

**RANCANG BANGUN GENERATOR SEBAGAI SUMBER ENERGI
LISTRIK NANO HIDRO**

(SKRIPSI)

Oleh

Abdan Sakura



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

ABSTRAK

Rancang Bangun Generator Sebagai Sumber Energi Listrik Nanohidro

Oleh

Abdan Sakura

Abstrak. Telah direalisasikan generator sebagai sumber energi listrik nanohidro dengan menggunakan magnet permanen 6 pasang kutub dan kumparan tembaga untuk 6 pasang lilitan alat yang dibuat dapat menghasilkan listrik tenaga nanohidro pada bendungan aliran air terjun Batu Putu dengan beban 210 watt. Alat yang dirancang mampu bekerja konstan selama turbin berputar. Desain dirancang dengan pembuatan rangkaian rotor dan stator yang dipasangkan pada penggerak mula motor induksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan air dihasilkan tegangan dan arus yang semakin besar. Pengujian alat dilakukan dengan multimeter dan tachometer pengujian alat pertama dilakukan dalam 1 hari selama 5 jam menghasilkan lampu tetap menyala diperoleh data tegangan rata - rata sebesar 128,92V dan arus tidak berubah yaitu 1,69 A.

Kata Kunci: *Generator AC, nanohidro, turbin.*

ABSTRACT

Generator Design Of Nanohydro Electrical Energy

By

Abdan Sakura

Abstract. Generator has been realized as a source of electricity energy nanohydro using 6 pairs of poles of permanent magnets and copper coils to 6 pairs of windings tool created to generate power nanohydro dam waterfall flows to the load 210 watt. Batu Putu designed tool able to work constantly for rotating turbines. Design to manufacture rotor and stator circuits mounted on prime mover induction motor. The test results showed that the greater the speed of the voltage and current produced water increases. Testing is done with a multimeter instrument and tachometer first appliance testing done in 1 day 5 hours produces the light on the data obtained average voltage - current average of 128,92V and was unchanged at 1.69 A.

Keyword: Generator AC, nanohydro, turbin.

**RANCANG BANGUN GENERATOR SEBAGAI SUMBER ENERGI
LISTRIK NANO HIDRO**

Oleh

ABDAN SAKURA

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar
SARJANA SAINS**

Pada

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2017**

Judul : RANCANG BANGUN GENERATOR SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK NANO HIDRO

Nama Mahasiswa : Abdan Sakura

Nomor Pokok Mahasiswa : 1117041001

Jurusan : Fisika

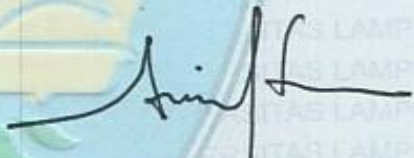
KBK : Fisika Instrumentasi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

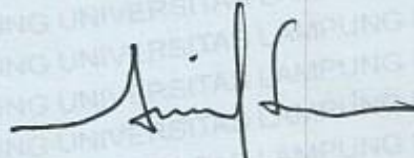
MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing


Drs. Amir Supriyanto, M.Si.
NIP. 19650407 199111 1 001


Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

2. Ketua Jurusan Fisika

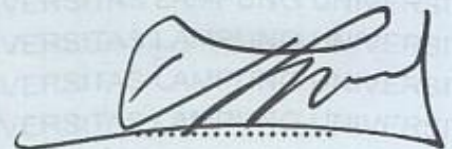

Arif Surtano, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim penguji

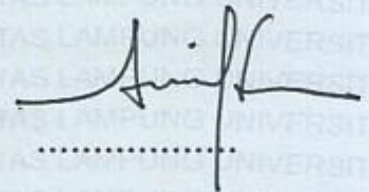
Ketua

: **Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



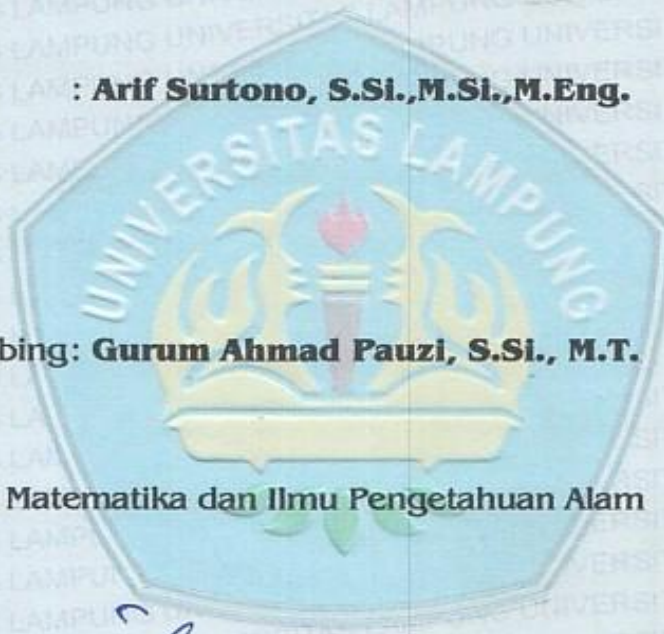
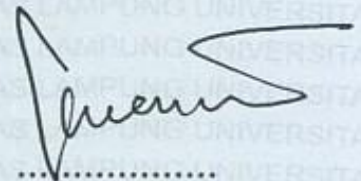
Sekretaris

: **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.**



Penguji

Bukan pembimbing: **Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A.

NIP. 19710212 1995 12 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **14 Juli 2017**

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung,



Abdan Sakura
NPM. 1117041001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Desa Sulusuban Kec. Seputih Agung Kab. Lampung Tengah pada tanggal 22 November 1993, anak pertama dari 4 bersaudara pasangan Bapak Sukitok dan Ibu Pariyem. Penulis menyelesaikan pendidikan di SDN 3 Sulusuban tahun 2005, SMP Bina Putra tahun 2008 dan SMA N 01 Seputih Agung tahun 2011.

Pada tahun 2011 penulis masuk dan terdaftar sebagai mahasiswa di Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif dalam berbagai organisasi kampus antara lain sebagai Garuda BEM FMIPA Unila pada tahun 2012/2013, Anggota Bidang Kajian ROIS FMIPA Unila tahun 2012/2013, Anggota Bidang Kaderisasi HIMAFI FMIPA Unila tahun 2012/2013, Wakil Bidang SAINTEK HIMAFI FMIPA Unila pada tahun 2013/2014.

Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Teluk Betung dan melaksanakan Kerja Kuliah Nyata (KKN) di Desa Panca Mulia Kec.Banjar Baru. Tulang Bawang . Penulis juga aktif sebagai asisten praktikum dalam berbagai mata kuliah Instrumentasi.

MOTTO

Bermimpilah dan hidupilah bersamanya

“The future belongs to those who believe in the beauty of their dreams.”

(~ Eleanor Roosevelt)

Life is not about who you once were. It is about who you are right now and the person you have potential to become.

Percayalah semua yang kita dapatkan berawal dari diri kita sendiri dan orang-orang tersayang adalah motivasi, bekerja keraslah tanpa pernah menyerah untuk sebuah kesuksesan yang dicitakan, dan jangan lupa berdoa kepada Allah S.W.T.

**Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT,
Aku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang
ku cintai dan ku sayangi karena Allah SWT**

Kedua Orang Tua dan Keluarga

*Terima kasih atas segala Do'a dan pengorbanan yang telah diberikan
hingga aku mampu menyelesaikan pendidikan S1.*

Bapak-Ibu guru serta Bapak-Ibu dosen

*Terima kasih atas bekal ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah
membuka hati dan wawasan ku*

Para sahabat dan teman-teman seperjuangan

Terima kasih atas kebaikan kalian dan kebersamaan yang kita lalui

dan

Almamaterku tercinta
Universitas Lampung

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrahmaanirrahim,

Segala puji hanya bagi Allah SWT berkat rahmat dan hidayah - Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Generator Sebagai Sumber Energi Listrik Nanohidro” sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) di bidang keahlian Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Skripsi ini dilaksanakan dari bulan April 2016 sampai dengan April 2017 bertempat di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Penekanan skripsi ini adalah dihasilkannya sebuah alat yang mampu menghasilkan daya listrik dari magnet permanen dan turbin *crossflow* sebagai sumber energi listrik yang dapat dimanfaatkan.

Penulis menyadari dalam penulisan dan penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan untuk menuju suatu yang lebih baik. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan bagi kita semua.

Bandar Lampung,

Penulis

SANWACANA

Alhamdulillah, penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat dorongan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. selaku Pembimbing I dan Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Arif Surtono, S.S.i., M.Si., M.eng. selaku Pembimbing II dan Ketua Jurusan Fisika yang senantiasa memberikan masukan-masukan serta nasehat untuk menyelesaikan skripsi.
3. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Penguji yang telah mengoreksi kekurangan, memberikan kritik dan saran selama penulisan skripsi.
4. Bapak Prof. Dr. Warsito, S.Si., D.E.A. selaku Dekan FMIPA Universitas Lampung.
5. Kedua orang tuaku, bapak dan ibu yang selalu memberikan motivasi dan do'a.
6. Para dosen serta karyawan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Orang-orang terdekat saat pengambilan data: Kak Rohman, Kak Didik ,Kak Jon Kak Akhfi, Koh Aceng, Sami, Giri, Maksum, Randha, Ikbil, terimakasih atas do'a, motivasi dan bantuan dalam penyelesaian skripsi.

8. Terimakasih untuk Jovizal Aristian , Fahad, Ade, Sami dan Vaolina Sari yang telah banyak berperan membantu kelancaran dan kesuksesan penulis.
9. Teman-teman seperjuangan Fisika 2011 Terimakasih untuk kalian semua semoga kita tetap solid dan sukses.
10. Teman-teman Kakak-kakak tingkat, serta adik-adik tingkat yang telah membantu dan memberikan semangat dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
11. Terimakasih juga untuk brother Hendro jebay, Juplek, Nainggolan, Gana, Koh aceng, Lek Choi yang telah menemani masa-masa kuliah terimakasih atas bantuan dan kebersamaan dalam penyelesaian tugas akhir.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menyelesaikan tugas akhir.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan atas segala usaha yang telah dilakukan oleh berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dan bermanfaat.

Bandar Lampung,
Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
HALAMAN JUDUL	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN	v
PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN	ix
KATA PENGANTAR	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xix
 I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	5
E. Batasan Masalah	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait.....	6
B. Tinjauan Umum PLTNH.....	8
C. Klasifikasi Dari Pembangkit Listrik Tenaga Air.....	9
D. Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Nanohidro (PLTNH).....	11
E. Kriteria Kelayakan (PLTNH)	12
1. Bangunan Sipil.....	12
2. Mekanikal	16
3. Elektikal	17
F. Sejarah Turbin	18
G. Klasifikasi Turbin Air.....	19
1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk <i>Runner</i>	20
2. Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya.....	20
H. Kriteria Pemilihan Jenis Turbin.....	25
I. Parameter Perancangan Turbin.....	28
J. Generator	31
K. Jenis – Jenis Generator	38
1. Generator AC (<i>Alternator</i>)	38
2. Generator DC.....	42
L. Komponen Generator.....	43
1. Stator.....	43
2. Rotor	44
M. Prinsip Kerja Generator	45

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian	47
B. Alat dan Bahan	47
C. Diagram Blok Rancangan Penelitian.....	48
1. Perancangan Turbin	48
2. Proses Pembuatan Turbin <i>Crossflow</i> Hasil Rancangan.....	53
3. Pembuatan Turbin.....	54
4. Pengamatan dan Pengajuan Teknis	54
D. Prosedur Kerja	56
1. Perancangan dan Analisis Generator	56
2. Perancangan Bangunan Sipil	59

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian.....	63
1. Analisis Perancangan Mekanik	64

2. Analisis Perancangan Bangunan Sipil	67
3. Analisis Penstock Dan Pondasi Penstock.....	68
4. Analisi Penentuan Jenis Turbin	70
1. Generator AC.....	71
2. Diameter Ujung Pipa	72
3. Pengujian Alat	73
B. Pengambilan Data.....	76
C. Analisis Data	77

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	80
B. Saran	81

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema prinsip kerja PLTMH	11
Gambar 2.2. Bendung	13
Gambar 2.3. Bangunan penyadap air (<i>intake</i>).....	13
Gambar 2.4. Saluran Pembawa	14
Gambar 2.5. Penyaring.....	15
Gambar 2.6. Pipa pesat (<i>Penstock</i>)	16
Gambar 2.7. Roda air kuno	18
Gambar 2.8. Turbin propeller.....	21
Gambar 2.9. Turbin prancis	23
Gambar 2.10. Turbin Pelton.....	23
Gambar 2.11. Turbin crossflow	24
Gambar 2.12. Timbulnya GGL akibat perubahan medan magnet.....	32
Gambar 2.13 Menentukan fluks pada loop kawat berbentuk bujur sangkar dengan luas A	34
Gambar 2.14. Batang penghantar	35

Gambar 2.15. GGL induksi pada potongan ab dan cd di mana komponen-komponen kecepataannya yang tegak lurus terhadap medan B adalah $v \sin \theta$	36
Gambar 2.16. Generator (a) tampak luar (b) tampak dalam.....	38
Gambar 2.17. Generator AC	39
Gambar 2.18. Inti stator dan alur pada stator	40
Gambar 2.19. Rotor.....	41
Gambar 2.20. Konstruksi generator arus searah	43
Gambar 2.21. Pembangkitan tegangan induksi.....	45
Gambar 2.22. Tegangan rotor yang dihasilkan melalui cincin seret dan komutator	46
Gambar 3.1 Rancangan turbin.....	51
Gambar 3.2. Sudu turbin	52
Gambar 3.3. As turbin.....	52
Gambar 3.4 a. Dinding samping b. Posisi semburan air dan putaran turbin....	53
Gambar 3.5. Skema rangkaian lilitan kumparan.....	57
Gambar 3.6. Desain rancangan generator.....	58
Gambar 3.7. Rancang bangun bendungan sambungan pipa paralon.....	59
Gambar 3.8. Grafik hubungan antara rpm terhadap tegangan.....	61
Gambar 3.9. Grafik hubungan antara rpm terhadap arus.....	62
Gambar 3.10. (a) Bentuk stator dan rotor (b) Alat keseluruhan (c) Rotor (d) Pengukuran volt dan arus.....	64
Gambar 4.2. Skema rangkaian sistem rotor.....	65
Gambar 4.3. Rangkaian rotor.....	66
Gambar 4.4. Bahan Stator.....	67
Gambar 4.5 Bendungan Batu Putu.....	68

