} \text{ rpm}$$

Dimana :

NS = kecepatan spesifik

N = kecepatan putaran turbin (rpm)

P = maksimum turbin output (kW)

H = head efektif (m).

Output turbin dihitung dengan rumus :

$$P = 9.81 \times Q \times H \times \eta_{\text{turbin}}$$

Dimana :

P = daya Turbin (kW)

Q = debit air (m<sup>3</sup>/s)

H = efektif head (m)

$\eta_{\text{turbin}}$  = 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

Kecepatan spesifik setiap turbin memiliki kisaran (range) tertentu berdasarkan data eksperimen. Kisaran kecepatan spesifik beberapa turbin air ditunjukkan dalam Tabel 2.3:

**Tabel 2.3** kriteria kecepatan turbin

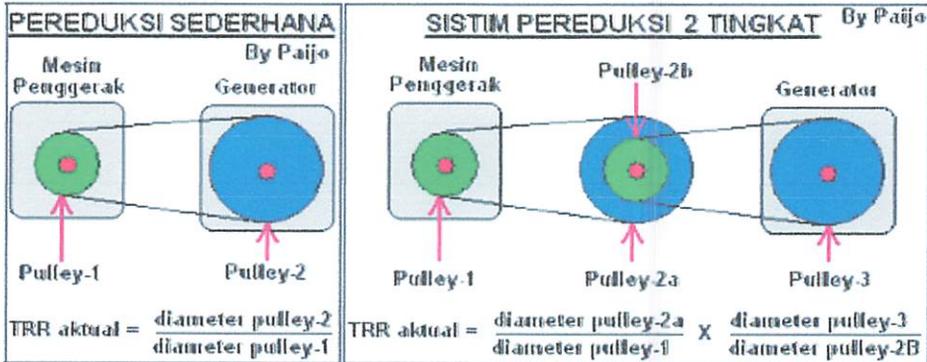
Turbin Pelton	$12 \leq N_s \leq 25$
Turbin Francis	$60 \leq N_s \leq 300$
Turbin Crossflow	$40 \leq N_s \leq 200$
Turbin Propeler	$250 \leq N_s \leq 1000$

Dengan mengetahui kecepatan spesifik turbin maka perencanaan dan pemilihan jenis turbin akan menjadi lebih mudah. Dengan mengetahui besaran kecepatan spesifik maka dimensi dasar turbin dapat diperkirakan.

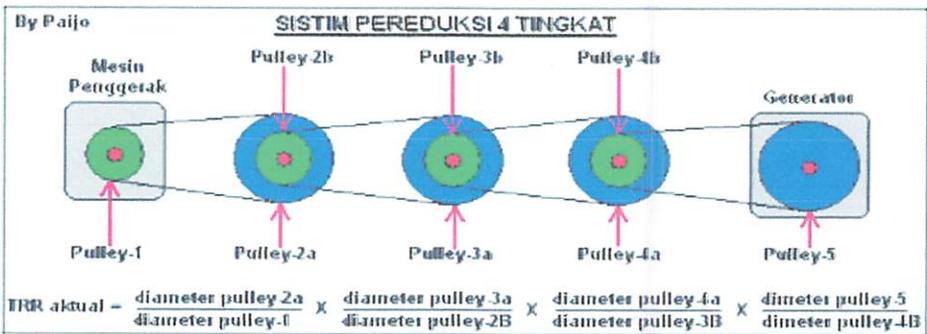
#### **2.4 Pengkonversi Putaran Turbin ke Putaran generator**

Agar dapat menghasilkan listrik yang berkualitas tinggi ( tegangan dan frekuensinya stabil ), maka generator harus bekerja pada kecepatan putar ( rpm ) tertentu sesuai spesifikasinya. Agar dapat berputar, generator harus dihubungkan dengan mesin penggerak yang dapat berupa motor bakar, turbin air, turbin uap, kincir angin, kincir air, dsb. Agar pembangkit listrik memiliki kinerja dan efisiensi maksimal, perlu didesain sedemikian rupa sehingga mesin penggerak maupun generator bekerja pada kecepatan putar ideal masing-masing. Untuk mencapai

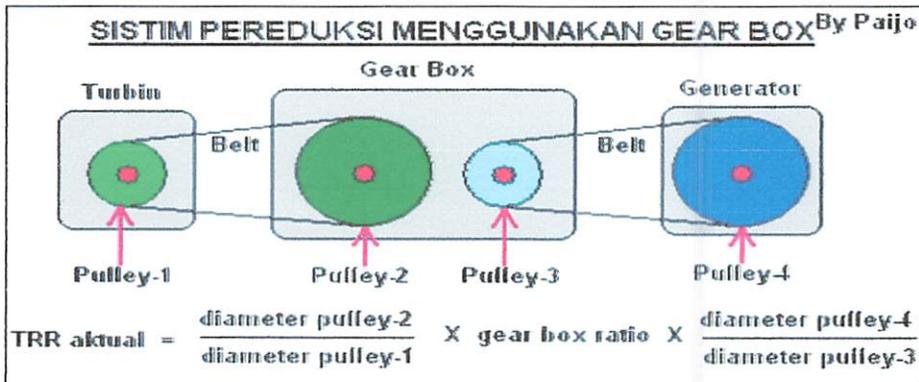
keadaan ideal tersebut, diperlukan jenis penghubung yang sesuai dengan perbandingan kecepatan antara shaft mesin penggerak dengan shaft generator. Perbandingan kecepatan putar tersebut ada 3 macam, dalam gambar 2.6 sampai 2.11 menunjukkan macam-macam jenis pereduksi putaran:



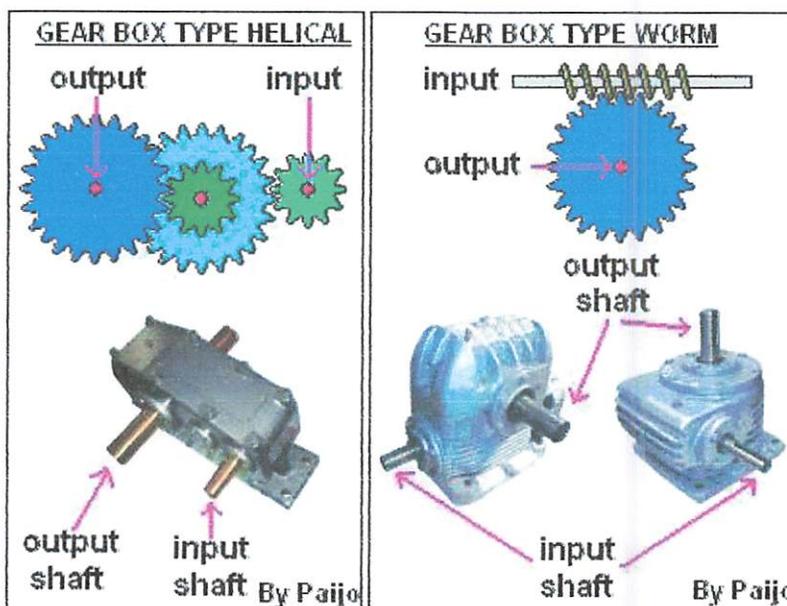
Gambar 2.6 Pereduksi sederhana      Gambar2.7 Sistim pereduksi 2 tingkat



Gambar2.8 Sistim pereduksi 4 tingkat



**Gambar2.9** Sistim pereduksi menggunakan Gear Box



**Gambar2.10** Gear box type Helical    **Gambar2.11** Gear box type Worm

- a. Kecepatan putar mesin penggerak sama dengan kecepatan putar generator. Untuk keadaan ini, dapat digunakan sambungan langsung dimana poros mesin penggerak tersambung langsung dengan poros generator yang biasanya digunakan pada genset motor bensin portable. Alternatif kedua, dapat

digunakan direct couple seperti yang digunakan pada mesin pemotong rumput. Alternatif ketiga, dapat digunakan sambungan tidak langsung yaitu sistim pulley-belt atau sistim gear-rantai atau sistim gear to gear ( diameter kedua pulley atau jumlah gigi kedua gir harus sama ).

- b. Kecepatan putar mesin penggerak lebih rendah daripada kecepatan putar generator. Untuk keadaan ini, diperlukan sistim multiplikasi putaran sebagai penghubung. Jika perbedaan kecepatan putar tersebut tidak terlalu jauh ( lebih dari  $1 : 3$  ), dapat digunakan sistim multiplikasi tunggal yang cukup sederhana. Adapun sistim multiplikasi tersebut dapat berupa sistim pulley-belt yang terdiri dari sebuah pulley besar pada shaft mesin penggerak dan sebuah pulley kecil pada shaft generator yang dihubungkan oleh sebuah belt. Alternatif kedua, dapat berupa sistim gear-rantai yang terdiri dari sebuah gear besar pada shaft mesin penggerak dan sebuah gear kecil pada shaft generator yang dihubungkan oleh sebuah rantai. Alternatif ketiga, dapat berupa sistim gear to gear yang terdiri dari sebuah gear besar pada shaft mesin penggerak dan sebuah gear kecil pada shaft generator yang saling bersinggungan. Jika perbedaan kecepatan putar tersebut cukup jauh ( kurang dari  $1 : 3$  ), perlu digunakan sistim multiplikasi bertingkat yang cukup rumit. Untuk keperluan itu, dapat digunakan gear box type HELICAL sebagai salah satu alternatif yang banyak dipakai. Sedangkan gear box type WORM tidak dapat dipakai untuk sistim multiplikasi karena bersifat irreversibel ( tidak dapat dibalik ). Alternatif lain, dapat juga digunakan sistim pulley-belt bertingkat atau sistim

gear-rantai bertingkat. Adapun banyaknya tingkat, tergantung dari Total Multiplication Ratio ( TMR ) yang diperlukan.

