

**RANCANG BANGUN DAN UJI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA *PICOHYDRO* TIPE PROPELLER**



LAPORAN TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
guna memperoleh gelar Diploma Empat (D4)
pada Politeknik Negeri Ujung Pandang**

WANA PUTRA

442 10 012

FEBRYANTO KADANG

442 10 019

PROGRAM STUDI D-IV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

MAKASSAR

2014

**RANCANG BANGUN DAN UJI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA *PICOHYDRO* TIPE PROPELLER**



LAPORAN TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
guna memperoleh gelar Diploma Empat (D4)
pada Politeknik Negeri Ujung Pandang**

WANA PUTRA

442 10 012

FEBRYANTO KADANG

442 10 019

PROGRAM STUDI D-IV TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

MAKASSAR

2014

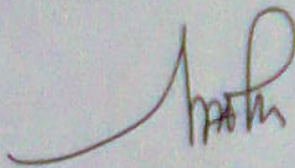
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul Rancang Bangun dan Uji Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga *Picohydro* Tipe Propeller oleh Wana Putra (442 10 012) dan Febryanto Kadang (442 10 019) telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma Empat pada Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Oktober 2014

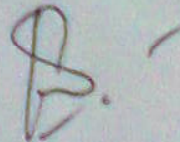
Mengesahkan,

Pembimbing I Tugas Akhir



Ir. Andareas Pangkung, MT.
NIP : 19620828 198903 1 003

Pembimbing II Tugas Akhir



Ir. La Ode Musa, MT.
NIP : 19601231 199003 1 021

Mengetahui,

a.n. Direktur,

Ketua Jurusan Teknik Mesin



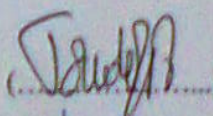
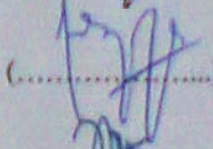

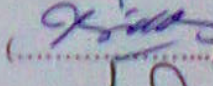
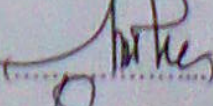
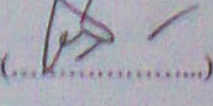
Muh. Tekad, ST., MT.
NIP : 19650824 199003 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, tanggal 30 Oktober 2014 Panitia Ujian Tugas Akhir menerima dengan baik hasil Tugas Akhir oleh mahasiswa: Wana Putra / 442 10 012 dan Febryanto Kadang / 442 10 019 dengan judul "Rancang Bangun dan Uji Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga *Picohydro* Tipe Propeller" yang diajukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat ujian guna menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 30 Oktober 2014

Panitia Ujian Sidang Tugas Akhir :

- | | | |
|---|---------------|---|
| 1. Ir. Remigius Tandioga, M.Eng.Sc | Ketua | () |
| 2. Apollo, S.T., M.Eng | Sekretaris | () |
| 3. Jamal, S.T., M.T | Anggota I | () |
| 4. A.M.Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D | Anggota II | () |
| 5. Ir. Andareas Pangkung, M.T | Pembimbing I | () |
| 6. Ir. La Ode Musa, M.T. | Pembimbing II | () |

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas kasih dan damai sejahtera yang selalu Dia berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **“RANCANG BANGUN DAN UJI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *PICOHYDRO* TIPE PROPELLER”**.

Penulis menyadari tanpa kerjasama antara pihak pengarah dan penulis serta beberapa kerabat yang memberi berbagai masukan dan arahan yang bermanfaat bagi penulis demi tersusunnya Laporan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan karunia-Nya
2. Ayahanda dan Ibunda tercinta atas dukungan doa, kasih sayang, serta materinya yang tak terhingga nilainya.
3. Bapak Dr. Pirman, Msi., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang
4. Bapak Muh. Tekad, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir. La Ode Musa, M.T., selaku Ketua Program Studi D-IV Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
6. Bapak Ir. Andreas Pangkung, M.T., sebagai pembimbing tugas akhir.
7. Para Dosen dan Staf Politeknik Negeri Ujung Pandang yang tidak disebutkan namanya satu persatu atas torehan ilmunya kepada kami.
8. Rekan-rekan sesama mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya kelas IV Teknik Pembangkit Energi angkatan 2010.

Dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir ini penulis telah berusaha semaksimal mungkin sesuai dengan kemampuan penulis. Namun sebagai manusia biasa, penulis tidak luput dari kesalahan dan kekhilafan baik dari segi keterbasan ilmu, teknik penulisan maupun tata bahasa. Tetapi walaupun demikian penulis berusaha sebisa mungkin menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini meskipun tersusun sangat sederhana.

Penulis juga menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat membutuhkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dan pada intinya untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan agar dimasa yang akan datang dapat lebih baik lagi.

Akhir kata, semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua.



Makassar, Oktober 2014

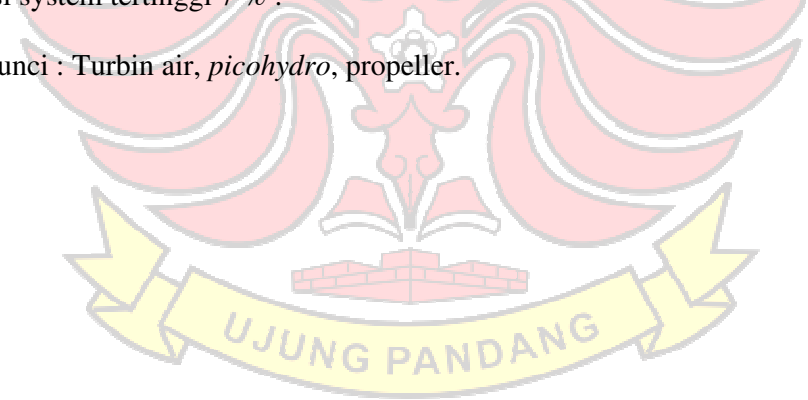
Penulis

ABSTRAK

Rancang Bangun dan Uji Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro Tipe Propeller oleh Wana Putra dan Febryanto Kadang yang dibimbing oleh Ir.Andreas Pangkung.,MT. dan Ir.La Ode Musa.,MT.

Sulawesi selatan merupakan salah satu daerah yang memiliki energy air yang melimpah. Sehingga memungkinkan pembangunan pembangkit listrik tenaga air. Menurut Perusahaan Listrik Negara (PLN) pada tahun 2012 rasioelektrifikasi Sulawesi Selatan sebesar 72,22%. Hal ini menggambarkan bahwa sekitar 27,78% daerah di Sulawesi Selatan belum menikmati energy listrik. Untuk itu dibutuhkan pembangkit listrik mandiri skala *pico* untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller merupakan salah satu jenis pembangkit listrik tenaga air yang dapat digunakan pada daerah-daerah yang belum merasakan energy listrik tersebut. Jenis pembangkit ini hanya membutuhkan head 2-10 m sehingga memiliki cakupan daerah penggunaan yang luas. Selain itu, perawatannya sangat mudah dan pembuatannya sederhana. Melihat hal tersebut, maka perancangan dan uji kelayakan pembangkit listrik tenaga *picohydro* dinilai penting untuk dilakukan untuk memberikan solusi bagi masyarakat yang belum merasakan energy listrik di daerahnya. Berdasarkan proses perancangan dan uji kelayakan dihasilkan suatu pembangkit listrik tenaga air dengan diameter tip turbin 180 mm dan diameter hub turbin 55 mm, jumlah sudu turbin 4, dan efisiensi system tertinggi 7 % .

Kata Kunci : Turbin air, *picohydro*, propeller.



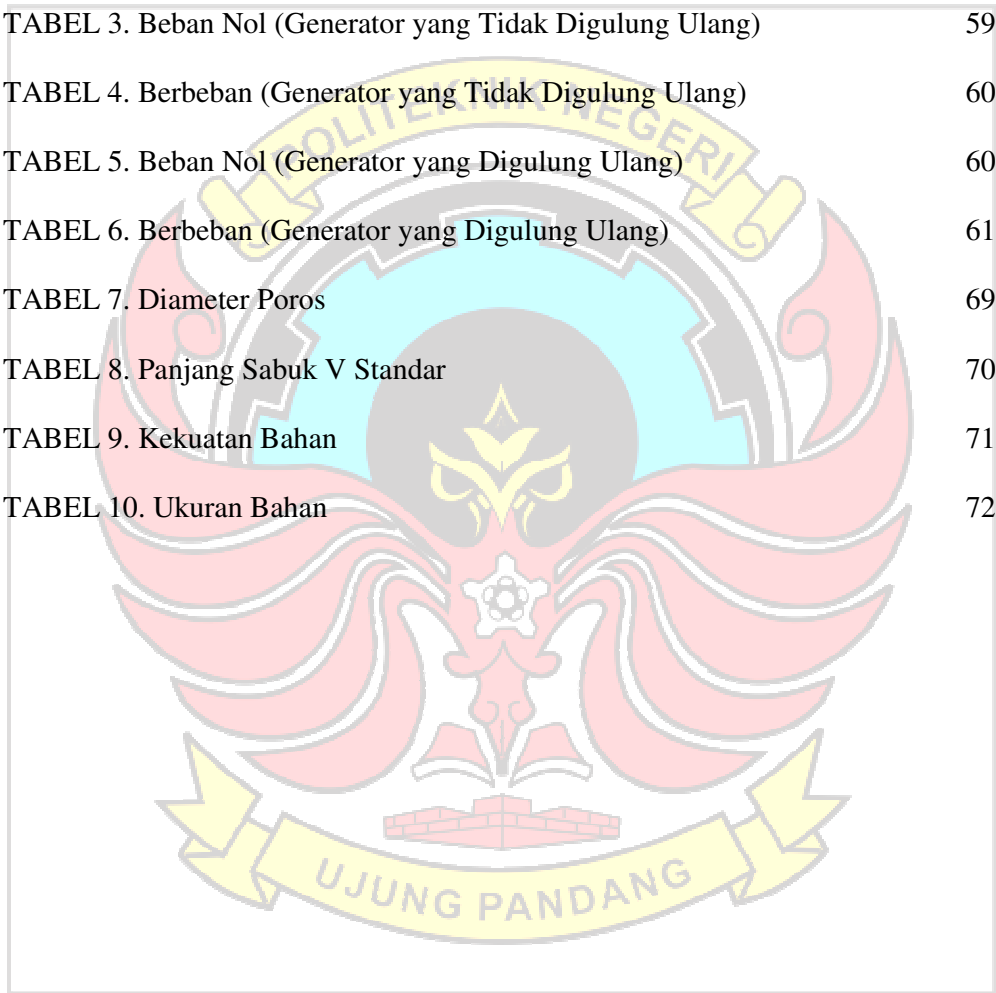
DAFTAR ISI

	Hal.
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR SIMBOL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
Bab I PENDAHULUAN	
A. LatarBelakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
Bab II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pembangkit Listrik Tenaga Air	4
B. Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro	7
C. Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro Tipe Propeller	10
Bab III METODE PERANCANGAN DAN PENELITIAN	
A.Tempat dan Waktu Penelitian	26

B. Metode Perancangan	26
C. Metode Penelitian.....	26
D. Alat dan Bahan Penelitian.....	27
E. Prosedur Penelitian/Desain.....	28
F. Tahap Perancangan Desain.....	32
G. Perancangan Awal.....	32
H. Teknik Pengumpulan Data.....	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Hasil Desain	40
B. Pembahasan	
1. Hasil Perancangan	42
2. Hasil Pengujian.....	45
3. Analisis Kekuatan Blade	48
Bab V PENUTUP	
A. Kesimpulan	54
B. Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Hal.
TABEL 1. Head dan Kecepatan Spesifik Turbin Air	7
TABEL 2. Debit dan Putaran	59
TABEL 3. Beban Nol (Generator yang Tidak Digulung Ulang)	59
TABEL 4. Berbeban (Generator yang Tidak Digulung Ulang)	60
TABEL 5. Beban Nol (Generator yang Digulung Ulang)	60
TABEL 6. Berbeban (Generator yang Digulung Ulang)	61
TABEL 7. Diameter Poros	69
TABEL 8. Panjang Sabuk V Standar	70
TABEL 9. Kekuatan Bahan	71
TABEL 10. Ukuran Bahan	72

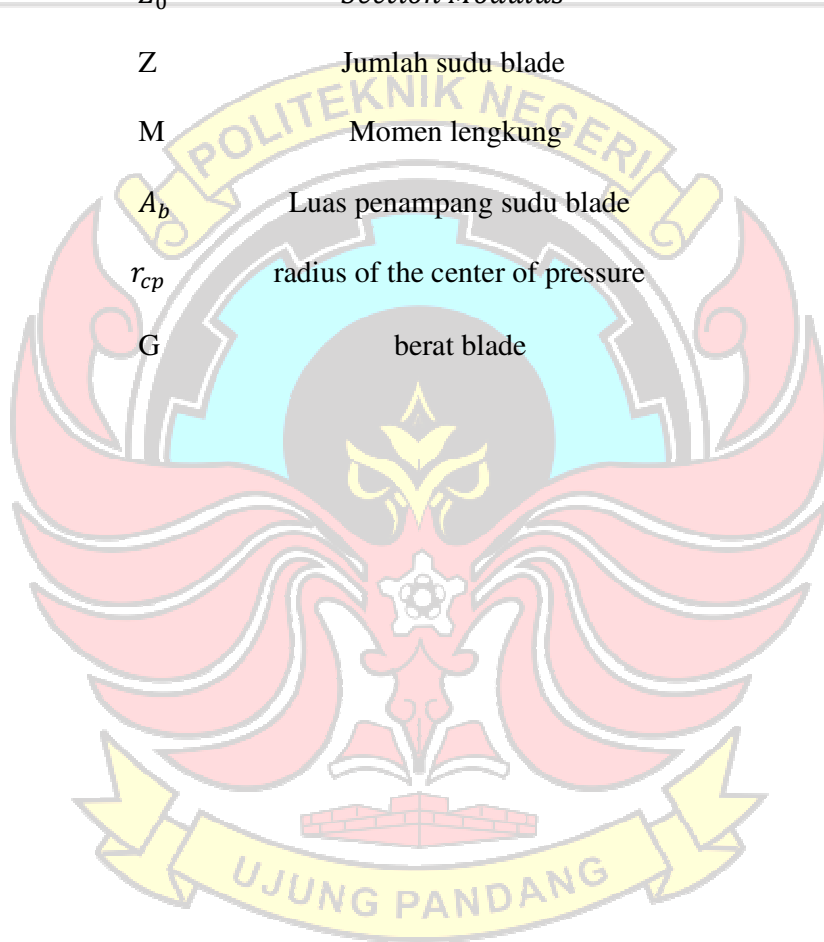


DAFTAR SIMBOL

No.	Simbol	Keterangan	Satuan
1	A	Luas penampang	(m^2)
2	Q	Debit air	($\frac{m^3}{s}$)
3	H	Head	(m)
4	g	Percepatan gravitasi (9,81)	($\frac{m}{s^2}$)
5	ρ	massa jenis air (1000)	($\frac{kg}{m^3}$)
6	η_h	efisiensi hidrolik	(%)
7	P_h	Daya hidrolik	(Watt)
8	H_n	Head netto	(m)
9	n_q	spesifik speed	(-)
10	n	putaran	(rpm)
11	E	Energi hidrolik	($\frac{J}{kg}$)
12	t	jarak antar sudu turbin	(mm)
13	t	tinggi sudu	(mm)
14	l	chord sudu turbin	(mm)
15	l	lebar sudu	(mm)
16	p	panjang sudu	(mm)
17	u	kecepatan tangensial	($\frac{m}{s}$)
18	c	kecepatan absolut	($\frac{m}{s}$)

19	v	kecepatan relative	$(\frac{m}{s})$
20	D_{tip}	Diameter tip	(m)
21	D_{hub}	Diameter hub	(m)
22	r_{tip}	jari-jari tip	(m)
23	r_{hub}	jari-jari hub	(m)
24	$\frac{D_{hub}}{D_{tip}}$	rasio Diameter hub dan Diameter tip	(-)
25	d_p	diameter pulli kecil	(m)
26	D_p	diameter pulli besar	(m)
27	d	diameter	(m)
28	β	Sudut	($^{\circ}$)
29	H_1	head 1	(m)
30	H_2	head 2	(m)
31	C_{round}	koefisien Round	(-)
32	M_p	momen puntir	(kg.cm)
33	d_{poros}	diameter poros	(mm)
34	C	jarak antar poros turbin dan poros generator	(mm)
35	L	keliling	(mm)
36	P_d	daya rencana	(Watt)
37	σ_B	tegangan bengkok	$(\frac{kg}{mm^2})$
38	τ_a	tegangan geser yang diizinkan	$(\frac{kg}{mm^2})$
39	τ	tegangan geser	$(\frac{kg}{mm^2})$

40	θ	sudut distorsi blade	($^{\circ}$)
41	F_t	Gaya tangensial	(N)
42	F_a	Gaya axial	(N)
43	F_s	Gaya sentrifugal	(N)
44	Z_0	Section Modulus	(m^3)
45	Z	Jumlah sudu blade	(-)
46	M	Momen lengkung	(Nm)
47	A_b	Luas penampang sudu blade	(m^2)
48	r_{cp}	radius of the center of pressure	(m)
49	G	berat blade	(N)



DAFTAR GAMBAR

	Hal.
GAMBAR 1. Pembangkit listrik tenaga air umumnya	6
GAMBAR 2. Pemasangan pembangkit listrik tenaga <i>picohydro</i> tipe propeller	9
GAMBAR 3a. Tipe Turbo	9
GAMBAR 3b. Tipe propeller	9
GAMBAR 4. Pembangkit listrik tenaga <i>picohydro</i> tipe propeller	10
GAMBAR 5. Skematik bagian-bagian pembangkit listrik tenaga <i>picohydro</i> tipe propeller	10
GAMBAR 6. Pemasangan <i>picohydro</i> langsung pada aliran sungai dengan menggunakan penopang kayu	11
GAMBAR 7. Pemasangan <i>picohydro</i> air langsung pada aliran sungai dengan menggunakan raki	12
GAMBAR 8. Pemasangan <i>picohydro</i> dengan menggunakan basin	12
GAMBAR 9. Parameter desain <i>runner</i> (Simpsons and Williams, 2011)	13
GAMBAR 10. Grafik C_{round} fungsi head untuk menentukan diameter tip (Round, 2004)	14
GAMBAR 11. Rasio diameter hub-tip fungsi kecepatan spesifik berdasarkan penggunaan de Haller limit (Wright, 1999)	15
GAMBAR 12. Segitika kecepatan untuk turbin air aliran propeller (Rama S.R Gorla dan Aijaz A. Khan, 2003)	17
GAMBAR 13. Perencanaan pulli dan sabuk (Musradi Mulyadi, 2010)	19
GAMBAR 14. Tipe <i>cylyndrycal</i> (M.F.Gubin, 1970)	21
GAMBAR 15. Tipe <i>conical</i> (M.F.Gubin, 1970)	22
GAMBAR 16. Gaya-gaya yang terjadi pada blade (Jaakko Mattila, 2007)	23
GAMBAR 17. Bentuk pembangkit listrik tenaga <i>picohydro</i>	29

GAMBAR 18. Model saluran air dan basin	29
GAMBAR 19. Instalasi unit picohydro tipe propeller	30
GAMBAR 20. <i>Flowchart</i> proses rancang bangun dan pengujian pembangkit listrik tenaga <i>picohydro</i> tipe propeller	31



DAFTAR LAMPIRAN

	Hal.
LAMPIRAN A	59
LAMPIRAN B	62
LAMPIRAN C	69
LAMPIRAN D	70
LAMPIRAN E	71
LAMPIRAN F	72
LAMPIRAN G	73
LAMPIRAN H	79



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sulawesi Selatan merupakan salah satu daerah yang memiliki potensi energy air yang melimpah. Namun, banyak daerah yang belum merasakan energy listrik padahal di daerah tersebut memiliki potensi energy air yang memungkinkan pembangunan pembangkit listrik tenaga air. Menurut perusahaan listrik negara (PLN), rasioelektrifikasi Sulawesi Selatan pada tahun 2012 sebesar 72,22 % (STATISTIK PLN 2012). Tidak semua daerah di Sulawesi Selatan memiliki potensi energy air yang memiliki tinggi jatuh dan debit air yang memadai untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga air yang berskala besar. Maka dari itu mulailah dikembangkan teknologi pembangkit listrik tenaga air skala mikro, mini dan pico. Pengklasifikasian jenis pembangkit tenaga air ini didasarkan pada debit dan tinggi jatuh air yang diperlukan untuk mengoperasikan pembangkit tersebut.

Pembangkit listrik tenaga *picohydro* merupakan jenis pembangkit yang paling banyak digunakan oleh warga/masyarakat pedesaan karena membutuhkan debit yang kecil dan tinggi jatuh air yang rendah untuk mengoperasikannya. Namun tidak hanya itu, konstruksinya tidak terlalu rumit merupakan salah satu alasan mengapa masyarakat lebih banyak menggunakan pembangkit listrik tersebut.