Gambar 4.6 Penstock dan pondasi penstock.....	69
Gambar 4.7 Turbin <i>crossflow</i>	70
Gambar. 4.8. Diameter ujung pipa.....	73
Gambar 4.9 (a) Multimeter digital (b) Tachometer.....	75
Gambar 4.10. Sistem pengukuran karakteristik alat	73
Gambar 4.11. Sistem pengukuran kecepatan putar turbin.....	76
Gambar 4.12. Grafik Tegangan dan Kecepatan Kincir.....	78
Gambar 4.13. Hubungan Arus dengan Kecepatan Kincir.....	78
Gambar 4.14 Uji coba indikator lampu.....	79

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Kecepatan spesifik untuk jenis turbin	27
Tabel 2.2. Persamaan headloss nanoohidro	30
Tabel 3.1. Pehitungan waktu pengukuran	49
Tabel 3.2. Data pengujian keluaran yang dihasilkan generator	61
Tabel 4.1. Tabel uji alat pada hari pertama,14 Agustus 2016.....	76
Tabel 4.2. Tabel uji alat pada hari kedua , 15 Agustus 2016	77
Tabel 4.3. Tabel uji alat pada hari ketiga, 16 Agustus 2016.....	77

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik di Indonesia masih belum mencukupi. Menurut Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) Perusahaan Listrik Negara (PLN) tahun 2010-2019 menyebutkan, kebutuhan tenaga listrik diperkirakan mencapai 55.000 MW dan dari total daya tersebut, hanya sebanyak 32.000 MW (57 persen) yang akan dibangun oleh PLN. Kondisi tersebut menunjukkan pasokan energi listrik yang disediakan pemerintah melalui PLN masih belum mencukupi kebutuhan masyarakat. Kebutuhan energi listrik di Propinsi Lampung sebagian besar masih mengandalkan pasokan dari Sumatera Selatan yang sebagian besar sektor pembangkit listriknya menggunakan bahan bakar fosil. Berdasarkan data Dinas Pertambangan dan Energi (Distamben) kebutuhan listrik di Lampung khususnya di daerah pedesaan yang totalnya dari 4355 desa terdapat 681 desa yang belum dialiri listrik. Artinya sebanyak 20% desa belum menikmati penerangan listrik, baru 80% desa teraliri listrik (Radar Lampung, 2013). Hal ini menandakan bahwa kebutuhan listrik merupakan kebutuhan yang sangat diperlukan dan saat ini menjadi kebutuhan pokok bagi manusia yang terus bertambah setiap tahunnya, akan tetapi secara umum belum diimbangi dengan ketersediaan listrik yang cukup untuk skala nasional dan skala lokal

khususnya di daerah Lampung untuk menambah pasokan listrik guna untuk memenuhi kebutuhan di berbagai bidang dan aspek kehidupan.

Krisis energi dan masalah lingkungan yang terjadi membuat manusia berusaha mencari sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan dan memberikan dampak minimal terhadap lingkungan yang ditimbulkan akibat dari pembakaran bahan bakar fosil yang menimbulkan polusi gas rumah kaca (terutama CO₂) Energi listrik dari sumber terbarukan merupakan energi alternatif yang perlu dikembangkan. Berbagai usaha telah dilakukan oleh pemerintah agar penggunaan energi listrik mulai bergeser kepada sumber yang terbarukan, seperti bioethanol sebagai pengganti bensin, biodiesel sebagai pengganti solar energi angin, energi air, energi matahari, mikrohidro. Untuk memperoleh energi tersebut harus mengeluarkan biaya yang besar dan menggunakan teknologi yang canggih. Tenaga nuklir sebagai *alternative diversifikasi* sumber energi listrik hingga saat ini masih dibayangi masalah bahaya pencemaran *radioaktif* dan penanganan limbah yang rumit serta mahal sehingga mengakibatkan sebagian masyarakat tidak menghendaki karena tingkat resiko yang relatif sangat tinggi (Timotius,dkk 2009).

Salah satu sumber energi terbarukan yang sangat berpotensi di Lampung adalah pemanfaatan energi air yang merupakan wilayah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air. Teknologi nanohidro adalah teknologi berskala kecil yang dapat diterapkan pada sumber daya air untuk mengubah potensi tenaga air yang ada menjadi daya listrik yang bermanfaat untuk menunjang kegiatan sosial ekonomi masyarakat di pedesaan.

Pengembangan nanohidro dipandang sebagai pilihan yang tepat untuk penyediaan energi listrik untuk daerah terpencil dengan jumlah penduduk yang sedikit dan sulit dijangkau jaringan listrik dari PLN.

Membangkitkan listrik dari energi alternatif yang ada biasanya tetap menggunakan generator untuk proses pembangkitan listrik. dari permasalahan tersebut dapat dirumuskan bagaimana membuat model pembangkit listrik yang *prime mover* atau energi potensialnya mudah ditemukan di alam. Model generator magnet permanen yang dibutuhkan adalah yang mempunyai kehandalan dan efisiensi yang baik pada putaran rendah, sehingga bisa digunakan untuk memanfaatkan energi potensial kecil yang ada di alam seperti merancang generator magnet permanen sederhana sebagai alat pembangkitan energi listrik, diharapkan dapat menjadi salah satu dari alternatif teknologi dan solusi krisis energi listrik pada kehidupan masyarakat.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka akan dilakukan penelitian untuk “Rancang Bangun Generator Sebagai Sumber Energi Listrik Nanohidro” menggunakan tenaga air yang bersumber dari penampung air yang kemudian dialirkan melalui saluran pipa tipe PVC dan selanjutnya dimanfaatkan untuk menggerakkan generator. Pada pelaksanaanya penelitian ini akan memanfaatkan aliran air terjun Batu Putu, Kecamatan Teluk Betung Utara, Kota Bandar Lampung.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah perancangan generator sebagai pembangkit listrik nanohidro adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara mendesain generator yang dapat menghasilkan energi listrik ?
2. Bagaimana melakukan pengujian untuk mengetahui tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator ?
3. Bagaimana cara mendesain kincir agar dapat menghasilkan energi gerak pada generator ?
4. Bagaimana mengaplikasikan generator sebagai energi listrik nanohidro?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian adalah sebagai berikut.

1. Generator yang digunakan terdiri dari magnet permanen 6 pasang kutub dan kumparan tembaga untuk 6 pasang lilitan.
2. Energi yang digunakan untuk menggerakkan generator berasal dari aliran sungai.
3. Rancangan dimensi turbin yang akan dirancang berdasarkan debit aliran air sungai dan ketinggian jatuh air (head).
4. Analisis mencakup hanya pada keluaran generator.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan generator yang dapat menghasilkan energi listrik.
2. Mengetahui daya listrik yang dapat dibangkitkan dari potensi aliran air terjun Batu Putu.
3. Memanfaatkan energi gerak pada aliran sungai sehingga dapat menggerakkan kincir pada generator.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah sebagai berikut.

1. Menyediakan energi listrik skala rumah tangga yang bersumber dari generator sebagai pembangkit energi listrik nanohidro.
2. Tersedianya energi listrik yang murah karena memanfaatkan tenaga air sebagai penggeraknya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terkait

Penelitian tentang nanohidro telah banyak dilakukan, seperti penelitian tentang Realisasi dan Analisis Sumber Energi Baru Terbarukan Nanohidro Dari Aliran Air Berdebit Kecil yang dilakukan oleh Warsito dkk, Perancangan dan pembuatan alat generator sebagai pembangkit listrik dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar Jurusan FMIPA Fisika Universitas Lampung. Alat yang dibuat pada penelitian sistem nanohidro diputar oleh mini turbin tipe Francis. Generator yang digunakan merupakan generator magnet permanen 3 pasang kutub yang mempunyai kecepatan putar optimal 2400 rpm (*rotation per minute* atau putaran per menit) dengan tegangan keluaran 12/15 V dan kapasitas daya 6 W. Keluaran dari generator alat tersebut berupa tegangan arus bolak balik. Tegangan yang keluar dari generator yang sudah disearahkan oleh dioda diukur menggunakan multimeter digital dan kecepatannya diukur menggunakan *tachometer*. Rotor generator yang diputar tersebut menghasilkan tegangan yang bervariasi sebagai fungsi kecepatan putar yang juga berubah-ubah. Untuk mendapatkan nilai kuat arus dari keluaran generator alat tersebut memerlukan beban (R) yang telah diketahui nilainya, sehingga diperoleh daya yang dapat dihasilkan oleh generator (Warsito, dkk 2010).

Penelitian yang dilakukan (Hartono, dkk 2014). Tentang Prototype Generator Magnet Permanen Menggunakan Stator Ganda. Sebuah generator magnet permanen telah dibuat dengan menggunakan kumparan stator ganda. Penggunaan kumparan stator ganda dimaksudkan untuk meningkatkan energi listrik yang dihasilkan. Generator yang dibuat merupakan generator satu fasa dengan memanfaatkan empat buah magnet permanen. Magnet permanen yang digunakan adalah magnet silinder yang masing-masing memiliki diameter dan panjang 2,5 cm. Kekuatan medan magnet dari setiap magnet permanen sebesar 4000 Gauss. Kumparan dibuat menggunakan kawat email berdiameter 0,12 mm sebanyak 1200 lilitan. Generator diuji pada variasi putaran rotor 300, 600, 900 dan 1200 rpm. Pengujian generator dilakukan pada dua keadaan, yaitu keadaan tanpa beban dan keadaan terbebani menggunakan variabel resistor. Hasil pengujian pada keadaan tanpa beban menunjukkan adanya peningkatan tegangan keluaran generator pada kondisi stator ganda rata-rata sebesar 83,95%. Pengujian dengan pembebanan juga menunjukkan adanya peningkatan daya keluaran generator untuk kondisi stator ganda rata-rata sebesar 62,65%.

Penelitian yang dilakukan di Laboratorium Instrumentasi Jurusan Fisika Universitas Lampung oleh Wahyudi (2009). Tentang Desain dan Aplikasi Turbin Air Tipe Francis Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Nanohidro yang merancang dan merealisasikan turbin air tipe francis dengan diameter 30 cm dan jumlah sudu 12 buah. Turbin ini dirancang untuk dapat memutar dinamo AC 12 V 1 fasa dengan jumlah kutub 3, sehingga dihasilkan energi listrik sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Nanohidro pada penelitian ini

memanfaatkan aliran air sungai kecil di desa Kertasana kecamatan Kedondong, dengan volume maksimum air yang dapat ditampung pada bendungan adalah $0,74 \text{ m}^3$ secara teoritis dapat menghasilkan daya 13,05 watt, putaran turbin maksimal yang dihasilkan menggunakan tachometer 165,7 rpm dengan perbandingan antara turbin dan generator adalah 1 : 12 yang menghasilkan daya 1,71 watt.

B. Tinjauan Umum PLTNH

PLTNH adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran sungai langsung untuk dikonversi menjadi daya listrik. Dalam prakteknya istilah ini tidak merupakan sesuatu yang baku namun Nanohidro, pasti menggunakan air sebagai sumber energinya. Pembangkit Listrik Tenaga Nano Hidro (PLTNH) mempunyai suatu kelebihan dalam hal biaya operasi yang rendah jika dibandingkan dengan Pembangkit Listrik seperti Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan Pembangkit Listrik lainnya karena Nano Hidro memanfaatkan energi sumber daya alam yang dapat diperbarui, yaitu sumber daya air. Dengan ukurannya yang kecil penerapan Nanohidro relatif mudah dan tidak merusak lingkungan. Rentang penggunaannya cukup luas, terutama untuk menggerakkan peralatan atau mesin-mesin yang tidak memerlukan persyaratan stabilitas tegangan yang akurat (Endardjo, et, all 1998). PLTNH adalah termasuk dalam kategori PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), karena prinsip kerja dan cara pembuatan PLTNH tersebut sama dengan PLTA umumnya. PLTNH juga dapat dikatakan sebagai PLTA berkapasitas kecil. Akhir - akhir ini di dunia

termasuk negara-negara maju, banyak terdapat pembangunan PLTA berkapasitas kecil. Pembagian PLTA dengan kapasitas kecil pada umumnya adalah sebagai berikut.

1. PLTA Nano < 100 kW;
2. PLTA Mini 100 - 999 kW;
3. PLTA Kecil 1000 - 10000 kW.

Salah satu sebab bagi negara-negara maju membangun PLTA berkapasitas kecil ini adalah dikarenakan harga minyak OPEC yang terus meningkat, dan disamping bertambahnya kebutuhan listrik di negara-negara maju tersebut (Patty, 1995).

C. Klasifikasi Dari Pembangkit Listrik Tenaga Air

Klasifikasi dari pembangkit listrik tenaga air perlu ditentukan terlebih dulu untuk mengetahui karakteristik tipe pembangkit listrik, mengklasifikasikan sistem pembangkit listrik perlu dilakukan terkait dengan sistem distribusi energi listrik. Klasifikasi pembangkit listrik dapat ditentukan dari delapan faktor sebagai berikut.

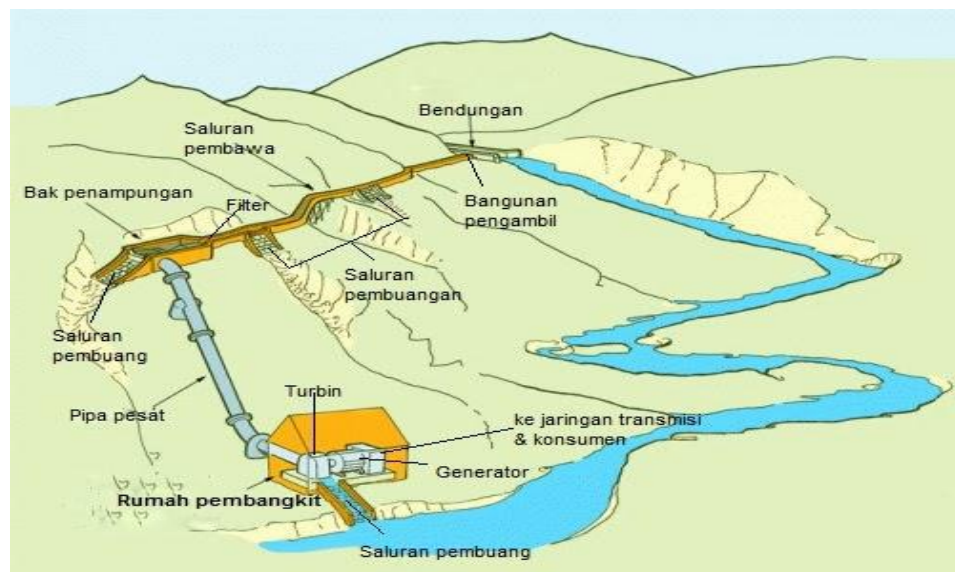
1. Berdasarkan tinggi jatuh (*head*).
 - a) Rendah (< 50 m);
 - b) Menengah (antara 50 m dan 250 m);
 - c) Tinggi (> 250 m).
2. Berdasarkan tipe eksploitasi.
 - a) Dengan regulasi aliran air (tipe waduk);
 - b) Tanpa regulasi aliran air (tipe *run off river*).

