

**RANCANG BANGUN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN *DARRIEUS***

(Tugas Akhir)

Oleh

ARIANTA FRANS SINULINGGA

1415021017



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

2021

ABSTRAK

RANCANG BANGUN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN *DARRIEUS*

Oleh :

ARIANTA FRANS SINULINGGA

Energi listrik merupakan bagian penting dalam kehidupan masyarakat pada saat ini. Ketersediaan listrik Indonesia hingga saat ini bergantung pada batubara yaitu 62%, bahan bakar minyak dan gas sebesar 25%, energi air 7% dan sumber lain seperti angin, panas bumi, dan lain-lain hanya sebesar 6% (RUPTL-PLN, 2018). Dan Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga air, karena di Indonesia masih banyak sungai-sungai yang belum dimanfaatkan. Akibat tidak adanya ketinggian air, sehingga dibutuhkanlah turbin hydrokinetik dikarenakan turbin tersebut tidak membutuhkan ketinggian jatuh air melainkan memanfaatkan gaya dorong dari aliran air seperti aliran sungai. Untuk itu penulis melakukan penelitian rancang bangun model pembangkit listrik menggunakan turbin *Darrieus* dan penelitian ini menggunakan airfoil RISO A-832. Pengujian ini dilakukan di laboratorium mekanika fluida, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung dengan variasi kecepatan aliran air yang digunakan adalah 1,7 m/s, 1,6 m/s, 1,5 m/s. Hasil pengujian terbaik terjadi pada kecepatan aliran air 1,5 m/s,

diperoleh nilai torsi 1,05 Nm dengan putaran yang dihasilkan turbin sebesar 233,3 m/s, daya yang dihasilkan turbin sebesar 13,92 Watt dan efisiensi kerja sistem sebesar 20,53%.

Kata kunci : energi, pembangkit listrik tenaga air, turbin Darrieus.

ABSTRACT

DESIGN AND BUID A HYDROELEKTRIC POWER PLANT WITH A

DARRIEUS TURBINE

BY

ARIANTA FRANS SINULINGGA

Electrical energy is an important part in public life now. Availability of electricity depends on 62% coals, 25% fuel of oil and gas, 7% water energy and another factors such as wind, geothermal about 6% (RUPTL-PLN, 2018). Indonesia is one of countries that have a potential for using hydroelectric power plant because Indonesia still has many rivers that have not been used. Influenced by unavailability the height of water, so it is needed hydrokinetic turbine because the turbine does not need the height of the water but uses of the water flow likely river flow. For that the author conducted a research design building models hydroelectric power plant by using Darrieus turbine. In this research the turbines that is used RISO A-832. This testing was carried out in fluid mechanics laboratory, mechanical engineer, technical faculties, university of Lampung and the variety speed of water flow are 1,7 m/s, 1,6 m/s, 1,5 m/s. The best of this result occurred the velocity of water flow is air 1,5 m/s and obtained the torque value 1,05 Nm with the resulting the rotation of the turbine is 233,3 m/s and the

power is produced of the turbine was 13,92 Watt and the system work efficiency is 20,53%.

Keywords : energy, hydroelectric power plant, Darrieus turbine.

**RANCANG BANGUN MODEL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN *DARRIEUS***

Oleh

ARIANTA FRANS SINULINGGA

1415021017

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Lampung



JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2021

Judul Skripsi : **RANCANG BANGUN MODEL
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR
MENGUNAKAN TURBIN DARRIEUS**

Nama Mahasiswa : **Arianta Frans Sinulingga**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1415021017

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik



MENYETUJUI
Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Jorfri Boike Sinaga., S.T., M.T.
NIP. 19710127 199803 1 004