Jenis turbin yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga *picohydro* juga berbeda-beda, yaitu turbin crossflow, turbin turgo dan turbin propeller. Yang paling menarik perhatian saat ini adalah pembangkit listrik tenaga *picohydro* yang menggunakan turbin propeller. Mengapa demikian?, karena tipe ini memiliki keunikan tersendiri yang tidak dimiliki oleh tipe yang lain yaitu dapat dipasang langsung di aliran air sungai dengan menggunakan penopang kayu dan rakit. Sehingga tidak memerlukan lagi konstruksi bangunan sipil sehingga memudahkan masyarakat untuk memasang pembangkit listrik tenaga *picohydro* di daerah tempat tinggal mereka.

Untuk mendapatkan satu unit pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller diperlukan dana yang tidak sedikit dan alatnya sangat sulit didapatkan di Sulawesi Selatan. Maka dari itu, kami mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya Program Studi Teknik Pembangkit Energi menilai bahwa perancangan sebuah pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller dan pengujiannya sangat menarik untuk dilakukan. Maka dari itu judul **“RANCANG BANGUN DAN UJI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA *PICOHYDRO* TIPE PROPELLER”** kami angkat sebagai tugas akhir.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah:

1. Bagaimana merancang sebuah pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller?

2. Bagaimana membuat alternatif pengujian dari sebuah pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller?
3. Bagaimana menganalisa hasil pengujian dari sebuah pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller sebagai acuan untuk menentukan kelayakan pembangkit tersebut?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan Penelitian ini adalah:

1. Merancang pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller.
2. Membuat alternatif pengujian pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller.
3. Menganalisa data hasil pengujian dan menentukan kelayakan pembangkit listrik tenaga *picohydro*.

D. Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini dapat diperoleh manfaat:

1. Memberikan gambaran tentang cara merancang sebuah pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller
2. Memberikan gambaran tentang proses kerja dari pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller
3. Memberikan solusi bagi masyarakat yang belum merasakan energi listrik di daerahnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit listrik tenaga air

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan berupa air. Salah satu keunggulan dari pembangkit ini adalah responnya yang cepat sehingga sangat sesuai untuk kondisi beban puncak maupun saat terjadi gangguan di jaringan. Selain kapasitas daya keluarannya yang paling besar diantara energi terbarukan lainnya, pembangkit listrik tenaga air ini juga telah ada sejak dahulu kala. Berikut ini merupakan penjelasan singkat mengenai pembangkit listrik tenaga air serta keberadaan potensi energi air yang masih belum digunakan.

Tenaga air telah berkontribusi banyak bagi pembangunan kesejahteraan manusia sejak beberapa puluh abad yang lalu. Beberapa catatan sejarah mengatakan bahwa penggunaan kincir air untuk pertanian, pompa dan fungsi lainnya telah ada sejak 300 SM di Yunani, meskipun peralatan-peralatan tersebut kemungkinan telah digunakan jauh sebelum masa itu. Pada masa-masa antara jaman tersebut hingga revolusi industri, aliran air dan angin merupakan sumber energi mekanik yang dapat digunakan selain energi yang dibangkitkan dari tenaga hewan. Perkembangan penggunaan energi dari air yang mengalir kemudian berkembang secara berkelanjutan sebagaimana dicontohkan pada desain tenaga air yang menakjubkan pada tahun 1600-an

untuk istana Versailles dibagian luar Paris, Prancis. Sistem tersebut memiliki kapasitas yang sepadan dengan 56 kW energi listrik.

Sistem tenaga air mengubah energi dari air yang mengalir menjadi energi mekanik dan kemudian biasanya menjadi energi listrik. Air mengalir melalui kanal (*penstock*) melewati kincir air atau turbin dimana air akan

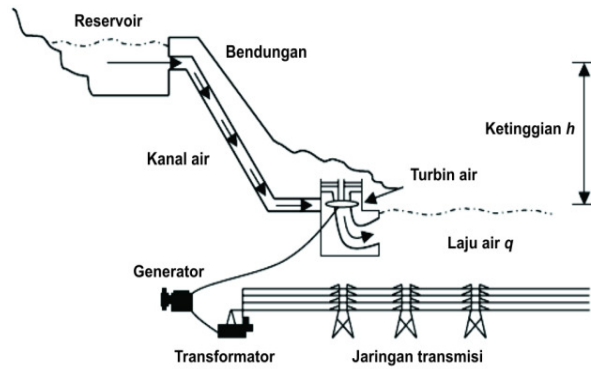
menabrak sudu-sudu yang menyebabkan kincir air ataupun turbin berputar. Ketika digunakan untuk membangkitkan energi listrik, perputaran turbin menyebabkan perputaran poros rotor pada generator. Energi yang dibangkitkan dapat digunakan secara langsung, disimpan dalam baterai ataupun digunakan untuk memperbaiki kualitas listrik pada jaringan.

Jumlah daya listrik yang dapat dibangkitkan pada suatu pusat pembangkit listrik tenaga air tergantung pada ketinggian (h) dimana air jatuh dan laju aliran airnya. Ketinggian (h) menentukan besarnya energi potensial (EP) pada pusat pembangkit ($EP = m \times g \times h$). Laju aliran air adalah volume dari air (m^3) yang melalui penampang kanal air per detiknya ($Q \text{ m}^3/\text{s}$). Daya teoritis kasar ($P \text{ kW}$) yang tersedia dapat ditulis sebagai: (Firman Sasongko, 2010)

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \cdot \eta_h \dots \dots \dots (1)$$

Daya yang tersedia ini kemudian akan diubah menggunakan turbin air menjadi daya mekanik. Karena turbin dan peralatan elektro-mekanis lainnya memiliki efisiensi yang lebih rendah dari 100% (biasanya 90% hingga 95%), daya listrik yang dibangkitkan akan lebih kecil dari energi kasar yang

tersedia. Gambar 1 menunjukkan pusat pembangkit listrik tenaga air pada umumnya.



(Firman Sasongko, 2010)

Gambar 1. Pembangkit listrik tenaga air umumnya

Laju aliran air (Q) dimana air jatuh dari ketinggian efektif (h) tergantung dari besarnya luas penampang kanal. Jika luas penampang kanal terlalu kecil, daya keluaran akan lebih kecil dari daya optimal karena laju air Q dapat lebih besar. Di lain pihak, ukuran kanal tidak dapat dibuat besar secara sembarangan karena laju air (Q) yang melalui kanal tergantung dari laju pengisian air pada reservoir air di belakang bendungan.

Volume air pada reservoir dan ketinggian (h) yang bersangkutan, tergantung dari laju air yang masuk ke dalam reservoir. Selama musim kering, ketinggian air pada reservoir dapat berkurang karena jumlah air dalam reservoir lebih sedikit. Selama musim hujan, ketinggiannya dapat naik

kembali karena air yang masuk dari berbagai aliran air yang mengisi bendungan. Fasilitas pembangkit listrik tenaga air harus di desain untuk menyeimbangkan aliran air yang digunakan untuk membangkitkan energi

listrik dan jumlah air yang mengisi reservoir melalui sumber alami seperti curahan hujan, salju, dan aliran air lainnya.

Pemilihan jenis turbin juga merupakan salah satu factor yang mempengaruhi performa sebuah pembangkit listrik tenaga air. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Tabel 1 menunjukkan jenis turbin reaksi dan impuls serta head yang dibutuhkan untuk beroperasi.

Tabel 1. Head dan Kecepatan Spesifik Turbin air

NO	Jenis Turbin	Nama Turbin	Head (m)	Kecepatan spesifik (m/s)
1	Impuls	Pelton	$50 < h < 1000$	$12 \leq n_s \leq 25$
		Turgo	$50 < h < 250$	$10 \leq n_s \leq 25$
		Crossflow	$6 < h < 100$	$40 \leq n_s \leq 200$
2	Reaksi	Francis	$10 < h < 350$	$60 \leq n_s \leq 300$
		Kaplan	$2 < h < 20$	$250 \leq n_s \leq 1000$
		Propeller	$2 < h < 20$	$250 \leq n_s \leq 1000$

(Firman Sasongko, 2010)

B. Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro

Berdasarkan output yang dihasilkan, pembangkit listrik tenaga air dibedakan atas : (Firman Sasongko, 2010)

- Large-hydro : lebih dari 100 MW
- Medium-hydro : antara 15 – 100 MW

- Small-hydro : antara 1 – 15 MW
- Mini-hydro : Daya diatas 100 kW, tetapi dibawah 1 MW
- Micro-hydro : antara 5 kW – 100 kW
- Pico-hydro : daya yang dikeluarkan < 5 kW

Pembangkit pikohydro merupakan pembangkit listrik yang menghasilkan keluaran daya listrik tidak lebih dari 5 kW. Pembangkit ini memiliki beberapa keunggulan, seperti :

1. Biaya pembuatannya relatif murah.
2. Bahan-bahan pembuatannya mudah ditemukan di pasaran.
3. Ramah lingkungan karena tidak menggunakan bahan bakar fosil.
4. Pembangunannya dapat dipadukan dengan pembangunan jaringan irigasi.
5. Perkembangan teknologinya relatif masih sedikit, sehingga cocok digunakan dalam jangka waktu yang lama.
6. Tidak membutuhkan perawatan yang rumit dan dapat digunakan cukup lama.
7. Ukurannya yang kecil, cocok digunakan untuk daerah pedesaan yang belum terjangkau jaringan aliran listrik PLN.

Pembangkit listrik tenaga air skala piko pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik.



Gambar 2. Pemasangan pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller

Gambar 3 menampilkan contoh jenis pembangkit listrik tenaga *picohydro* yang biasa digunakan oleh masyarakat.



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Tipe Turbo, (b) Tipe Propeller

C. Pembangkit Listrik Tenaga *Picohydro* Tipe Propeller

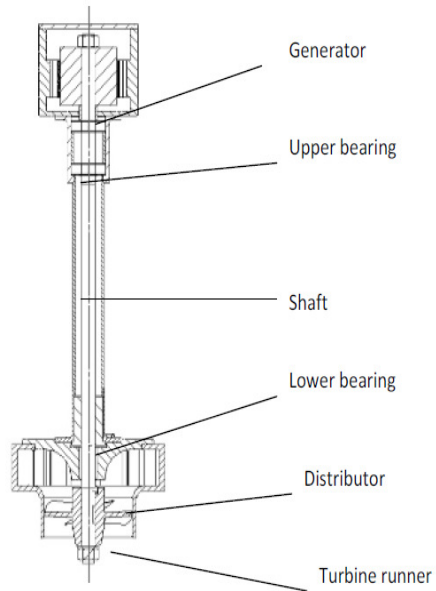
Pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller merupakan pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang menggunakan propeller sebagai turbin. Adapun bentuk dari pembangkit ini ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Pembangkit Listrik Tenaga *Picohydro* Tipe Propeller

Pembangkit ini memiliki beberapa komponen penyusunnya, yaitu :

1. Generator
2. Upper bearing
3. Poros
4. Lower bearing
5. Distributor
6. Turbin



Gambar 5. Skematik bagian-bagian penyusun pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller

Pada proses pemasangannya, Pembangkit ini bisa langsung di pasang di aliran air sungai dan juga bisa di pasang di dalam sebuah basin dengan menggunakan penstok dan saluran pembuang



Gambar 6. Pemasangan *picohydro* langsung di aliran sungai dengan menggunakan penopang kayu.



Gambar 7. Pemasangan *picohydro* langsung di aliran sungai dengan menggunakan rakit.



Gambar 8. Pemasangan *picohydro* dengan menggunakan basin.

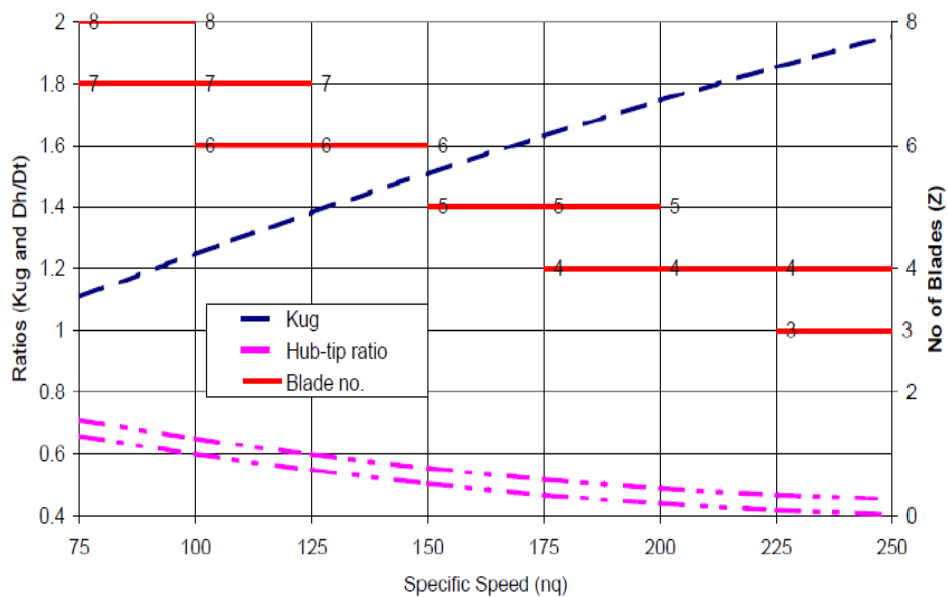
Untuk mendesain turbin jenis propeller, harus diperhatikan beberapa aspek untuk menganalisa putaran spesifik dari turbin tersebut. Adapun aspek tersebut adalah Debit (Q), Head (h), dan kecepatan putaran (n) (Simpsons and Williams, 2011). Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$n_q = \frac{n\sqrt{Q}}{h^{0,75}} \dots \dots \dots (2)$$

Satuan dari perhitungan di atas adalah $\frac{(rev)(m^{0,75})}{(s^{1,5})}$ sehingga

kecepatan spesifik dapat didefinisikan sebagai $70 < n_q < 300$. Dengan melihat gambar 10 yang mengadaptasi grafik efisiensi turbin Kaplan dari Bohl (1991), rasio kecepatan tip-head (K_{ug}), rasio diameter hub-tip ($\frac{D_h}{D_t}$),

dan jumlah blade yang sudah ditentukan.



(Simpsons and Williams, 2011)

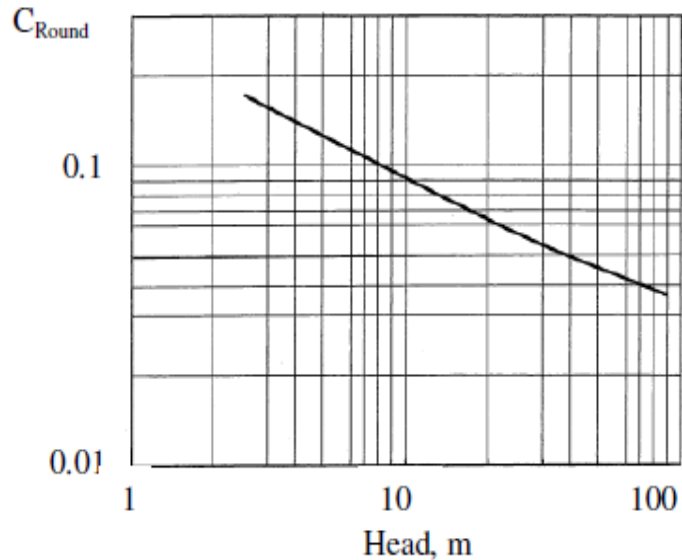
Gambar 9. Parameter desain runner

Rasio kecepatan dapat dihitung dengan menentukan radius tip (r_{tip}) dengan persamaan sebagai berikut :

$$K_{ug} = \frac{r_{tip}\omega}{\sqrt{2gh}} \dots \dots \dots (3)$$

Desain turbin propeller berdasarkan data head 2 m dan debit $25 \frac{L}{s}$ menghasilkan 117 mm diameter tip, 64 mm diameter hub, akan menghasilkan daya poros 363 W dan efisiensi hidrolis 78%.

Koefisien C_{round} versus *head* yang ditampilkan pada grafik di bawah dalam penentuan diameter tip.



(Round, 2004)

Gambar 10. Grafik C_{round} fungsi Head untuk menentukan diameter tip

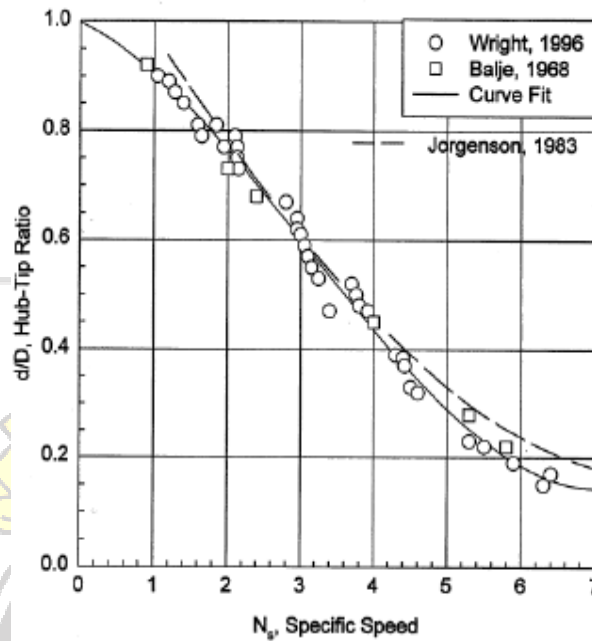
Dengan demikian dapat diperoleh persamaan untuk menentukan besarnya diameter tip dengan pengaruh daya keluaran generator yaitu :

$$C_{\text{round}} = \frac{D_{\text{tip}}}{\frac{1}{\rho^2}} \dots \dots \dots (4)$$

Untuk menentukan rasio diameter hub-tip dapat dilakukan dengan cara menentukan de Haller limit (dH) terlebih dahulu. Untuk menentukan dH, dapat digunakan persamaan yaitu :

$$dH = \frac{c_3}{c_2} \geq 0,72 \dots \dots \dots (5)$$

Dari persamaan di atas, (Wright, 1999) mengadaptasinya dan mengilustrasikannya seperti pada gambar 11.



(Wright, 1999)

Gambar 11. Rasio diameter hub-tip fungsi kecepatan spesifik berdasarkan penggunaan de Haller limit

Dari kurva di atas, diperoleh persamaan untuk mencari rasio diameter tip-hub ($\frac{D_{hub}}{D_{tip}}$) sebagai berikut :

$$\frac{D_{hub}}{D_{tip}} \cong \left(\frac{1}{2}\right) \left\{ 1 - \left(\frac{2}{\pi}\right) \tan^{-1} \left[\left(\frac{2}{\pi}\right) (n_q - 3,8) \right] \right\} \dots\dots\dots(6)$$

Untuk analisis diatas, rasio diameter hub-tip 0,699 adalah yang spesifik.