3. Berdasarkan sistem pembawa air.
 - a) Sistem bertekanan (pipa tekan);
 - b) Sirkuit campuran (pipa tekan dan saluran).
4. Berdasarkan penempatan rumah pembangkit.
 - a) Rumah pembangkit pada bendungan;
 - b) Rumah pembangkit pada skema pengalihan.
5. Berdasarkan metode konversi energi.
 - a) Pemakaian turbin;
 - b) Pemompaan dan pemakaian turbin terbalik.
6. Berdasarkan tipe turbin.
 - a) Impulse;
 - b) Reaksi;
 - c) Reversible.
7. Berdasarkan kapasitas terpasang.
 - a) Nano (< 100 kW);
 - b) Mini (antara 100 kW dan 500 Kw);
 - c) Kecil (antara 500 kW dan 10 MW).
8. Berdasarkan debit desain tiap turbin.
 - a) Nano ($Q < 250$ liter/dt);
 - b) Mini ($250 \text{ liter/dt} < Q < 8000 \text{ liter/dt}$);
 - c) Kecil ($Q > 8000 \text{ liter/dt}$).

(Penche, 1998).

D. Prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Nano Hidro (PLTNH)

Secara teknis PLTNH memiliki tiga komponen utama yaitu air (Hidro), turbin, dan generator. Prinsip kerja dari PLTNH sendiri pada dasarnya sama dengan PLTA hanya saja PLTNH kapasitasnya tidak begitu besar. PLTNH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian atau sudut kemiringan dan jumlah debit air per detik yang ada pada saluran irigasi, sungai, serta air terjun. Aliran air akan memutar turbin sehingga akan menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik turbin akan memutar generator dan generator menghasilkan listrik. Skema prinsip kerja PLTNH dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.1. Skema prinsip kerja PLTNH (Ezkhelenergy, 2013).

Untuk lebih detailnya, prinsip kerja dari PLTNH adalah sebagai berikut.

1. Aliran sungai dibendung agar mendapatkan debit air (Q) dan tinggi jatuh Air (H), kemudian air yang dihasilkan disalurkan melalui saluran penghantar air menuju kolam penenang.

2. Kolam penenang dihubungkan dengan pipa pesat, dan pada bagian palingbawah di pasang turbin air.
3. Turbin air akan berputar setelah mendapat tekanan air (P), dan perputaranturbin dimanfaatkan untuk memutar generator.
4. Setelah mendapat putaran yang konstan maka generator akan menghasilkan tegangan listrik, yang dikirim ke konsumen melalui saluran kabel distribusi.

(Ezkhelenergy, 2013).

E. Kriteria Kelayakan PLTNH

Untuk mengadakan pembangunan PLTNH, sebelumnya harus diketahui dahulu kriteria kelayakannya. Kriteria-kriteria kelayakan PLTNH dapat ditentukan dengan langkah awal yaitu.

1. Bangunan Sipil

Fasilitas untuk bangunan sipil PLTNH terdiri dari delapan elemen utama. Delapan elemen tersebut adalah sebagai berikut.

a. Bendung (*weir*).

Bendung berfungsi untuk menaikkan/mengontrol tinggi air dalam sungai secara signifikan sehingga memiliki jumlah air yang cukup untuk dialihkan ke dalam *intake* pembangkit nanohidro.



Gambar 2.2. Bendung (*weir*) (Laymand, 1998).

b. Bangunan penyadap air (*intake*).

Tujuan dari bangunan penyadap air (*intake*) adalah untuk memisahkan air dari sungai atau kolam untuk dialirkan ke dalam saluran pembawa, *penstock*, serta ke bak penampungan.



Gambar 2.3. Bangunan penyadap air (*intake*) (Laymand, 1998).

c. Saluran pembawa (*head Race*).

Saluran pembawa (*head race*) mengikuti kontur permukaan bukit untuk menjaga energi dari aliran air yang disalurkan.



Gambar 2.4. Saluran Pembawa (Laymand, 1998).

d. Penyaring (*trashrack*) dan Bak penenang (*forebay*).

Trashrack digunakan untuk menyaring muatan sampah dan sedimen yang masuk, umumnya penyaring direncanakan dengan menggunakan jeruji besi. Sedangkan fungsi dari bak penenang adalah sebagai penyaring terakhir seperti *settling basin* untuk menyaring benda-benda yang masih tersisa dalam aliran air, dan merupakan tempat permulaan pipa pesat (*penstock*) yang mengendalikan aliran menjadi minimum sebagai antisipasi aliran yang cepat pada turbin tanpa menurunkan elevasi muka air yang berlebihan dan menyebabkan arus baik pada saluran.



Gambar 2.5. Penyaring (*trashrack*) dan Bak penenang (*forebay*) (Laymand, 1998).

e. Pipa pesat (*pen stock*).

Pipa pesat (*penstock*) berfungsi untuk menyalurkan dan mengarahkan air ke cerobong turbin. Diameter ekonomis pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan (Penche, 1998) :

$$D_p = 2,69 \left(\frac{n^2 Q^2 L_p}{H} \right)^{0,1875} \dots\dots\dots (3)$$

dengan:

D_p = diameter pipa *penstock*(m);

n = koefisien kekasaran material, untuk bahan PVC $n = 0,009$;

Q = kapasitas aliran(m/s);

L_p = panjang pipa pesat (m);

H = tinggi jatuh air (m);

pK_s = jarak sumber air ke turbin (m).



Gambar 2.6. Pipa pesat (*pen stock*) (Laymand, 1998).

2. Mekanikal

Untuk komponen-komponen mekanikalnya yang utama pada perencanaan pembangunan PLTNH ini terdiri dari dua komponen utama sebagai berikut.

a. Turbin.

Pesawat yang digunakan untuk mengkonversi energi potensial menjadi mekanik berupa putaran pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Nano Hidro (PLTNH) disebut turbin. Putaran poros turbin ini ditransmisikan ke generator untuk membangkitkan listrik.

b. Sistem Transmisi.

Sistem Transmisi yang digunakan adalah menggunakan sabuk dan puli. Sistem transmisi berfungsi untuk menaikkan putaran dari putaran turbin ke putaran generator. Bagian sistem transmisi terdiri dari lima sistem sebagai berikut.

- 1) Puli adalah roda berbentuk lingkaran yang digunakan untuk menempatkan sabuk. Puli sebanyak 2 buah yaitu puli penggerak di turbin dan puli yang digerakkan di generator.
- 2) Poros transmisi digunakan untuk menopang puli di antara bantalan.
- 3) Sabuk (*belt*) berfungsi sebagai pemindah daya dari turbin ke generator.
- 4) Bantalan pada sistem transmisi digunakan sebagai tempat berputarnya poros puli.
- 5) Kopling berfungsi untuk menghubungkan daya dari poros turbin ke puli penggerak dan dari poros puli ke poros generator yang digerakkan. Kopling juga digunakan untuk memisahkan turbin dan generator dari sistem transmisi apabila akan dilakukan perbaikan.

3. Elektrikal

Komponen yang utama dari elektrikal adalah generator dan panel Kontrol. Secara rinci komponen elektrikal untuk sebuah PLTNH sebagai berikut.

a. Generator.

Generator adalah alat pengubah tenaga mekanik yang berupa putaran yang dihasilkan turbin menjadi energi listrik.

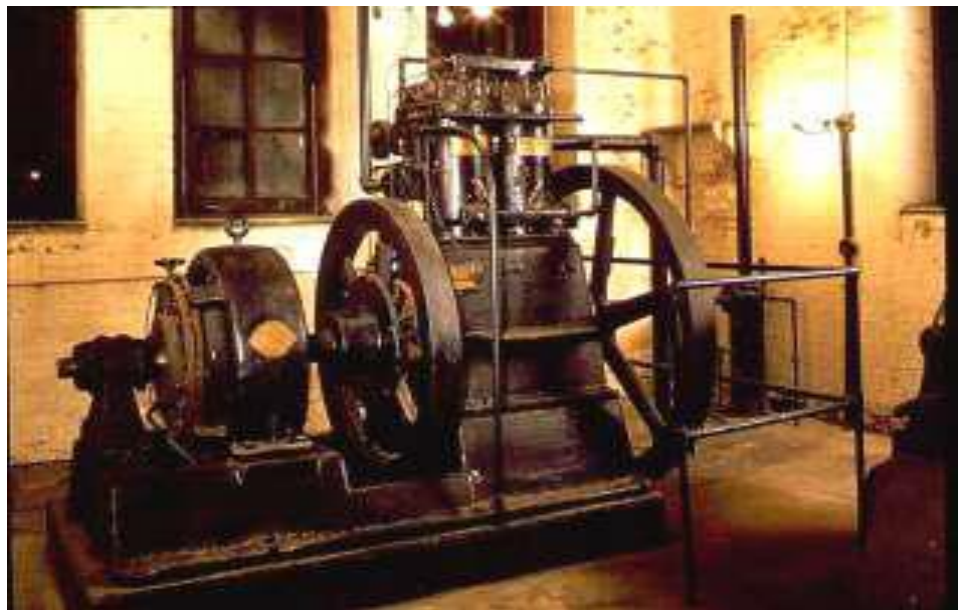
b. Panel Kontrol.

Panel Kontrol merupakan tempat peralatan untuk mengontrol dan

memonitor listrik yang dibangkitkan untuk memenuhi standard kualitas listrik yang berlaku.

F. Sejarah Turbin Air

Orang Cina dan Mesir kuno sudah menggunakan turbin air sebagai tenaga penggerak. Pada gambar 2.7 adalah contoh turbin air paling kuno, biasa dinamai roda air. Roda air dengan poros horizontal dipasang pada aliran sungai, sebagian dari roda air dimasukan ke aliran sungai, sehingga *bucket-bucket* terisi air dan terdorong.



Gambar 2.7. Roda air kuno (Young, 2001).

Jan Andrej Segner mengembangkan turbin air reaksi pada pertengahan tahun 1700. Turbin ini mempunyai sumbu horizontal dan merupakan awal mula dari turbin air modern. Turbin ini merupakan mesin yang sederhana yang masih diproduksi saat ini untuk pembangkit tenaga listrik skala kecil.

Segner bekerja dengan Euler dalam membuat teori matematis awal untuk desain turbin (Young, 2001).

G. Klasifikasi Turbin Air

Turbin merupakan bagian penting dari sistem Nanohidro yang menerima energi potensial dari air dan mengubahnya menjadi energi putaran (mekanik). Kemudian energi mekanik ini akan memutar sumbu turbin pada generator. Terdapat tiga jenis turbin menurut teknologinya adalah sebagai berikut:

1. turbin tradisional, biasanya terbuat dari bambu atau kayu;
2. turbin modern, biasanya digunakan pada proyek - proyek PLTNH berdana besar. Turbin jenis ini yang paling banyak digunakan adalah turbin jenis *Kaplan*, *Francis*, *Crossflow*, dan *Pelton*;
3. turbin modifikasi, dibuat dengan memodifikasi jenis turbin yang telah ada.

Dengan kemajuan ilmu Mekanika Fluida dan Hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbulah perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (head) dan debit air yang tersedia, maka masalah turbin air menjadi masalah yang menarik dan menjadi objek penelitian untuk mencari sistem, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum. Turbin air berdasarkan klasifikasinya, dibagi menjadi 2 yaitu Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner* dan Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya.

1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*

Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe sebagai berikut.

a. Turbin Aliran Tangensial.

Pada kelompok turbin ini posisi air masuk *runner* dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan *runner* berputar, contohnya *Turbin Pelton* dan *Turbin Crossflow*.

b. Turbin aliran aksial.

Pada turbin ini air masuk *runner* dan keluar *runner* sejajar dengan poros *runner*, *Turbin Kaplan* atau *Propeller* adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini.

c. Turbin Aliran Aksial – Radial.

Pada turbin ini air masuk ke dalam *runner* secara radial dan keluar *runner* secara aksial sejajar dengan poros. *Turbin Francis* adalah termasuk dari jenis turbin ini.

2. Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya

Dalam perubahan momentum fluida kerjanya turbin air dapat dibagi atas dua tipe yaitu:

a. Turbin Impuls.

Semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi menjadi energi kinetik sebelum air masuk/ menyentuh sudu-sudu *runner* oleh alat pengubah yang disebut nozel. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain : *Turbin Pelton* dan *Turbin Crossflow*.

b. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetik pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran *runner* disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi diantaranya: *Turbin Francis*, *Turbin Kaplan* dan *Turbin Propeller* (Haimerl, L.A., 1960).

1. Turbin Kaplan dan propeller.

Turbin Kaplan merupakan jenis turbin air baling-baling yang telah disesuaikan dan dikembangkan pada tahun 1913 oleh profesor Austria Viktor Kaplan. Turbin ini mempunyai bentuk seperti baling-baling kapal dan sering disebut sebagai turbin propeller. Turbin tipe ini biasanya mempunyai 3 hingga 6 sudu dan digunakan pada aliran air yang konstan. Kelemahan turbin propeller ini dibandingkan dengan turbin Kaplan adalah sudu turbin tidak dapat diubah-ubah untuk menyesuaikan dengan kondisi arus atau debit air.



Gambar 2.8. Turbin propeller (Sasongko dkk, 2005).