Agus Sugiri, S.T., M.Eng.
NIP. 197008041998031003

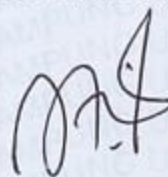
MENGETAHUI

Ketua Jurusan
Teknik Mesin

Ketua Program Studi
S1 Teknik Mesin



Dr. Amrul, S.T., M.T.
NIP. 19710331 199903 1 003



Novri Tanti, S.T., M.T.
NIP. 19701104 199703 2 001

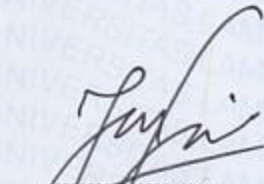

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua Penguji : **Jorfri Boike Sinaga, S.T., M.T.**

Anggota Penguji : **Agus Sugiri, S.T., M.Eng.**


Penguji Utama : **M. Dyan Susila ES. S.T., M.Eng**


.....

.....

.....

2. Dekan Fakultas Teknik




Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng.
NIP. 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 17 JUNI 2021

PERNYATAAN PENULIS

TUGAS AKHIR INI DIBUAT SENDIRI OLEH PENULIS DAN BUKAN HASIL PLAGIAT SEBAGAIMANA DIATUR PADA PASAL 27 PERATURAN AKADEMIK UNIVERSITAS LAMPUNG DENGAN SURAT KEPUTUSAN REKTOR No.3187/H26/DT/2010.

YANG MEMBUAT
PERNYATAAN



Arianta Frans Sinulingga
1415021017

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kabanjahe, pada tanggal 9 januari 1996, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, putra dari .Erizon sinulingga dan Rate Malem br Ginting.

Penulis menempuh pendidikan kanak-kanak di TK Ora Et Labora. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan dasar di SD Santo Xaverius 1 kabanjahe tahun 2001 - 2008. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Kabanjahe tahun 2008 - 2011. Penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 1 Kabanjahe tahun 2011 - 2014. Penulis diterima di Universitas Lampung, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin pada tahun 2014 melalui Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) .

Penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PT JAPFA Comfeed di tanjung bintang, Lampung selatan judul penelitian “Perhitungan efisiensi kerja blower pada Unit 1 (pengeringan jagung)”.

Selama menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Mesin FT UNILA, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) FT UNILA sebagai Anggota Muda Baru periode 2014 - 2015, Anggota Bidang Kerohanian

periode 2015 – 2016, dan Anggota Kaderisai 2016-2017. Selain itu juga, penulis juga aktif dalam Organisasi Forum Komunikasi Mahasiswa Kristen Fakultas Teknik (FKMK-FT), Penulis mengambil konsentrasi mata kuliah konversi energi pada bidang judul “Rancang bangun model pembangkit listrik Tenaga air dengan menggunakan turbin darrieus” dibawah bimbingan Jorfrie Boike Sinaga, S.T.,M.T., selaku Pembimbing utama dan Bapak Agus Sugiri, S.T., M.T., sebagai pembimbing pendamping.

MOTTO

“ORA ET LABORA”

*“BERUSAHALAH UNTUK MENGHADAPI JALANMU, KARENA
TIDAK ADA ORANG YANG MEMBANTUMU JIKA KAU TIDAK
BERUSAHA”*

*Maka kata tuannya itu kepadanya: Baik sekali perbuatanmu itu, hai hambaku
yang baik dan setia; engkau telah setia dalam perkara kecil, aku akan
memberikan kepadamu tanggung jawab dalam perkara besar. Masuklah dan
turutlah dalam kebahagiaan tuanmu.*

(Matius 25:21)

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan serta menyelesaikan skripsi dengan judul **“Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Air Dengan Menggunakan Turbin Darrieus”**. Penulis menyadari betapa besar bantuan serta dukungan dari semua pihak yang telah membantu dalam proses penelitian tugas akhir ini. Melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Penulis mengucapkan terimakasih dan puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang sudah memberikan kekuatan, hikmat, kesehatan dalam proses pembuatan laporan tugas akhir penulis.
2. Orangtua tercinta Bapak E. Sinulingga dan Mamak R br Ginting yang selalu memberikan doa, semangat dan dukungan baik secara materil maupun moril.
3. Bapak Prof. Drs. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
4. Bapak Dr. Amrul, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung dan Bu Novri Tanti S.T., M.T selaku Ketua Prodi S1 Teknik Mesin.
5. Bapak Jorfri Boyke Sinaga S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, atas ilmu, waktu, dan perhatian yang telah diberikan selama penyelesaian tugas akhir penulis.