Perhitungan di atas digunakan untuk mendesain turbin jika dimulai dari penentuan putaran yang dibutuhkan generator. Sedangkan untuk perhitungan desain turbin jika dimulai dari debit yang tersedia dapat digunakan perhitungan berikut :

$$n_q = \frac{n \times \sqrt{Q}}{E^{\frac{3}{4}}} \dots\dots\dots(7)$$

Untuk mencari nilai E, dapat digunakan persamaan :

$$E = H_n \times g \dots\dots\dots(7a)$$

Nilai head netto (H_n) dapat dicari dengan persamaan :

$$H_n = H \times \eta_h \dots\dots\dots(7b)$$

Menurut F. Schweiger and J. Gregory (1987), spesifik speed untuk turbin propeller dapat dicari dengan persamaan:

$$n_q = \frac{2.716}{H_n^{0.486}} \dots\dots\dots(7c)$$

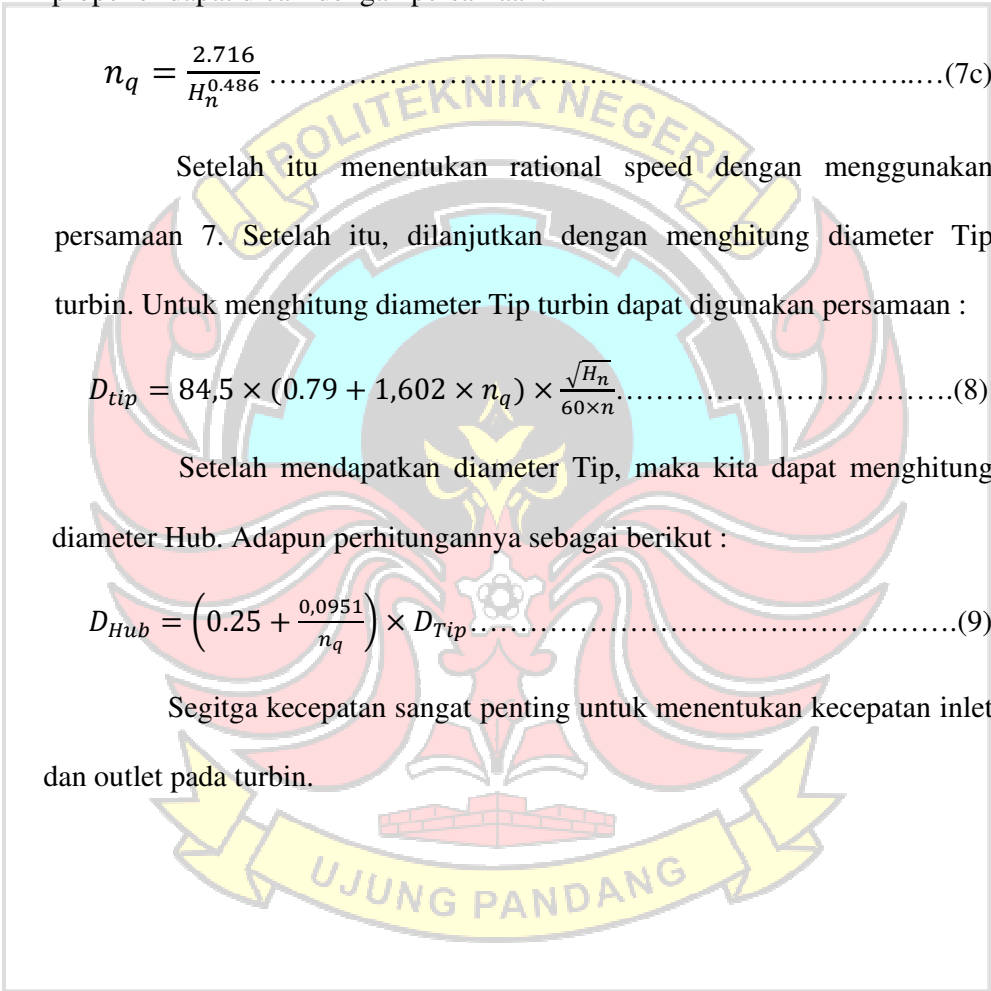
Setelah itu menentukan rational speed dengan menggunakan persamaan 7. Setelah itu, dilanjutkan dengan menghitung diameter Tip turbin. Untuk menghitung diameter Tip turbin dapat digunakan persamaan :

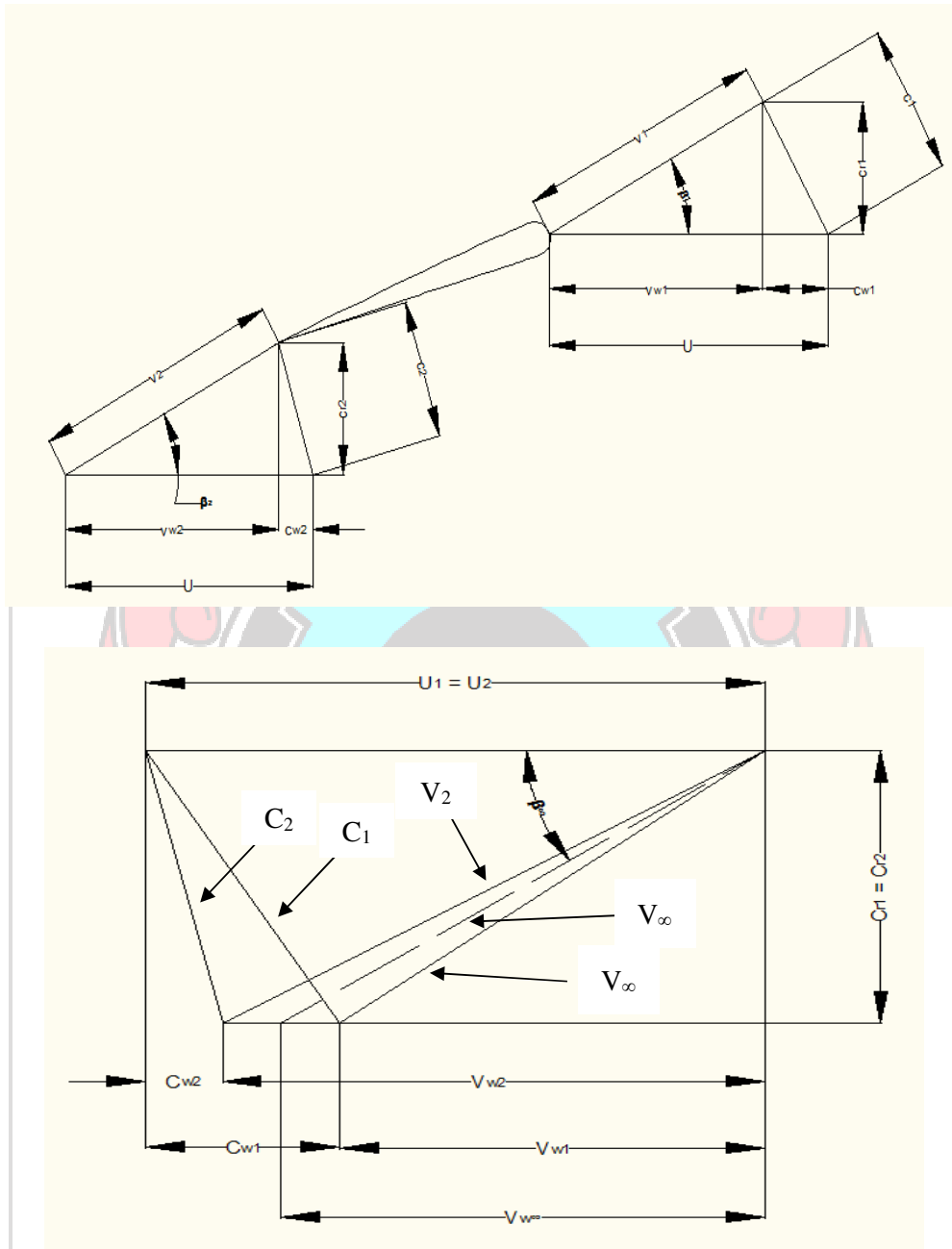
$$D_{tip} = 84,5 \times (0.79 + 1,602 \times n_q) \times \frac{\sqrt{H_n}}{60 \times n} \dots\dots\dots(8)$$

Setelah mendapatkan diameter Tip, maka kita dapat menghitung diameter Hub. Adapun perhitungannya sebagai berikut :

$$D_{Hub} = \left(0.25 + \frac{0,0951}{n_q}\right) \times D_{Tip} \dots\dots\dots(9)$$

Segitga kecepatan sangat penting untuk menentukan kecepatan inlet dan outlet pada turbin.





(Rama S.R Gorla dan Aijaz A. Khan, 2003)
 Gambar 12. Segitiga kecepatan untuk turbin propeller

Dimana $U_1 = U_2$ dan $U = v_2$ (Simpsons and Williams, 2011). Untuk menghitung nilai-nilai di atas dapat digunakan persamaan di bawah ini:

$$U = \pi \times n \times d \dots \dots \dots (16)$$

$$c_{r1} = c_{r2} = \frac{Q}{A_\infty} \dots\dots\dots(17)$$

$$A_\infty = \frac{\pi \times (D_{Tip}^2 - D_{Hub}^2)}{4} \dots\dots\dots(17b)$$

$$-v_{w2} = \sqrt{v_2^2 + c_{r2}^2} \dots\dots\dots(18)$$

$$c_{w2} = U + v_{w2} \dots\dots\dots(19)$$

$$c_{w1} = c_{w2} + \frac{g \cdot H_n}{U} \dots\dots\dots(20)$$

$$v_{w1} = c_{w1} - U \dots\dots\dots(21)$$

$$v_1 = \sqrt{v_{w1}^2 + c_{r1}^2} \dots\dots\dots(22)$$

$$v_{w\infty} = \frac{v_{w1} + v_{w2}}{2} \dots\dots\dots(23)$$

$$c_1 = \sqrt{c_{w1}^2 + c_{r1}^2} \dots\dots\dots(24)$$

$$c_2 = \sqrt{c_{w2}^2 + c_{r2}^2} \dots\dots\dots(25)$$

$$v_\infty = \sqrt{v_{w\infty}^2 + c_2^2} \dots\dots\dots(26)$$

$$\beta_\infty = \arccos \frac{v_{w\infty}}{v_\infty} \dots\dots\dots(27)$$

Kemiringan sudu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

Sudut kemiringan ujung sudu pada bagian masuk :

$$\tan\beta_1 = \frac{c_{r1}}{U - c_{w1}} \dots\dots\dots(28)$$

Sudut kemiringan ujung sudu pada bagian keluar :

$$\tan\beta_2 = \frac{c_{r2}}{U - c_{w2}} \dots\dots\dots(29)$$

Dalam mendesain pembangkit listrik tenaga picohydro, dimensi poros juga sangat penting untuk di hitung. Untuk menghitung dimensi poros dengan beban puntir dapat digunakan persamaan-persamaan berikut:

1. Daya rencana

$$P_d = f_c \cdot P \dots\dots\dots(30)$$

Dimana :

Nilai f_c :

- Daya rata-rata yang diperlukan 1,2 – 2,0
- Daya maksimum yang diperlukan 0,8 – 1,2
- Daya normal 1,0 – 1,5

2. Momen puntir

$$M_p = 97400 \cdot \frac{P_d}{n} \dots\dots\dots(31)$$

Jika daya rencana (P_d) dalam daya kuda (HP), maka :

$$M_p = 71620 \cdot \frac{P_d}{n} \dots\dots\dots(32)$$

Jika momen puntir (M_p) dalam pon.inci (lb.in) dan daya rencana (P_d) dalam HP, maka :

$$M_p = 63000 \cdot \frac{P_d}{n} \dots\dots\dots(33)$$

3. Tegangan geser

$$\tau = \frac{M_p}{\pi \cdot d^3 / 16} = \frac{5,1 \cdot M_p}{d^3} \dots\dots\dots(34)$$

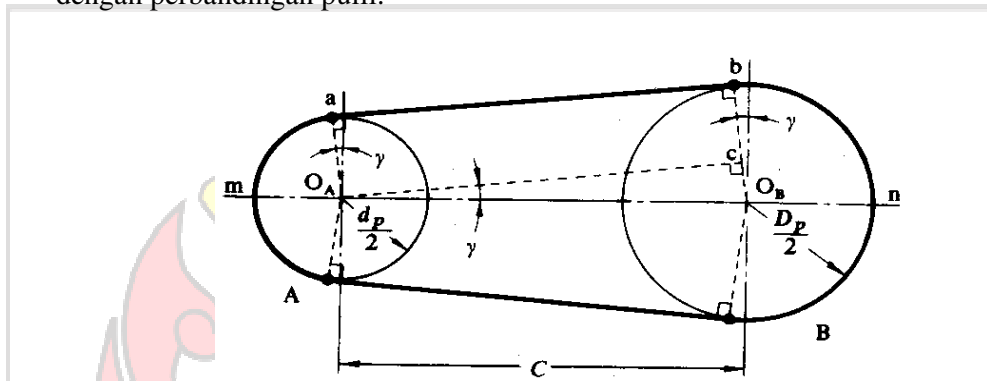
4. Tegangan geser yang diizinkan

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_1 \cdot S_2} \dots\dots\dots(35)$$

5. Diameter poros

$$d \geq \left[\frac{5,1}{\tau_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot Mp \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(36)$$

Apabila dalam perancangan putaran yang dibutuhkan generator tidak mencukupi, maka putaran dapat dinaikkan dengan menggunakan dengan perbandingan pulli.



(Musrady Mulyadi, 2010)

Gambar 13. Perencanaan Pulli dan Sabuk

Untuk menghitung perbandingan pulli yang akan digunakan, maka persamaan di bawah ini dapat digunakan.

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{d_p}{D_p} \dots\dots\dots(37)$$

Jika menggunakan perbandingan pulli maka panjang sabuk yang akan digunakan juga harus diperhitungkan, karena jika pemasangan sabuk terlalu kencang dapat mengakibatkan sabuk mudah putus dan sebaliknya jika pemasangan sabuk terlalu kendok maka dapat terjadi slip. Untuk menghitung

panjang sabuk yang akan digunakan maka dapat menggunakan persamaan berikut :

$$L = \left[\pi(r_1 + r_2) + 2x + \frac{(r_1+r_2)^2}{x} \right] \dots\dots\dots(38)$$

Jarak sumbu poros yang berputar

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8 \cdot (D_p - d_p)}}{8} \dots\dots\dots(39)$$

$$b = 2L - \pi \cdot (D_p + d_p)$$

Daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin propeller dapat dihitung dengan persamaan :

$$P_M = \frac{2\pi n T}{60} \dots\dots\dots(40)$$

Generator merupakan bagian yang sangat penting pada pembangkit listrik pada umumnya. Generator merupakan alat untuk mengubah energy mekanik menjadi energy listrik. Energi mekanik dari poros tubin dalam hal ini putaran akan diubah oleh generator menjadi energy listrik. Untuk menentukan berapa putaran yang dibutuhkan generator, dapat digunakan persamaan di bawah ini :

$$n = \frac{120 \times f}{p} \dots\dots\dots(41)$$

Untuk menghitung berapa daya keluaran generator dapat diukur secara langsung menggunakan wattmeter dapat juga diukur secara tidak langsung dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(42)$$

Generator dapat digulung ulang apabila tegangan keluaran generator yang akan digunakan sangal kecil. Persamaan penggulangan

generator pada ilmu kelistrikan adalah sebagai berikut :

$$E = c \cdot n \cdot \emptyset \dots\dots\dots(43)$$

Dimana,

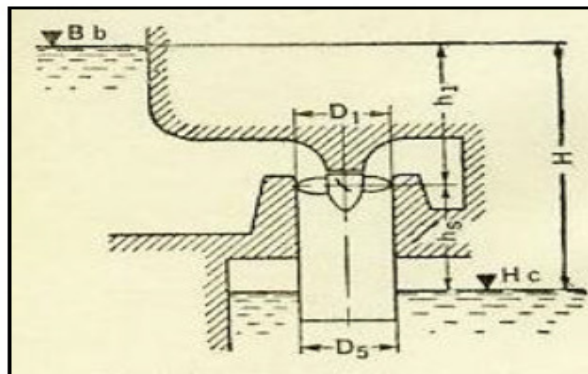
$$C = \frac{p \cdot z}{a} \dots\dots\dots(44)$$

Dengan demikian kita dapat mengetahui berapa beban yang dapat ditanggung oleh pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller yang di rancang. Bukan hanya itu, kita juga dapat menghitung efisiensi system pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller yang akan di desain dengan persamaan :

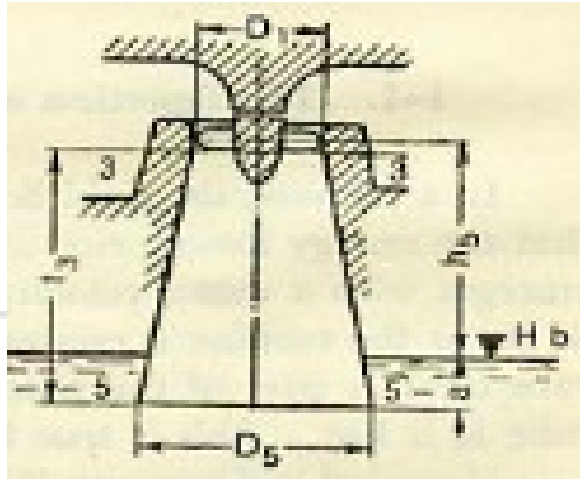
$$\eta_{sistem} = \frac{P_L}{P_H} \dots\dots\dots(45)$$

Dalam mendesain sebuah pembangkit listrik tenaga picohydro pemilihan jenis generator juga merupakan hal yang sangat penting. Karena generator yang akan digunakan harus sesuai dengan daya mekanik yang akan dihasilkan turbin. Jika tidak maka system tidak akan bekerja dengan baik. Maka dari itu spesifikasi dan kemampuan dari generator sangat penting untuk diketahui.

Untuk bagian pipa pesat ada 2 tipe yang biasa digunakan dalam perancangan pembangkit listrik tenaga picohydro tipe propeller yaitu tipe *cylyndrycal* dan *conical*.



(M.F Gubin, 1970)
Gambar 14. Tipe *Cylyndrycal*

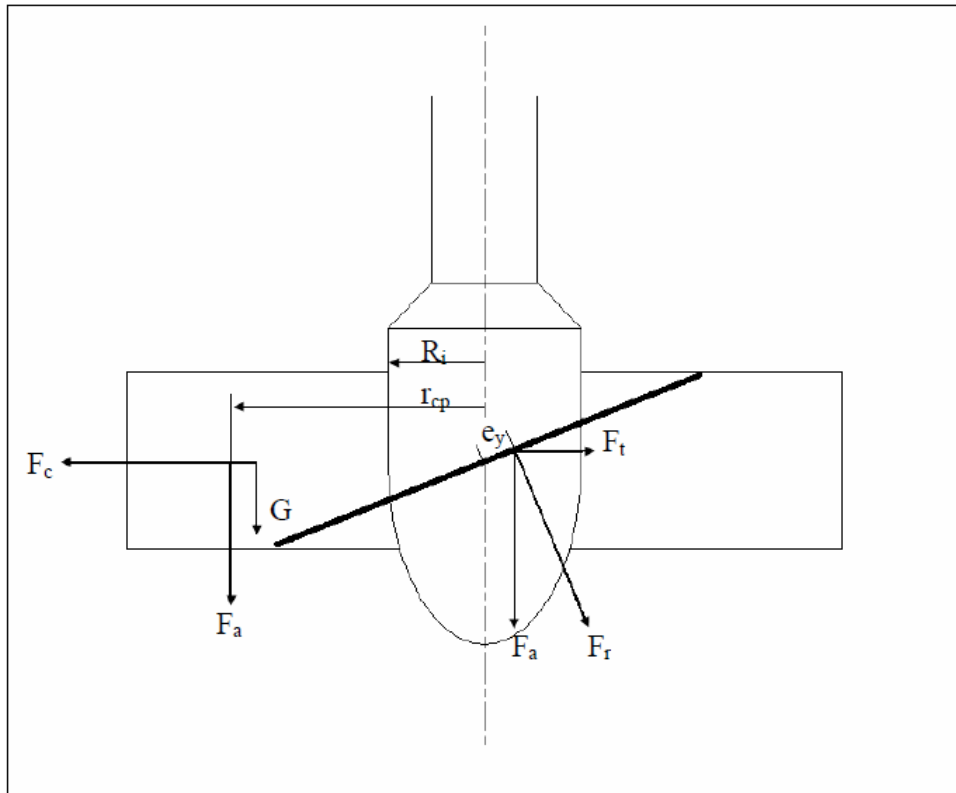


(M.F Gubin, 1970)

Gambar 15. Tipe *Conical*

Secara harfiah pipa pesat berfungsi sebagai penghasil tekanan hisap dan memanfaatkan semaksimal mungkin kecepatan air yang keluar dari sudu jalan sehingga tekanan dinamikanya dapat diubah menjadi tekanan statis (M.F Gubin, 1970). Untuk pemilihan jenis pipa pesat harus disesuaikan dengan kondisi lapangan yang ada agar mendapatkan hasil yang optimum.

Untuk menghitung gaya-gaya yang terjadi pada blade, dapat menggunakan persamaan di bawah ini.



(Jaakko Mattila, 2007)

Gambar 16. Gaya-gaya yang terjadi pada blade

Gaya Tangensial :

$$F_t = \frac{P_h}{2 \times \pi \times Z \times n \times r_{cp}} \dots \dots \dots (46)$$

Dimana,

$$r_{cp} = \sqrt{\frac{R_{tip}^2 + R_{hub}^2}{2}} \dots \dots \dots (47)$$

Gaya Axial :

$$F_a = g \times \rho \times H \times A_b \dots \dots \dots (48)$$

Dimana,

$$A_b = \frac{\pi \times \alpha \times (r_{tip}^2 - r_{hub}^2)}{360^\circ} \dots \dots \dots (48)$$

Resultan Gaya :

$$F_r = \sqrt{F_t^2 + F_a^2} \dots \dots \dots (49)$$

Gaya Sentrifugal :

$$F_s = \frac{G}{g} \times r_{cp} \times \omega^2 \dots \dots \dots (50)$$

Dimana :

$$\omega = 2 \times \pi \times n \dots \dots \dots (51)$$

Berdasarkan gaya-gaya yang terjadi pada blade, dapat dihitung tingkat kekuatan material dari blade. Untuk menghitung kekuatan dari blade dapat dilakukan dengan persamaan-persamaan di bawah ini :

Tegangan tarik pada sudu jalan :

$$\sigma_t = \frac{F_s}{A_b} \dots \dots \dots (52)$$

Tegangan geser pada sudu jalan :

$$\tau_s = \frac{F_t}{A_b} \dots \dots \dots (53)$$

Tegangan bending yang diizinkan:

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_0} \dots \dots \dots (54)$$

Dimana :

$$Z_0 = \frac{l \times t^2}{Z} \dots \dots \dots (55)$$

$$M = F_a \times \left(\frac{p}{2}\right) \dots \dots \dots (56)$$

Jika geometri sudu tersebut diumpamakan sebagai balok maka kita dapat memperkirakan dimensi panjang, lebar, dan tinggi.

p = jari-jari tip

t = tebal blade

$$l = \frac{A_b}{p} \dots\dots\dots(57)$$



BAB III

METODE PERANCANGAN DAN PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Perancangan dan Pegujian ini akan dilakukan di 2 tempat. Untuk perancangan dilakukan di Laboratorium Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Sedangkan untuk pengujiannya dilakukan di Desa Kampala, Kecamatan Eremerasa, Kabupaten Bantaeng. Perancangan dan penelitian ini akan dilakukan mulai bulan april sampai dengan bulan September 2014.