2. Turbin Francis.

Turbin Francis merupakan jenis turbin air yang dikembangkan oleh James B. Francis. Turbin Francis merupakan turbin air yang paling umum digunakan saat ini. Turbin ini beroperasi dalam kisaran *head* sepuluh meter hingga beberapa ratus meter. Energi tinggi jatuh dimanfaatkan untuk memutar turbin dengan menggunakan pipa yang memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja dengan maksimal. Sisi bagian luar terdapat tekanan rendah (kurang dari 1 atm) dan kecepatan aliran air yang tinggi. Di dalam pipa kecepatan aliran akan berkurang dan tekanannya akan kembali naik, sehingga air akan dialirkan keluar lewat saluran air bawah dengan tekanan seperti tekanan keadaan semula. Jalannya kecepatan dan tekanan air ketika melewati dan berproses di dalam turbin. Fungsi pipa pada turbin ini mirip dengan sudu hantar yang terdapat pada pompa sentrifugal, yaitu sama-sama mengubah energi kecepatan menjadi energi tekanan. Pada dasarnya turbin Francis adalah turbin yang dikelilingi dengan sudu pengarah semuanya terbenam di dalam air. Air yang masuk ke dalam turbin bisa dialirkan melalui pengisian air dari atas atau melalui suatu rumah yang berbentuk spiral. Daya yang dihasilkan turbin bisa diatur dengan cara mengubah posisi pembukaan sudu pengarah dengan demikian kapasitas air yang masuk ke dalam roda turbin bisa diperbesar atau diperkecil (Sasongko dkk, 2005).



Gambar 2.9. Turbin Francis (Sasongko dkk, 2005).

3. Turbin Pelton

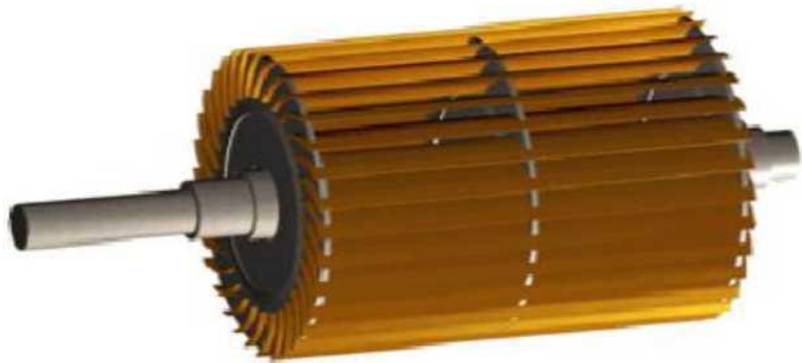


Gambar 2.10. Turbin Pelton (Energybeta, 2009).

Turbin Pelton mempunyai bentuk sudu mangkok yang disusun sedemikian rupa, yaitu bentuk sudu silinder seperti bola yang dibelah dua. Pembuatan turbin Pelton untuk sistem pembangkit listrik tenaga nanohidro (PLTNH) dengan bentuk sudu silinder tertutup dibelah dua mempunyai tujuan untuk meningkatkan efisiensi dan daya yang dihasilkan turbin serta generator.

4. Turbin *crossflow*

Turbin *crossflow* merupakan salah satu jenis turbin impuls yang juga dikenal dengan nama turbin Michell Banki. Turbin ini dapat dioperasikan pada debit 20 liter/det hingga 10 m dan *head* antara 1 sampai 200 m. Turbin *crossflow* menggunakan nosel persegi panjang sesuai dengan panjang runner. Pancaran air yang masuk turbin mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis.



Gambar 2.11. Turbin *crossflow* (Rimoo, 2009).

Pemakaian jenis turbin *crossflow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin nanohidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak sampai 50% dari penggunaan kincir air jenis lain dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran turbin *crossflow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Diameter kincir air yakni roda jalan atau runnernya biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter turbin *crossflow* dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga

bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, itulah sebabnya bisa lebih murah. Daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin Ossberger Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedang efisiensi turbin crossflow mencapai 82%.

H. Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan turbin kebanyakan didasarkan pada *head* air yang didapatkan dan rata-rata alirannya. Turbin impuls digunakan untuk tempat dengan *head* tinggi, dan turbin reaksi digunakan untuk tempat dengan *head* rendah. Turbin Kaplan baik digunakan untuk semua jenis debit dan *head*, efisiensinya baik dalam segala kondisi aliran. Turbin kecil (umumnya di bawah 10 MW) mempunyai poros horisontal, kadang dipakai juga pada kapasitas turbin mencapai 100 MW. Turbin Francis dan turbin Kaplan biasanya mempunyai poros atau sudu vertikal karena ini menjadi penggunaan paling baik untuk *head* yang didapatkan membuat instalasi generator lebih ekonomis. Poros turbin Pelton bisa vertikal maupun horizontal karena ukuran turbin lebih kecil dari *head* yang didapat atau tersedia. Beberapa turbin impuls menggunakan beberapa semburan air, tiap semburan untuk meningkatkan kecepatan spesifik dan keseimbangan gaya poros. Pada tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan dengan mempertimbangkan parameter - parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, sebagai berikut.

- 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 (*net head*, *power* dan putaran) di atas seringkali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik, N_s ."
- d. Kecepatan Spesifik (n_s)

Yang dimaksud dengan kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran *runner* yang dapat dihasilkan daya efektif untuk setiap tinggi 1 meter atau dengan rumus dapat ditulis (Haimeri, L.A, 1960).

$$N = \frac{n_{11}}{D} \sqrt{H_{net}} \dots \dots \dots (4)$$

$$N_s = \frac{N \sqrt{P}}{H_{efs}^{5/4}} \dots \dots \dots (5)$$

dengan:

N_s = kecepatan spesifik turbin (*rpm*);

N = kecepatan putaran turbin (*rpm*);

H_{efs} = tinggi jatuh efektif (m);

P = daya turbin *output* (kW).

Sebagai pedoman untuk mengetahui daya yang dapat dihasilkan pada studi kelayakan pembangunan PLTNH, secara umum dapat dipakai pedoman rumus pada persamaan 6 (Fox dan Mc Donald, 1995).

$$P = \rho \times Q \times H \times \eta \times g \dots\dots\dots(6)$$

dengan:

P = daya turbin (Watt);

Q = debit air (m^3/s);

ρ = massa jenis air (kg/m^3);

g = gaya grafitasi (m/s^2);

H = efektif head (m);

η = efisiensi turbin (%).

Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kecepatan spesifik untuk jenis turbin

Jenis Turbin	Kecepatan pesifik
<i>Pelton dan kincir air</i>	10 – 35 rpm
<i>Francis</i>	60 – 300 rpm
<i>Cross-Flow</i>	40 – 200 rpm
<i>Kaplan dan propeller</i>	250 – 1000 rpm

- e. Berdasarkan *Head* dan Daya yang dibangkitkan

Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit sebagai berikut.

- a) *Head* yang rendah yaitu dibawah 1 sampai 70 meter tetapi debit air

yang besar, maka *Turbin Kaplan* atau *propeller* cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.

b) *Head* yang sedang antara 1 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah *Turbin Francis* atau *Crossflow*.

c) *Head* yang tinggi yakni di atas 45 hingga 1000 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin impuls jenis *Pelton*. (Kudip, 2002).

I. Parameter Perancangan Turbin

Ada tujuh parameter utama dalam perancangan turbin yaitu sebagai berikut.

a. Kecepatan aliran masuk.

Kecepatan aliran masuk (V) dapat dihitung dengan persamaan Mockmore dan Barglazan:

$$V_{\text{air}} = K_v \sqrt{2g \times H} \dots\dots\dots (7)$$

dengan :

V = kecepatan aliran masuk (m/s);

K_v = Konstanta (0,98);

g = Percepatan gravitasi (m/s);

H = Head (m).

b. Kecepatan keliling aliran masuk.

Kecepatan keliling aliran masuk (u) dapat dihitung dengan persamaan Mockmore dan Barglazan:

$$u = 0,481 \times v \dots\dots\dots (8)$$

dengan:

u = Kecepatan keliling aliran masuk(m/s);

v = Kecepatan aliran dalam pipa (m/s).

c. Debit air dalam pipa

Debit air dalam saluran tertutup (pipa) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q = v \times A \dots\dots\dots (9)$$

dengan:

Q = Debit air (m³/det);

A = Luas penampang pipa (m²).

Kecepatan aliran (v) dapat diketahui melalui pengukuran langsung di lapangan sedangkan luas penampang dihitung dengan persamaan:

$$A = \pi r^2 \dots\dots\dots (10)$$

dengan:

r = jari-jari pipa (m)

d. Ketinggian (*head*).

Ketinggian pada PLTNH merupakan ketinggian yang diukur mulai dari masuknya air ke dalam penstock sampai pada masuknya air di ruang turbin mendapatkan head efektif digunakan persamaan berikut:

$$H_{\text{eff}} = H_{\text{tot}} - H_{\text{loss}} \dots\dots\dots (11)$$

dengan:

H_{eff} = Head efektif (m);

H_{tot} = head total (m);

H_{loss} = Head loss (m).

Tabel 2.2 Persamaan *headloss* nanohidro

Jenis Turbin <i>Headloss</i>	Persamaan
Penyempitan	$h_c = K_c \times \frac{V_2^2}{2 \times g}$
<i>Headloss</i> Mayor	$h_f = f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g}$
<i>Headloss</i> Minor	$h_m = f \frac{V^2}{2 \times g}$
<i>Headloss</i> Bending	$H_b = K_c \frac{V_2^2}{2 \times g}$

(Situmorang, 2008).

e. Diameter turbin

Diameter turbin (D_t) dapat dihitung dengan persamaan:

$$D_t = \frac{u \times 60}{\pi \times RPM} \dots\dots\dots (12)$$

dengan:

D_t = Diameter turbin (m);

RPM = Jumlah putaran turbin per menit (rpm).

f. Jumlah sudu

Sudu pada turbin disusun secara melingkar menempel pada dinding samping turbin dengan jarak yang sama. Jumlah sudu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{\pi \times D_t}{t} \dots\dots\dots (13)$$

dengan :

n = Jumlah sudu ;

t = Jarak antar sudu (m).

jarak antar sudu (t) dihitung dengan persamaan berikut:

$$t = \frac{Si}{\sin \theta} \dots\dots\dots(14)$$

$$Si = k \times Dt \dots\dots\dots(15)$$

dengan :

k = Konstanta = 0,13;

θ = Sudut yang terbentuk oleh sudu lengkung dengan sumbu vertikal poros.

g. Lebar sudu

Lebar sudu (L) dapat dihitung dengan persamaan:

$$L = \frac{Q}{Kv \times 4,43 \times \sqrt{H \times t}} \dots\dots\dots(16)$$

dengan :

L = Lebar sudu (m);

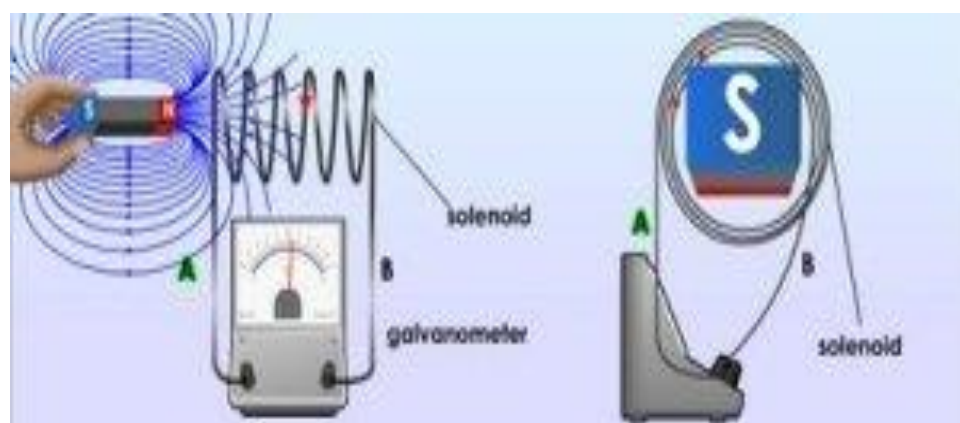
Kv = Konstanta (0,98) ;

t = Jarak antar sudu (m)

J. Generator

Generator adalah pengkonversi energi dari bentuk energi mekanik menjadi energi listrik yang berlangsung di daerah medan magnet (Zuhal, 1995). Karena adanya energi mekanik yang diberikan pada generator, maka akan

timbul arus listrik dalam suatu penghantar akibat perubahan medan magnet di sekitar kawat penghantar tersebut. Dalam hukum Faraday, dikatakan bahwa bila sepotong kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet yang berubah-ubah, maka dalam kawat tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik (ggl). Ggl induksi yang ditimbulkan dapat diperbesar dengan cara memperbanyak lilitan kumparan, menggunakan magnet permanen yang lebih kuat, mempercepat putaran kumparan, dan menyisipkan inti besi lunak ke dalam kumparan (Asy'ari *et al*, 2012). Arus listrik yang terjadi disebut arus “imbas” atau “arus induksi”. Gambar 2.12 memperlihatkan timbulnya gaya gerak listrik akibat perubahan medan magnet.



(a) Galvonometer

(b) Selenoid

Gambar 2.12. Timbulnya ggl akibat perubahan medan magnet (Asy'ari *et.al*,2012).