- c. Kecepatan putar mesin penggerak lebih tinggi daripada kecepatan putar generator. Untuk keadaan ini, diperlukan sistim pereduksi putaran sebagai penghubung. Jika perbedaan kecepatan putar tersebut tidak terlalu jauh ( kurang dari  $3 : 1$  ), dapat digunakan sistim pereduksi tunggal yang cukup sederhana. Adapun sistim pereduksi tersebut dapat berupa sistim pulley-belt yang terdiri dari sebuah pulley kecil pada shaft mesin penggerak dan sebuah pulley besar pada shaft generator yang dihubungkan oleh sebuah belt. Alternatif kedua, dapat berupa sistim gear-rantai yang terdiri dari sebuah gear ( sprocket ) kecil pada shaft mesin penggerak dan sebuah gear ( sproket ) besar pada shaft generator yang dihubungkan oleh sebuah rantai. Alternatif ketiga, dapat berupa sistim gear to gear yang terdiri dari sebuah gear kecil pada shaft mesin penggerak dan sebuah gear besar pada shaft generator yang saling bersinggungan. Jika perbedaan kecepatan putar tersebut cukup jauh ( lebih dari  $3 : 1$  ), perlu digunakan sistim pereduksi bertingkat yang cukup rumit. Untuk keperluan itu, dapat digunakan gear box baik yang type HELICAL maupun type WORM sebagai salah satu alternatif yang banyak dipakai. Alternatif lain, dapat juga digunakan sistim pulley-belt bertingkat atau sistim gear-rantai bertingkat. Adapun banyaknya tingkat, tergantung dari Total Reduction Ratio ( TRR ) yang diperlukan. Pada sebagian besar pembangkit listrik, kecepatan putar mesin penggerak tidak sama dengan

kecepatan putar generator. Oleh karena itu, salah satu hal yang harus dilakukan dalam perencanaan sistem pembangkit listrik adalah menjembatani perbedaan kecepatan putar ( rpm ) ideal antara shaft generator dengan shaft turbin. Untuk itu, perlu dibuat desain suatu sistem pereduksi atau sistem multiplikasi yang berfungsi mentransformasi kecepatan putar ideal shaft turbin menjadi kecepatan ideal shaft generator tanpa banyak kehilangan daya. Secara prinsip, sistem pereduksi atau sistem multiplikasi adalah semua sistem mekanik mulai dari pulley atau gear yang terpasang pada shaft turbin, kemudian gear box ( jika ada ), sampai dengan pulley atau gear yang terpasang pada generator. Jadi bukan hanya gear box saja yang merupakan bagian dari sistem pereduksi atau sistem multiplikasi putaran. Demikian juga sebaliknya, sistem pereduksi atau sistem multiplikasi putaran tidak selalu berupa gear box. Adapun perbedaan antara sistem pereduksi dan sistem multiplikasi adalah pada transformasi kecepatan yang dihasilkannya. Sistem pereduksi mentransformasikan kecepatan putar tinggi menjadi kecepatan putar yang lebih rendah. Sedangkan sistem multiplikasi mentransformasikan kecepatan putar rendah menjadi kecepatan putar yang lebih tinggi. Sistem pereduksi digunakan jika kecepatan putar mesin penggerak ( termasuk turbin ) lebih tinggi daripada kecepatan putar generator. Situasi seperti itu umumnya ditemui pada PLTA, PLTU, PLTGU, dan PLTP. Sedangkan sistem multiplikasi digunakan jika kecepatan putar mesin penggerak lebih rendah daripada kecepatan putar generator. Situasi seperti itu biasanya ditemui pada

PLTMH yang menggunakan kincir lintasan sebagai tenaga penggerak. Dalam hal ini hanya akan dibahas tentang sistim pereduksi saja.

#### **2.4.1 SISTIM PEREDUKSI PUTARAN**

Sistim pereduksi putaran yang dibahas di bawah ini dapat diterapkan pada semua jenis pembangkit listrik maupun pada proyek lainnya yang memerlukan sistim pereduksi putaran secara umum. Untuk dapat menentukan jenis pereduksi yang paling tepat dengan kebutuhan, perlu diketahui dulu data teknis dari mesin penggerak dan generator yaitu antara lain :

- a. Kecepatan putar mesin penggerak ( rpm ) yang memberikan efisiensi konversi tertinggi ( peak speed ). Kalau diinginkan, boleh juga bukan peak speed ( biasanya diatasnya peak speed ) dengan maksud untuk memperoleh output daya yang lebih besar namun harus rela mengorbankan sedikit efisiensi.
- b. Kecepatan putar generator ( rpm ) yang direkomendasikan oleh pabrik. Kecepatan putar generator musti mengikuti standar dengan toleransi sekitar 2-5 % saja. Jika terlalu tinggi atau terlalu rendah melewati batas toleransinya, maka kualitas listrik yang dihasilkan akan berkualitas rendah ( tegangan dan frekuensinya tidak sesuai standar ).
- c. Daya yang dihasilkan mesin penggerak ( watt atau HP ) pada kecepatan kerja yang ditetapkan pada bagian a di atas.
- d. Daya dari generator ( watt atau HP ) pada kecepatan kerja yang direkomendasikan pabrik pada bagian b di atas Setelah semua data bagian a-b-

c-d tersebut di atas telah lengkap, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan kalkulasi dengan mengikuti langkah-langkah berikut :

1. Memastikan bahwa daya mesin penggerak ( data c ) musti 5-10 % lebih besar dari pada daya generator ( data d ) agar sistem dapat bekerja normal sesuai harapan. Hal itu disebabkan oleh kehilangan daya akibat adanya slip dan atau gesekan pada sistim mekanik seperti bearing, gear, belt, rantai, dsb. Kehilangan daya tersebut bisa mencapai 5-10 persen dari daya total. Jika ternyata daya mesin penggerak tidak lebih besar daripada daya generator, maka musti dilakukan penggantian / perubahan rencana. Alternatif pertama adalah memperbesar daya mesin penggerak jika memungkinkan. Alternatif kedua adalah mengganti generator dengan daya yang lebih kecil.
2. Menghitung Total Reduction Ratio ( TRR ) ideal yang diperlukan berdasarkan data a dan b di atas.
3. Setelah mendapatkan TRR ideal, langkah selanjutnya adalah mendesain rangkaian sistim pereduksi yang memiliki TRR aktual yang sama dengan TRR ideal. Jika tidak bisa diperoleh yang betul-betul sama, maka bisa digunakan TRR aktual sedikit di atas TRR ideal dengan toleransi maksimal 5 %.

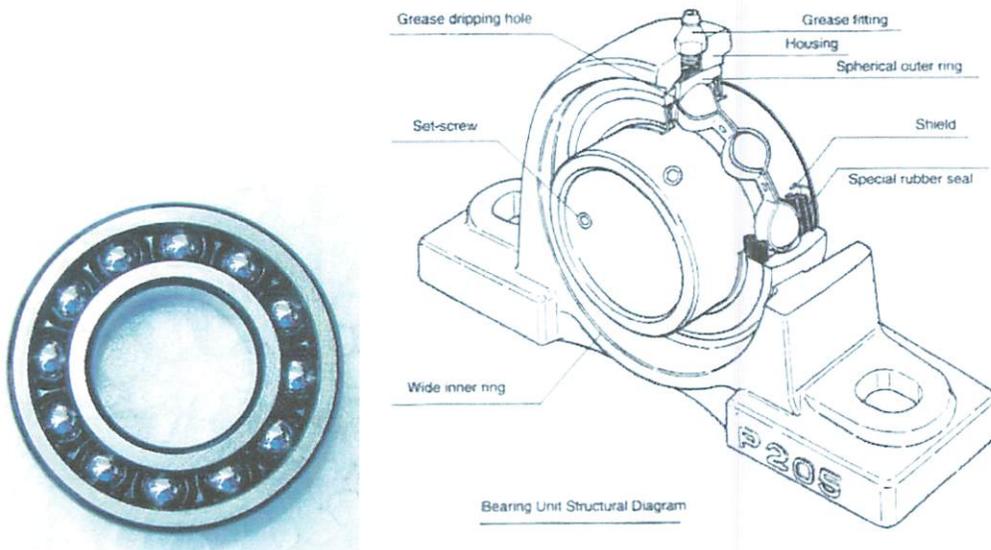
Adapun pemilihan jenis sistim pereduksi yang akan digunakan, perlu mempertimbangan besar kecilnya TRR dengan pedoman sebagai berikut :