B. Metode Perancangan

Adapun metode perancangan yang dilakukan adalah :

1. Menentukan dimensi dari turbin
2. Menentukan kapasitas generator yang digunakan
3. Menentukan panjang poros
4. Membuat pembangkit listrik tenaga pichydro tipe propeller

C. Metode Pengujian

Adapun metode pengujian yang dilakukan adalah :

1. Menentukan panjang penstock dan dimensi penstock
2. Membuat basin
3. Menentukan beban dari pembangkit
4. Mengukur parameter keluaran generator

D. Alat dan Bahan Penelitian

Untuk membuat turbin propeller, diperlukan peralatan dan bahan yang sesuai kebutuhan. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah:

1. Alat

Adapun alat yang digunakan adalah:

- a. Mesin bubut
- b. Mesin las listrik dan las gas
- c. Mesin gerinda
- d. Mesin Gergaji
- e. Meteran
- f. Vernier Capiler
- g. Peralatan kerja bangku seperti : Palu, kikir, ragum duduk, kepala babi, dll.
- h. Mistar baja
- i. Jangka
- j. Busur Derajat
- k. Gergaji Besi
- l. Tap (W 16 x 3/8")

2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan adalah:

- a. Plat besi 3 mm
- b. Plat besi 8 mm

- c. Besi Poros ST. 42 Ø = 25 mm
- d. Pipa Galvanis
- e. Kuningan
- f. Besi kotak
- g. Karet seal

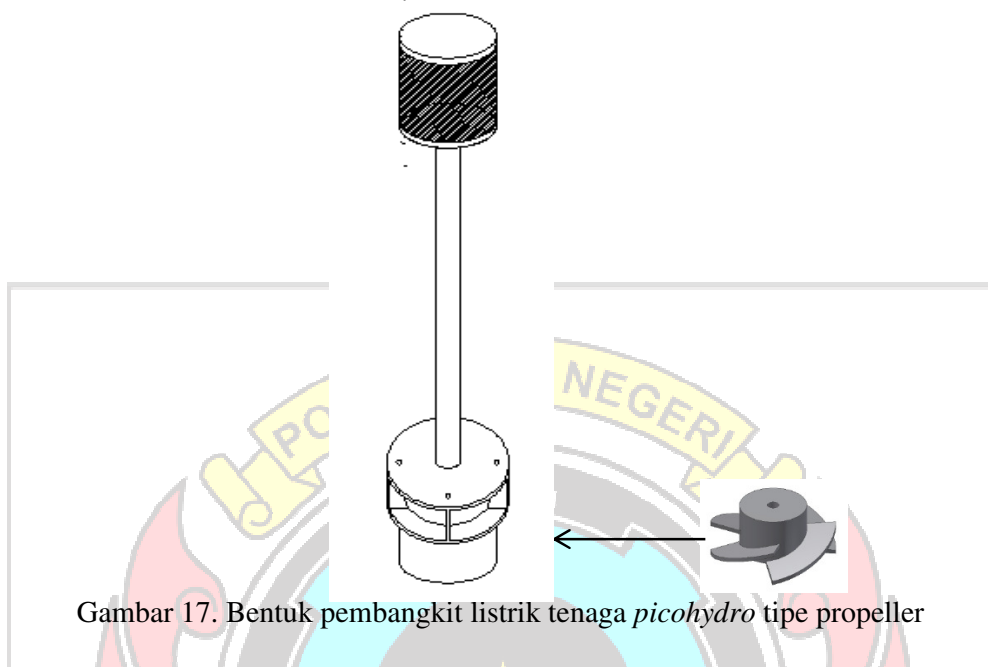
- h. Bantalan/Bearing
- i. Snap ring
- j. Generator
- k. Kabel
- l. Lampu Neon dan Lampu pijar sebagai beban
- m. Besi penyangga

3. Generator

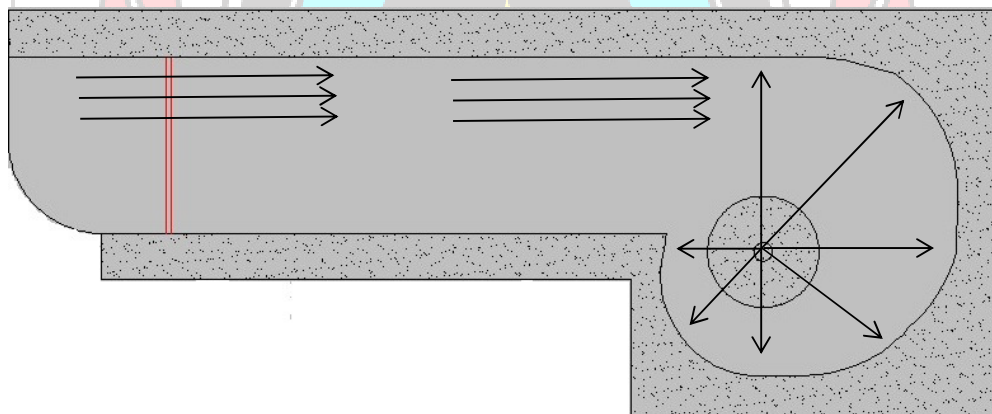
Generator yang digunakan pada perancangan dan pengujian ini adalah generator AC magnet permanen. Tegangan keluaran dari generator ini sebesar 24 V, sehingga generator harus digulung ulang agar tegangan keluarannya sebesar 220 V.

E. Prosedur Penelitian/Desain

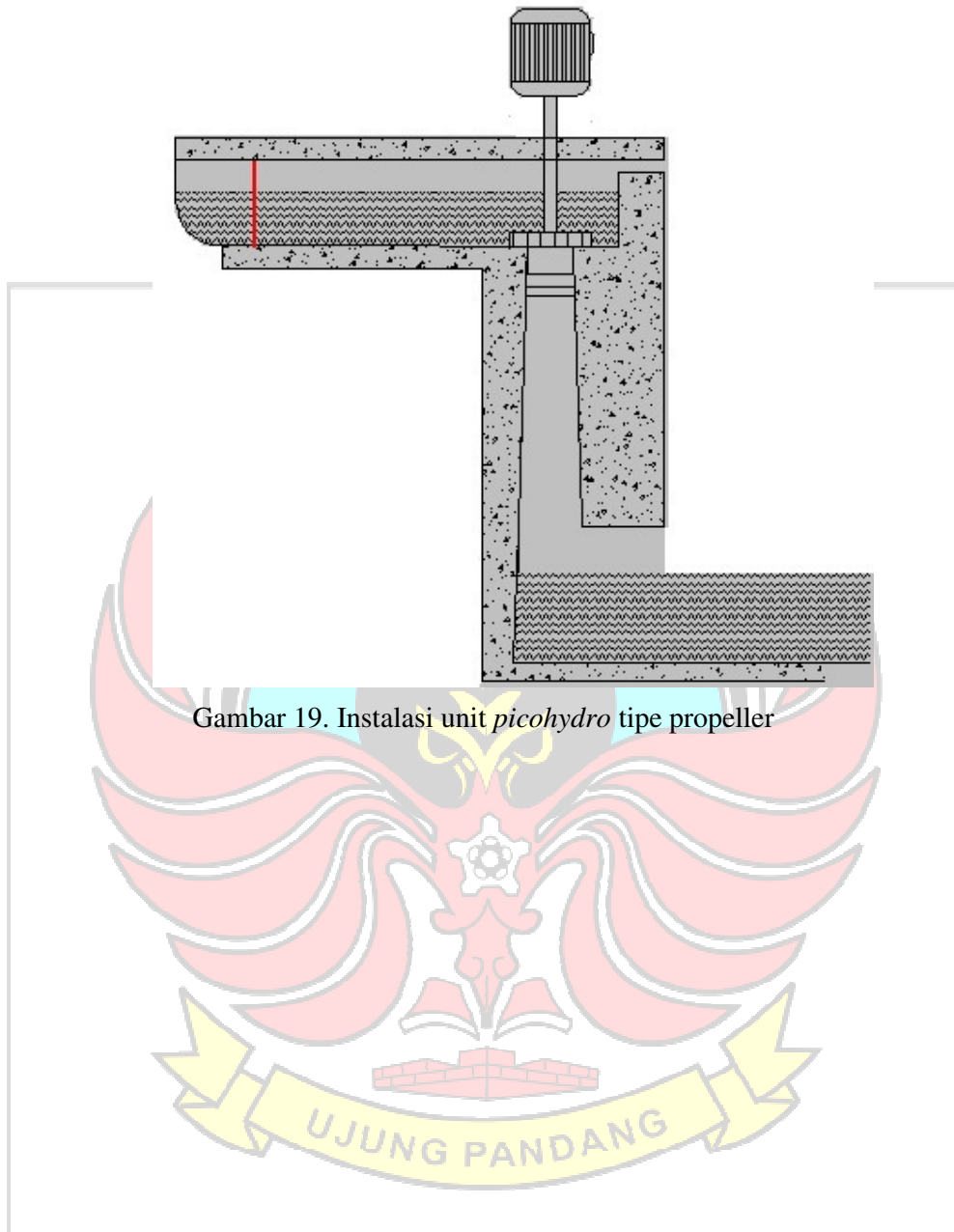
Prosedur penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Tahapan-tahapan tersebut sesuai dengan rangkaian percobaan dan diagram alir pada gambar 20.

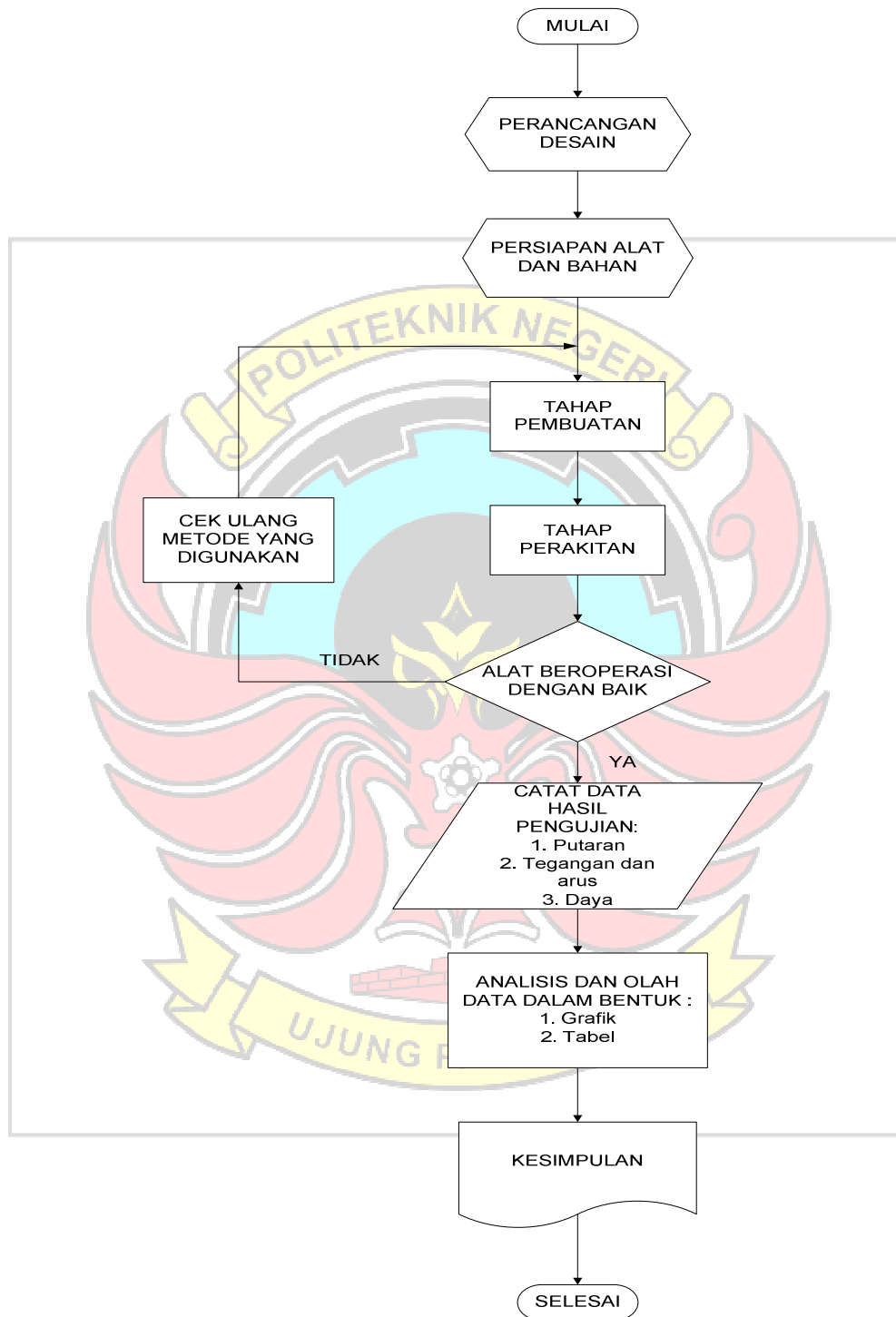


Gambar 17. Bentuk pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller



Gambar 18. Model saluran air dan basin





Gambar 20. *Flowchart* proses rancang bangun dan pengujian pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller.

F. Tahap Perancangan Desain

Dalam perancangan picohydro ini, ada beberapa langkah yang dilakukan dalam merancang desain picohydro tersebut. Langkah-langkah tersebut yaitu :

1. Menghitung dan merancang dimensi konstruksi dari propeller picohydro yaitu diameter tip dan diameter hub.
2. Menghitung dan merancang dimensi konstruksi dari poros turbin picohydro.
3. Menghitung dan merancang dimensi konstruksi dari pulli poros turbin, pulli poros generator, dan sabuk yang akan digunakan sebagai media untuk mentransmisikan putaran poros turbin ke poros generator.
4. Merancang dimensi konstruksi dari komponen pendukung picohydro dudukan generator, rumah turbin, dan pipa selongsong.
5. Memilih material dan membuat konstruksi pembangkit listrik tenaga picohydro tipe propeller yang telah didesain.
6. Menentukan jenis generator serta kapasitas yang diinginkan sesuai dengan daya yang ditargetkan.

G. Perancangan Awal

1. Blade

Perancangan pembangkit listrik tenaga picohydro ini dimulai dari debit air. Pada pengambilan data awal di lokasi pengujian debit air yang tersedia yaitu $180 \frac{l}{s}$. Untuk efisiensi

hidraulik dipilih 0,7 (Singh and Nestmann, 2009). Sehingga perhitungannya sebagai berikut :

a. Perhitungan Daya Hidrolis

$$P_h = Q \times g \times \rho \times \eta_h \times H$$

$$P_h = 0,18 \frac{m^3}{s} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 0,7 \times 3,2 m$$

$$P_h = 3955,39 \text{ Watt}$$

b. Perhitungan Head netto

$$H_n = 3,2 m \times 0,7$$

$$H_n = 2,24 m$$

c. Perhitungan kecepatan spesifik

$$n_q = \frac{2,716}{H_n^{0,5}}$$

$$n_q = \frac{2,716}{2,24^{0,5}}$$

$$n_q = 2.82$$

d. Perhitungan Energi hidrolis

$$E = H_n \times g$$

$$E = 2,24 m \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$E = 21,97 \frac{J}{kg}$$

e. Perhitungan putaran per secon

$$n = \frac{n_q \times E^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{Q}}$$

$$n = \frac{2,82 \times 21,97^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{0,18}}$$

$$n = 43,41 \text{ s}^{-1}$$

f. Perhitungan diameter tip

$$D_{tip} = 84,5 \times (0,79 + 1,602 \times n_q) \times \frac{\sqrt{H_n}}{60 \times n}$$

$$D_{tip} = 84,5 \times (0,79 + 1,602 \times 2,82) \times \frac{\sqrt{2,24}}{60 \times n}$$

$$D_{tip} = 0,179511 \text{ m}$$

$$D_{tip} = 179,51 \text{ mm}$$

Sehingga D_{tip} yang dipilih adalah 180 mm = 0,18 m

g. Perhitungan Diameter hub

$$D_{Hub} = \left(0,25 + \frac{0,0951}{n_q}\right) \times D_{Tip}$$

$$D_{Hub} = \left(0,25 + \frac{0,0951}{2,82}\right) \times 180 \text{ mm}$$

$$D_{Hub} = 54,44 \text{ mm}$$

Sehingga D_{Hub} yang dipilih adalah 55 mm = 0,055 m

h. Perhitungan jarak antar sudu jalan

$$t = \frac{\pi D_{tip}}{Z}$$

$$t = \frac{\pi \cdot 0,18}{4}$$

$$t = 0,14085 \text{ m}$$

Dipilih = 0,15 m

Range nilai $\frac{t}{l}$ adalah 1-1,5 (Dixon and Hall, 2010). Dengan

memilih nilai $\frac{t}{l} = 1,1$, maka :

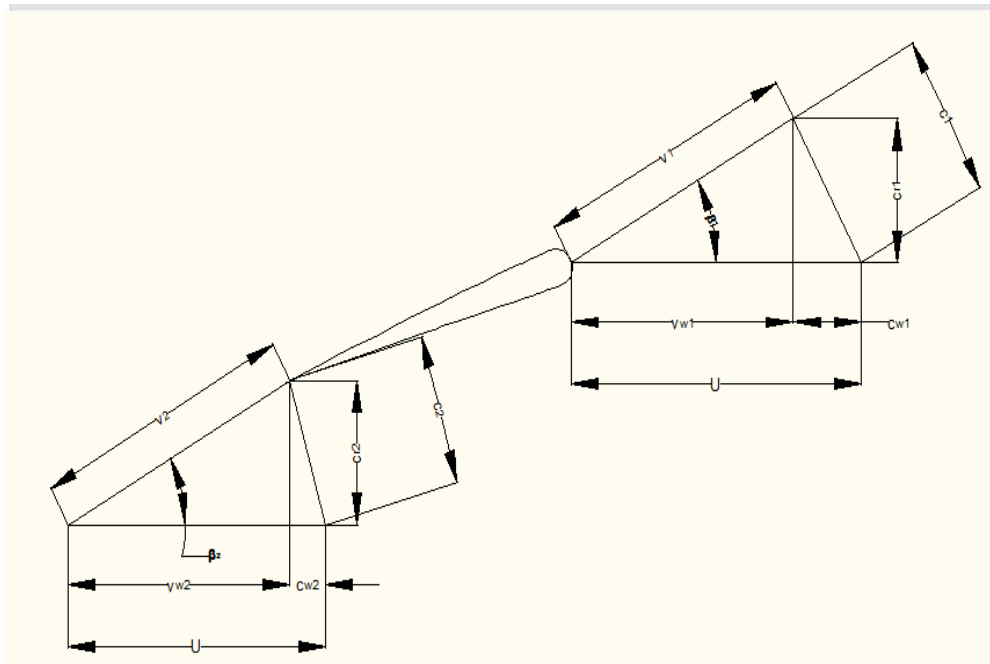
$$l = \frac{t}{1,1}$$

$$l = \frac{0,14085}{1,1}$$

$$l = 0,128045 \text{ m}$$

Dipilih = 0.13 m

1. Perhitungan segitiga kecepatan turbin



Gambar 21. Segitiga kecepatan yang terjadi di Tip turbin

$$1) U = \pi \times n \times d$$

$$U = \pi \times 43,41 \times 0,18$$

$$U = 24,54 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$2) c_{r1} = c_{r2} = \frac{Q}{A_{\infty}}$$