Jarum *galvanometer* menyimpang selama magnet batang digerakkan mendekati atau menjauhi kumparan dan sebaliknya kumparan yang digerakkan mendekati atau menjauhi magnet batang, yang berarti arus induksi timbul selama terjadi perubahan garis-garis gaya medan magnet

dalam kumparan (*solenoid*). Sedangkan bila kedua-duanya diam, jarum *galvanometer* tidak menyimpang, yang berarti tidak terjadi arus induksi. Arus induksi timbul karena adanya beda potensial antara ujung-ujung kumparan yang disebut dengan Gaya Gerak Listrik induksi (GGL induksi). Generator akan berfungsi apabila memiliki kumparan medan yang berguna untuk menghasilkan medan magnet, kumparan jangkar yang berfungsi sebagai pengibas GGL pada konduktor – konduktor yang terletak pada alur jangkar serta celah udara yang memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet. Untuk menghasilkan GGL induksi pada ujung – ujung kumparan maka fluks magnetik yang mendorong kumparan harus berubah. GGL induksi yang timbul pada ujung- ujung penghantar atau kumparan adalah sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi oleh loop penghantar tersebut. (Siswa, 2006). Ggl sebanding terhadap laju perubahan *fluks magnetik*, Φ_B yang bergerak melintasi *loop* seluas A , yang didefinisikan sebagai

$$\Phi_B = B \perp A = B A \cos \theta \dots\dots\dots(18)$$

dengan :

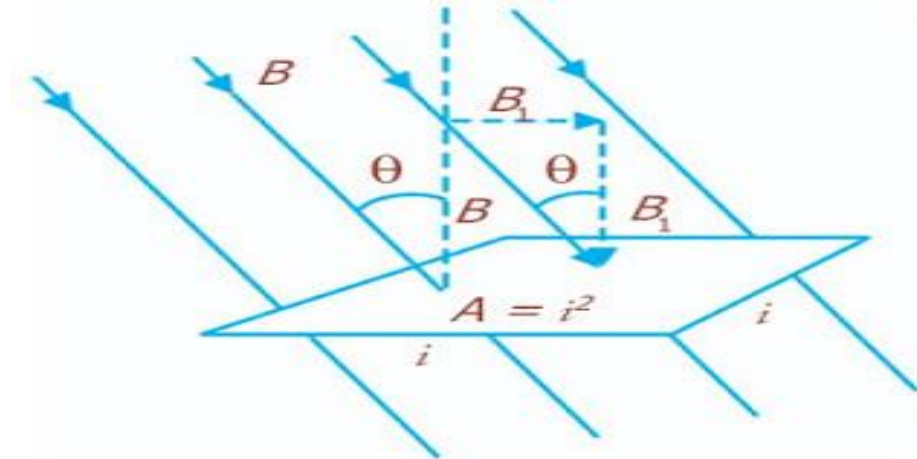
Φ_B = Fluks magnetik (Weber);

B = Induksi magnetik (Tesla);

A = Luas bidang (m^2).

$B \perp$ di sini adalah komponen medan magnet B yang tegak lurus permukaan kumparan dan θ adalah sudut antara B dengan garis yang tegak lurus kumparan. Besaran-besaran ini di tunjukan pada Gambar 2.13 dengan kumparan bujur sangkar bersisi l seluas $A = l^2$. Jika permukaan kumparan

sejajar B , $\theta = 90^\circ$ dan $\Phi_B = 0$. Jika B tegak lurus kumparan, $\theta = 0^\circ$ dan $\Phi_B = BA$



Gambar. 2.13. Menentukan *fluks* pada loop kawat berbentuk bujur sangkar dengan luas A (Nugroho, 2012).

Dari gambar diatas jika *fluks* yang melalui kawat dengan N lilitan berubah sebesar $\Delta\Phi_B$ dalam waktu Δt , maka besarnya induksi ggl dalam waktu itu adalah :

$$\epsilon = -N \frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} \dots\dots\dots(19)$$

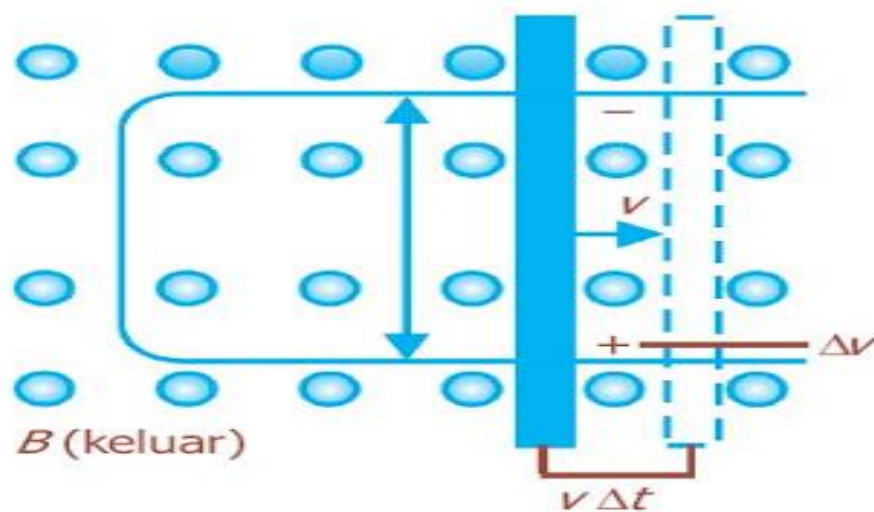
Tanda minus pada Persamaan (19) menyatakan bahwa ggl induksi selalu membangkitkan arus yang medan magnetnya berlawanan dengan asal perubahan fluks. Hal ini dikenal dengan hukum Lenz. Jika medan magnet B diasumsikan tegak lurus permukaan yang dibatasi oleh konduktor berbentuk U dan pada konduktor tersebut dipasang batang konduktor yang lain yang dapat bergerak. Batang konduktor digerakkan dengan kecepatan v , ia menempuh jarak $\Delta x = v\Delta t$ dalam waktu Δt . Oleh karena itu, luasan kumparan bertambah sebesar $\Delta A = l \Delta x = lv \Delta t$ dalam waktu Δt . Menurut hukum

Faraday, akan timbul ggl induksi ϵ sebesar:

$$\epsilon = \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = \frac{B \Delta A}{\Delta t} = \frac{Blv \Delta t}{\Delta t} = Blv \dots\dots\dots(20)$$

Persamaan (20) ini berlaku selama B , l , dan v saling tegak lurus dan bergerak translasi. Seperti ditunjukkan pada Gambar

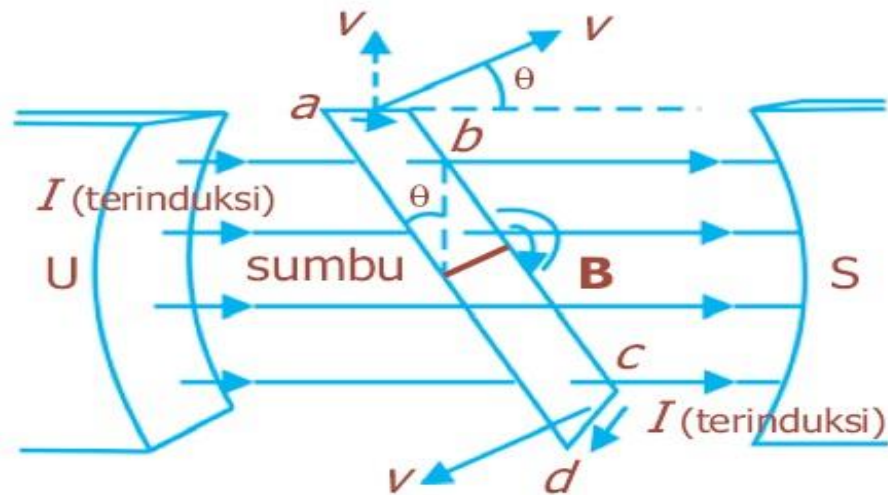
2. 14 berikut:



Gambar 2.14. Batang penghantar digerakkan ke kanan pada medan magnet B (Nugroho, 2012).

sedangkan besarnya ggl induksi pada konduktor yang bergerak rotasi seperti ditunjukkan pada Gambar 2.14, di mana l adalah panjang ab . Dari bagan dapat dilihat bahwa $v_{\perp} = v \sin \theta$, di mana θ adalah sudut antara permukaan kumparan dengan garis vertikal. GGL terinduksi di cd memiliki besar dan arah yang sama. Oleh karena itu mereka dijumlahkan, dan jumlah ggl adalah

$$\epsilon = 2NB l v \sin \theta \dots\dots\dots(21)$$



Gambar 2.15. GGL induksi pada potongan ab dan cd di mana komponen-komponen kecepatannya yang tegak lurus terhadap medan B adalah $v \sin \theta$ (Nugroho, 2012).

Jika kumparan berputar dengan kecepatan angular konstan ω , maka sudutnya adalah $\theta = \omega t$. Dari persamaan angular didapatkan $v = \omega r = \omega (h/2)$, dimana h adalah panjang bc atau ad . Jadi $\epsilon = 2NBl \omega (h/2) \sin \omega t$ atau

$$\epsilon = NBA \omega \sin \omega t \dots \dots \dots (22)$$

Dimana $A = lh$ adalah luasan *loop*. Persamaan (22) ini berlaku untuk segala bentuk kumparan, tidak hanya untuk bujur sangkar seperti pada gambar 17. Dengan demikian, GGL keluaran generator adalah bolak – balik secara sinusoidal (Giancoli, 2001).

dengan :

ϵ = GGL induksi (V);

B = induksi magnet (Tesla);

l = panjang kawat (m);

v = kecepatan gerak kawat (m/s);

N = banyaknya lilitan;

ω = kecepatan sudut (rad/s);

t = waktu (s);

θ = sudut antara B dengan bidang kumparan.

Terdapat dua jenis konstruksi dari generator, jenis medan diam dan medan magnet berputar. Pada medan magnet diam secara umum kapasitas Kilovolts ampere relatif kecil dan ukuran kerja tegangan rendah, jenis ini mirip dengan generator DC kecuali terdapat slips ring sebagai alat untuk pengganti komutator. Sedangkan pada generator jenis medan magnet berputar dapat menyederhanakan masalah pengisolasian tegangan. Siklus tegangan yang dibangkitkan tergantung pada jumlah kutub yang digunakan pada magnet, pada generator yang menggunakan dua kutub dapat membangkitkan satu siklus tegangan sedangkan pada generator dengan empat kutub dapat menghasilkan dua siklus tegangan. Sehingga terdapat perbedaan antara derajat mekanis dan derajat listrik. Derajat mekanis adalah apabila kumparan atau penghantar jangkar berputar satu kali penuh atau 360° mekanis sedangkan derajat listrik adalah jika GGL atau arus bolak-balik melewati satu siklus berarti telah melewati 360° waktu (Djarmiko, 2007). Bentuk generator ditunjukkan seperti pada Gambar 2.16 di bawah ini:



(a) tampak luar



(b) tampak dalam

Gambar 2.16. Generator sebagai pengkonversi energi menjadi energi listrik (Djarmiko, 2007).

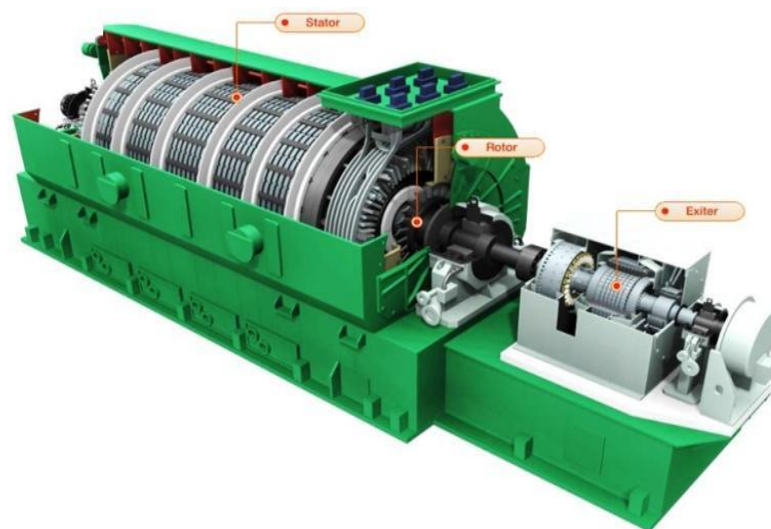
K. Jenis – Jenis Generator

Generator terbagi menjadi dua yaitu sebagai berikut.

1. Generator AC (*alternator*)

Generator arus bolak-balik (AC) atau disebut dengan alternator adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik (elektrik) dengan perantara induksi medan magnet. Prinsip dasar generator arus bolak-balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Listrik AC dihasilkan dari hasil induksi elektromagnetik, sebuah

belitan kawat yang berdekatan dengan kutub magnet permanen. Kutub permanen diputar pada sumbunya, maka diujung-ujung belitan timbul tegangan listrik yang ditunjukkan oleh penunjukan jarum V meter. Jarum V meter bergoyang kearah kanan dan kekiri, ini menunjukkan satu waktu polaritasnya positif, satu waktu polaritasnya negatif. Perubahan energi ini terjadi karena adanya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat terbangkitnya tegangan pada generator). Kumparan medan pada generator AC terletak pada rotornya sedangkan kumparan jangkarnya terletak pada stator. Contoh generator AC dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Generator AC (Dietzel, 1988).

1) Konstruksi Generator AC

Secara umum konstruksi generator AC terdiri dari stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Keduanya merupakan rangkaian magnetik yang berbentuk simetris dan silindris. Selain itu generator AC memiliki celah udara ruangan tarastator dan rotor yang berfungsi sebagai tempat terjadinya fluksi atau induksi energi listrik dari rotorkestator. Adapun konstruksi generator AC adalah sebagai berikut.

- a. Rangka stator terbuat dari besi tuang, yang merupakan rumah stator tersebut.
- b. Stator adalah bagian yang diam. Memiliki alur-alur sebagai tempat meletakkan lilitan stator. Lilitan stator berfungsi sebagai tempat GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi.



Gambar 2.18. Intistator dan alur pada stator (Dietzel, 1988).

- c. Rotor adalah bagian yang berputar, pada bagian ini terdapat kutub - kutub magnet dengan lilitannya yang dialiri arus searah, melewati cincin geser dan sikat-sikat.



Gambar 2.19. Rotor (Dietzel, 1988).

- d. Cincin geser, terbuat dari bahan kuningan atau tembaga yang dipasang pada poros dengan memakai bahan isolasi. Slipring ini berputar bersama-sama dengan poros dan rotor.
- e. Generator penguat: adalah generato arus searah yang dipakai sebagai sumber arus.