6. Bapak Agus Sugiri S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, atas ilmu, waktu, dan perhatian yang telah diberikan selama penyelesaian tugas akhir penulis.
7. Bapak M.Dyan Susila ES. S.T., M.Eng selaku Dosen Pembahas, atas kritik dan saran yang diberikan pada tugas akhir penulis.
8. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin yang sudah membimbing penulis dalam proses perkuliahan di Teknik Mesin.
9. Admin Teknik Mesin Mas Marta, Mba Indah, Mas Marley dan Penjaga Gedung Jurusan Teknik Mesin Mas Dadang dan Mas Nanang atas perhatiannya selama proses pembuatan surat-surat dan kesiapan ruang pada saat penulis seminar.
10. Bapak Sugiman selaku teknisi Laboratorium Mekanika Fluida, atas bantuannya selama pengerjaan alat tugas akhir penulis.
11. Bapak Sugiman selaku teknisi Laboratorium Mekanika Fluida, atas bantuannya selama pengerjaan alat tugas akhir penulis.
12. Kedua adikku Jaka Sinulingga dan Novien sinulingga, atas doa dan dukungannya selama proses pengerjaan tugas akhir penulis.
13. Sahabatku Haga meliala, Donald Surbakti selalu memberikan dukungan dalam melewati proses penyelesaian tugas akhir penulis.
14. Keluarga besar IMKA Rudang Mayang Lampung yang selalu memberikan dukungan dan doa dalam melewati proses penyelesaian tugas akhir penulis.
15. Noni Mesin 2014 yang selalu memberikan dukungan dalam melewati proses penyelesaian tugas akhir penulis.
16. Teman teman FKMK-FT yang memberikan dukungan dan motivasi dalam proses penyelesaian tugas akhir penulis.
17. Teman-teman Mesin Angkatan 2014 yang selalu memberikan dukungan dalam melewati proses penyelesaian tugas akhir penulis.
18. Team tugas akhir Anton, Edji, Aji dan Dame yang selalu memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir penulis.
19. Semua pihak lain yang telah banyak membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga Tuhan Yesus yang membalas semua kebaikan kepada yang telah membantu didalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Sekian dan terimakasih.

Bandar Lampung, 7 Oktober 2021

Penulis,

Arianta Frans Sinulingga
NPM. 1415021017

DAFTAR ISI

	Halaman
I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	3
C. Batasan Masalah	3
D. Sistematika Penulisan	4
II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pembangkit Listrik Tenaga Air	6
B. Turbin Air	7
C. <i>Hydrofoil</i>	11
D. Turbin Darrieus	14
E. <i>Java Foil</i>	17
III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Tempat Penelitian	20
B. Alat dan Bahan	20
C. Tahap Perancangan dan Pembuatan	23
D. Tahap Pengujian dan Pengambilan Data Unjuk Kerja Turbin	27
E. Pengolahan Data	32
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Perancangan Dan Pembuatan Model Pembangkit	33
B. Hasil Pengujian	44
C. Pembahasan	48