Dimana :

$$A_{\infty} = \frac{\pi \times (D_{Tip}^2 - D_{Hub}^2)}{4}$$

$$A_{\infty} = \frac{\pi \times (0,18^2 - 0,055^2)}{4}$$

$$A_{\infty} = 0,02 \text{ m}^2$$

Sehingga,

$$c_{r1} = c_{r2} = \frac{0,18}{0,02}$$

$$c_{r1} = c_{r2} = 7,79 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$3) -v_{w2} = \sqrt{v_2^2 + c_{r2}^2}$$

$$-v_{w2} = \sqrt{24,54^2 + 7,79^2}$$

$$v_{w2} = -23,27 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$4) c_{w2} = U + v_{w2}$$

$$c_{w2} = 24,54 + (-23,27)$$

$$c_{w2} = 1,27 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$5) c_{w1} = c_{w2} + \frac{g \cdot H_n}{U}$$

$$c_{w1} = 1,27 + \frac{9,81 \times 2,24}{24,54}$$

$$c_{w1} = 2,17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$6) v_{w1} = c_{w1} - U$$

$$v_{w1} = 2,17 - 24,54$$

$$v_{w1} = -22,37 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$7) v_1 = \sqrt{v_{w1}^2 + c_{r1}^2}$$

$$v_1 = \sqrt{(-22,37)^2 + 7,79^2}$$

$$v_1 = 23,68 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$8) c_1 = \sqrt{c_{w1}^2 + c_{r1}^2}$$

$$c_1 = \sqrt{2,17^2 + 7,79^2}$$

$$c_1 = 8,09 \frac{m}{s}$$

$$9) c_2 = \sqrt{c_{w2}^2 + c_{r2}^2}$$

$$c_2 = \sqrt{1,27^2 + 7,79^2}$$

$$c_2 = 7,9 \frac{m}{s}$$

$$10) v_{w\infty} = \frac{v_{w1} + v_{w2}}{2}$$

$$v_{w\infty} = \frac{(-22,37) + (-23,27)}{2}$$

$$v_{w\infty} = -22,82 \frac{m}{s}$$

$$11) v_{\infty} = \sqrt{v_{w\infty}^2 + c_{r1}^2}$$

$$v_{\infty} = \sqrt{(-22,82)^2 + 7,79^2}$$

$$v_{\infty} = 24,11 \frac{m}{s}$$

$$12) \beta_{\infty} = \arccos \frac{v_{w\infty}}{v_{\infty}}$$

$$\beta_{\infty} = \arccos \frac{-22,82}{24,11}$$

$$\beta_{\infty} = 161,8^\circ$$

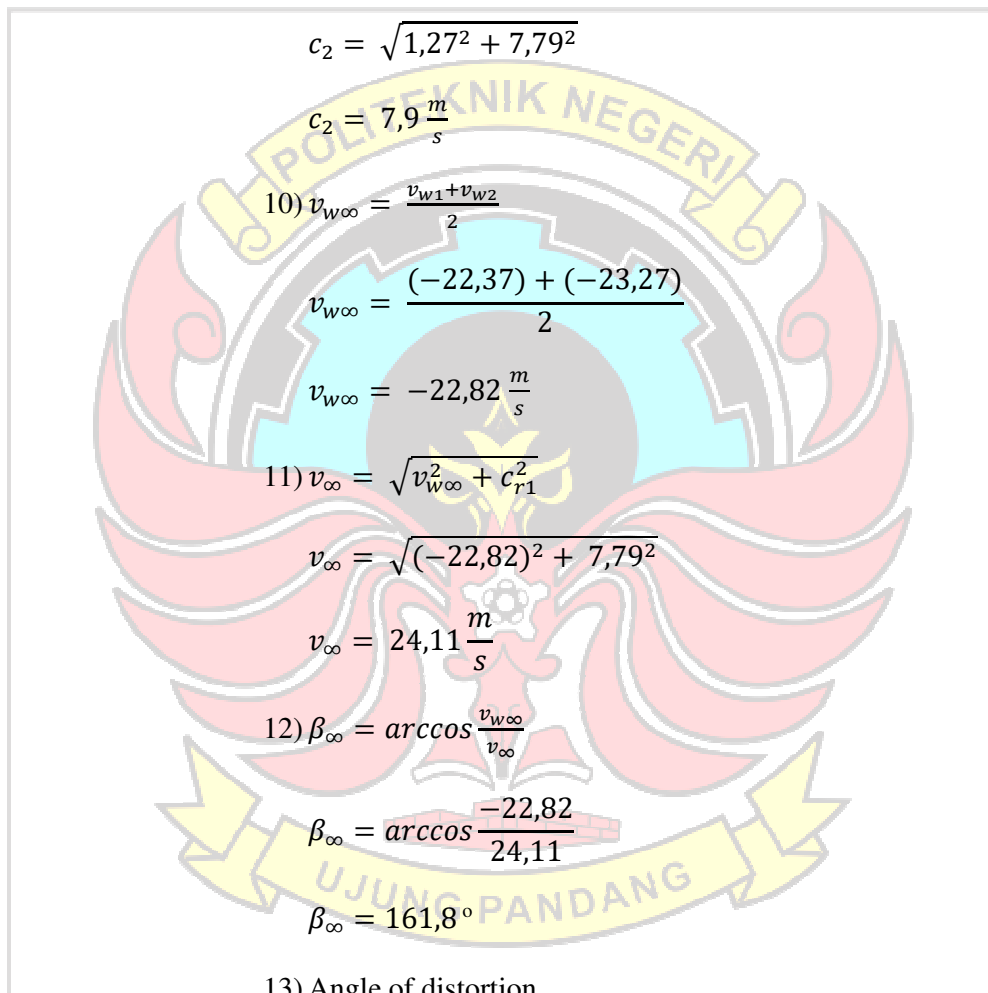
13) Angle of distortion

$$\theta = 180^\circ - \beta_{\infty}$$

$$\theta = 180^\circ - 161,8^\circ$$

$$\theta = 18,2^\circ$$

14) Sudut kemiringan sudu masukan



$$\tan\beta_1 = \frac{7,79}{24,54 - 2,17}$$

$$\beta_1 = 19,29^\circ$$

15) Sudut kemiringan sudu keluaran

$$\tan\beta_2 = \frac{7,79}{24,54 - 1,27}$$

$$\beta_2 = 18,78^\circ$$

2. Poros

Daya rencana :

$$P_d = f_c \times P$$

$$P_d = 1,2 \times 500 \text{ watt}$$

$$P_d = 600 \text{ watt}$$

Momen puntir

$$M_p = 97400 \cdot \frac{P_d}{n}$$

$$M_p = 97400 \cdot \frac{0,6}{750}$$

$$M_p = 77,92 \text{ kg.cm} = 779,2 \text{ kg.mm}$$

Tegangan geser yang diizinkan

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_1 \cdot S_2}$$

Karena menggunakan bahan ST 42 maka tegangan bengkok (σ_B)

adalah $42 \frac{kg}{mm^2}$ (Khurmi dan Gupta, 2010). Sedangkan S_1 dan S_2

dipilih dari interval yang telah ditentukan $S_1 = 6$ dan $S_2 = 1,5$.

Sehingga tegangan geser yang diizinkan adalah

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_1 \cdot S_2}$$

$$\tau_a = \frac{42}{6 \cdot 1,5}$$

$$\tau_a = 4,7 \frac{kg}{mm^2}$$

Diameter poros

$$d_{poros} \geq \left[\frac{5,1}{\tau_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot Mp \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{poros} \geq \left[\frac{5,1}{4,7} \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 779,2 \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{poros} \geq 11,53 \text{ mm}$$

Dengan mengambil nilai *safety factor* yaitu 2 (Hamrock, Jacobson, and Schmid, 1999), maka diameter poros adalah

$$d_{poros} = 11,53 \text{ mm} \cdot 2$$

$$d_{poros} = 23,06 \text{ mm}$$

Jadi diameter poros yang dipilih adalah 25 mm

3. Pulli

Perbandingan diameter pulli dapat diketahui jika diameter pulli dapat ditentukan. Untuk menentukan diameter pulli dapat disesuaikan dengan diameter pulli yang ada dipasaran. Sehingga pada perencanaan ini dipilih diameter pulli generator = 3" dan diameter pulli poros turbin = 8". Sehingga perbandingan putaran

yang dihasilkan adalah

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{d_p}{D_p}$$

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{3''}{8''}$$

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{1}{2,7}$$

4. Sabuk

a. Menghitung panjang sabuk

Panjang sabuk dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

di bawah ini. Namun sebelum itu, nilai x harus ditentukan

terlebih dahulu. Pada perancangan ini, nilai $x = 450$ mm.

Sehingga perhitungan panjang sabuk dapat dilakukan

$$L = \left[\pi(r_1 + r_2) + 2x + \frac{(r_1 + r_2)}{x} \right]$$

$$L = \left[\pi(37,5 + 100) + 2 \cdot 450 + \frac{(37,5 + 100)}{450} \right]$$

$$L = 1332,06 \text{ mm}$$

b. Pemasangan sabuk pada pulli

$$C = \frac{b + \sqrt{b^2 - 8 \cdot (D_p - d_p)}}{8}$$

Dimana :

$$b = 2L - \pi \cdot (D_p + d_p)$$

$$b = 2 \cdot 1332,06 - \pi \cdot (200 + 75)$$

$$b = 2664,11 \text{ mm}$$

Sehingga :

$$C = \frac{2664,11 + \sqrt{(2664,11)^2 - 8 \cdot (200 - 75)}}{8}$$

$$C = 325,15 \text{ mm}$$

H. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebelum perancangan dan pembuatan alat, adapun data-data awal yang dibutuhkan adalah debit air dan kapasitas generator.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL DESAIN

Berdasarkan hasil perencanaan dan perhitungan pada bab

sebelumnya maka dihasilkan spesifikasi komponen-komponen berikut :

1. Blade

Diameter Tip : 0.18 m

Diameter Hub : 0,055 m

Sudu turbin : 4

Jarak antar sudu

l : 0,13 m

t : 0,15 m

Tebal sudu turbin : 8 mm

Bahan : ST. 42

2. Poros

Panjang : 940 mm

Diameter : 25 mm

Bahan : ST. 42

3. Draft Tube

Tipe : *Cylindrical*

Diameter atas : 6 inch

Diameter bawah : 6 inch

Bahan : Pipa PVC

4. Saluran air

Tipe : Close channel
Diameter : 4 inch
Bahan : Pipa PVC

5. Basin

Diameter : 0,5 m
Tinggi : 0,63 m
Bahan : Tempat penampungan air

7. Lower Bearing

Tipe : Bush Bearing
Diameter luar : 0,6 inch
Diameter dalam : 25 mm
Bahan : Nilon

8. Upper Bearing

Tipe : FYB
Diameter : 20 mm

9. Pulli

Diameter Pulli poros : 8 inch
Diameter Pulli generator : 75 mm

Bahan : Aluminium

10. Sabuk

Tipe : V Belt (53 A)
Diameter : 1332,06 mm

B. PEMBAHASAN

1. Hasil Perancangan

a. Tahap Pembuatan

Dalam tahap ini, komponen-komponen pembangkit listrik tenaga picohydro tipe propeller yang akan dibuat adalah propeller, poros, rumah turbin, pipa selongsong, dudukan generator, pulli dan sabuk yang akan digunakan, dan generator.

Adapun penjelasan dari proses pembuatan komponen-komponen pembangkit listrik tenaga air tipe propeller adalah sebagai berikut :

1) Pembuatan Propeller

Setelah menghitung dimensi dan menentukan material yang akan digunakan dari propeller maka proses selanjutnya adalah membuat propeller tersebut. Prosesnya yaitu besi pipa dipanaskan dengan menggunakan las gas kemudian ditempa pada kedua ujungnya, poros pejal dimasukkan pada sisi atas dan bawah kemudian disambung dengan las. Setelah itu benda kerja dibubut. Pada sisi pertama dan dibuatkan lubang ulir sebagai tempat mengikatnya poros. Kemudian sisi satunya dibubut tirus dengan kemiringan 30° . Setelah jadi, maka besi plat diprofil mengikuti seperempat lingkaran. Kemudian dilengkungkan dan disambungkan.

2) Pembuatan Rumah Turbin

Setelah menentukan material yang akan digunakan maka tahap selanjutnya yaitu membuat rumah turbin. Untuk bagian atas rumah turbin dipilih material yang agak tebal agar mampu menahan tekanan air yang akan menghantam turbin sedangkan untuk bagian bawahnya dipakai plat yang agak tipis agar mudah dibentuk. Prosesnya yaitu besi plat yang telah ditentukan (plat yang tipis) di rol hingga membentuk lingkaran. Diameter dalamnya yaitu diameter luar turbin (diameter tip) ditambah 4 mm. Dimensi tersebut dipilih agar ada jarak antara turbin dan diameter dalam rumah turbin sehingga turbin dapat berputar. Sedangkan untuk bagian atasnya yaitu plat yang telah ditentukan (plat yang agak tebal) dipotong dan diprofil melingkar dengan menggunakan las gas. Plat di bor pada 4 titik kemudian di tap. Sudu pengarah dapat dibuat dari besi kotak yang dipotong dari arah diagonalnya kemudian diatur penempatannya dengan kemiringan 30° .

3) Pembuatan Selongsong Pipa dan dudukan generator

Setelah menentukan material dan dimensi selongsong pipa yang digunakan maka tahap selanjutnya adalah pembuatan selongsong pipa dan dudukan generator. Prosesnya yaitu besi pipa yang telah ditentukan pada bagian bawahnya disambung dengan plat lingkaran menggunakan las gas. Plat lingkaran ini

di bor pada 4 titik sebagai tempat memasukkan baut yang akan digunakan sebagai pegangan antara rumah turbin dan selongsong pipa. Setelah disambung maka selongsong ini dibalancing dengan mesin bubut. Selanjutnya untuk lower bearing sebaiknya digunakan bush bearing yang terbuat dari

bahan nilon agar bearing tidak rusak bila terendam air. Pada bagian tengah bearing dibubut sama dengan ukuran diameter poros. Selanjutnya untuk dudukan turbin dibuat dari plat yang sudah ditentukan lalu lubangi plat pada bagian yang telah ditentukan sebagai tempat keluarnya poros turbin dan pada lubang ini disambung dengan bagian atas pipa selongsong menggunakan las sehingga pipa selongsong dan dudukan generator menjadi satu bagian. Lalu pada bagian ujung yang lain dari plat di atasnya dibentuk dudukan generator terbuat dari 4 plat (sebaiknya menggunakan plat tebal karena akan menahan gaya tarik dan gaya berat generator itu sendiri) dalam posisi berdiri yang disambung menggunakan las. Setelah itu pada masing-masing plat di bor sebagai tempat masuknya baut yang akan digunakan sebagai pegangan antara dudukan generator

dan generator. Untuk upper bearing sebaiknya digunakan bearing tempel agar pemasangannya lebih mudah. Diameter dari bearing dipilih sesuai diameter poros.

4) Pembuatan Poros

Setelah menghitung dimensi dan menentukan material yang digunakan maka poros dapat dibuat. Prosesnya yaitu besi poros yang telah ditentukan (sesuai dengan dimensi yang telah dihitung) kemudian pada bagian bawahnya dibuat ulir sesuai dengan ukuran ulir yang telah dibuat pada propeller.

b. Tahap Perakitan

Dalam tahap perakitan ini yang perlu diperhatikan adalah pemasangan komponen-komponen yang telah dibuat secara berurutan sesuai dengan gambar desain yang telah dibuat.

Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut :

- 1) Memasukkan lower bearing pada pipa selongsong bagian bawah.
- 2) Memasang upper bearing pada ujung atas pipa selongsong yaitu pada lubang keluaran yang telah dibuat pada dudukan generator dan dikencangkan dengan baut.
- 3) Menghubungkan poros dan propeller lalu memasukkan poros pada lubang upper dan lower bearing.
- 4) Menghubungkan rumah turbin dengan selongsong pipa lalu memasang baut pada lubang yang telah dibuat.
- 5) Memasang generator pada dudukannya lalu memasang baut pada lubang yang telah dibuat.

- 6) Memasang pulli pada poros turbin dan poros generator dengan perbandingan sesuai dengan perhitungan. Lalu menghubungkan pulli poros turbin dan pulli poros generator dengan sabuk.

2. Hasil Pengujian

a. Pengujian Putaran Turbin

Pada pengujian ini, poros turbin tidak dihubungkan dengan poros generator. Untuk mengalirkan air masuk ke dalam basin digunakan pipa PVC 4 inch. Sehingga debit air yang masuk kedalam pipa sebesar $7,93 \frac{l}{s}$. Putaran tertinggi yang diperoleh pada pengujian ini adalah 4111 rpm. Putaran yang didapatkan dari pengujian dapat dibandingkan dengan hasil perhitungan.

Daya air :

$$P_h = Q \times g \times \rho \times \eta_h \times H$$

$$P_h = 0,00793 \frac{m^3}{s} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 0,7 \times 3,2 m$$

$$P_h = 174,257 \text{ Watt}$$

Putaran :

$$n = \frac{n_q \times E^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{Q}}$$

$$n = \frac{1,815 \times 21,97^{\frac{3}{4}}}{\sqrt{0,00793}}$$

$$n = 206,83 \text{ s}^{-1} = 12409,61 \text{ rpm}$$

Sehingga ,

$$\text{Selisih putaran} = 12409,61 - 4111 = 8298,61 \text{ rpm}$$

Jadi, untuk perbandingan antara putaran hasil perhitungan dan hasil pengujian didapatkan selisih 8298,61 rpm

- b. Pengujian dengan menggunakan generator magnet permanen yang digulung ulang

Pada pengujian ini didapatkan tegangan tanpa beban tertinggi adalah 1200 Volt. Sedangkan pada saat dibebani 24 watt, tegangannya adalah 120 Volt dan arusnya adalah 0,1 Amper. Untuk perhitungan daya keluaran dari generator adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I$$

$$P = 120 \times 0,1$$

$$P = 12 \text{ Watt}$$

Jadi, pada pengujian dengan generator magnet permanen yang digulung ulang didapatkan daya maksimum 12 Watt.

- c. Pengujian dengan menggunakan generator magnet permanen yang tidak digulung ulang

Pada pengujian ini didapatkan tegangan tanpa beban tertinggi adalah 225 Volt. Sedangkan pada saat dibebani 60 watt, tegangannya adalah 40 Volt dan arusnya adalah 0,12 Amper.

Untuk perhitungan daya keluaran dari generator adalah sebagai berikut :

$$P = V \times I$$

$$P = 40 \times 0,12$$

$$P = 4,8 \text{ Watt}$$

Jadi, pada pengujian dengan generator magnet permanen yang tidak digulung ulang didapatkan daya maksimum 4,8 Watt.

Sehingga untuk kedua pengujian dengan menggunakan generator di atas didapatkan efisiensi sistem sebagai berikut :

1) Generator yang digulung ulang :

$$\eta_{sistem} = \frac{P_L}{P_h}$$

$$\eta_{sistem} = \frac{12}{174,257} \times 100\%$$

$$\eta_{sistem} = 7 \%$$

2) Generator yang tidak digulung ulang :

$$\eta_{sistem} = \frac{P_L}{P_H}$$

$$\eta_{sistem} = \frac{4,8}{174,257} \times 100\%$$

$$\eta_{sistem} = 3 \%$$

3. Analisis Kekuatan Blade

Kekuatan dari blade yang telah dirancang dapat sangat penting diketahui untuk melihat apakah material yang di gunakan pada sudu jalan mampu menahan beban atau tidak. Untuk itu, pada bagian analisis ini akan diperlihatkan berapa besar beban yang harus

ditanggung sudu jalan dan adakah beban lebih yang ditanggung oleh sudu jalan.