1. Jika TRR kurang dari 3, dapat digunakan sistim pereduksi sederhana ( lihat gambar ). Adapun sistim pereduksi tersebut dapat berupa sistim pulley-belt yang terdiri dari sebuah pulley kecil pada shaft mesin penggerak dan sebuah pulley besar pada shaft generator yang dihubungkan oleh belt. Alternatif kedua, dapat berupa sistim gear-rantai yang terdiri dari sebuah gear ( sproket ) kecil pada shaft mesin penggerak dan sebuah gear ( sproket ) besar pada shaft generator yang dihubungkan oleh rantai.
2. Jika TRR lebih dari 3, perlu digunakan sistim pereduksi bertingkat yang lebih rumit. Untuk keperluan itu, dapat digunakan sistim pereduksi bertingkat baik sistim pulley-belt maupun sistim gear-rantai. Adapun banyaknya tingkat, tergantung dari TRR yang diperlukan. Jika TRR kurang dari 3, cukup satu tingkat. Jika TRR antara 3 dan 9, bisa 2 tingkat. Jika TRR antara 9 dan 27, bisa 3 tingkat. Dan jika TRR lebih dari 9, perlu dipertimbangkan penggunaan gear box agar tidak terlalu rumit. Adapun gear box yang dapat digunakan dapat dipilih yang type HELICAL maupun type WORM. Selain harus memilih rasio yang tepat, pemilihan gear box juga wajib memperhitungkan kekuatan yang harus dipikulnya agar tahan lama dan efisien. Gear box yang terlalu kecil, akan cepat rusak. Kalau terlalu besar, boros biaya dan tidak efisien karena banyak kehilangan daya. Mengenai type gear box, yang type HELICAL relatif lebih aman dari pada type WORM jika

digunakan untuk memutar beban yang mempunyai momentum anguler yang besar seperti generator. Karena bersifat irreversibel, gear box type WORM bisa rontok jika belt penghubung turbin dan gear box putus ketika sedang berputar kencang . Hal itu disebabkan oleh momentum anguler generator yang akan memaksa bagian output gear box untuk tetap berputar selama beberapa saat sebelum momentumnya habis dan berhenti. Hal itu tidak akan terjadi pada gear box type HELICAL jika belt tersebut putus karena bersifat reversible. Sifat irreversible pada gear box type WORM disebabkan oleh konstruksi gearnya yang berbentuk seperti mekanik pemutar senar gitar. Dengan konstruksi seperti itu, pemutar dapat menggerakkan penggulung senar, tapi penggulung senar tidak bisa menggerakkan pemutar dan jika dipaksa bisa rontok. Gear box pada mobil apapun, semuanya type HELICAL, jadi pasti aman dipakai untuk dinamo. Tetapi dapat dipakai hanya jika rasionya cocok.

## 2.5 Pillow Block dan Bearing

Bearing adalah alat yang memungkinkan terjadinya pergerakan relatif antara dua bagian dari alat atau mesin, biasanya gerakan angular atau linear. Dengan adanya bearing, gesekan antara dua bagian tersebut menjadi sangat minim dibandingkan tanpa bearing. Gambar bearing dan pillow block ditunjukkan dalam gambar Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Bearing dan Pillow Block

Bayangkan sebuah kincir angin dengan pangkalnya yang berbentuk melingkar. Pangkalnya itu juga harus ditopang oleh benda yang berbentuk melingkar mengelilinginya. Jika tanpa bearing, pangkalnya akan bergesekan dengan penopangnya sehingga menghambat putaran kincir. Dengan bearing, gesekan itu bisa menjadi minim sehingga kincir bisa berputar dengan minim sekali gesekan, bahkan

hampir tidak ada. Letak bearing bisa di mana saja tergantung alat dan mesin yang memanfaatkan bearing tersebut dan jenis bearingnya.

Salah satu jenis bearing adalah bearing freewheel, yang ada di sepeda. Mungkin anda tidak menyadarinya, ketika anda mengayuh pedal sepeda ke arah depan, sprocket pedal akan menarik rantai sepeda, tapi ketika dikayuh ke belakang, sprocket pedal tidak menarik rantai sehingga sepeda tidak mundur ke belakang.

## BAB III

### PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

#### 3.1 Diagram Blok Sistem

Pada bab ini akan dibahas tentang perencanaan sebuah alat yang meliputi diagram blok rangkaian dan realisasi rangkaian dengan prinsip kerja dari masing-masing blok rangkaian yang digunakan pada Pemilihan Generator dan Perancangan Turbin pada Simulator PLTMH

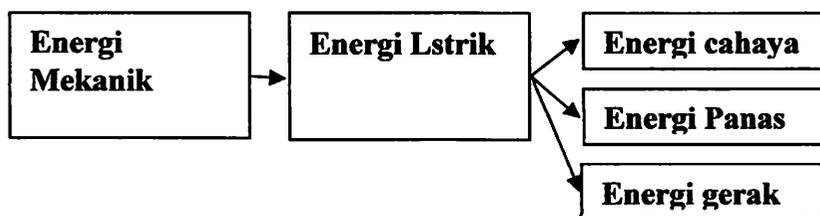


Diagram 3.1 block proses transformasi energi listrik

Dari cara sistem secara keseluruhan, maka dapat diuraikan fungsi umum tiap-tiap blok rangkaian sebagai berikut:

- a. Volume air yang keluar dari pompa melalui pipa 1" dan ujung nozzle 1,2cm dapat memutar turbin.
- b. Putaran turbin dapat memenuhi putaran generator.
- c. Perbandingan pulley sesuai dengan putaran turbin dan generator agar tercapai putaran generator yang maksimal.
- d. Putaran turbin yang stabil dapat menghasilkan tegangan dan frekuensi yang stabil.
- e. Pembebanan tidak lebih dari kapasitas dari daya generator.

## 3.2 Perancangan *Hard Ware* Mikrohidro

### 3.2.1 Pemilihan Generator

Dalam perancangan simulasi mikrohidro, generator merupakan mesin listrik yang berfungsi untuk merubah energi mekanis dalam bentuk putaran menjadi energi listrik. Pemilihan generator dilakukan agar pemilihan turbin dapat dilakukan dan perbandingan pulley jupan dapat ditentukan. Disamping itu juga untuk melayani beban sesuai dengan daya yang dihasilkan generator. Generator yang kami gunakan dapat dilihat dalam gambar 3.1.

Spesifikasi Generator yang kami gunakan sbb:

$$V_o = 230 \text{ V}$$

$$n = 3000 \text{ rpm}$$

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

$$P = 175 \text{ Watt}$$



**Gambar 3.1** generator

Kami memilih jenis generator tersebut berdasarkan hasil survey yang kami lakukan di pasaran dan juga untuk menekan kondisi keuangan agar lebih efisien dalam penggunaannya. Alat ini menggunakan generator dengan daya kecil

dikarenakan alat ini adalah simulator yang tidak memerlukan daya besar untuk melayani beban terlalu besar seperti motor, kompor listrik, dsb..

Suatu generator secara umum terdiri dari :

- a. Stator adalah bagian dari mesin yang diam dan berbentuk silinder
- b. Rotor adalah bagian dari mesin yang berputar juga berbentuk silinder
- c. Celah udara adalah ruangan antara stator dan rotor.

#### **a. Stator**

Secara umum stator terdiri dari kerangka stator, inti stator, dan slot.

Gambar stator ditunjukkan dalam gambar 3.2.



**Gambar 3.2 Stator**

#### **• Rangka Stator**

Rangka stator berfungsi sebagai tempat melekatnya stamping jangkar dan kumparan jangkar. Pada rangka stator terdapat lubang pendingin dimana udara dan gas pendingin disirkulasikan. Rangka stator biasanya dibuat dari besi

campuran baja atau plat baja giling yang dibentuk sedemikian rupa sehingga diperoleh rangka yang sesuai dengan kebutuhan.

- **Inti Stator**

Inti stator melekat pada rangka stator dimana inti ini terbuat dari laminasi-laminasi besi khusus atau campuran baja. Hal ini diperbuat untuk memperkecil rugi arus Eddy. Tiap laminasi diberi isolasi dan diantaranya dibentuk celah sebagai tepat aliran udara

- **Slot**

Slot adalah tempat konduktor berada yang letaknya pada bagian dalam sepanjang keliling stator.