2) Prinsip Kerja Generator AC

Kumparan medan yang terdapat pada rotor dihubungkan dengan sumber eksitasi yang akan disuplai oleh arus searah sehingga menimbulkan fluks yang besarnya tetap terhadap waktu. Kemudian penggerak mula (*Prime Mover*) yang sudah terkopel dengan rotor segera dioperasikan sehingga rotor akan berputar pada kecepatan nominalnya sesuai dengan persamaan:

$$n = \frac{120f}{p} \dots\dots\dots (23)$$

dengan:

n =Kecepatan putar rotor (rpm);

p =Jumlah kutub rotor;

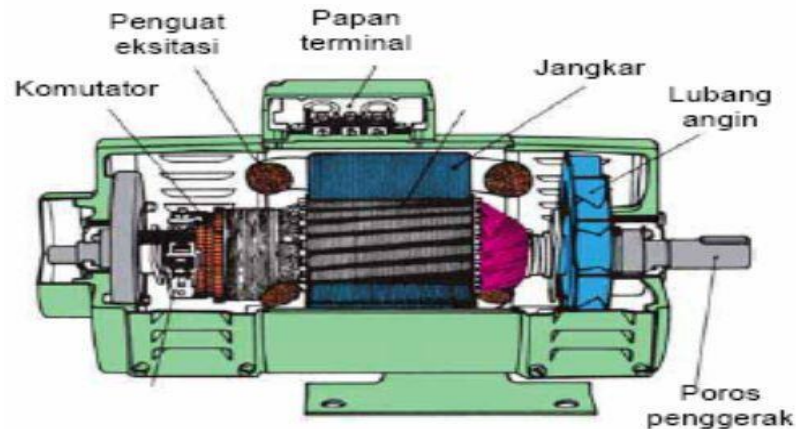
f = frekuensi (Hz).

Perputaran rotor tersebut sekaligus akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan medan. Medan putar yang dihasilkan pada rotor akan menginduksikan tegangan tiga fasa pada kumparan jangkar sehingga akan menimbulkan medanputar pada stator. Perputaran tersebut menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetic yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan ggl induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut.

2. Generator DC

Generator DC atau arus searah mempunyai komponen dasar yang umumnya hampir sama dengan komponen generator AC. Secara garis besar generator arus searah adalah alat konversi energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik arus searah. Energi mekanik di pergunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar didalam medan magnet. Berdasarkan hukum Faraday, maka pada kawat penghantar akan timbul ggl induksi yang besarnya sebanding dengan laju perubahan fluksi yang dilingkupi oleh kawat penghantar. Bila kumparan kawat tersebut merupakan rangkaian tertutup, maka akan timbul arus induksi, yang membedakannya dengan generator AC yaitu terletak pada komponen penyearah yang terdapat didalamnya yang disebut dengan komutator dan sikat. Generator arus searah memiliki konstruksi yang terdiri atas dua bagian yaitu bagian yang berputar (rotor) dan bagian yang diam (stator). Stator adalah rangka, komponen magnet dan

komponen sikat. Sedangkan yang termasuk rotor adalah jangkar, kumparan jangkar dan komutator. Secara umum konstruksi generator arus searah adalah dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20. Konstruksi generator arus searah (Dietzel, 1988).

L. Komponen Generator

Komponen utama generator terdiri atas dua bagian utama yaitu sebagai berikut.

1. Stator

Stator terdiri atas tiga bagian komponen utama yaitu sebagai berikut.

a. Rangka Stator.

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menjaga jangkar generator yang terbuat dari besi tuang dan dilengkapi dengan slot-slot (parit) sebagai tempat melekatnya kumparan jangkar. Rangka stator memiliki celah yang berfungsi sebagai ventilasi udara. Sehingga, udara dapat keluar masuk dalam inti stator sebagai pendingin.

b. Inti Stator.

Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik yang terpasang pada kerangka stator. Laminasi-laminasi diisolasi atau sama lain dan mempunyai jarak antar laminasi yang memungkinkan udara pendingin melewatinya. Disekeliling inti terdapat slot-slot tempat melekatkan konduktor atau belitan jangkar.

c. Kumputan Stator (Kumputan Jangkar).

Kumputan jangkar merupakan kumputan tempat timbulnya GGL induksi. Melalui terminal output kumputan jangkar terminal output generator yang diperoleh energi listrik yang siap untuk disalurkan

2. Rotor

Rotor terdiri dari 3 bagian utama yaitu sebagai berikut.

a. *Slip ring*

Slip ring ini adalah bagian yang dihubungkan ke sumber DC daya luarmelalui sikat (brush) yang ditempatkan menempel pada *slip ring*. Sikat ini merupakan batang grafit yang terbuat dari senyawa karbon yang bersifat konduktif dan memiliki koefisien gaya gesek yang sangat rendah.

b. Kumputan rotor atau kumputan medan

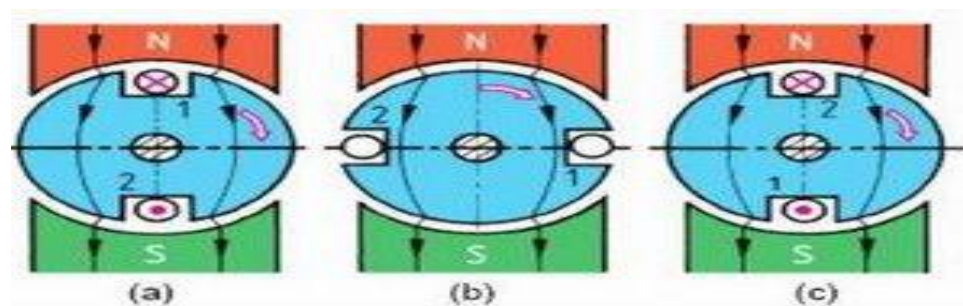
Kumputan medan merupakan unsur yang memegang peranan utama dalam menghasilkan medan magnet. Kumputan medan ini ditempatkan di bagian rotor dari generator. Kumputan ini mendapatkan arus searah dari sumber eksitasi tertentu.

c. Poros rotor

Poros rotor merupakan tempat peletakan kumparan medan dimana pada poros rotor tersebut terdapat teah berbentuk slot-slot secara paralel terhadap poros rotor sehingga penempatan kumparan medan dapat diatur dengan rancangan yang dikehendaki.

M. Prinsip Kerja Generator

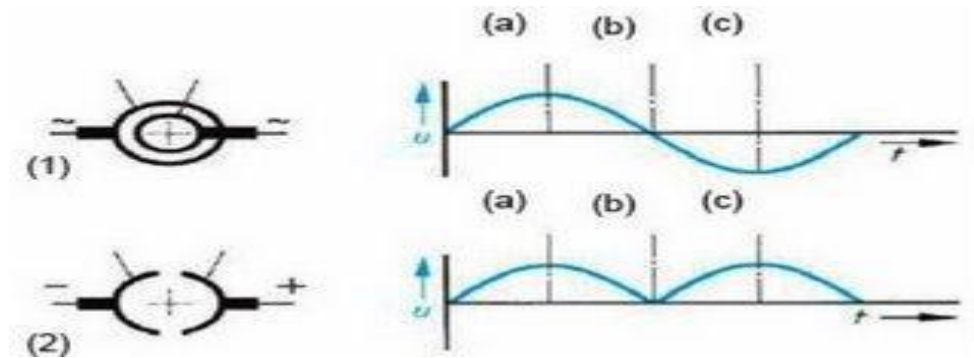
Pembangkitan tegangan induksi oleh sebuah generator diperoleh melalui dua cara yaitu dengan menggunakan cincin seret yang akan menghasilkan tegangan induksi bolak balik. Kemudian dengan menggunakan komutator yang akan menghasilkan tegangan DC. Proses pembangkitan tegangan induksi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.21 dan gambar 2.22 berikut.



Gambar 2.21. Pembangkitan tegangan induksi (Hasbullah, 2009).

Jika rotor diputar dalam pengaruh medan magnet, maka akan terjadi perpotongan medan magnet oleh lilitan kawat pada rotor. Hal ini akan menimbulkan tegangan induksi. Tegangan induksi terbesar terjadi saat rotor menempati posisi seperti Gambar 2.21 (a) dan (c). Pada posisi ini terjadi perpotongan medan magnet secara maksimum oleh penghantar. Sedangkan

posisi jangkar pada Gambar 2.21.(b), akan menghasilkan tegangan induksi nol. Hal ini karena tidak adanya perpotongan medan magnet dengan penghantar pada jangkar atau rotor. Daerah medan ini disebut daerah netral.



Gambar 2.22. Tegangan rotor yang dihasilkan melalui cincin seret komutator (Hasbullah, 2009).

Jika ujung belitan rotor dihubungkan dengan slip-ring berupa dua cincin (disebut juga dengan cincin seret), seperti ditunjukkan Gambar 2.22. (1) maka dihasilkan listrik AC (arus bolak-balik) berbentuk sinusoidal. Bila ujung belitan rotor dihubungkan dengan komutator satu cincin Gambar 2.22. (2) dengan dua belahan, maka dihasilkan listrik DC dengan dua gelombang positif. Rotor dari generator DC akan menghasilkan tegangan induksi bolak-balik. Sebuah komutator berfungsi sebagai penyearah tegangan AC. Besarnya tegangan yang dihasilkan oleh sebuah generator DC, sebanding dengan banyaknya putaran dan besarnya arus eksitasi (arus penguat medan). (Hasbullah, 2009).

III. METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan April sampai dengan Agustus 2016 di Laboratorium Elektronika Dasar dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA unila dan aliran air terjun Batu Putu, Kecamatan Teluk Betung Utara, Kota Bandar Lampung.

B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Generator AC yang digunakan sebagai pembangkit energi listrik.
2. Turbin air yang digunakan sebagai penggerak generator.
3. Pipa PVC digunakan sebagai saluran air.
4. Lampu pijar digunakan sebagai alat uji.
5. Multimeter digunakan untuk mengukur arus dan tegangan.
6. Tachometer digunakan untuk mengukur rpm kincir air pada generator.
7. Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu.
8. Solder, lem, dan timah digunakan sebagai pemanas dan perekat.

C. Diagram Blok Rancangan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini meliputi tahap-tahap perancangan turbin, perakitan atau pembuatan turbin, pengujian hasil perancangan, pengamatan dan pengolahan data. Data yang digunakan dalam pengujian ini merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran dan pembacaan pada alat ukur pengujian. Dari perancangan turbin diharapkan mampu menghasilkan kinerja dari kinerja di Batu Putu Desa Bangun Rahayu Kecamatan Teluk Betung Barat. Perancangan turbin ini didesain dengan dari hasil perhitungan yang didasarkan pada potensi sumber daya alam yang ada dan literatur.

1. Perancangan turbin

a. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan adalah survey lokasi untuk mengetahui spesifikasi turbin nanohidro yang akan dirancang di Batu Putu Desa Bangun Rahayu. Penelitian pendahuluan meliputi pengukuran *head*, dimensi turbin, debit air dalam pipa penyalur, kecepatan air, dan perhitungan awal perancangan turbin. Turbin dalam rancangan ini menggunakan tipe *crossflow* dimana tipe ini cocok untuk *head* rendah. Untuk mendesain turbin di Batu Putu Desa Bangun Rahayu ini perlu dilakukan penelitian pendahuluan untuk mengetahui parameter-parameter yang akan dipakai dalam perancangan, diantaranya adalah: debit sungai, debit air dalam pipa (jika turbin menggunakan saluran pipa), kecepatan air, *head* (tinggi jatuh air).

1) Pengukuran debit

Pengukuran debit dilakukan dengan menggunakan botol 1,5 liter diperlukan 3 orang untuk melakukan pengukuran satu orang untuk memegang botol satu orang bertugas mengoperasikan stopwatch dan orang ketiga melakukan pencatatan. Proses dimulai dengan aba-aba dari orang pemegang stopwatch pada saat penampungan air dimulai, dan selesai ketika alat tampung sudah terisi penuh. Waktu yang diperlukan mulai dari penampungan air sampai terisi penuh dicatat (T) dalam form pengukuran. Pengukuran dilakukan 5 kali untuk mengoreksi hasil pengukuran kemudian hasil pengukuran dirata-rata untuk mendapatkan nilai T rata-rata.

Tabel 3.1 Perhitungan Waktu Pengukuran

Pengukuran No.	Waktu (T) (detik)	Volume Penampung (V) (Liter)
1		
2		
3		
4		
5		
Jumlah		
Rata-rata		

2) Pengukuran kecepatan air dalam pipa.

Pengukuran kecepatan air dilakukan dengan cara meletakan bola kecil di dalam ujung pangkal pipa dicatat menggunakan stopwatch untuk mendapatkan waktu tempuh yang dibutuhkan bola kecil hingga mencapai ujung pipa.

3) Pengukuran *head*

Pengukuran tinggi jatuh air dapat menggunakan meteran diukur dari tinggi kolam dari permukaan dasar kolam.

Perhitungan dimensi turbin meliputi: kecepatan spesifik turbin (untuk pemilihan jenis turbin), diameter turbin, jumlah sudu, jari-jari kelengkungan sudu, dan lain- lain.

a) Diameter turbin.

Diameter turbin dihitung berdasarkan kecepatan aliran masuk (V) dan kecepatan keliling aliran masuk (u) dapat dilihat pada Persamaan 7 dan 8, sedangkan diameter turbin dapat dilihat pada Persamaan 12. Putaran turbin ditentukan sebesar 300 rpm (pengukuran putaran turbin yang ada saat ini sebesar 100 rpm) hasil yang didapatkan dari perhitungan diameter turbin adalah 39 cm.

b) Jumlah sudu dan jarak antar sudu.

Jumlah sudu dan jarak antar sudu dihitung berdasarkan diameter turbin dapat dilihat pada Persamaan 14 dan 15. Jumlah sudu dapat dihitung dengan Persamaan 13 dengan posisi sudu letaknya 30° terhadap sumbu poros turbin.