V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan	56
B. Saran	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Turbin Francis (Jaliwala, 2010).....	8
Gambar 2.2 Turbin Darrieus (Shiono, 2002)	8
Gambar 2.3 Turbin Turgo (Jaliwala, 2010).....	9
Gambar 2.4 Bentuk profil sudu Hydrofoil (Wikipedia, 2008).....	10
Gambar 2.5 Vektor gaya dan kecepatan pada hydrofoil (sudargana, 2010)	11
Gambar 2.6 Gaya Gaya Turbin Darrieus (Wikipedia, 2008)	12
Gambar 2.7 Tampilan Dari Program <i>Javafoil</i>	15
Gambar 3.1 (a) Besi cor, (b) plat 1,2 mm, (c) besi siku.....	17
Gambar 3.2 (a) Besi poros pejal, (b) dempul, (c) mur dan baut	18
Gambar 3.3 (a) Mesin las dan elektroda, (b) Mesin Gerinda, (c) Mesin Bor	18
Gambar 3.4 (a) Mistar, siku, busur, (b) meteran,(c) akrilik.....	18
Gambar 3.5 (a) <i>Clamp ampere</i> , (b) <i>tachometer</i> , (c) <i>current meter</i>	19
Gambar 3.6 (a) Generator, (b) rangkaian lampu (c) sistem pengereman belt.....	19
Gambar 3.7 (a) Torsi meter, (b)Pompa	20
Gambar 3.8 Skema Model Pembangkit Listrik Turbin Darrieus	20
Gambar 3.9 Skema Turbin <i>Darrieus</i>	21
Gambar 3.10 Sistem pengereman sabuk (Tohari, 2015).....	24
Gambar 4.1 reservoir.....	35
Gambar 4.2 Penyambungan plat dengan mesin las listrik	36
Gambar 4.3 Pengeboran dudukan poros turbin.....	37
Gambar 4.4 Saluran air	37
Gambar 4.5 Mal akrilik.....	38
Gambar 4.6 Pembuatan garis tengah akrilik	38

Gambar 4.7 pemotongan akrilik.....	39
Gambar 4.8 pemotongan plat	40
Gambar 4.9 Proses pendempulan.....	40
Gambar 4.10 Pengelasan dudukan poros turbin.....	41
Gambar 4.11 Turin Darrieus	42
Gambar 4.12 Penyambungan rangka alat ukur torsi	43
Gambar 4.13 Penyambungan rangka alat ukur torsi ke bodi saluran.....	43
Gambar 4.14 Model pembangkit listrik	44

DAFTAR TABEL

Gambar	Halaman
Tabel 3.1 Tabel Pengambilan Data Pengujian Torsi.....	25
Tabel 3.2 Tabel Pengambilan dan Pengujian Listrik	26
Tabel 4.1 Nilai debit dan kecepatan aliran.....	45
Tabel 4.2 Pengujian turbin Darrieus untuk sudu RISO A-832	45

DAFTAR NOTASI

V	= Kecepatan Aliran	(m/s)
Q	= Debit Aliran	(m^3/s)
nt	= Kecepatan Putaran Turbin	(rpm)
T	= Torsi	(Nm)
P_t	= Daya Turbin	(Watt)
P_h	= Daya Hidro	(Watt)
P_g	= Daya Generator	(Watt)
ω	= Kecepatan Sudut	(rad/s)
r	= Jari-jari Turbin	(m)
ρ	= Massa Jenis Air	(Kg/m^3)
η_t	= Efisiensi Turbin	(%)
Λ	= <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR)	
F_D	= Gaya <i>Drag</i>	(N)
F_L	= Gaya <i>Lift</i>	(N)
C_D	= Koefisien <i>Drag</i>	
C_L	= Koefisien <i>Lift</i>	
U	= Kecepatan Air Relatif	(m/s)
σ	= Soliditas	

δ	= Sudut Delta	(⁰)
C	= Panjang Chord	(cm)
θ	= Sudut Putar	(⁰)
ψ	= Sudut Psi	(⁰)
α	= Sudut Serang	(⁰)
n	= Jumlah Sudu	
I	= Arus Listrik	(A)
Re	= Bilangan Reynold	
G	= Gravitasi	(m/s ²)

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Energi listrik merupakan bagian penting dalam kehidupan masyarakat pada saat ini. Energi listrik digunakan sebagai sumber energi utama dalam kehidupan masyarakat modern. Energi listrik digunakan untuk alat komunikasi, penerangan, industri, transportasi, sampai ke aktifitas rumah tangga seperti memasak, mencuci dan sebagainya. Energi listrik dapat diperoleh melalui pengolahan bahan bakar fosil, matahari, panas bumi, angin dan air. Ketersediaan listrik Indonesia hingga saat ini bergantung pada batubara yaitu 62%, bahan bakar minyak dan gas sebesar 25%, energi air 7% dan sumber lain seperti angin, panas bumi, dan lain-lain hanya sebesar 6% (RUPTL-PLN, 2018).