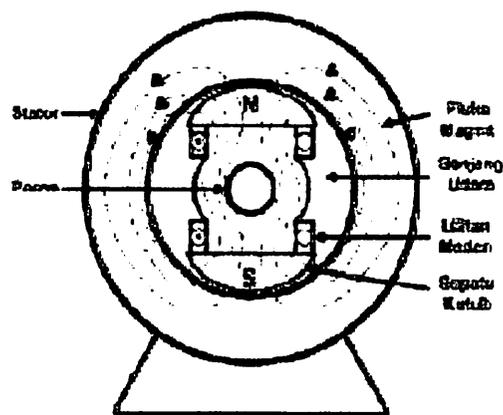
**b. Rotor**

Sebagai tempat belitan penguat yang membentuk kemagnetan listrik kutub Utara-Selatan pada inti rotor. Gambar stator ditunjukkan dalam gambar 3.3



**Gambar 3.3 Rotor**

Rotor tipe ini mempunyai 2 kutub, rotor yang ada pada generator ini adalah rotor kutub menonjol yang kumparannya dibelitkan pada tangkai kutub, dimana kutub-kutub diberi laminasi untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh arus Eddy, kumparan-kumparan medannya terdiri . Kutub menonjol ditandai dengan rotor berdiameter besar dan panjang sumbunya pendek. Rotor kutub menonjol ditunjukkan dalam gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Rotor kutub menonjol

Kecepatan putaran suatu generator sinkron tergantung kepada 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 begitu pula sebaliknya, jika putaran turbin rendah maka putaran pada generator juga akan rendah. Putaran pada generator selalu dijaga konstan agar frekuensi dan tegangan yang dihasilkan generator tetap konstan. Untuk menentukan besarnya frekuensi yang dihasilkan oleh generator dapat dicari berdasarkan besarnya jumlah putaran dan banyaknya jumlah pasang kutub pada generator, sehingga diperoleh hubungan :

$$F = \frac{P \cdot n}{120}$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{2 \times 3000}{120} \\ &= \frac{6000}{120} \\ &= 50 \text{ hz} \end{aligned}$$

Dimana :

F = frekuensi listrik (Hz)

P = jumlah kutub pada rotor

n = kecepatan putaran rotor (rpm)

constanta = 120

Pada umumnya frekuensi yang dihasilkan suatu generator adalah 50 Hz. Berarti generator sinkron yang mempunyai satu pasang kutub diperlukan 25 putaran setiap detik atau sama dengan  $60 \times 25 = 1500$  rpm. Jadi jumlah putaran dapat disesuaikan dengan persamaan di atas.

Kecepatan putaran juga sangat berpengaruh pada tegangan yang dihasilkan. Jika tegangan turun maka tegangan yang keluar juga akan menurun dan jika putaran generator bertambah maka akan mengakibatkan bertambahnya tegangan yang dihasilkan.

Generator untuk pembangkit listrik tenaga air berskala mikro kami menggunakan generator 1 phasa. Daya yang dihasilkan oleh generator adalah 175 watt, maka pengaman arus yang harus digunakan dapat diketahui dengan perhitungan :

$$\begin{aligned}
 P &= V.I.\cos\Phi \\
 I &= \frac{P}{V \times \cos\Phi} \\
 &= \frac{175}{220 \times 0,8} \\
 &= 1 \text{ ampere}
 \end{aligned}$$

Dimana :

P = daya yang dihasilkan generator

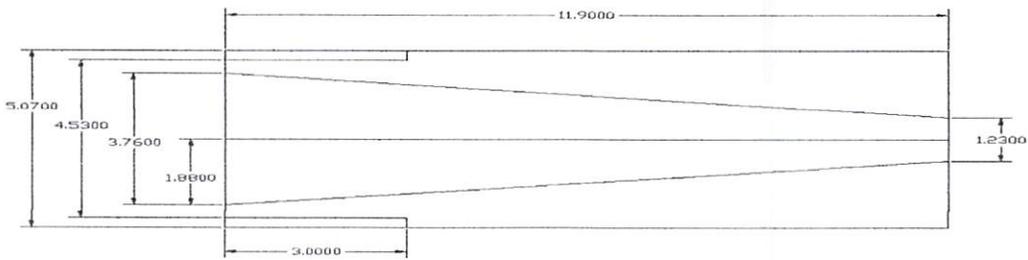
V = tegangan terminal generator

I = arus

Cos $\Phi$  = faktor daya

### 3.2.2 Perancangan Nozzle

Nozle adalah alat yang berfungsi sebagai pemancar / reducer. Pada alat ini kami memilih dan merencanakan nozzle dengan perhitungan dan percobaan secara manual. Pada percobaan secara manual kami membuat nozzle dengan menggunakan Pelat besi ukuran 1mm kemudian kami bentuk pola dengan ukuran yang berbeda-beda dan akhirnya ukuran 1,8cm yang kami pilih berdasarkan percobaan dan perhitungan. pola nozzle dalam bentuk 2D s tunjukkan dalam gambar 3.5 , sedangkan dalam gambar 3.6 dan 3.7 menunjukkan gambar nozzle yang kami pergunakan.



Gambar 3.5 pola nozzle 2D

Diameter ujung nozzle dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$0,54 \times \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{H}}$$

Dimana:

Q = debit air

H = ketinggian air

0,54 = konstanta

Dikarenakan H dalam hal ini tidak berlaku karena kami menggunakan pompa sebagai sumber tekanan air, maka H diganti dengan kecepatan (V) laju air

Kecepatan laju air dapat dihitung dengan rumus :

$$(V) = Q \times A$$

$$Q = 114 \text{ l/men} = 1,9 \text{ l/det}$$

Dimana :

$$A = \pi r^2$$

$$A = 3,14 \times 1,27^2$$

$$A = 3,14 \times 1,6129$$

$$= 5,064 \text{ cm}^2$$

Jadi

$$(V) = Q \times A$$

$$(V) = 1,9 \times 5,064$$

$$= 9,62$$

Sehingga diameter ujung nozzle :

$$Dn = 0,54 \times \frac{\sqrt{114}}{\sqrt{9,62}}$$

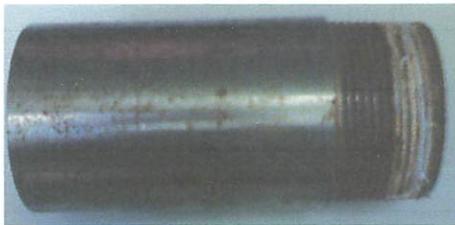
$$Dn = 0,54 \times \frac{10,677}{3,10}$$

$$Dn = 0,54 \times 3,44$$

$$Dn = 1,8$$

spesifikasi :

- a. Panjang Nozzle 11.9 cm
- b. Lebar total nozzle 5.07cm
- c. Lebar lubang belakang Nozzle 4.53cm
- d. Lebar lubang depan Nozzle 1.8cm
- e. Panjang Snei Ulir 3.0cm



**Gambar 3.6** nozle tampak samping



**Gambar 3.7** Nozle tampak depan

### 3.2.3 Pemilihan dan Perhitungan Pulley

Berdasarkan survey kami di pasaran ukuran pulley paling keil adalah 2", sedangkan pulley turbin kami memilih 15", jadi perbandingan pulley 1: 7,5 yang berarti 1 kali turbin memutar itu sama dengan 7,5 kali putaran pada generator, hal tersebut dapat dilihat dalam tabel 3.2.

**Tabel 3.2** perbandingan putaran generator dan turbin dengan pulley

<b>Pulley generator 2"</b>	<b>Pulley tubin 15"</b>
7,5 kali putaran	1 kali putaran

Jika putaran pada generator harus 3000rpm, maka putaran turbin harus 466,66 rpm. Dalam kenyataanya putaran tubin dan generator tidak mencapai putaran tersebut atau mampu mencapai tetapi putaran yang diperoleh tidak stabil hal ini dikarenakan kami memakai penghubung v-belt pada pengkonversian putaran turbin ke generator, gaya gesek antara v-belt dengan pulley dapat menghambat putaran, disamping itu juga factor perbandingan pulley yang kami gunakan cukup besar.

### 3.2.4 Perancangan dan Pembuatan Turbin

Perancangan dan pembuatan turbin kami dasarkan pada Debit air yang keluar dari pompa. Air yang keluar dari pompa kami hitung secara manual agar di peroleh hasil yang maksimal dalam perhitungan perencanaan turbin. Data yang kami peroleh dari pengukuran volume air pompa adalah  $1,9 \frac{l}{s}$  melewati pipa 1" dengan diameter ujung nozzle 1,8 mm. Gambar turbin kami dapat dilihat dalam gambar 3.8



**Gambar 3.8** turbin

Berdasarkan data yang sudah kami peroleh, maka kami memilih turbin pelton dikarenakan turbin ini adalah turbin implus. Prinsip dari turbin implus ini adalah untuk merubah energi air (potensial) menjadi energi gerak (kinetik) pada turbin melalui nozzle. Air yang keluar dari nozzle yang mempunyai kecepatan yang tinggi membentur sudu pada turbin. Setelah membentur sudu pada turbin, arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Akibatnya poros turbin akan berputar sehingga membentuk suatu gaya mekanik yang kemudian akan ditransfer melalui *Pulley* menuju ke poros generator.

Turbin Pelton terdiri dari beberapa jumlah sudu yang sudah terhitung dan akan bekerja apabila terdorong oleh pancaran air yang disemprotkan dari suatu alat yang disebut *nozzle*. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi. Bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga pancaran air akan mengenai tengah-tengah sudu dan

pancaran air tersebut akan berbelok ke kedua arah sehingga bisa membalikkan pancaran air dengan baik dan membebaskan sudu dari gaya-gaya samping sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis. Karena pembuatan turbin ini cukup rumit dan memerlukan tingkat ketelitian yang tinggi dan biaya yang tidak sedikit, maka kami merancang turbin dengan bentuk yang tidak serupa akan tetapi perhitungan-perhitungan yang kami gunakan mengacu pada perhitungan turbin pelton.