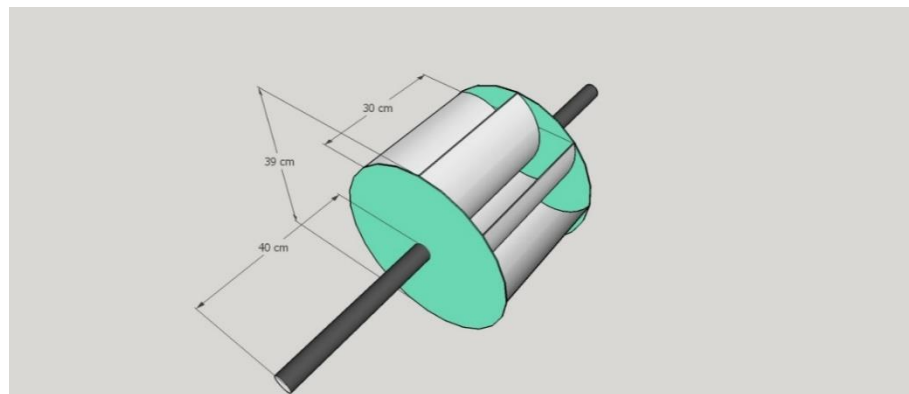
b. Rancangan fungsional

Turbin berfungsi sebagai pengubah energi potensial air menjadi energi kinetik. Rancangan fungsional bertujuan untuk mengetahui fungsi bagian-bagian dari turbin diantaranya, sudu merupakan bagian turbin

yang berfungsi untuk menggerakkan roda turbin akibat kerja fluida (air) yang menggerakkannya sehingga menghasilkan energi kinetik.

c. Rancangan struktural

Turbin air ini terdiri dari: sudu, as, dan dinding samping. Jumlah sudu pada rancangan ini berjumlah 12 buah terbuat dari besi plat 2 mm dengan panjang 30 cm. Sudu ini disusun melingkar dengan jarak yang sama dan menyatu atau menempel pada dinding samping. Diameter turbin 39 cm dengan diameter dalam 20 cm. Antara sudu dengan as poros tidak menyatu sehingga ada ruang antara as dengan sudunya serta menggunakan bahan yang lebih ringan serta kuat sehingga daya putar yang dihasilkan semakin besar. Rancangan turbin dapat dilihat pada Gambar 3.1



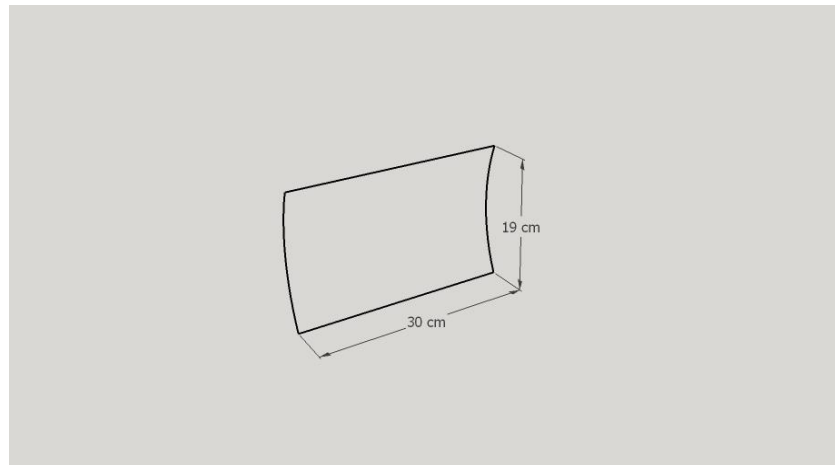
Gambar 3.1 Rancangan turbin

Berikut ini adalah bagian – bagian turbin sebagai berikut.

1) Sudu turbin

Sudu turbin merupakan tempat terjadinya tabrakan antara air dengan turbin sehingga menghasilkan daya putar. Jumlah sudu pada racangan ini berjumlah 12 buah dengan jari-jari kelengkungan

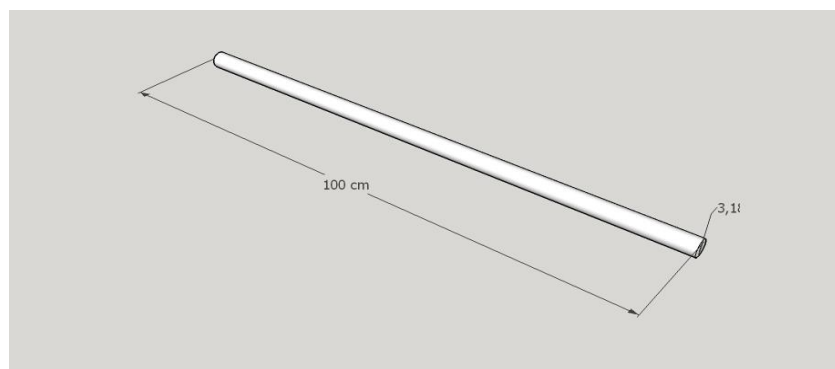
sudu sebesar 6,486 cm panjang sudu 30 cm dan lebar 19 cm. Sudu ini disusun melingkar dengan jarak yang sama pada dinding turbin, posisi sudu tidak menempel pada as sehingga ada ruang antara as dengan sudu. Sudu turbin dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Sudu turbin

2) As turbin

As merupakan sumbu perputaran pada turbin sehingga turbin dapat berputar dan dihubungkan ke generator melalui sebuah puli. As dapat dilihat pada Gambar 3.3.

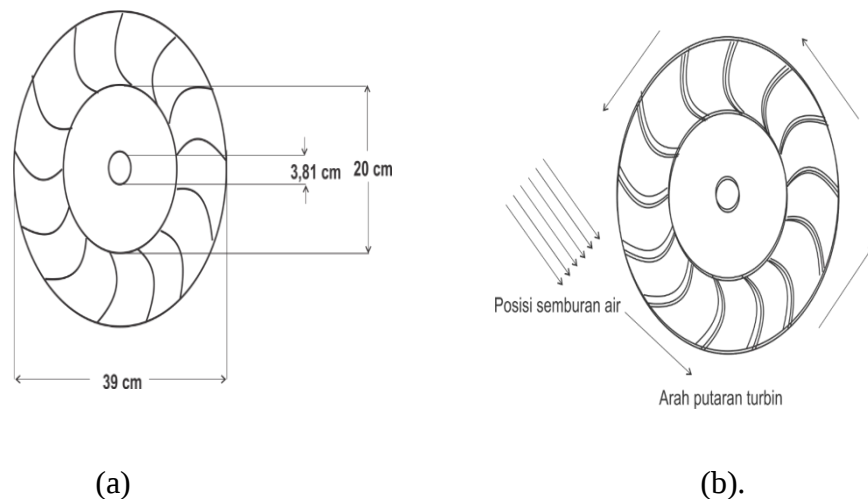


Gambar 3.3. As turbin

3) Dinding samping

Dinding samping berfungsi menahan limpasan air terbang kesamping sehingga tidak mengenai dinding bangunan turbin.

Dinding samping dan arah putaran turbin dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4a. Dinding samping b. Posisi semburan air dan putaran turbin.

2. Proses Pembuatan Turbin *Crossflow* Hasil Rancangan

Dalam proses pembuatan turbin nanohidro ini ada 3 tahapan yang harus dilakukan, diantaranya adalah

- Pengamatan turbin yang meliputi dimensi turbin, tipe turbin, kelemahan dan kelebihan turbin rancangan;
- Perancangan model turbin yang meliputi perhitungan dimensi turbin rancangan dengan mengacu pada parameter yang ada, diantaranya adalah *head*, debit air, dan lain-lain;

Pembuatan rancangan gambar turbin dengan mengacu pada perhitungan di atas.

3. Pembuatan turbin

Dalam proses pembuatan turbin ada 3 tahap yang dilakukan, diantaranya adalah pengumpulan bahan. Mengacu pada (kriteria desain, bahan yang digunakan tidak terlalu mahal dengan menggunakan besi bekas yang lebih murah. Bahan-bahan yang digunakan antara lain adalah.

- a. Besi as dengan diameter 1,5 inch sepanjang 120 cm;
- b. Besi plat 2 mm dibentuk lingkaran dengan diameter 40 cm sebanyak 2 buah untuk dinding samping;
- c. Besi plat 2 mm untuk sudu turbin dengan ukuran 30 x 11 cm di buat lengkung sesuai dengan perhitungan jari-jari kelengkungan sudu sebanyak 12 buah.

Pada proses pembuatan, dinding samping harus bulat sempurna serta sudu turbin dirangkai pada dinding samping secara melingkar dengan jarak yang sama (posisi sudu pada turbin dapat dilihat pada Gambar 3.4), sehingga putaran yang dihasilkan akan seimbang.

4. Pengamatan dan Pengujian Teknis

- a. Putaran turbin dan generator

Turbin yang bergerak memutar pada porosnya harus ditransmisikan ke generator agar dapat menghasilkan energi listrik. Sistem transmisi daya pada nanohidro ini berupa sistem transmisi daya tidak langsung dengan menggunakan sabuk (*belt*). Putaran turbin dan generator akan dihitung dengan menggunakan alat tachometer yang dapat menghitung putaran pada suatu poros.

b. Parameter perancangan turbin.

Menghitung debit air sungai dapat dihitung secara empiris dengan menggunakan rumus dan secara aktual di lapangan. Parameter perhitungn turbin meliputi: kecepatan aliran masuk, kecepatan keliling aliran masuk, ketinggian, putaran turbin, diameter turbin, jumlah sudu, lebar sudu, kelengkungan sudu, dan analisis data.

1) Kecepatan aliran masuk.

Kecepatan aliran masuk (V) dapat dihitung dengan persamaan Mockmore dan Barglazan (Persamaan 7).

2) Kecepatan keliling aliran masuk.

Kecepatan keliling aliran masuk (u) dapat dihitung dengan Persamaan 8

3) Ketinggian.

Ketinggian atau *head* yang pada PLTNH, merupakan ketinggian yang diukur mulai dari masuknya air kedaiaam *penstock* sampai pada masuknya air di ruang turbin. *Head* total diukur dengan *waterpass* sedangkan untuk mendapatkan *head* efektif yaitu *head* total dikurangi *losses* sistem. *Losses* sistem diantaranya adalah *headloss* penyempitan, *headloss* mayor, *headloss* minor, dan *headloss* minor. *Headloss* sistem dapat menggunakan Tabel 2.1 dan Persamaan 7.

4) Putaran turbin.

Putaran turbin ditentukan dengan menggunakan grafik dimana antara *head* dan debit air sebagai parameter penentuan putaran turbin.

5) Diameter turbin.

Diameter turbin (D_t) dapat dihitung dengan Persamaan 12.

6) Jumlah sudu.

Jumlah sudu (N) pada turbin dapat dihitung dengan Persamaan 13 sedangkan jarak antar sudu (t) dihitung dengan Persamaan 14 dan Persamaan 15.

7) Lebar sudu.

Lebar sudu (L) dapat dihitung dengan Persamaan 16.

8) Kelengkungan sudu.

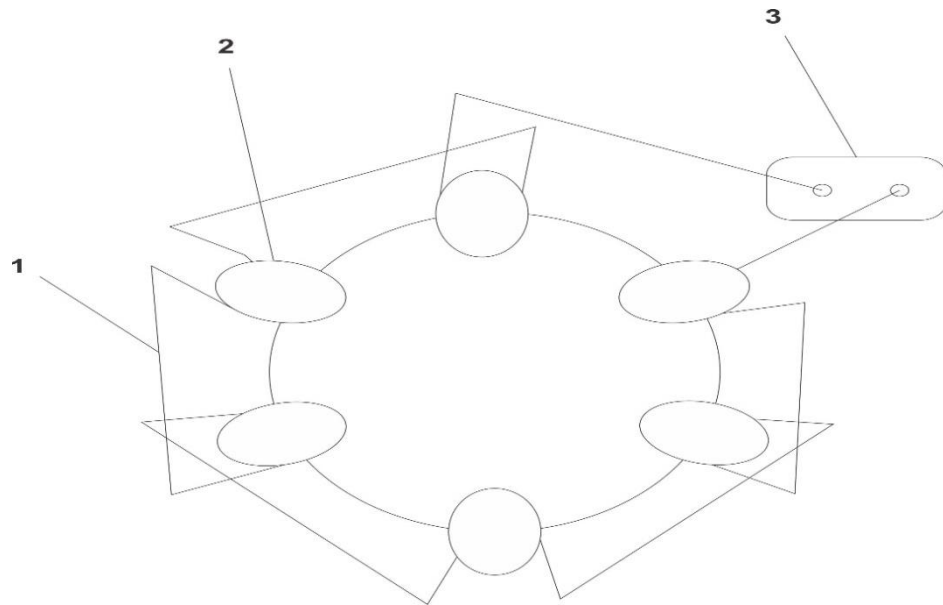
Kelengkungan sudu (p) dapat dihitung dengan Persamaan 17.

D. Prosedur Kerja

Prosedur kerja yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga yaitu perancangan dan analisis generator, perancangan dan perancangan bangunan sipil.

1. Perancangan dan Analisis Generator

Perancangan yang akan dilakukan meliputi pembuatan kincir air, generator dan pengujian. Rancangan yang paling utama adalah membuat rangkaian rotor dan stator. Untuk rangkaian rotor digunakan 2 buah magnet permanen yang memiliki 6 pasang kutub yang disatukan ketika kutub dari kedua buah magnet saling tolak menolak. kemudian lilitan kumparan dipasang pada cincin kumparan dengan mengikuti skema pada gambar 3.5



keterangan:

1. kabel penghubung dari lilitan kumparan;
2. kumparan;
3. kutub dari lilitan yang menghasilkan beda potensial.

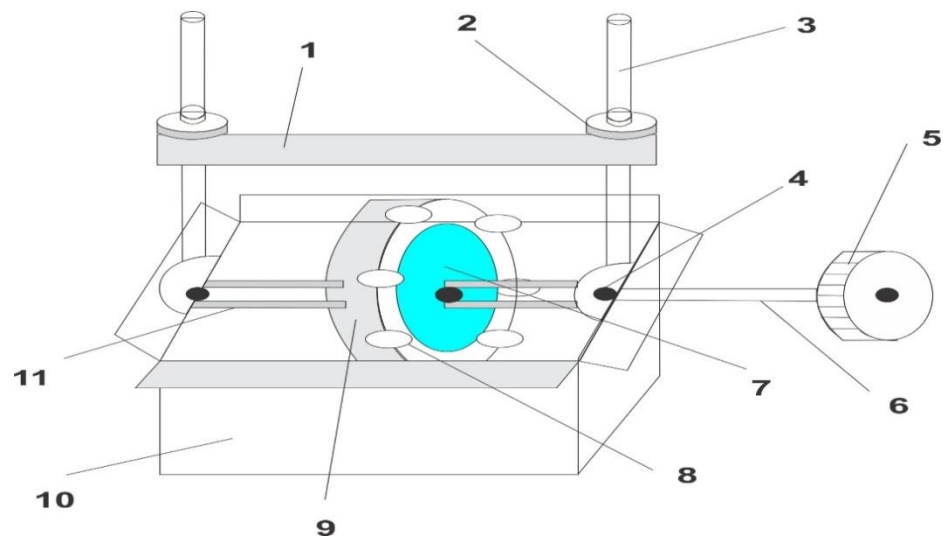
Gambar 3.5 Skema rangkaian lilitan kumparan.