Menurut MW (Outlook Energi Indonesia, 2019) pemanfaatan energi terbarukan menjadi sumber energi listrik di Indonesia masih minim. Salah satu contoh penggunaan energi air menjadi sumber pembangkit listrik masih berkisar 5% dari potensi yang tersedia berkisar 94.3 GW. Dikarenakan hal tersebut pada laporan penelitian ini dilakukan penelitian

pembangkit listrik yang menggunakan energi air sebagai sumber utama pembangkit listriknya. Dan Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga air, karena di Indonesia masih banyak sungai-sungai yang belum dimanfaatkan. Akibat tidak adanya ketinggian air, sehingga dibutuhkanlah turbin hidrokinetik dikarenakan turbin tersebut tidak membutuhkan ketinggian jatuh air melainkan memanfaatkan gaya dorong dari aliran air seperti aliran sungai. Dan salah satu jenis turbin hidrokinetik adalah turbin Darrieus tipe lurus.

Turbin Darrieus tipe lurus adalah jenis turbin yang memanfaatkan gaya dorongan aliran air sebagai penggerak turbin untuk menghasilkan energi listrik. Berdasarkan penelitian Shiono, dkk, (2002) dimana pada penelitian tersebut dilakukan pengujian karakteristik antara sudu heliks dan sudu lurus. Pada sudu heliks memiliki putaran awal yang baik, tetapi untuk nilai torsi dan efisiensi kecil. Sedangkan sudu lurus memiliki putaran awal yang lambat tetapi nilai torsi dan efisiensi yang besar sehingga sudu lurus baik dalam menghasilkan energi.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Abdullah, dkk (2015) penelitian tersebut membandingkan beberapa jenis airfoil, diantaranya NACA 63-818, NREL S33, dan RISO A832. Pada NREL menghasilkan efisiensi yang rendah dan sering terjadi kavitasasi karena airfoilnya yang tipis. RISO A832 menghasilkan efisiensi yang baik dan energi yang konstan. NACA 63-818 menghasilkan efisiensi yang rendah pada bagian penghubung dan tidak

cocok penggunaannya untuk jenis turbin hidrokinetik karena karakteristik yang rendah. Dikarenakan hal tersebut pada laporan penelitian ini membahas mengenai rancang bangun model pembangkit listrik tenaga air dengan menggunakan turbin Darrieus RISO A832. Dan penelitian ini dilakukan di laboratorium mekanika fluida, dengan pembuatan model alat uji pembangkit listrik ini, dapat menambah peralatan praktikum di laboratorium mekanika fluida, supaya mahasiswa dapat menambah ilmu pengetahuan serta diharapkan adanya penelitian-penelitian terbaru yang dilakukan oleh mahasiswa atau dosen mengenai turbin Darrieus.

B. Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang parameter model sistem pembangkit turbin Darrieus.
2. Merancang parameter turbin Darrieus.
3. Pengujian unjuk kerja turbin yang dirancang.

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model sistem pembangkit listrik tenaga air dirancang sesuai dengan kondisi ruangan laboratorium mekanika fluida.
2. Profil sudu yang digunakan untuk membuat turbin Darrieus adalah RISO A832

D. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan ini terdiri dari beberapa bab dengan substansi sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan latar belakang dilakukannya rancang bangun sistem pembangkit listrik tenaga air dengan berdasarkan potensi ruangan laboratorium mekanika fluida yang tersedia. Selain itu, juga terdapat tujuan dan batasan masalah yang membatasi masalah dan mengerucutkan pembahasan dalam penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan landasan teori berupa parameter-parameter yang menjadi acuan dalam melakukan penelitian ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, serta langkah-langkah dalam melakukan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan hasil yang diperoleh dari proses penelitian serta pembahasan atas hasil yang telah diperoleh tersebut.