### 3.2.4.1 Perancangan turbin

Dengan Debit air yang sudah didapat, kita dapat menentukan Dimensi turbin berdasarkan volume air yang dapat di tampung oleh tiap sudu pada turbin dengan perhitungan sebagai berikut :

Diketahui :

$$\begin{aligned} \text{Debit air} &= 114 \text{ l/min} = 1,9 \text{ l/s} = 1,9 \text{ dm}^3/\text{s} = 0,9 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 1900 \text{ cm}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\text{Diameter pipa} = 1''$$

$$\text{Diameter ujung nozzle} = 18 \text{ mm} = 1,8 \text{ cm}$$

Daya yang dihasilkan oleh turbin dengan data tersebut dapat dihitung. Karena pada simulasi ini kami menggunakan pompa yang tidak perlu adanya ketinggian (*head*) dan kecepatan gravitasi maka kedua hal tersebut tidak kami masukkan dalam rumus perhitungan. Sehingga daya output pada turbin dapat dihitung dengan perhitungan :

$$P = 9.81 \times Q \times H \times \eta_{\text{turbin}}$$

Karena kami tidak menggunakan gaya grafitasi dan head dalam pengaplikasiannya maka perhitungan menjadi

$$P = Q \times \eta_{\text{turbin}}$$

$$\begin{aligned} P &= 0,19 \times 0,85 \\ &= 0,1615 \text{ KW} \\ &= 161,5 \text{ W} \end{aligned}$$

Dimana :

$$P = \text{daya Turbin (W)}$$

$$Q = \text{debit air (m}^3/\text{s)}$$

$$H = \text{efektif head (m)}$$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{turbin}} &= \text{efisiensi turbin} \\ &= 0.8 - 0.85 \text{ untuk turbin pelton} \end{aligned}$$

Perencanaan ukuran diameter turbin kami dasarkan pada pancaran air. Pancaran air yang keluar dari pompa diasumsikan sebagai bangun ruang berbentuk tabung yang volumenya merupakan debit air yang keluar dari pompa. Untuk menghitung panjang aliran air diameter ujung nozzle dijadikan diameter alas dan panjang aliran merupakan tinggi dari tabung. Panjang aliran air kami asumsikan sebagai keliling lingkaran tubin.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas ujung nozzle} &= \pi \cdot r^2 \\
 &= 3,14 \times 0,9^2 \\
 &= 2,5434 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang aliran air} &= \\
 &= V = \pi r^2 \cdot t
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t \text{ (panjang aliran air)} &= \frac{V}{\pi r^2} \\
 &= \frac{1900}{2,5434} \\
 &= 747,03 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dimana ;

$\pi$  = konstanta

$V$  = volume

$r$  = jari-jari

$t$  = panjang aliran air

Setelah memperoleh panjang aliran air maka diameter turbin 1 dapat dihitung :

$$\text{Keliling lingkaran} = \pi \times d$$

$$\begin{aligned}
 K &= \pi \times D \\
 7,47 &= 3,14 \times D \\
 D &= \frac{7,47}{3,14} \\
 D &= 237,89 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dengan keliling dan diameter seperti ini tubin dapat berputar 1x / det atau 60 rpm,

dengan perbandingan pulley yang sudah ada yaitu 1 : 7,5 maka rpm yang harus

tercapai :

$$\begin{aligned}
 n \text{ turbin} &= \frac{n \text{ generator}}{\text{perbandingan pulley}} \\
 &= \frac{3000}{7,5} \\
 &= 400 \text{ rpm} \\
 &= 6,66 \text{ putaran/detik}
 \end{aligned}$$

jika diameter turbin 1 dapat berputar 1 kali per detik maka diameter turbin ke 2 harus berputa 6,66 kali per detik untuk dapat meutar generator melalui pebandingan pulley . Jadi diameter turbin 1 tersebut harus dibagi dengan 6,66.

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter tubin} &= \frac{\text{diameter turbin 1}}{6,66} \\
 &= \frac{237,89}{6,66} \\
 &= 35,7192 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

**Tabel 3.3** perbandingan keliling turbin 1 dan 2

1x putaran	6,66 x putaran
diameteturbin 1= 747,03 cm	diameter turbin 2= 35,7192 cm

Tabel di atas menunjukkan perbandingan putaran turbin 1 dan 2.

Diameter lingkaran tusuk adalah titik ideal dari turbin yang merupakan titik dimana air menekan turbin secara maksimal. Diameter lingkaran tusuk dapat dihitung dengan :

$$\begin{aligned}
 Dlt &= c \times Ku \times \frac{\sqrt{Q}}{z} \\
 &= 84,5 \times 0,45 \times \frac{\sqrt{1140000}}{2500} \\
 &= 16,24 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Dimana :

$D_{lt}$  = diameter lingkaran tusuk

$c$  = konstanta

$K_u$  = koefisien turbin

$Q$  = debit air

$n$  = kecepatan sinkron generator

Pada saat turbin berdiameter seperti ini turbin dapat berputar 1 putaran tiap detik atau sama dengan 60 rpm maka nilai pengecilan diameter di atas dapat ditentukan oleh perbandingan pulley yang akan kita gunakan nanti. Jumlah putaran yang dibutuhkan turbin untuk dapat memutar generator ditentukan oleh perbandingan pulley yang sesuai dengan jumlah putaran pada turbin dan generator. Generator yang kami gunakan mempunyai spesifikasi rpm yang sudah di *setting* oleh pabrikan yaitu 3000 rpm.

#### 3.2.4.2 Perancangan dan Pembuatan Sudu ( *Runner* )

Sudu (*runner*) merupakan bagian dari turbin yang berfungsi sebagai penangkap volume air yang dikeluarkan dari nozzle.

Agar pemanfaatan air berfungsi secara maksimal maka volume sudu di dirancang agar dapat menampung volume air yang di keluarkan oleh pompa. Adapun langkah-langkah pembuatan sudu sebagai berikut:

##### a. Penentuan jumlah sudu

Jumlah sudu turbin menentukan stabil tidaknya putaran suatu turbin. Penentuan jumlah sudu turbin dapat dihitung dengan rumus perhitungan :

$$\begin{aligned}
 Z &= \frac{\pi \times DLT}{2 \times D(\text{nozzle})} \\
 &= \frac{3,14 \times 16,24}{2 \times 1,2} \\
 &= 18,24\bar{7} \sim 18 \text{ buah sudu}
 \end{aligned}$$

Dimana :

Z = jumlah sudu

DLT = diameter llingkaran tusuk

D = diameter nozzle

#### b. Pembentukan sudut tiap sudu

Pembentukan sudut ini juga mempengaruhi stabil tidaknya dan torsi yang dihasilkan oleh turbin. Dengan pembentukan sudut ini maka letak sudu pada dudukannya tidak lurus 90 dengan as turbin. Pembentukan sudut pada turbin dapat dihitung dengan rumus :

Pembentukan sudut radian turbin :

$$\begin{aligned}
 \text{Sudut} &= \frac{360^{\circ}}{Z} \\
 &= \frac{360^{\circ}}{18} \\
 &= 20^{\circ}
 \end{aligned}$$

Dimana :

360 = sudut mutlak lingkaran

Z = jumlah sudu

### c. Pembentukan Dimensi dan Perhitungan Volume tiap Sudu

Tubin yang kami gunakan adalah tubin pelton yang bentuk sudu turbin terdiri dari dua bagian yang simetris. Sudu dibentuk sedemikian sehingga. Sebagai ganti dari bentuk sudu turbin pelton yang relative rumit maka kami merancang sudu yang terbuat dari plat besi yang kami bentuk dari penggabungan bangun ruang yaitu seperempat tabung diujung sudu dan sebuah balok pada pangkalnya. Setiap sudu yang kami rancang bervolume sama dengan volume pancaran air yang keluar dari pompa dibagi dengan jumlah sudu yang kami gunakan agar penggunaan air dapat di maksimalkan.

Volume sudu dapat di hing dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Volume tiap sudu} &= \frac{Q}{Z} \\ &= \frac{1900}{18} \\ &= 105,55 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Dimana

$$Q = \text{debit air}$$

$$Z = \text{jumlah sudu}$$

Setelah volume sudu diketahui maka ukuran tiap-tiap sisi dari sudu dapat dihitung. Kami menggunakan velk yang berukuran diameter 23cm dan lebar 7cm sebagai dudukan sudu. Dengan demikian satu sisi sudah diketahui yaitu 7cm, satu sisi lain juga dapat diperoleh yaitu dengan membagi keliling lingkaran velk dengan jumlah sudu :

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling lingkaran velk} &= \pi \times d \\
 &= 3,14 \times 23 \text{ cm} \\
 &= 72,22 \text{ cm} \\
 \text{sisi sudu 1} &= \frac{\text{Keliling lingkaran velk}}{\text{jumlah sudu}} \\
 &= \frac{72,22}{18} \\
 &= 4,012 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui panjang kedua sisi tersebut maka tinggal mencari ukuran sisi-sisi yang lain dengan perhitungan.