Gaya Tangensial :

$$F_t = \frac{P_h}{2 \times \pi \times Z \times n \times r_{cp}}$$

Dimana,

$$r_{cp} = \sqrt{\frac{R_{tip}^2 + R_{hub}^2}{2}}$$

$$r_{cp} = \sqrt{\frac{0,09^2 + 0,028^2}{2}}$$

$$r_{cp} = 0,7 \text{ m}$$

Sehingga,

$$F_t = \frac{174,257}{2 \times \pi \times 4 \times 68,52 \times 0,7}$$

$$F_t = 0,15 \text{ N}$$

Gaya Axial :

$$F_a = g \times \rho \times H_n \times A_b$$

Dimana,

$$A_b = \frac{\pi \times 80 \times (0,09^2 - 0,0275^2)}{360^0}$$

$$A_b = 0,005 \text{ m}^2$$

Sehingga,

$$F_a = 9,81 \times 1000 \times 2,24 \times 0,005$$

$$F_a = 112,6 \text{ N}$$

Resultan Gaya :

$$F_r = \sqrt{F_t^2 + F_a^2}$$

$$F_r = \sqrt{0,05^2 + 112,6^2}$$

$$F_r = 112,6 \text{ N}$$

Gaya Sentrifugal :

$$F_s = \frac{G}{g} \times r_{cp} \times \omega^2$$

$$F_s = \frac{G}{9,81} \times 0,7 \times \omega^2$$

Dimana :

$$\omega = 2 \times \pi \times 68,52$$

$$\omega = 430,29 s^{-1}$$

Sehingga,

$$F_s = \frac{6 \cdot 9,81}{9,81} \times 0,7 \times 185144,89 s^{-2}$$

$$F_s = 777608,56 N$$

Dari gaya-gaya yang terjadi pada blade, dapat dihitung tingkat kekuatan material dari blade. Untuk menghitung kekuatan dari blade dapat dilakukan dengan persamaan-persamaan di bawah ini :

Tegangan Tarik pada sudu jalan :

$$\sigma_t = \frac{F_s}{A_b}$$

$$\sigma_t = \frac{777608,56}{0,005}$$

$$\sigma_t = 155521711 Pa = 156 MPa$$

$$\sigma_{t(ST 42)} = 420 MPa > 156 MPa (ST 42 aman digunakan)$$

Tegangan geser pada sudu jalan :

$$\tau_s = \frac{F_t}{A_b}$$

$$\tau_s = \frac{0,15}{0,005}$$

$$\tau_s = 30 \text{ Pa} = 0.00003 \text{ MPa}$$

$$\tau_{s(ST 42)} = 80 \text{ MPa} > 0.00003 \text{ MPa} \text{ (ST 42 aman digunakan)}$$

Tegangan bending yang diizinkan:

$$\sigma_b = \frac{M}{Z_0}$$

Dimana :

$$Z_0 = \frac{l \times t^2}{Z}$$

$$Z_0 = \frac{A_b \times 0,008^2}{4}$$

$$Z_0 = \frac{0,005 \times 0,008^2}{4}$$

$$Z_0 = 0,0000009 \text{ m}^3$$

$$M = F_a \times \left(\frac{p}{2}\right)$$

$$M = 112,6 \times \left(\frac{0,09}{2}\right)$$

$$M = 5,07 \text{ Nm}$$

Sehingga,

$$\sigma_b = \frac{5,07}{0,0000009}$$

$$\sigma_b = 5633333,33 \text{ Pa} = 5,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{b(ST 42)} = 360 > 5,63 \text{ (ST 42 aman digunakan)}$$

Dari analisa di atas, didapatkan bahwa untuk material ST 42 aman digunakan dalam perancangan ini.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

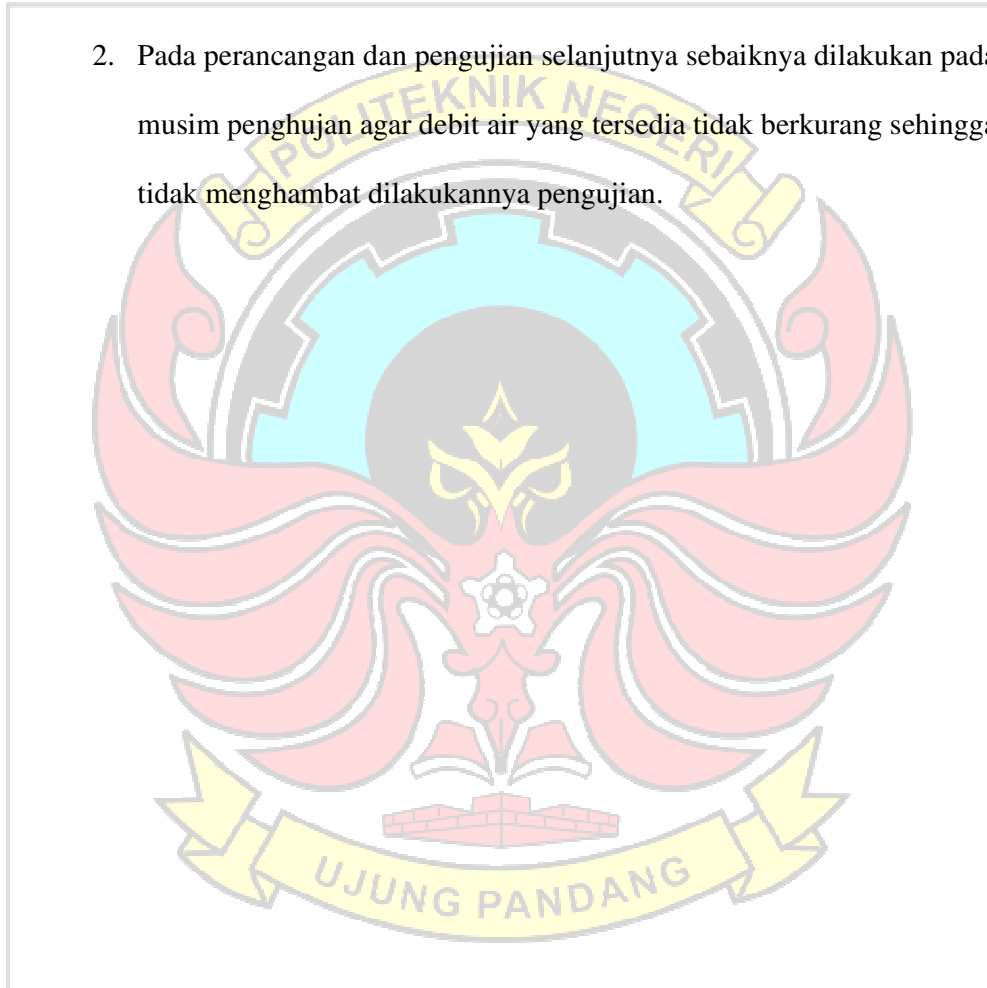
A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Perancangan pembangkit listrik tenaga *picohydro* yang telah dilakukan membutuhkan data awal berupa debit air yang tersedia di lokasi pengujian. Dari pengukuran awal yang dilakukan, diperoleh data debit air yang tersedia yaitu $180 \frac{l}{s}$. Sehingga dari data debit tersebut kita dapat merancang dimensi-dimensi dari pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller yaitu diameter tip 0,18 m dan diameter hub 0.055 m.
2. Pengujian pembangkit listrik tenaga *picohydro* tipe propeller yang telah dilakukan membutuhkan data awal berupa head yaitu 3,2 m dan jarak sumber air ke tempat pengujian yaitu 20 m. Sehingga dari data-data tersebut dapat dirancang bentuk alternatif pengujiannya.
3. Pada perancangan dan pengujian ini, pembangkit hanya menghasilkan daya 12 Watt untuk generator gulung ulang dan 4,8 Watt untuk generator yang tidak digulung ulang. Hal ini memperlihatkan bahwa daya keluaran generator jauh dari target yang diharapkan.

B. SARAN

1. Untuk perancangan dan pengujian selanjutnya, jika daya keluaran yang dihasilkan generator kecil maka sebaiknya daya tersebut digunakan untuk mengisi aki. Lalu menggunakan inverter DC-AC untuk dialirkan ke beban.
2. Pada perancangan dan pengujian selanjutnya sebaiknya dilakukan pada musim penghujan agar debit air yang tersedia tidak berkurang sehingga tidak menghambat dilakukannya pengujian.



DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar. Artono. Dr, Kuwahara. Dr. 1972. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid I*. Pradnya Paramita. Jakarta.

Chan, Yefri. <http://yefrichan.wordpress.com/2010/07/23/cara-menentukan-ukuran-baut>. Diunduh tanggal 23 Oktober 2014.

Bohl, W. (1991). *Strömungsmaschinen 2: Berechnung und kalkulation*. Vogel Business Media.

Dixon, S.L., Hall, C.A.(2010).*Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery Sixth Edition*.USA : Elsevier Inc.

Gubin,M.F.1970.*Draft Tube of Hydro-Electric Stations*.Moscow: Energiya Press.

Hamrock, B.J., Jacobson, B., and Schmid, S.R.(1999).*Fundamentals of Machine Elements*.Singapore : McGraw-Hill

Harsarapama, Anindio Prabu.*Turbin Mikrohidro Open Flume dengan Hub to Tip rasio 0,4 untuk daerah terpencil*.Jakarta : Universitas Indonesia.

Ho-Yan, Bryan Patrick.2012.*Design of a Low Head Pico Hydro Turbine for Rural Electrification in Cameroon*.University of Guelph.Canada.

Jack.Stolk, Ir.,C.Kros, Ir.1993.*Elemen Mesin (Elemen Konstruksi dari Bangunan Mesin)*.Jakarta : Erlangga.

Khurmi, R.S., Gupta, J.K.(2005).*First Multicolour Edition: A Text Book of Machine Design*.New Delhi: Eurasia Publishing House.

Mattila, Jaakko.2007.*Design of the runner of a Kaplan turbine for small hydroelectric power plants*.Tempere University of Applied Science.Mechanical Engineering Department.Finlandia.

Mulyadi, Musradi.2010.*Mekanika Teknik 2: Elemen Mesin*.Politeknik Negeri Ujung Pandang.Makassar.

PT PLN.(2012).*Statistik PLN 2012*.Jakarta : PT PLN

Round, G. F. (2004). *Incompressible flow turbomachines: Design, selection, applications, and theory*. Amsterdam ; Boston: Elsevier.

Simpson, R., & Williams, A. (2011). *Design of propeller turbines for pico hydro*. University of Nottingham.

Safri.2009.*Perencanaan Runner dan Poros turbin Cross Flow Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang.Malang.

Sasongko, Firman. <http://konversi.wordpress.com/2010/05/01/sekilas-mengenai-pembangkit-listrik-tenaga-air-plta/>. Diunduh tanggal 13 Februari 2014.

Schweigher, F., Gregory, J.1987.*Development in the design of Kaplan turbines, Water Power, & Dam construction.*

Singh,P.,Nestmann,F.2009.Experimental Optimization of a free vortex propeller runner for micro hydro application. *Experimental thermal and fluid science*, 33(6), 991-1002.

Smits, Mattijs.(2008).*Technography of pico-hydropower in the Lao PDR*. Lao Institute for Renewable Energy.Vientiane.

S.R.Gorla,Rama.,A.Khan, Aijaz.2003.*Turbomachinery Design and Theory*.New York : Marcell Dekker.Inc

Sutikno, D. 1997. *Turbin Air Banki*. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.

Wibawa,U. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.

Wright, T. (1999). *Fluid machinery : Performance, analysis, and design*. Boca Raton, Fla. ;London: CRC Press.



LAMPIRAN A

Tabel 2 . Debit dan Putaran yang dihasilkan pada pengujian dalam penelitian ini

$Q \left(\frac{l}{detik} \right)$	Posisi, h (cm)	n (rpm)
7,93	10	530
	20	815
	30	1234
	40	1932
	50	2459
	63	4111

Tabel 3 . Beban nol (Generator yang tidak digulung ulang)

$Q \left(\frac{l}{detik} \right)$	Posisi, h (cm)	n (rpm)		V (volt)
		n_t	n_g	
7,93	10	0	0	0
	20	0	0	0
	30	0	0	0
	40	0	0	0
	50	246	1230	135
	63	369	1845	225

Tabel 4. Berbeban (Generator yang tidak digulung ulang)

Q $(\frac{l}{detik})$	n (rpm)		Beban (watt)	V (volt)	I (Amper)	Daya (Watt)
	n_t	n_g				
7,93	218	1090	15	72	0,03	2,16
	174	870	30	62	0,06	3,72
	108,4	542	45	52	0,09	4,68
	73,6	368	60	40	0,12	4,8

Tabel 5 . Beban nol (Generator Gulung Ulang)

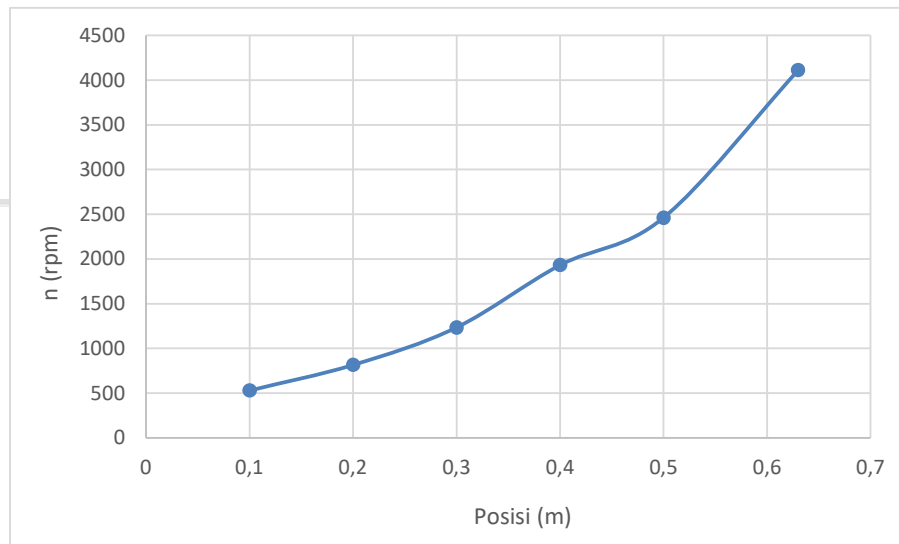
Q $(\frac{l}{detik})$	Posisi, h (cm)	n (rpm)		V (volt)
		n_t	n_g	
7,93	10	0	0	0
	20	0	0	0
	30	240	648	90
	40	434	1171,8	200
	50	761,9	2057,13	400
	63	900	2430	1200

Tabel 6. Berbeban (Generator Gulung Ulang)

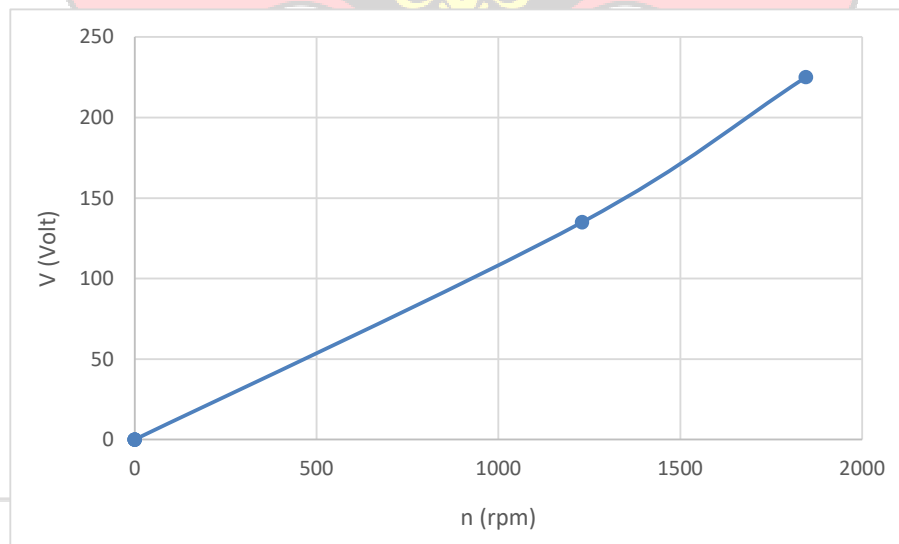
Q ($\frac{l}{detik}$)	n (rpm)		Beban (watt)	V (volt)	I (Amper)	Daya (Watt)
	n _t	n _g	Lampu			
7,93	542	1403,4	8	240	0,03	7,2
	386	1042,2	16	135	0,06	8,1
	284	774,9	24	120	0,01	12



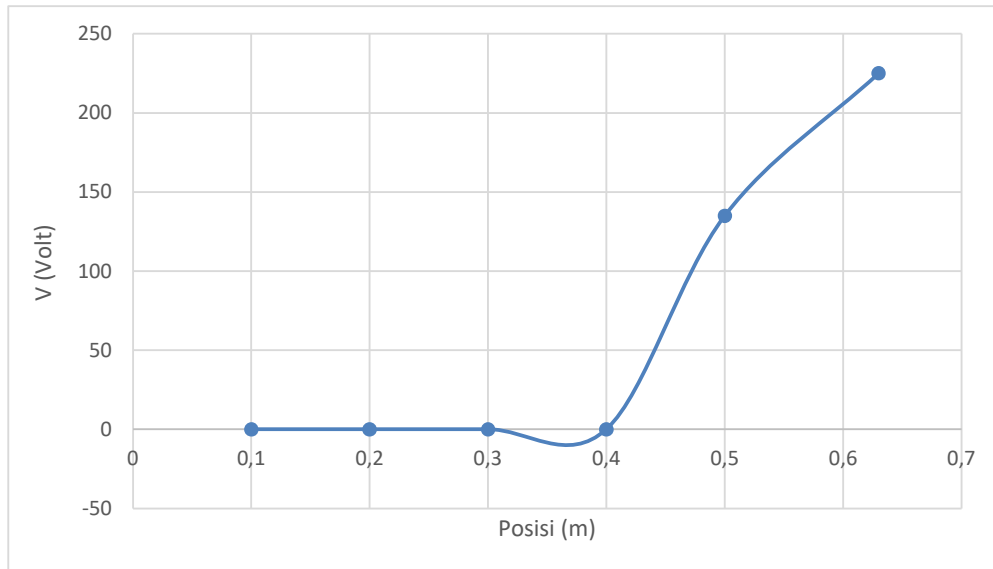
LAMPIRAN B



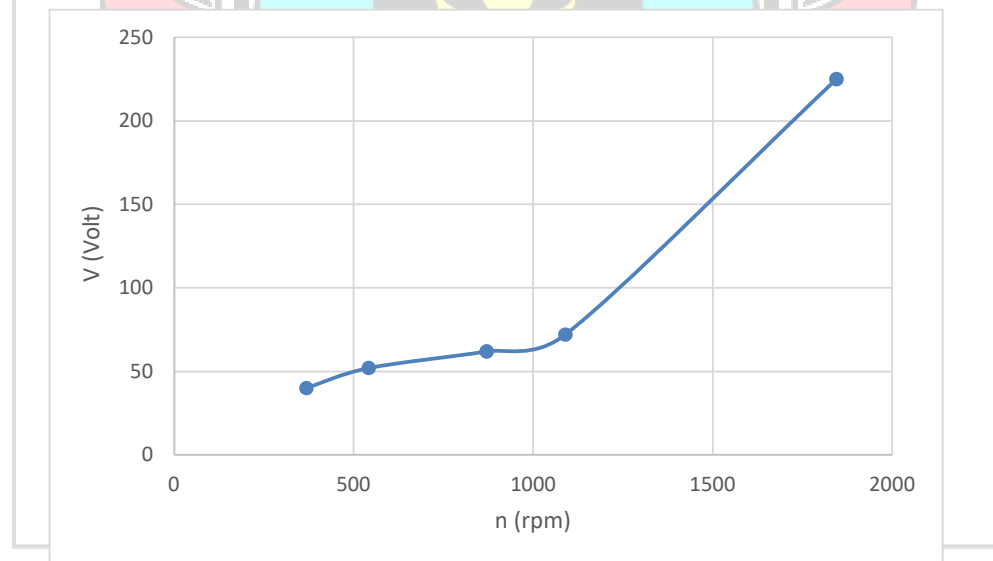
Gambar 22. Grafik hubungan antara Debit (Q) dengan Putaran (n)



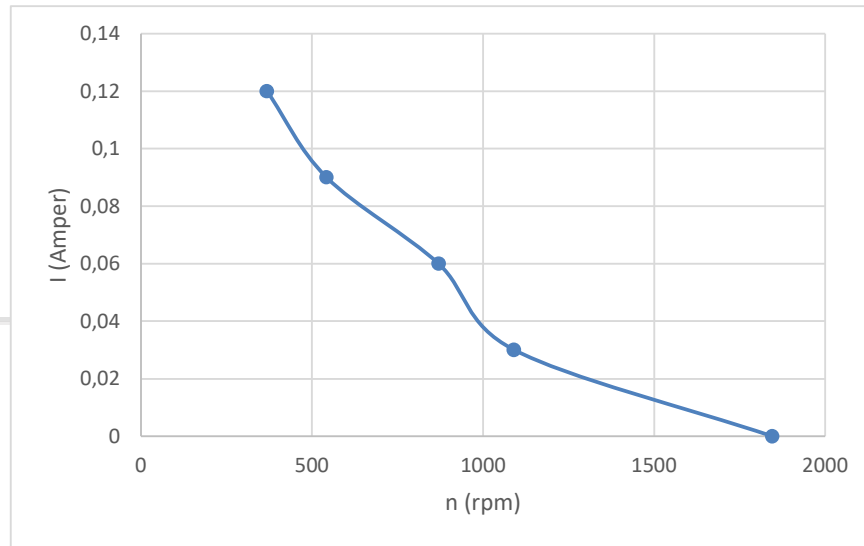
Gambar 23. Grafik hubungan antara Tegangan (V) dengan Putaran (n) tanpa beban generator yang tidak digulung ulang.



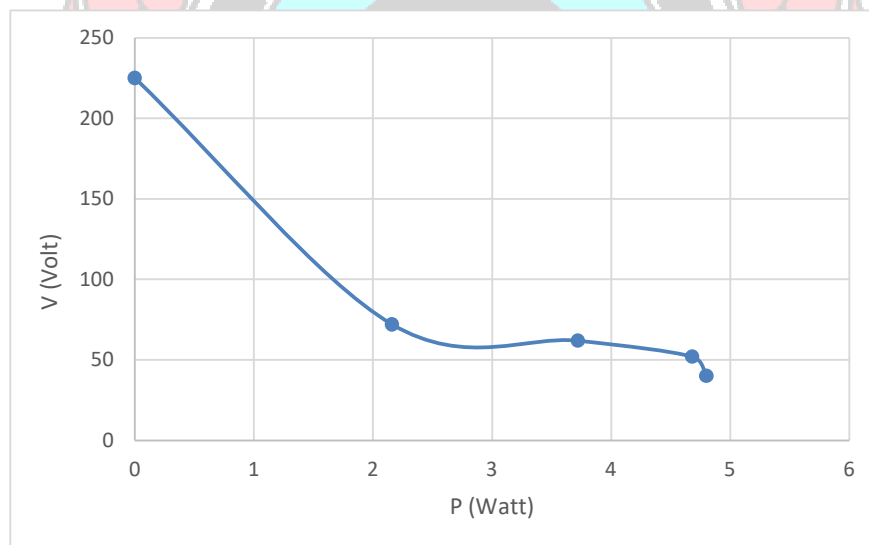
Gambar 24. Grafik hubungan antara Debit (Q) dengan Tegangan (V) tanpa beban generator yang tidak digulung ulang.