V. PENUTUP

Pada bab ini berisikan kesimpulan dan saran yang diperoleh dari pembahasan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Berisikan literatur-literatur yang menjadi referensi dalam proses penelitian ini.

LAMPIRAN

Berisikan data-data yang mendukung proses penelitian yang dilakukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi tenaga air sebagai sumber energi untuk membangkitkan listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja memanfaatkan aliran air yang disebabkan oleh gaya gravitasi sehingga menyebabkan perpindahan yang menghasilkan sejumlah energi. Aliran air diarahkan untuk menggerakkan turbin, akan menghasilkan energi listrik. Energi air dapat diperoleh dari energi potensial aliran (air terjun) maupun dari energi kinetik aliran (air mengalir). Energi air mengubah energi potensial yang terdapat di dalam air menjadi energi mekanik melalui sebuah turbin untuk kemudian dikonversi ke bentuk energi listrik melalui generator listrik. Daya listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga air bergantung pada debit yang mengalir dan tinggi jatuh air.

Keunggulan dari pembangkit listrik tenaga air (PLTA) adalah respon pembangkit listrik yang cepat dalam menyesuaikan kebutuhan beban. Kapasitas daya keluaran PLTA relatif besar dibandingkan dengan

pembangkit energi terbarukan lainnya dan teknologinya bisa dikuasai dengan baik oleh Indonesia. Akan tetapi penggunaan energi air sebagai sistem pembangkit listrik masih jarang ditemukan karena membutuhkan ketinggian jatuh air sehingga sulit diaplikasikan, dikarenakan tidak semua memiliki ketinggian jatuh air yang tinggi. Oleh karena hal itu dibutuhkan lah turbin hidrokinetik yang tidak membutuhkan ketinggian jatuh air karena pada turbin hidrokinetik tidak membutuhkan ketinggian jatuh air, dikarenakan adanya energi kinetik yang mampu membangkitkan listrik dan salah satu jenis turbin hidrokinetik adalah turbin Darrieus tipe turbin lurus yang sistem kerjanya termasuk yang bekerja tanpa membutuhkan ketinggian jatuh air, namun penggerakannya memanfaatkan gaya dorong dari aliran air seperti aliran sungai, salah satu keuntungan dari turbin Darrieus bentuk sudunya yang lurus, dan lebih mudah untuk dibuat sehingga penggunaan turbin ini banyak digunakan (Dominy, dkk, 2007).

B. Turbin Air

Turbin air di kembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk tenaga listrik. Turbin air adalah turbin dengan media kerja air. Secara umum turbin adalah alat mekanik yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu-sudu tetap atau *stationary blade*, tidak ikut berputar bersama poros, dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau *rotary blade*, mengarahkan kecepatan aliran air sehingga timbul gaya yang memutar

poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tak *compresibel*, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan.

Sudu turbin berputar dengan memanfaatkan gaya *drag*, fluida untuk mendorong sudu turbin yang berbentuk cembung terhadap arah aliran datangnya fluida. Gaya fluida ini juga akan mendorong sudu yang berbentuk cekung terhadap arah aliran fluida. Gaya *drag* yang bekerja pada bagian cekung ini lebih kecil daripada bagian cembung, sehingga gaya *drag* pada bagian cekung ini bekerja melawan putaran turbin dan ini yang berakibat efisiensi turbin.