Rancangan generator yang akan digunakan pada penelitian ini memiliki beberapa komponen utama sebagai berikut.

- 1) Magnet: adalah suatu benda atau bahan yang dapat menghasilkan atau menimbulkan garis-garis gaya magnet seperti tarik menarik magnet yang akan digunakan yaitu magnet permanen yang memiliki 6 pasang kutub magnet pada sumbu as yang berputar.
- 2) Kumparan (*coil*): adalah ukuran bagi arus yang dibawa oleh kumparan tersebut kumparan yang akan digunakan terbuat dari tembaga dan dibuat sebanyak 6 kumparan dan setiap kumparan terdiri dari 300 lilitan.
- 3) Batang besi sebagai sumbu as.
- 4) *Bearing*: adalah bahan sebagai penyangga sumbu generator.

- 5) Turbin: adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Turbin yang akan dirancang langsung terhubung dengan sumbu generator.

Berikut adalah desain rancangan generator yang akan dibuat



keterangan :

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| 1. pengunci generator; | 6. poros generator; |
| 2. mur pengunci; | 7. magnet permanen; |
| 3. baut penompang generator; | 8. gulungan selenoida; |
| 4. klahar; | 9. cincin kumparan; |
| 5. turbin; | 10.udukan generator; |
| | 11. sambungan pengunci |

Gambar 3.6 Desain rancangan generator

2. Perancangan Bangunan Sipil

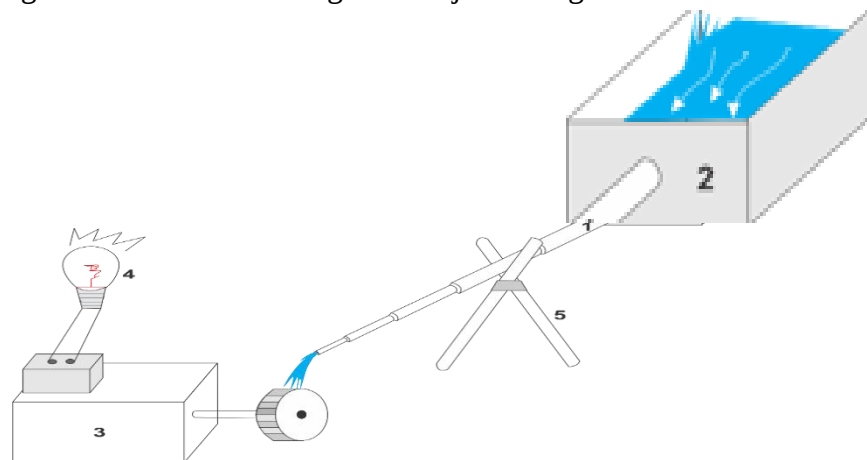
Perancangan bangunan sipil pada penelitian ini terdiri dari 2 rancangan sebagai berikut.

a. Bendungan.

Bendungan dibuat pada aliran air terjun Batu Putu, Kecamatan Teluk Betung Utara, Kota Bandar Lampung. Bendungan ini berfungsi untuk menampung air sehingga volume air dapat di tampung fungsingsinya sebagai bak penenang dan penampungan.

b. Saluran pipa PVC.

Saluran pipa PVC yang akan digunakan disesuaikan dengan tinggi *head* dari bendungan terhadap aliran air. Saluran ini berfungsi untuk mengalirkan air dari bendungan menuju kincir generator.



keterangan:

1. batang pipa paralon 4inch 2 batang pipa paralon 3inch 2 batang pipa paralon;
2. bendungan;
3. generator;
4. lampu;
5. tiang penyangga.

Gambar 3.7 Rancangan bendungan dan sambungan pipa paralon.

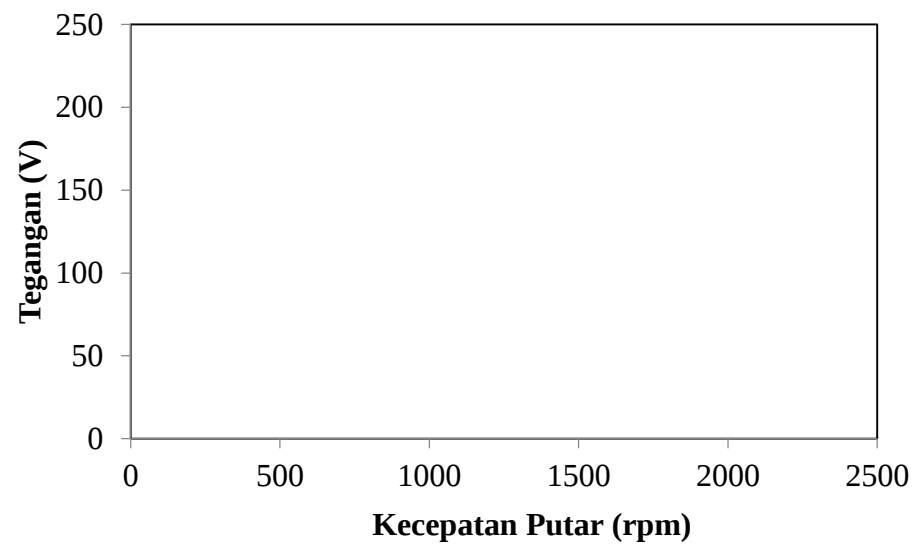
Rancangan bendungan dan saluran pipa paralon yang dibuat terdiri dari sebuah bendungan aliran sungai dari bendungan akan disalurkan melalui saluran tertutup dengan pipa paralon. Pipa paralon yang digunakan sebanyak 5 batang, masing-masing memiliki panjang 4 m. Pipa paralon yang digunakan terdiri dari 1 batang pipa paralon dengan diameter 4 inchi, 2 batang dengan diameter 3 inchi, 2 batang dengan diameter 2 inchi, dan diujung pipa paralon diberikan sambungan paralon dengan diameter 1,8 inchi. Saluran tertutup pipa paralon ini dibuat dengan sambungan pipa paralon dari ukuran diameter besar ke pipa paralon yang memiliki ukuran diameter kecil, hal ini bertujuan untuk mendapatkan debit air yang besar, sehingga dapat menggerakkan kincir pada generator.

Prinsip kerja pada sistem generator yang dirancang yaitu memanfaatkan energi gerak pada putaran kincir yang nantinya akan diubah oleh generator menjadi energi listrik. Keluaran yang dihasilkan generator pada penelitian ini dipengaruhi oleh kuat medan magnet yang digunakan, jumlah lilitan pada kumparan, dan kecepatan putaran yang dihasilkan. Untuk melakukan pengujian, generator akan diuji menggunakan motor penggerak. Data pengujian generator dapat dilihat pada tabel 3.2

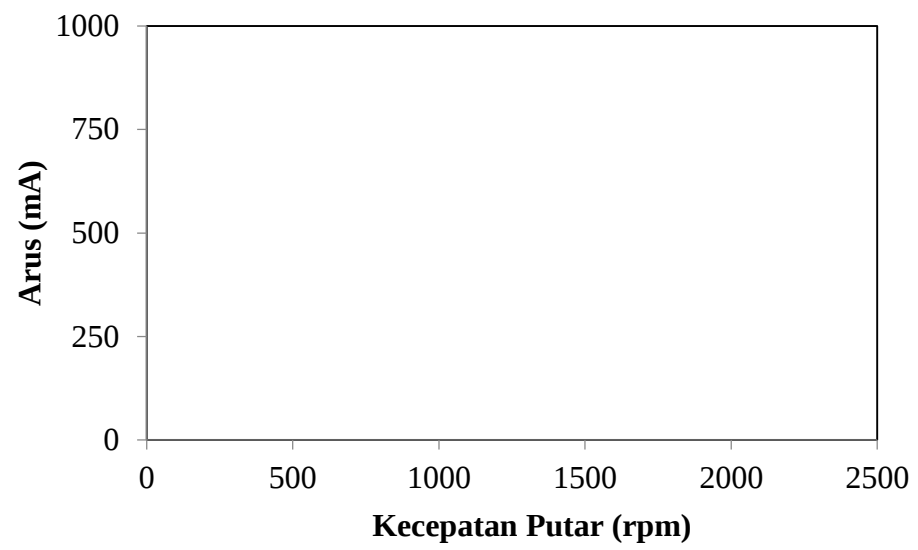
Tabel 3.2 Data pengujian keluaran yang dihasilkan generator

No	rpm	Tegangan (V)	Arus (mA)
1			
2			
3			
4			
6			
7			
8			
9			
10			

Dari Tabel 3.2 diperoleh grafik hubungan antara (rpm) terhadap tegangan (V) dan arus (I) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 dan 3.9



Gambar 3.8. Grafik hubungan antara rpm terhadap tegangan.



Gambar 3.9 Grafik hubungan antara rpm terhadap arus.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil perancangan, pembuatan, pengujian, dan analisis penelitian dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut .

1. Bendungan aliran air terjun Batu Putu, Kecamatan Teluk Betung Utara, Kota Bandar Lampung dapat menghasilkan listrik tenaga nanohidro dengan perolehan daya rata – rata pada hari pertama , kedua dan ketiga sebesar 247.98 W , 208.00 W dan 200.34 W
2. Rancang bangun generator yang di buat mampu berkerja konstan selama kincir berputar, dibuktikan dengan pengambilan data dalam 1 hari selama 5 jam, menghasilkan lampu tetap menyala dengan daya 247.98 W diperoleh data tegangan rata – rata sebesar 137.77 V dan arus tidak berubah yaitu 1,80 A
3. Rotor yang dibuat dari 6 buah kumparan 300 lilitan mampu menghasilkan arus AC dengan arus rata - rata 1,69 ampere.dengan kecepatan rata – rata kincir besi adalah 1598,36 rpm.
4. Pada hari pertama diperoleh arus 1,8 A hari kedua 1,64 A dan hari ketiga 1,64 A diketahui hari pertama diperoleh arus yang lebih besar dibandingkan dengan hari kedua dan ketiga hal ini dikarenakan

kecepatan rata – rata rpm hari pertama .lebih besar yaitu 1893,6 dibandingkan dengan hari kedua dan ketiga yaitu 1452,76 dan 1448,84.

B. Saran

Saran yang diberikan untuk sistem generator yaitu panjang pipa PVC yang digunakan tidak perlu terlalu panjang dengan jarak air terjun atau bendungan sehingga saat pengujian generator kecepatan air yang dihasilkan lebih deras hal ini dapat menggerakkan kincir lebih cepat sehingga menghasilkan arus dan tegangan yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Asy'ari, Mockmore C.A., Merryfield Fred. 1949. The Banki Water Turbine. *Journal Electrical Engineers of Japan*, Vol. 121, No.2, pp 119-112.
- Brophy, JJ. 1990. *Basic Electronics for Scientists Fifth Edition*. United States of America : McGraww-Hill.
- E. Bedi, H. Falk. 2008. Small hydro power plants, *Journal of Energy Saving Now*. Vol. 1, No. 2, pp 76-84.
- Endardjo P, Warga Dalam J, dan Setiadi A. 1998. *Pengembangan Rancang Bangun Mikrohidro Standar PU*. Bandung : Prosiding HATHI.
- Ezkhel Energy. 2013. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*. Jakarta : Erlangga.
- Fox, Robert W dan Alan T Mc Donald. 1995. *Introduction to Fluid Mechanics 3rd edition*. USA.
- Fritz Dietzel. 1988. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga.
- Haimerl, L.A. 1960. *The Cross Flow Turbine*. Jerman Barat
- Hartono, S. 1994. *Dasar – Dasar Teknik Listrik Aliran Rata 1 Cetakan Kedua*. Jakarta : PT Rineka Cipta.
- Hasbullah. 2009. *Aplikasi Penerapan Induksi Elektromagnetik*. Jakarta : Erlangga.
- Irsyad, Muhammad. 2010. Kinerja Turbin Air Tipe Darrieus Dengan Sudu Hydrofoil Standar Naca 6512. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Vol. 1, No.2, pp 58-64.
- Kudip, S.S. 2002. Selection of Hydraulic Turbines for Small Hydro Power. *Journal of Energy Saving*, Vol. 1, No. 2, pp 45-49.
- Laymad. 1998. On How Develop A Small Micro Hydropower Site. *Journal of Energy Saving*, Vol. 1, No. 4, pp 67-70.

Murniansyah, Wahyudi. 2009. *Desain dan Aplikasi Turbin Air Tipe Francis Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Nanohidro*. Bandar Lampung : Fakultas MIPA. Universitas Lampung.

Nugroho. 2012. *Induksi Elektromagnetik*. Bandung : Idea Dharma.

Patty F. 1995. *Tenaga Air Edisi Pertama*. Jakarta : Erlangga.

Penche, Celso. 1998. *Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site*. Belgia : ESHA (European Small Hydropower Association).

Pratama, Febriananda Mulya. 2014. *Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal Pada Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo*. Malang : Fakultas Teknik. Universitas Brawijaya.

Prayitno. 2005 . *Diktat Kuliah Turbin Air* . Yogyakarta : UGM.

Prayoga, Gama. 2008. *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Head Rendah Di Sungai Cisangkuy Kabupaten Bandung (Kajian Teknis)*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Radar Lampung. 2013. *Rasio Elektrifikasi 2013-2020*. Lampung.

Rio, R.S. 1999. *Fisika dan Teknologi Semikonduktor*. Jakarta : Pradnya Paramita.

Schultze. 1990. Siting for Nanohydro a Primer, *Journal of Home Made Power*, Vol. 15, No. 2, pp 89-94.

Situmorang. 2008. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta : Pradnya Paramita.

Timotius, Chris.MM. dan Sutrisno. 2009. *Perancangan dan Pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia.

Trihadi, Siswa. 2006. Rancangan Teknis dan Implementasi Sistem Pembangkit Listrik Hibrida PV-Diesel di Sulawesi. *Jurnal Ilmiah Teknologi Energi*. Vol. 1, No. 2, pp 56-62.

Warsito, Sri Wahyuni, D. dan Wildan Khoiron, 2011, Realisasi dan Analisa Sumber Energi Baru Terbarukan Nanohidro Dari Aliran Air Berdebit Kecil. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, Vol. 1, No. 1, pp 15-21.

Young H.D dan Freedman R.A. 2001. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid I*. Jakarta : Erlangga.

Zuhal, 1995. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.