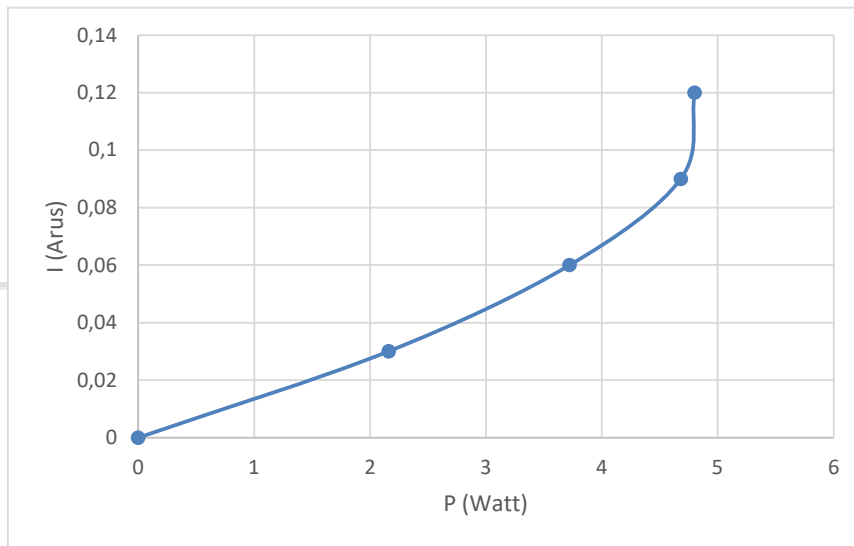
Gambar 25. Grafik hubungan antara Tegangan (V) dengan Putaran (n) berbeban generator yang tidak digulung ulang.



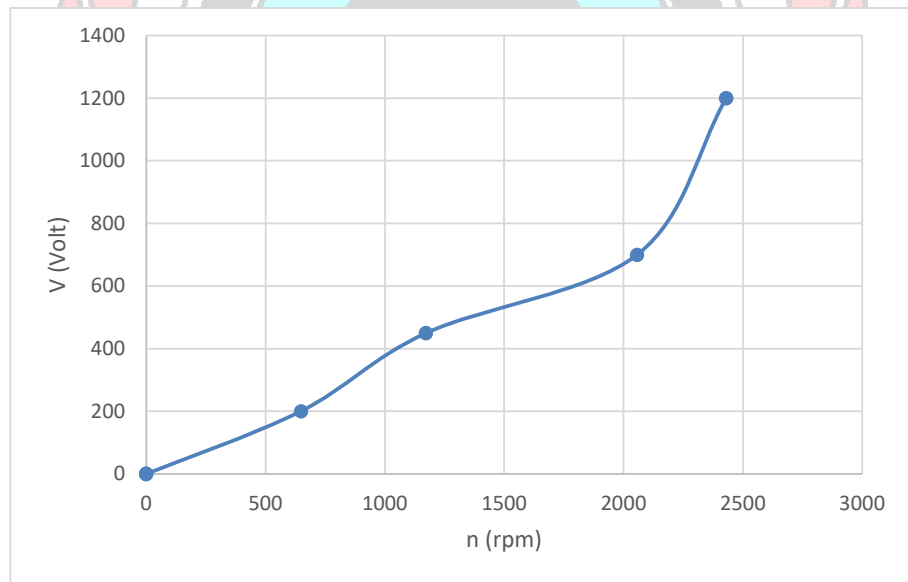
Gambar 26. Grafik hubungan antara Arus (I) dengan Putaran (n) generator yang tidak digulung ulang.



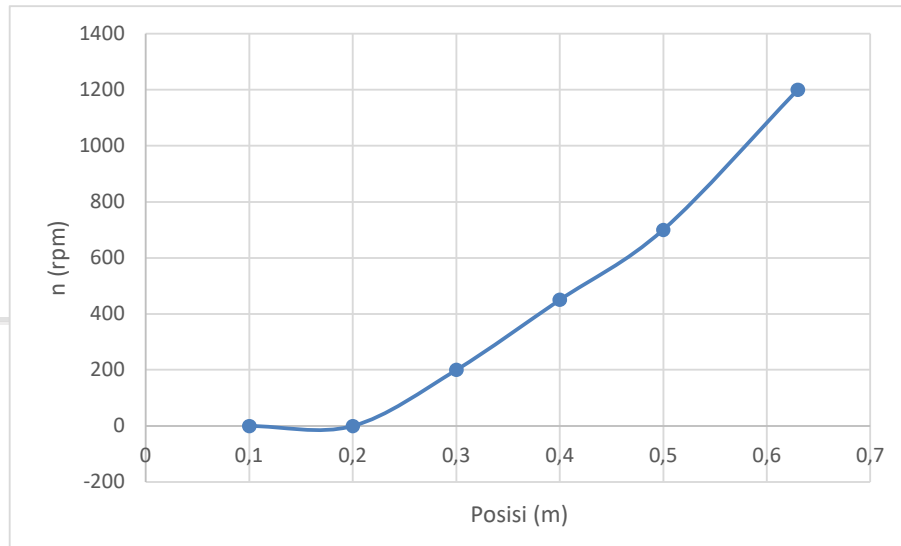
Gambar 27. Grafik hubungan antara Tegangan (V) dengan P (Daya) berbeban generator yang tidak digulung ulang.



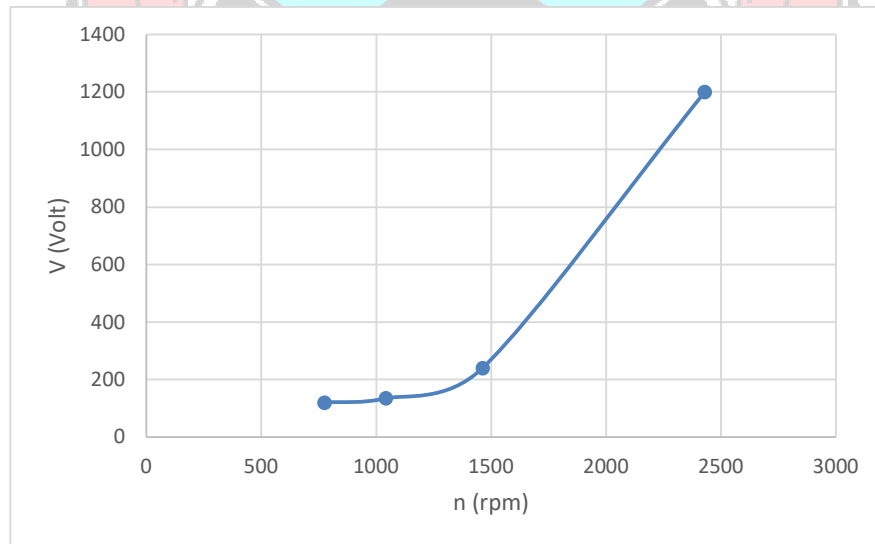
Gambar 28. Grafik hubungan antara Arus (I) dengan Daya (P) generator yang tidak digulung ulang.



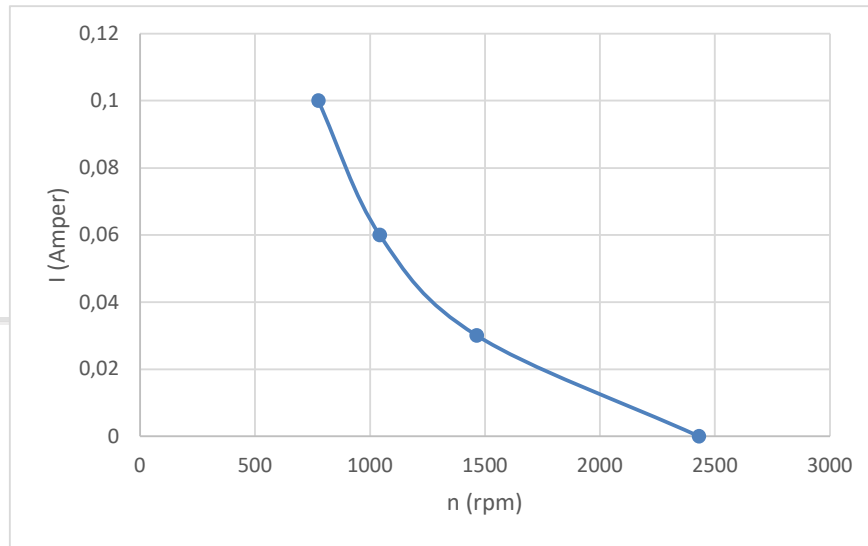
Gambar 29. Grafik hubungan antara Tegangan (V) dengan Putaran (n) tanpa beban generator yang digulung ulang.



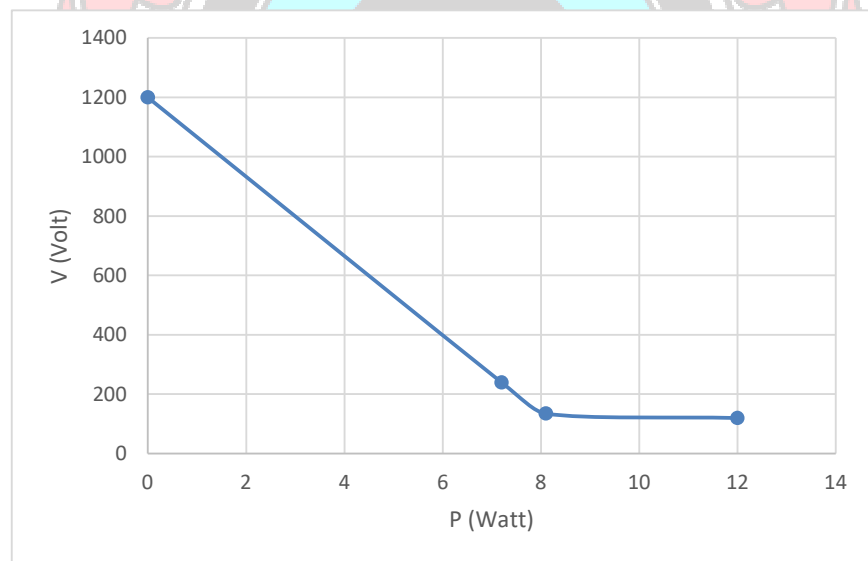
Gambar 30. Grafik hubungan antara Debit (Q) dengan Tegangan (V) tanpa beban generator yang digulung ulang.



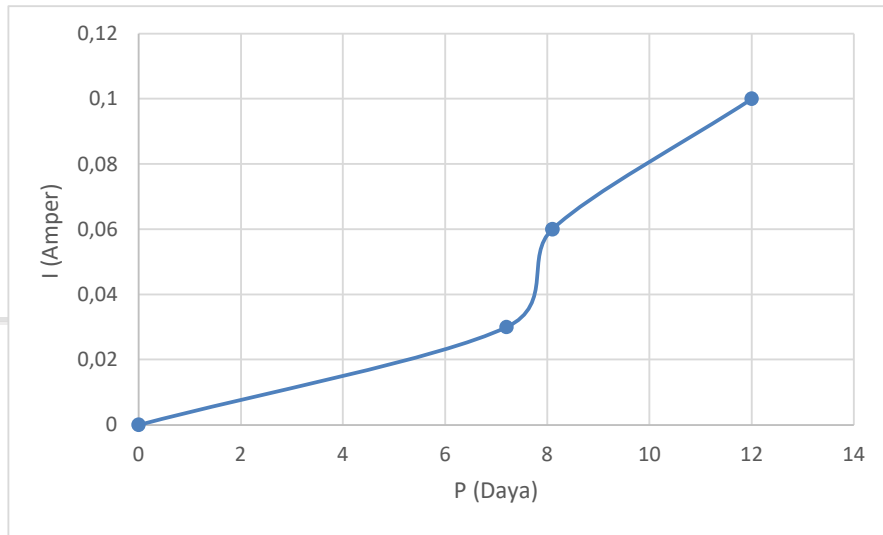
Gambar 31. Grafik hubungan antara Tegangan (V) dengan Putaran (n) berbeban generator yang digulung ulang.



Gambar 32. Grafik hubungan antara Arus (I) dengan Putaran (n) generator yang digulung ulang.



Gambar 33. Grafik hubungan antara Tegangan (V) dengan P (Daya) generator yang digulung ulang.



Gambar 34. Grafik hubungan antara Arus (I) dengan P (Daya) generator yang digulung ulang.



LAMPIRAN C

Tabel 7. Diameter Poros

(Satuan mm)

4	10	*22,4	40	100	*224	400	
		24		(105)	240		
4,5	*11,2	28	45	*112	250	420	
				12	120	260	440
				*31,5	*315	280	450
5	*12,5	30	48	120	300	460	
				*31,5	*315	320	480
*5,6	14	*35,5	56	125	320	500	
				130	340	530	
				35	55	355	560
6	16	38	60	140	360	600	
				150	380		
*6,3	18	38	63	160	380	630	
				170			
				190			
				200			
7	*7,1	38	65	180	380	630	
				220			
				70			
8	*7,1	38	70	71	380	630	
				75			
				80			
9	*7,1	38	80	85	380	630	
				90			
				95			

- Keterangan:*
1. Tanda* menyatakan bahwa bilangan yang bersangkutan dipilih dari bilangan standar.
 2. Bilangan di dalam kurung hanya dipakai untuk bagian dimana akan dipasang bantalan gelinding.

Sumber: Musrady Mulyadi (2010)

LAMPIRAN D

Tabel 8. Panjang Sabuk V Standar

Nomor nominal		Nomor nominal		Nomor nominal		Nomor nominal	
(inch)	(mm)	(inch)	(mm)	(inch)	(mm)	(inch)	(mm)
10	254	45	1143	80	2032	115	2921
11	279	46	1168	81	2057	116	2946
12	305	47	1194	82	2083	117	2972
13	330	48	1219	83	2108	118	2997
14	356	49	1245	84	2134	119	3023
15	381	50	1270	85	2159	120	3048
16	406	51	1295	86	2184	121	3073
17	432	52	1321	87	2210	122	3099
18	457	53	1346	88	2235	123	3124
19	483	54	1372	89	2261	124	3150
20	508	55	1397	90	2286	125	3175
21	533	56	1422	91	2311	126	3200
22	559	57	1448	92	2337	127	3226
23	584	58	1473	93	2362	128	3251
24	610	59	1499	94	2388	129	3277
25	635	60	1524	95	2413	130	3302
26	660	61	1549	96	2438	131	3327
27	686	62	1575	97	2464	132	3353
28	711	63	1600	98	2489	133	3378
29	737	64	1626	99	2515	134	3404
30	762	65	1651	100	2540	135	3429
31	787	66	1676	101	2565	136	3454
32	813	67	1702	102	2591	137	3480
33	838	68	1727	103	2616	138	3505
34	864	69	1753	104	2642	139	3531
35	889	70	1778	105	2667	140	3556
36	914	71	1803	106	2692	141	3581
37	940	72	1829	107	2718	142	3607
39	965	73	1854	108	2743	143	3632
39	991	74	1880	109	2769	144	3658
40	1016	75	1905	110	2794	145	3683
41	1041	76	1930	111	2819	146	3708
42	1067	77	1956	112	2845	147	3734
43	1092	78	1981	113	2870	148	3759
44	1118	79	2007	114	2896	149	3785

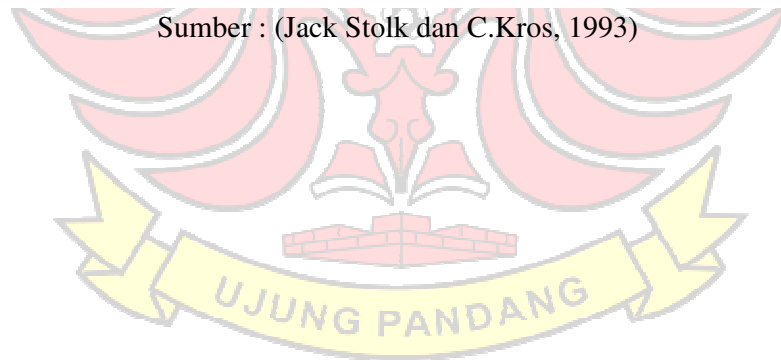
Sumber: (Musrady Mulyadi, 2010)

LAMPIRAN E

Tabel 9. Kekuatan Bahan

Bahan	Modulus Elastisitas E	Modulus Geser G	Resistan Max Rm	Resistan extension Re	Tegangan tarik berulang $\sigma_{t.ul}$	Tegangan tarik berganti $\sigma_{t.gt}$	Tegangan bengkok berulang $\sigma_{b.ul}$	Tegangan bengkok berganti $\sigma_{b.gt}$	Tegangan puntir berulang $\tau_{p.ul}$	Tegangan puntir berganti $\tau_{p.gt}$
St 37	210,000	80,000	370	240	240	175	340	200	170	140
St 42	210,000	80,000	420	260	260	190	360	220	180	150
St 50	210,000	80,000	500	300	300	230	420	260	210	180
St 52	210,000	80,000	520	320	320	240	430	280	220	190
St 60	210,000	80,000	600	340	340	270	470	300	230	210
St 70	210,000	80,000	700	370	370	320	520	340	260	240
50 Cr Mo 4	210,000	80,000		900	860	500	940	540	630	370
20 Mn Cr 5	210,000	80,000		700	700	540	980	600	490	340

Sumber : (Jack Stolk dan C.Kros, 1993)