Diketahui:

$$\begin{aligned}
 V \text{ sudu} &= 105,55 \text{ cm}^3 \\
 \text{sisi alas} &= P = 7 \text{ cm} \\
 &L = 4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari panjang sisi lain kami terlebih dahulu mencari sisi-sisi tiap bangun ruang yang kami gunakan yaitu seperempat tabung dan sebuah balok dengan :

Sisi seperempat tabung :

Dengan ukuran yang sudah diketahui maka kita dapat menyebut ukuran sisi tersebut sebagai :

$$\begin{aligned}
 \text{tinggi tabung} &= 7 \text{ cm} \\
 \text{Jari-jari permukaan tabung} &= 4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume seperempat tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi r^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 4^2 \times 7 \\
 &= 87,92 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Setelah Volume seperempat tabung diketahui maka sisi-sisi dari balok dapat di hitung. Volume balok sama dengan :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume balok} &= \text{Volume sudu} - \text{Volume seperempat tabung} \\
 &= 105,55 - 87,92 \\
 &= 17,63 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Dengan Volume balok dan sisi-sisi yang sudah di ketahui maka sisi yang lain dapat dicari. Sisi yang sudah di ketahui tadi dapat dikatakan sebagai

$$\text{Panjang balok} = 7 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar balok} = 4 \text{ cm}$$

$$\text{Volume balok} = 17,63 \text{ cm}^3$$

Maka tinggi balok :

$$\text{Volume balok} = \text{Panjang balok} \times \text{Lebar balok} \times \text{tinggi balok}$$

$$17,63 = 7 \times 4 \times \text{tinggi balok}$$

$$\text{Tinggi balok} = \frac{7 \times 4}{17,63}$$

$$= 1,588 \text{ cm}$$

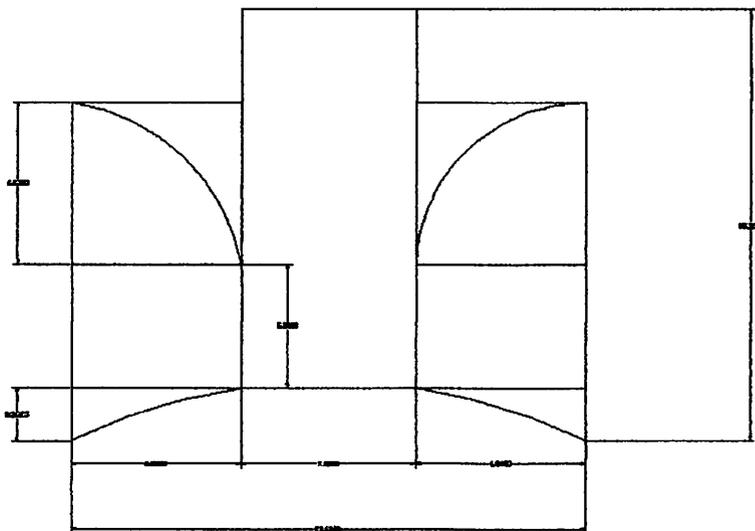
Dengan demikian ukuran tiap sisi sudah diperoleh :

Panjang sudu = 7 cm

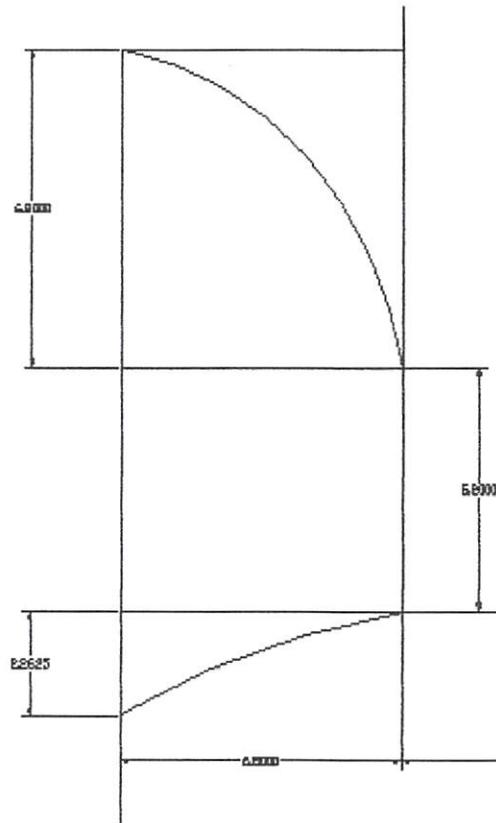
Lebar sudu = 4 cm

Tinggi sudu = tinggi balok + jari-jari seperempat lingkaran  
 = 1,588 cm + 4 cm  
 = 6,588cm

Gambar 3.9 dan 3.10 menunjukkan rancangan bentuk sudu dengan ukurannya. Sedangkan gambar 3.11 menunjukkan bentuk sudu yang sudah jadi yang akan di pasang pada dudukan velk.



**Gambar 3.9** dimensi turbin



**Gamba 3.10** dimensi sudu tampak samping



**Gambar 3.11** sudu turbin

### 3.2.4.3 Pembuatan Turbin

setelah perhitungan-perhitungan di atas maka proses pembuatan turbin dapat dilakukan. Ada beberapa tahap yang kami lakukan dalam pembuatan turbin yaitu:

- a. Pemilihan dudukan sudu ( sebagai diameter dalam turbin ) kami menggunakan velk yang berdiameter 23 cm.
- b. Pembentukan  $20^{\circ}$  tiap sudu.
- c. Pengelasan Sudu pada Dudukan (velk )
- d. Pembuatan chasing turbin

Hal-hal di atas bukan merupakan standart langkah pemmbuatan turbin. Langkah ini kami lakukan berdasarkan keperluan kami dalam pembuatan tubin.

- a. Pemilihan Dudukan Sudu

Velk yang kami gunakan berukuran diameter 23 cm. untuk mencapai diameter lingkaran tusuk maka kita harus menabah panjang nilai diameter velk tersebut dengan dudukan sudu yang lebih panjang hingga mencapai diameter lingkaran tusuk. Jadi ukuran sisi-sisi sudu yang telah diperoleh harus ditambah dengan panjang diameter tusuk dikurangi panjang diameter velk. Gambar velk di tunjukan dalam gambar Gambar 3.12



**Gambar 3.12** velk sebagai dudukan sudu

b. Pembentukan  $20^{\circ}$  Tiap Sudu.

Velk yang sudah ada kami beri tanda dengan menggunakan kertas lingkaran yang diameternya sama dengan velk, kertas tersebut lalu kami bagi menjadi 18 badian yang sama. Setelah itu kit alas sudu pada bagian yang sudah bertanda. Gambar 3.13 menunjukkan pembentukan sudut  $20^{\circ}$  tiap sudu turbin



**Gambar 3.13** pembentukan sudut  $20^{\circ}$  tiap sudu turbin

c. Pengelasan Sudu pada Dudukan (velk )

Setelah sudut dan titik diketahui sudu kami las tepat pada tanda  $20^{\circ}$  yang sudah dibuat td. Proses pengelasan membutuhkan waktu yang lama dikarenakan las yang kami gunakan adalah las listrik. Setiap selesai pengelasan kami harus membersihkan sisa-sisa las yang masih menempel, jika hasil las tidak menutupi atau menyambung maka hasil pengelasan

yang sebelumnya harus digrida terlebih dahulu baru dapat dilas kembali. Hal itu dilakukan agar hasil pengelasan menjadi rapi dan kuat. Proses



**Gambar 3.14** Proses Pengelasan Sudu Pada Dudukan velg

**d.** Pembuatan chasing turbin

Fungsi dari casing ini hanya untuk menjaga agar air yang menekan turbin tidak keluar dan terbang. Ukuran casing ini harus presisi dengan bentuk turbin agar jika turbin berputar maka tidak ada gesekan maupun benturan yang terjadi antara turbin dan casing

### 3.2.5 Penumpuan sumbu ( as ) turbin dan generator

Fungsi bantalan adalah untuk menopang dan menjaga rotor dan turbin agar tetap pada posisi normalnya. Sebuah putaran pada poros pastilah terjadi gesekan pada saat proses perputaran itu terjadi. sebuah turbin atau rotor generator dengan

pangkalnya yang berbentuk melingkar. Pangkalnya itu juga harus bertumpu pada benda yang berbentuk melingkar mengelilinginya. Jika tanpa bearing, pangkalnya akan bergesekan dengan tumpuannya sehingga menghambat putaran turbin atau rotor generator. Dengan bearing, gesekan itu bisa menjadi minim sehingga turbin dan rotor generator bisa berputar dengan minim sekali gesekan, Bearing adalah alat yang memungkinkan terjadinya pergerakan relatif antara dua bagian dari alat atau mesin, biasanya gerakan angular atau linear. Letak bearing bisa di mana saja tergantung alat dan mesin yang memanfaatkan bearing tersebut dan jenis bearingnya. Kami meletakkan bearing pada tiap-tiap poros sumbu putar pada turbin dan generator yang bertumpu pada dudukannya masing-masing karena kedua komponen tersebut merupakan komponen yang aktif ( berputar ). Peletakan pillow dapat dilihat dalam gambar 3.15 dan 3.16.