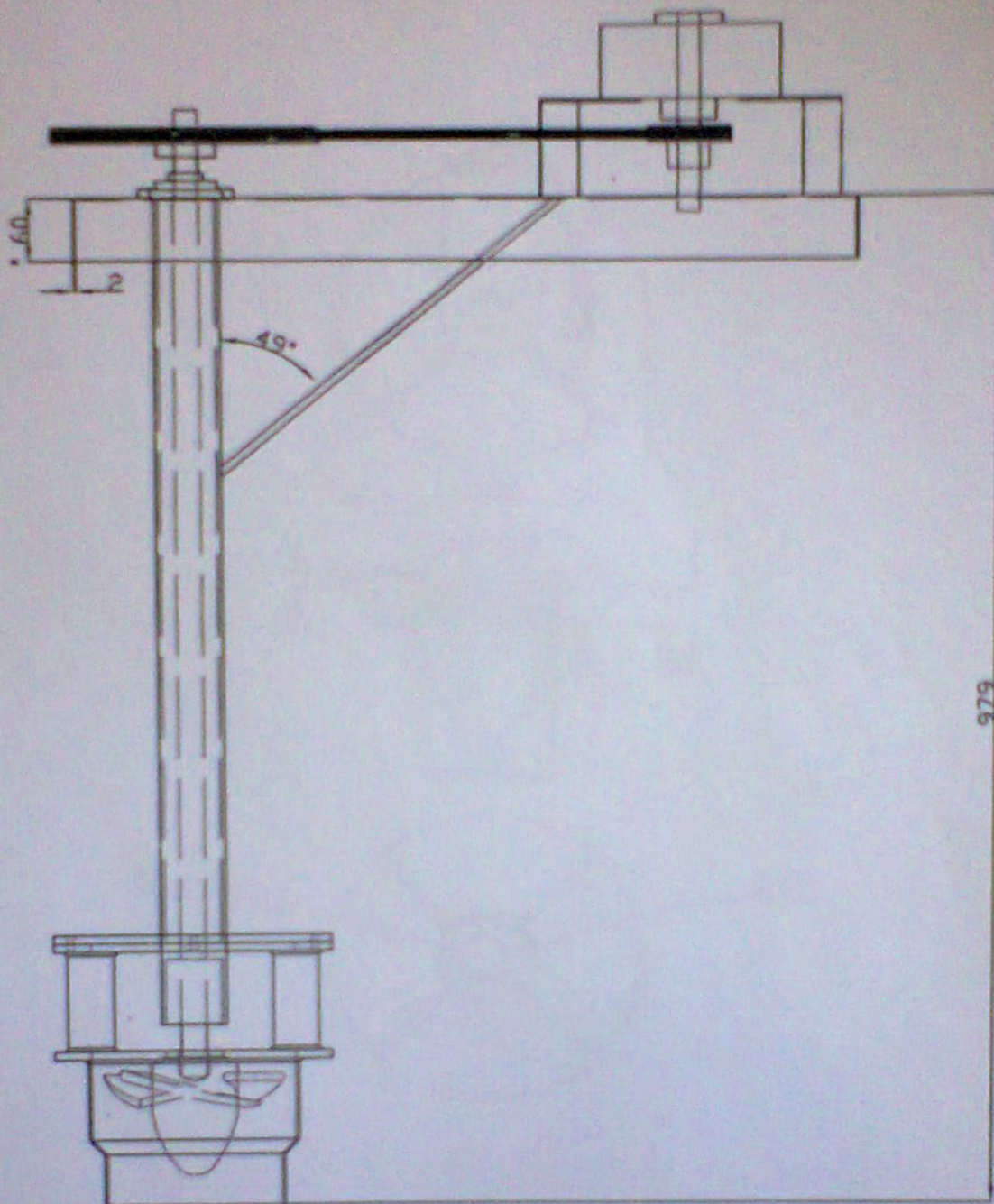


LAMPIRAN F

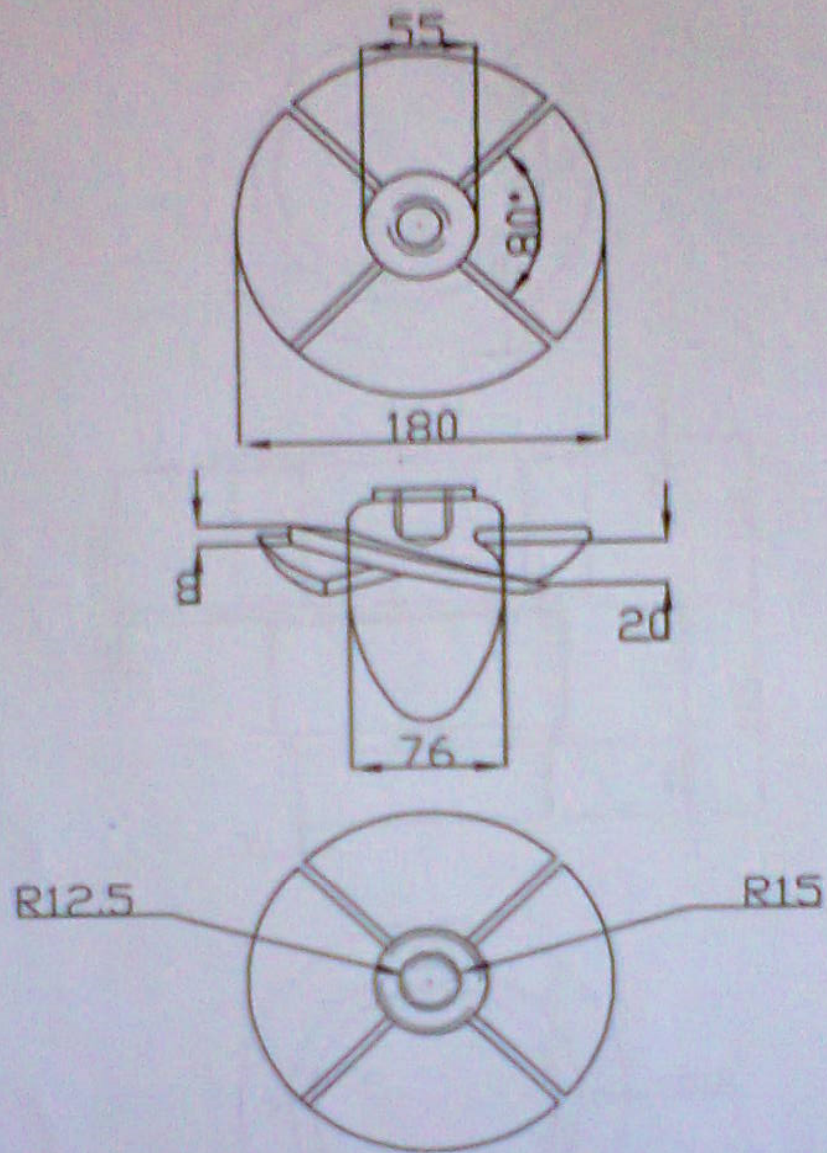
Tabel 10. Ukuran Baut

Penunjukan (1)	Kisar (mm) (2)	Diameter luas d = D (mm) (3)	Diameter rata-rata p (mm) (4)	Diameter terkecil d (mm)		Diameter Uliran (mm) (7)	luas penampang (mm ²) (8)
				Bolt (5)	Nut (6)		
Seri kasar							
M	0	0,400	0,335	0,277	0,292	0,061	0,07
M	0	0,500	0,503	0,422	0,438	0,092	0,16
M	0	0,630	0,670	0,551	0,566	0,123	0,29
M	0	0,800	0,838	0,699	0,722	0,153	0,46
M	0	1,000	1,038	0,899	0,922	0,184	0,73
M	0	1,200	1,237	1,099	1,122	0,215	0,98
M	0	1,400	1,437	1,299	1,322	0,246	1,27
M	0	1,600	1,637	1,499	1,522	0,276	1,70
M	0	1,800	1,837	1,699	1,722	0,307	2,48
M	0	2,000	2,037	1,899	1,922	0,338	3,39
M	0	2,200	2,237	2,099	2,122	0,368	5,08
M	0	2,400	2,437	2,299	2,322	0,400	8,17
M	0	2,600	2,637	2,499	2,522	0,431	11,92
M	0	2,800	2,837	2,699	2,722	0,461	18,25
M	0	3,000	3,037	2,899	2,922	0,491	26,51
M	0	3,200	3,237	3,099	3,122	0,522	38,32
M	0	3,400	3,437	3,299	3,322	0,552	54,17
M	0	3,600	3,637	3,499	3,522	0,582	74,56
M	0	3,800	3,837	3,699	3,722	0,612	100,00
M	0	4,000	4,037	3,899	3,922	0,642	130,00
M	0	4,200	4,237	4,099	4,122	0,672	165,00
M	0	4,400	4,437	4,299	4,322	0,702	205,00
M	0	4,600	4,637	4,499	4,522	0,732	250,00
M	0	4,800	4,837	4,699	4,722	0,762	300,00
M	0	5,000	5,037	4,899	4,922	0,792	355,00
M	0	5,200	5,237	5,099	5,122	0,822	415,00
M	0	5,400	5,437	5,299	5,322	0,852	480,00
M	0	5,600	5,637	5,499	5,522	0,882	550,00
M	0	5,800	5,837	5,699	5,722	0,912	625,00
M	0	6,000	6,037	5,899	5,922	0,942	710,00
M	0	6,200	6,237	6,099	6,122	0,972	805,00
M	0	6,400	6,437	6,299	6,322	1,002	910,00
M	0	6,600	6,637	6,499	6,522	1,032	1025,00
M	0	6,800	6,837	6,699	6,722	1,062	1150,00
M	0	7,000	7,037	6,899	6,922	1,092	1285,00
M	0	7,200	7,237	7,099	7,122	1,122	1430,00
M	0	7,400	7,437	7,299	7,322	1,152	1585,00
M	0	7,600	7,637	7,499	7,522	1,182	1750,00
M	0	7,800	7,837	7,699	7,722	1,212	1925,00
M	0	8,000	8,037	7,899	7,922	1,242	2110,00
M	0	8,200	8,237	8,099	8,122	1,272	2305,00
M	0	8,400	8,437	8,299	8,322	1,302	2510,00
M	0	8,600	8,637	8,499	8,522	1,332	2725,00
M	0	8,800	8,837	8,699	8,722	1,362	2950,00
M	0	9,000	9,037	8,899	8,922	1,392	3185,00
M	0	9,200	9,237	9,099	9,122	1,422	3430,00
M	0	9,400	9,437	9,299	9,322	1,452	3685,00
M	0	9,600	9,637	9,499	9,522	1,482	3950,00
M	0	9,800	9,837	9,699	9,722	1,512	4225,00
M	0	10,000	10,037	9,899	9,922	1,542	4510,00
M	0	10,200	10,237	10,099	10,122	1,572	4805,00
M	0	10,400	10,437	10,299	10,322	1,602	5110,00
M	0	10,600	10,637	10,499	10,522	1,632	5425,00
M	0	10,800	10,837	10,699	10,722	1,662	5750,00
M	0	11,000	11,037	10,899	10,922	1,692	6085,00
M	0	11,200	11,237	11,099	11,122	1,722	6430,00
M	0	11,400	11,437	11,299	11,322	1,752	6785,00
M	0	11,600	11,637	11,499	11,522	1,782	7150,00
M	0	11,800	11,837	11,699	11,722	1,812	7525,00
M	0	12,000	12,037	11,899	11,922	1,842	7910,00
M	0	12,200	12,237	12,099	12,122	1,872	8305,00
M	0	12,400	12,437	12,299	12,322	1,902	8710,00
M	0	12,600	12,637	12,499	12,522	1,932	9125,00
M	0	12,800	12,837	12,699	12,722	1,962	9550,00
M	0	13,000	13,037	12,899	12,922	1,992	10000,00
M	0	13,200	13,237	13,099	13,122	2,022	10465,00
M	0	13,400	13,437	13,299	13,322	2,052	10950,00
M	0	13,600	13,637	13,499	13,522	2,082	11455,00
M	0	13,800	13,837	13,699	13,722	2,112	11980,00
M	0	14,000	14,037	13,899	13,922	2,142	12525,00
M	0	14,200	14,237	14,099	14,122	2,172	13090,00
M	0	14,400	14,437	14,299	14,322	2,202	13675,00
M	0	14,600	14,637	14,499	14,522	2,232	14280,00
M	0	14,800	14,837	14,699	14,722	2,262	14905,00
M	0	15,000	15,037	14,899	14,922	2,292	15550,00
M	0	15,200	15,237	15,099	15,122	2,322	16215,00
M	0	15,400	15,437	15,299	15,322	2,352	16900,00
M	0	15,600	15,637	15,499	15,522	2,382	17605,00
M	0	15,800	15,837	15,699	15,722	2,412	18330,00
M	0	16,000	16,037	15,899	15,922	2,442	19075,00
M	0	16,200	16,237	16,099	16,122	2,472	19840,00
M	0	16,400	16,437	16,299	16,322	2,502	20625,00
M	0	16,600	16,637	16,499	16,522	2,532	21430,00
M	0	16,800	16,837	16,699	16,722	2,562	22255,00
M	0	17,000	17,037	16,899	16,922	2,592	23100,00
M	0	17,200	17,237	17,099	17,122	2,622	23965,00
M	0	17,400	17,437	17,299	17,322	2,652	24850,00
M	0	17,600	17,637	17,499	17,522	2,682	25755,00
M	0	17,800	17,837	17,699	17,722	2,712	26680,00
M	0	18,000	18,037	17,899	17,922	2,742	27625,00
M	0	18,200	18,237	18,099	18,122	2,772	28590,00
M	0	18,400	18,437	18,299	18,322	2,802	29575,00
M	0	18,600	18,637	18,499	18,522	2,832	30580,00
M	0	18,800	18,837	18,699	18,722	2,862	31605,00
M	0	19,000	19,037	18,899	18,922	2,892	32650,00
M	0	19,200	19,237	19,099	19,122	2,922	33715,00
M	0	19,400	19,437	19,299	19,322	2,952	34800,00
M	0	19,600	19,637	19,499	19,522	2,982	35905,00
M	0	19,800	19,837	19,699	19,722	3,012	37030,00
M	0	20,000	20,037	19,899	19,922	3,042	38175,00
M	0	20,200	20,237	20,099	20,122	3,072	39340,00
M	0	20,400	20,437	20,299	20,322	3,102	40525,00
M	0	20,600	20,637	20,499	20,522	3,132	41730,00
M	0	20,800	20,837	20,699	20,722	3,162	42955,00
M	0	21,000	21,037	20,899	20,922	3,192	44200,00
M	0	21,200	21,237	21,099	21,122	3,222	45465,00
M	0	21,400	21,437	21,299	21,322	3,252	46750,00
M	0	21,600	21,637	21,499	21,522	3,282	48055,00
M	0	21,800	21,837	21,699	21,722	3,312	49380,00
M	0	22,000	22,037	21,899	21,922	3,342	50725,00
M	0	22,200	22,237	22,099	22,122	3,372	52090,00
M	0	22,400	22,437	22,299	22,322	3,402	53475,00
M	0	22,600	22,637	22,499	22,522	3,432	54880,00
M	0	22,800	22,837	22,699	22,722	3,462	56305,00
M	0	23,000	23,037	22,899	22,922	3,492	57750,00
M	0	23,200	23,237	23,099	23,122	3,522	59215,00
M	0	23,400	23,437	23,299	23,322	3,552	60700,00
M	0	23,600	23,637	23,499	23,522	3,582	62205,00
M	0	23,800	23,837	23,699	23,722	3,612	63730,00
M	0	24,000	24,037	23,899	23,922	3,642	65275,00
M	0	24,200	24,237	24,099	24,122	3,672	66840,00
M	0	24,400	24,437	24,299	24,322	3,702	68425,00
M	0	24,600	24,637	24,499	24,522	3,732	70030,00
M	0	24,800	24,837	24,699	24,722	3,762	71655,00
M	0	25,000	25,037	24,899	24,922	3,792	73300,00
M	0	25,200	25,237	25,099	25,122	3,822	74965,00
M	0	25,400	25,437	25,299	25,322	3,852	76650,00
M	0	25,600	25,637	25,499	25,522	3,882	78355,00
M	0	25,800	25,837	25,699	25,722	3,912	80080,00
M	0	26,000	26,037	25,899	25,922	3,942	81825,00
M	0	26,200	26,237	26,099	26,122	3,972	83590,00
M	0	26,400	26,437	26,299	26,322	4,002	85375,00
M	0	26,600	26,637	2			

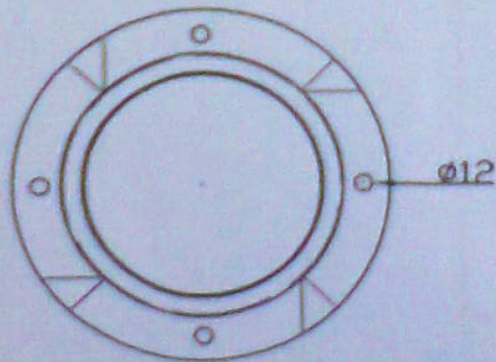
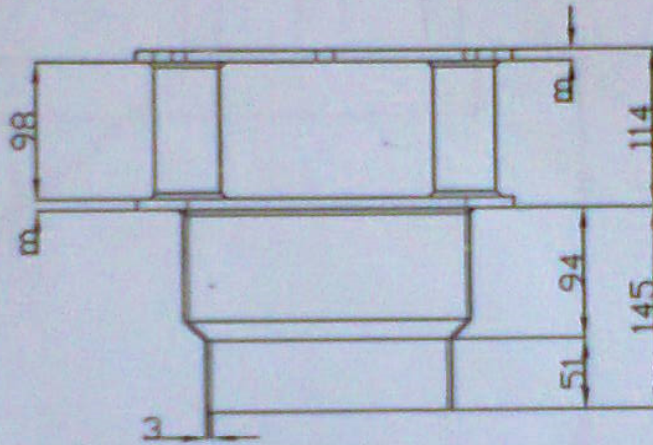
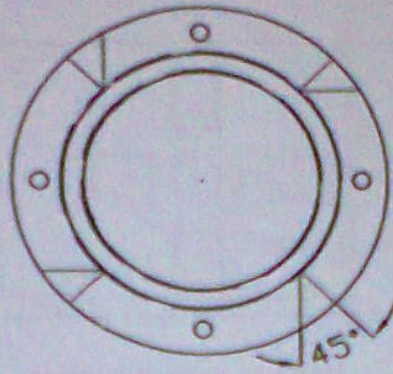




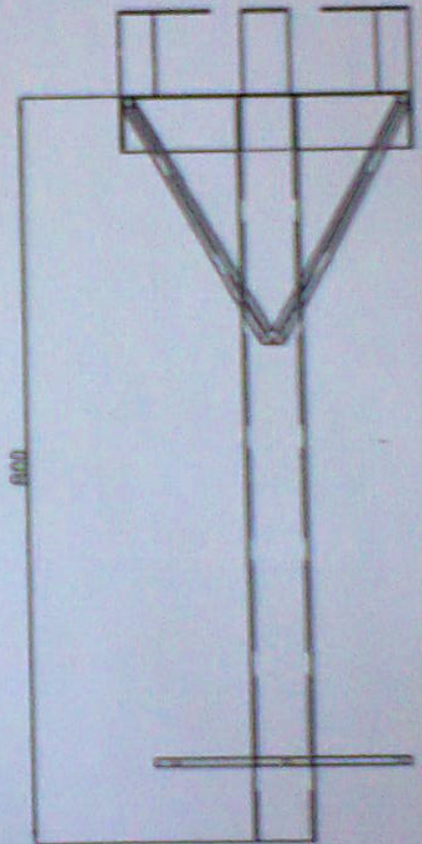
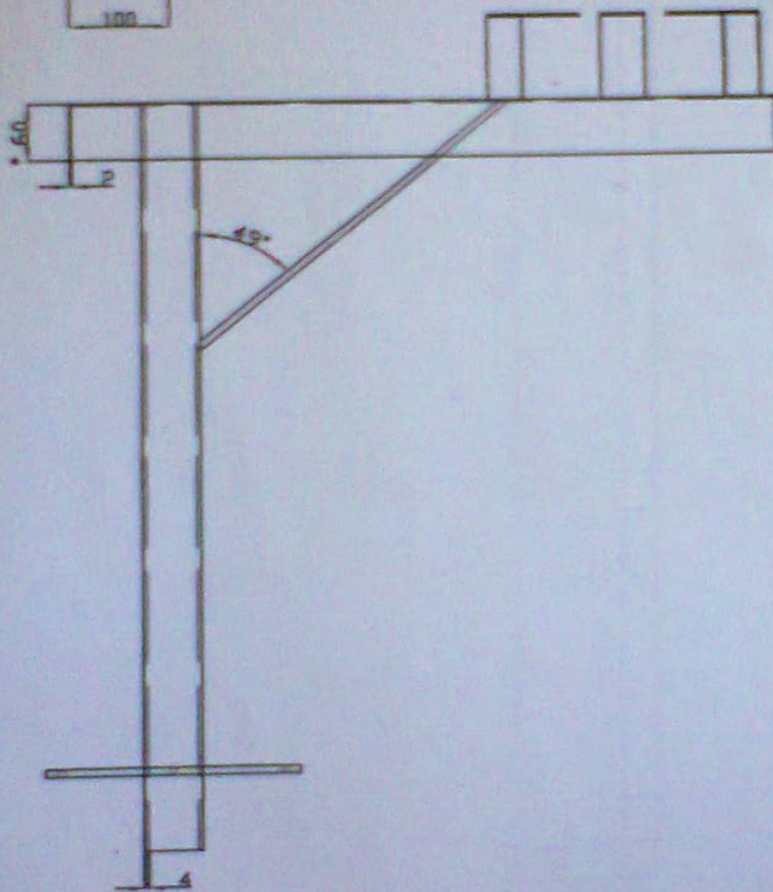
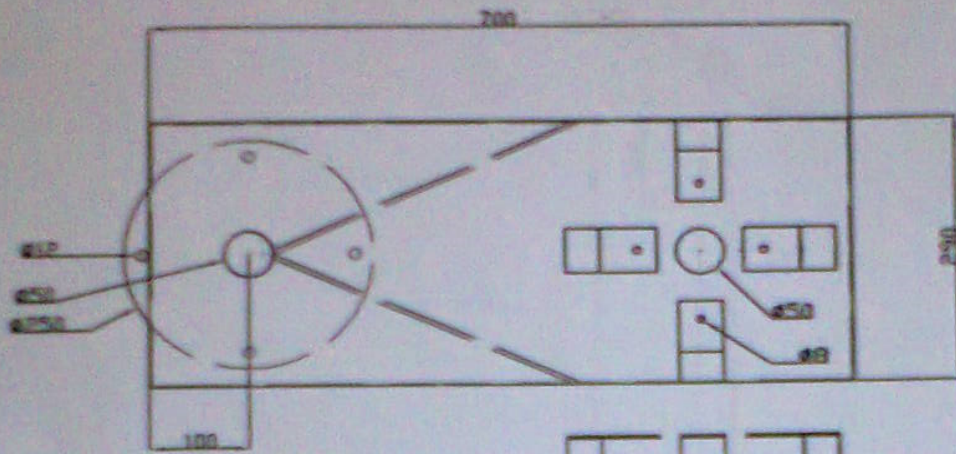
III	II	I	PERUBAHAN : ACC/REVISI/ULANG	Proyeksi	
			DESAIN PICOHYDRO	SKALA 1 : 100	Digambar
			TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG	No. Gambar : 01	



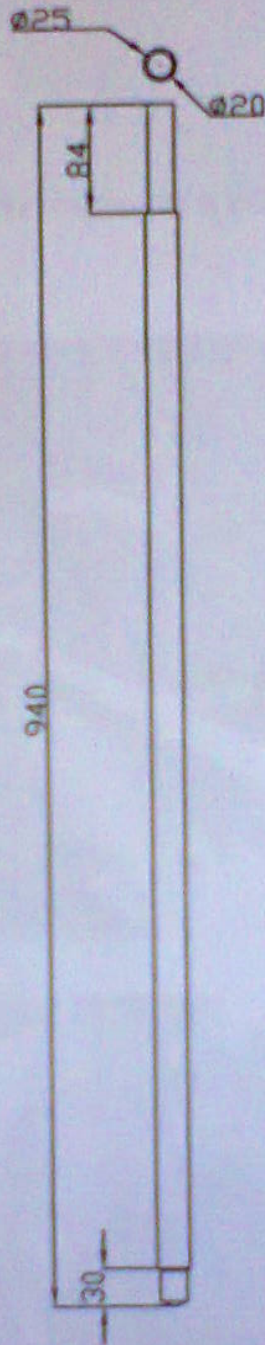
III	II	I	PERUBAHAN : ACC/REVISI/ULANG	Proyeksi	
			TURBIN	SKALA 1 : 100	Digambar NAMA PUTRA 142 10 020 20/10/2014
			TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG	No. Gambar :	02



III	II	I	PERUBAHAN : ACC/REVISI/ULANG	Proyeksi	
			RUMAH TURBIN	SKALA 1 : 100	Digambar WANA PUTRA (140210010)
			TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG	No. Gambar : 03	10/10/2014



III	II	I	PERUBAHAN : ACC/REVISI/ULANG	Proyeksi	
			DUDUKAN GENERATOR	SKALA 1 : 100	Digambar
			TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI	No. Gambar :	



III	II	I	PERUBAHAN :	ACC/REVISI/ULANG	Proyeksi			
			POROS			SKALA 1 : 100	Digambar	YANA PUTRA (1942 10 022)
			TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG			No. Gambar : 05		

LAMPIRAN H

FOTO-FOTO KEGIATAN