**Gambar 3.15** peletakan tumpuan bearing pada as rotor generator



**Gambar 3.16** peletakan tumpuan bearing pada turbin

Pada as turbin dan rotor generator kami memilih bearing jenis pillow block dikarenakan dudukan masing-masing as menggunakan plat besi siku yang bentuk permukaannya datar. Untuk pemasangannya kami harus mengebor terlebih dahulu plat besi siku agar pillow block dapat dikancing dengan mur baut yang ukurannya sesuai dengan lubang pengunci yang sudah ada pada pillow block

## **BAB IV**

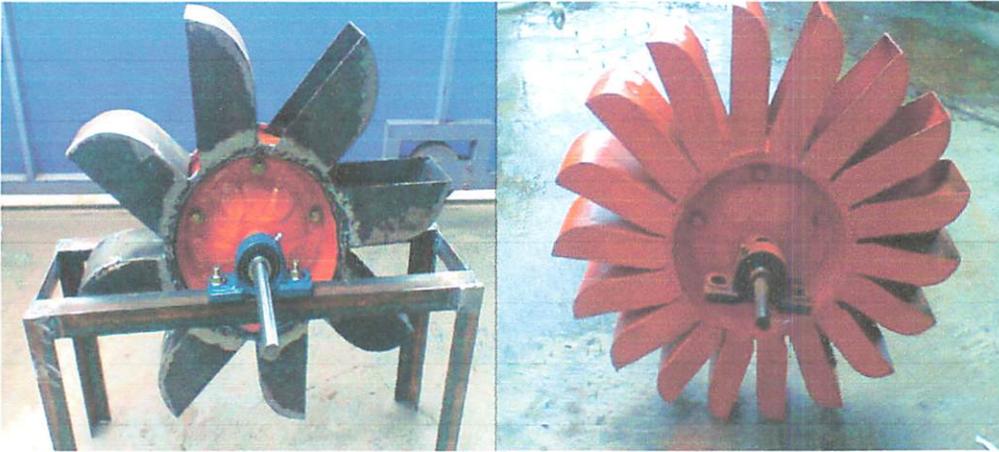
### **PENGUJIAN dan ANALISA**

Dalam penerapan Perancangan Turbin dan Pemilihan Generator ini akan diuji dan menganalisa perbandingan nilai-nilai dari hasil perhitungan dengan nilai-nilai hasil percobaan meliputi antara lain :

- Pengujian jumlah sudu turbin dan putaran turbin dengan generator terbebani. debit air 114 L/m.
- Analisa perbandingan putaran turbin dengan putaran generator melalui pentransmisi perbandingan pulley 1:7,5
- Pengukuran perbandingan putaran generator dengan tegangan yang dihasilkan berbeban bertahap dengan debit air 114 L/men, perbandingan pulley 1 : 7,5
- Pengukuran Rpm pada 10% lonjakan dan penurunan tegangan pada generator berbeban beban

#### 4.1 Pengujian jumlah sudu turbin dan putaran turbin dengan generator terbebani. debit air 114 L/m.

Pada percobaan pertama kami menggunakan 8 sudu yang jumlah tersebut kami peroleh dari perhitungan yang didasarkan pada debit air dari pompa submersible, dikarenakan adanya perubahan pemilihan pompa maka turbin yang sudah terlanjur kami buat hanya dapat berputar mencapai rpm 337 dengan generator beban, dan putaran ini akan mengalami penurunan rpm yang sangat drastis jika ada pembebanan lagi. Gambar 4.1 menunjukkan perbedaan bentuk dari turbin pertama dan turbin kedua.



**Gambar 4.1** jumlah sudu awal dan jumlah sudu penggunaan

#### **4.1.1 Tujuan pengujian**

Untuk mengetahui perbandingan penurunan putaran pada turbin dengan jumlah sudu 8 buah dan jumlah sudu yang digunakan adalah 18 buah dengan debit air 114 L/men.

#### **4.1.2 Alat yang digunakan**

- Tacho meter
- AVO meter

#### **4.1.3 Prosedur pengujian**

- a. Mengoprasikan pompa dengan kondisi valve terbuka penuh
- a. Pengukuran rpm turbin menggunakan 8 sudu dengan sudut tiap sudu 45 dengan generator berbeban
- b. Pengukuran rpm turbin menggunakan 18 sudu dengan sudut tiap sudu 20 dengan generator berbeban
- c. Penentuan beban 15 watt
- d. Pengukuran tegangan dengan AVO meter

#### **4.1.4 Hasil pengujian**

Dari pengujian putaran turbin menggunakan 8 sudu dan 18 sudu dengan generator berbeban maka didapatkan data sebagai berikut :

**Tabel 4.1** tabel hubungan jumlah sudu dengan rpm generator dan tegangan

<b>Jumlah sudu</b>	<b>Rpm turbin</b>	<b>Rpm generator</b>	<b>Beban generator</b>	<b>Tegangan generator</b>
8 sudu	337 Rpm	2532 Rpm	15 W	153 V
18 sudu`	378 Rpm	2838 Rpm	15 W	221 V

Dari tabel diatas terlihat penurunan rpm, perbedaan antara rpm turbin 8 sudu dengan rpm turbin 18 sudu yang dikarenakan oleh beban pada generator yang sama besar yaitu 15 watt. Dari hasil pengujian yang tertera pada tabel maka dapat disimpulkan bahwa jumlah sudu berpengaruh pada rpm turbin, rpm generator, dan tegangan yang dihasilkan oleh generator

#### **4.2 Analisa perbandingan putaran turbin dengan putaran generator melalui pentransmisi perbandingan pulley 1:7,5**

Untuk melayani rpm generator, putaran turbin harus melalui proses transmisi putaran menggunakan perbandingan pulley. Perbandingan pulley yang digunakan adalah 1 : 7,5

##### **4.2.1 Tujuan analisa**

Pengujian putran turbin yang digunakan apakah dapat melayani putaran generator melalui perbandingan pulley 1 : 7,5.

#### 4.2.2 Alat yang digunakan

- Tacho meter

#### 4.2.3 Prosedur pengujian

- Mengoprasikan turbin dengan kondisi valve terbuka penuh.
- Mengukur Rpm pada turbin menggunakan tacho meter
- Mengukur Rpm pada generator menggunakan tacho meter

#### 4.2.4 Hasil pengujian dan analisa

Dari pengujian Rpm yang dilakukan pada turbin dan geneator maka didapatkan hasil sebagai berikut.

**Tabel 4.2** perbandingan pulley generator dengan turbin

Alat yang diukur	Perbandingan pulley	Rpm
Turbin	7,5	397 Rpm
Generator	1	2935 Rpm

Putaran normal turbin adalah 2500 - 3000 rpm, jika pada generator menggunakann pulley berukuran 2" dan pulley yang digunakan pada turbin adalah  $2 \times 7,5 = 15''$ , dan rpm yang harus di tempuh oleh turbin adalah :

$$\text{Perbandingan pulley} = 1 : 7,5$$

$$\begin{aligned} \text{Rpm pada turbin} &= \frac{2500}{7,5} \sim \frac{3000}{7,5} \\ &= 333 \text{ rpm} \sim 400 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa dan perhitungan di atas maka dapat di simpulkan, makin besar ukuran pulley yang digunakan pada turbin dengan ukuran pulley maka rpm pada turbin akan semakin tinggi. Sebaliknya semakin kecil ukuran pulley pada generator maka putaran turbin akan semakin tinggi

#### **4.3 Pengukuran Perbandingan Putaran Generator Dengan Tegangan yang Dihasilkan Berbeban Bertahap Dengan Debit Air 114 L/men, perbandingan pulley 1: 7,5**

Sebuah generator yang diputar akan menghasilkan suatu tegangan. Jika generator tersebut dibebani maka putaran tersebut akan menurun dikarenakan adanya beban yang terpasang.

##### **4.3.1 Tujuan pengukuran**

Pengujian rpm generator yang sebelumnya adalah 2935 rpm tanpa beban, setelah dibebani dengan pembebanan yang bertahab maka penurunan rpm pada generator berapa rpm

### 4.3.2 Alat yang Digunakan

- Tacho meter
- AVO meter

### 4.3.3 Prosedur Pengukuran

- a. Mengoprasikan pompa dengan kondisi valve terbuka penuh
- b. Menentukan beban bertahab dari 15 watt, 30 watt, 45watt, 60 watt
- c. Mengukur Rpm dengan pembebanan yang bertahap
- d. Mengukur tegangan dengan pembebanan yang bertahap

### 4.3.4 Hasil pengukuran

Dari hasil pengujian yang dilakukan maka didapat data-data sebagai berikut :

**Tabel 4.3** tabel hubungan antara beban bertahap , rpm dan tegangan

<b>Beban</b>	<b>Rpm</b>	<b>Tegangan</b>
0 watt	2935 Rpm	245 volt
10 watt	2838 Rpm	221 volt
20 watt	2752 Rpm	202 volt
30 watt	2654 Rpm	183 volt
40 watt	2559 Rpm	161 volt

Dari tabel diatas dapat dibandingkan antara pembebanan bertahap dengan putaran generator dan tegangan yang dihasilkan generator. Dari hasil pengujian di atas terlihat bahwa kenaikan jumlah beban mempengaruhi rpm dan tegangan generator. Makin besar beban yang diberikan maka rpm dan tegangan juga semakin menurun.

#### **4.4 Pengukuran Rpm pada 10% lonjakan dan penurunan tegangan pada generator dengan beban**

Lonjakan dan penurunan tegangan pada generator yang dapat di toleransi adalah 10% dari tegangan normalnya

##### **4.4.1 Tujuan pengukuran**

Rpm yang diperlukan untuk menghasilkan tegangan 10% melonjak dan menurun berapa Rpm.

##### **4.4.2 Alat yang digunakan**

- a. Tacho meter
- b. AVO meter

##### **4.4.3 Prosedur Pengukuran**

- a. Mengoprasikan pompa dengan kondisi valve terbuka penuh
- b. Pengukuran rpm generator pada tegangan 242 V
- c. Pengukuran rpm generator pada tegangan 198 V

#### 4.4.4 Hasil pengukuran

Dari hasil pengukuran yang dilakukan maka didapatkan data-data sebagai berikut :

**Tabel 4.4** hasil pengukuran rpm dan tegangan

<b>Tegangan</b>	<b>Rpm</b>
242 V	2933 rpm
198 V	2655 rpm

$$220 \times 10\% = 22 \text{ V}$$

Jadi

$$\begin{aligned} \text{Lonjakan tegangan menjadi} &= 220 + 22 \\ &= 242 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penurunan tegangan menjadi} &= 220 - 22 \\ &= 198 \text{ V} \end{aligned}$$

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Selama dalam perencanaan dan pengujian dari keseluruhan sistem yang telah di buat maka dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain :

1. Turbin sebagai alat perubah energi kinetik yang keluar dari pompa menjadi energi gerak (putaran) yang di transmisikan ke putaran generator menggunakan perbandingan pulley yaitu 1 : 7,5.
2. Dengan debit air  $Q = 114 \text{ L/ menit}$  dan perbandingan pulley 1 : 7,5 generator dapat menghasilkan tegangan 242 V.
3. Pada saat penurunan dan pelonjakan tegangan antara 198 V – 242 V diperlukan kecepatan 2655 rpm – 2933rpm
4. Jumlah sudu pada turbin mempengaruhi stabil tidaknya rpm turbin dan generator saat proses pembebanan
5. Putaran turbin berpengaruh pada putaran generator, hal ini juga mempengaruhi tegangan generator. Jika rpm turbin semakin tinggi, maka tegangan semakin tinggi, begitu pula sebaliknya.
6. Pembebanan pada generator mempengaruhi putaran pada generator dan turbin, semakin besar beban yang diberikan pada generator maka putara turbin dan generator akan menurun.

## **5.2 Saran – saran**

Alat ini merupakan konstruksi sederhana yang berdasarkan hasil karya ilmiah dan dikembangkan berdasarkan pengetahuan yang diajarkan pada saat perkuliahan , karya ini merupakan alat simulasi yang jauh berbeda dengan kondisi sesungguhnya, perancangan turbin dan pemilihan generator pada simulator mikrohidro ini memberikan saran supaya nantinya bisa dibuat lebih inovatif, kreatif dan meningkat lagi. Sehingga perkembangan teknologi listrik dan elektronika saling berpadu dengan baik dan pesat di Indonesia, khususnya di Institut Teknologi Nasional Malang.

## Daftar Pustaka

1. PT PLN JASDIKLAT, **Generator**. PT PLN Persero. Jakarta, 1997
2. Michael Neidle, **Electrical Installation Technology**, 3rd edition, dalam bahasa Indonesia penerbit Erlangga 1999
3. Trevor Linsley, **Instalasi Listrik Dasar**, Penerbit Erlangga, 2004
4. Iman Sugandi Cs, **Panduan Instalasi Listrik, Gagasan Usaha Penunjang Tenaga Listrik - Copper Development Centre South East Asia**, 2001
5. Abdul Kadir, **Pengantar Teknik Tenaga Listrik**, LP3ES, 1993
6. Dietzel, Fritz. 1990. **Turbin, Pompa dan Kompresor**, Jakarta: Penerbit Erlangga
7. Giles, Rinal .V. 1984. **Mekanika Fluida dan Hidrolika**, Jakarta: Penerbit Erlangga
8. Paryatmo, Wibowo, 2007. **Turbin Air**, Jakarta: Graha Ilmu



## PERSETUJUAN PERBAIKAN TUGAS AKHIR

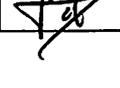
Dari hasil ujian Tugas Akhir Teknik Listrik Diploma Tiga (D-III) yang diselenggarakan pada:

Hari : Selasa  
Tanggal : 21 Februari 2012

Telah dilakukan perbaikan tugas akhir oleh :

1. Nama : Deni Aldiyansyah
2. NIM : 08.52.004
3. Program Studi : Teknik Listrik D-III
4. Judul Tugas : Perancangan Turbin dan Pemilihan Generator Pada Simulator PLMH

Perbaikan meliputi :

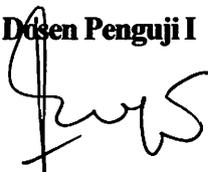
NO	Materi Perbaikan	Paraf
1	Abstrak	
2	Analisa diameter nozzle	
3	Penulisan laporan	
4	Acc Jilid	

**Dosen Pembimbing**



**Ir. M. Abdul Hamid, MT**  
**NIP.Y 1018800188**

**Dosen Penguji I**



**Ir. Eko Nurcahyo, MT**  
**NIP. Y.10128700172**

**Dosen Penguji II**



**Sonny Prasetyo, ST, MT**  
**NIP. Y.1031000433**

## KESEDIAAN PEMBIMBING TUGAS AKHIR

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

N a m a : Deni Aldiyansyah.....  
No. Mahasiswa : 0852004.....  
Program Studi : Teknik Energi Listrik D-III.....  
Judul Tugas Akhir : Perancangan Turbin dan Pemilihan Generator Pada.....  
Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro.....  
.....  
.....

Bahwa kami bersedia membimbing Tugas Akhir dari mahasiswa tersebut.

Jangka waktu penyelesaian Tugas Akhir selama 5 (lima) bulan mulai tanggal  
15/11/2011 s/d 10/03/2012 dan apabila dalam jangka waktu tersebut belum selesai  
maka tugas akhir tersebut dinyatakan **GUGUR**

Malang, 15 November 2011

Dosen Pembimbing;



Ir. M. Abdul Hamid MT  
NIP. Y. 1018800188

Nb :

Setelah disetujui agar formulir ini diserahkan Mahasiswa  
yang bersangkutan kepada sekretaris Program Studi  
Teknik Elektro D-III

Lampiran : 1(satu) berkas Proposal  
Perihal : Permohonan Kesediaan Dosen Pembimbing

Kepada : Yth. Bapak/Ibu. Ir. M. Abdul Hamid, MT  
Institut Teknologi Nasional Malang  
di  
Malang

Dengan hormat,

Kami yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Deni Aldiyansyah  
No. Mahasiswa : 0852006  
Program Studi : Teknik Listrik DIII

Dengan ini mengajukan permohonan, sekiranya Bapak/Ibu bersedia menjadi Dosen Pembimbing, untuk penyusunan Tugas Akhir .

Judul Tugas Akhir : Perancangan Turbin Dan Pemilihan Generator Pada Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Adapun tugas tersebut adalah salah satu syarat untuk menempuh Ujian Tugas Akhir Program D-III. Demikian permohonan kami dan atas kesediaan Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.

Mengetahui  
Program Studi  
Teknik Listrik D-III  
  
H. Taufik Hidayat, MT  
NIP.Y. 1918700151

Malang, 15 November 2011

Deni Aldiyansyah

## LEMBAR ASISTENSI BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Sesuai permohonan dari mahasiswa :

Nama : Deni Aldiyansyah

Nim : 0852004

Program Studi : Teknik Listrik D-III

Waktu Bimbingan :

Judul Tugas Akhir : Perencanaan turbin dan pemilihan generator

NO	TANGGAL	MATERI	PARAF
1.		Bab I, Bab II	
2.		Bab III Penulisan rumus daya turbin dan penulisan name plate pada generator	
3.		Bab IV Penulisan pengujian dan analisa	
4.		Bab V	
5.		Dilakukan pengujian lagi sesuai petunjuk	
6.		ACC Ujian Tugas akhir	

Malang 16 Februari 2012

Mengetahui,

Dosen Pembimbing



Ir. M. Abdul Hamid, MT

NIP.Y : 10 3800188