Mekanisme kerja turbin *Darrieus* memanfaatkan gaya *lift*. Gaya *lift* yang dihasilkan oleh sudu turbin didapat dari kecepatan sudu turbin yang kemudian mengakibatkan resultan gaya, karena hal ini maka turbin yang memanfaatkan mekanisme gaya *lift* hanya dapat bekerja dengan baik pada kecepatan fluida yang dapat membuat turbin berputar dan menghasilkan kecepatan sudu. Setelah turbin berputar maka efisiensi yang dihasilkan dapat menjadi lebih baik. Berdasarkan cara penggunaannya turbin diklasifikasikan dalam beberapa jenis adapun jenis- jenis turbin tersebut adalah sebagai berikut ini (Dietsel, 1980):

1. Berdasarkan tingkatan *headnya* yaitu :

Pengklasifikasian turbin berdasarkan *headnya* dibagi menjadi empat jenis yaitu :

a) Turbin dengan *head* sangat rendah

Turbin dengan *head*nya sangat rendah memiliki tinggi berkisaran ≤ 5 m, biasanya jenis turbin dengan besar head yang diatas adalah turbin *Propeller*, Kaplan.

b) Turbin dengan *head* rendah

Turbin dengan *head* rendah memiliki ketinggian berkisaran 5 –20 m, biasanya jenis turbin dengan *head* diatas adalah turbin *Crossflow*.

c) Turbin dengan *head* sedang

Turbin dengan *head*nya sedang memiliki tinggi berkisaran 20-100 m, biasanya jenis turbin dengan *head* yang diatas adalah turbin Francis.

d) Turbin dengan *head* tinggi

Turbin dengan *head* yang tinggi biasanya memiliki ketinggian berkisaran 100 m, biasanya jenis turbin dengan head yang diatas adalah turbin Pleton, dan Turgo.

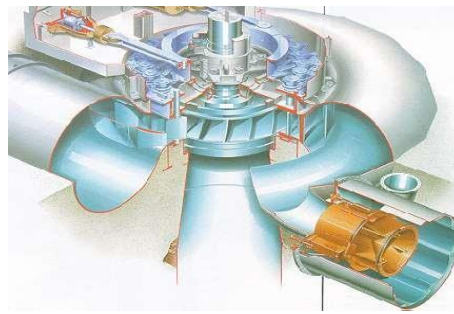
2. Berdasarkan cara kerjanya

Menurut cara kerjanya turbin di klasifikasikan menjadi dua jenis yaitu :

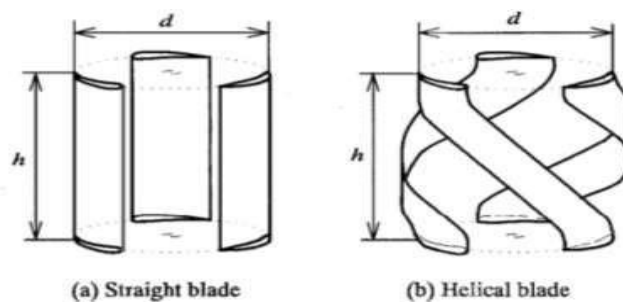
a) Turbin reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang memanfaatkan energi air yang bertujuan untuk mengubah energi air menjadi energi kinetik pada

saat air mengalir melewati sudu-sudu sehingga menyebabkan penurunan tekanan air selama air melewati sudu-sudu tersebut. Dikarenakan adanya perbedaan tekanan maka akan memberikan gaya pada sudu sehingga bagian turbin yang berputar (*runner*) dapat berputar. Oleh karena itu putaran *runner* menyebabkan perubahan momentum oleh air tersebut. Salah satu contoh turbin reaksi adalah turbin Francis dan Kaplan (*propeller*).



Gambar 2.1 (a) Turbin Francis (Jaliwala 2010)

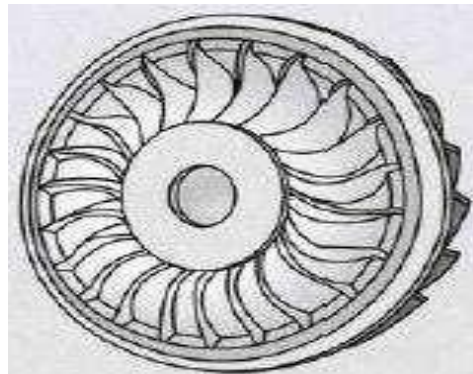


Gambar 2.2. (b) Turbin Darrieus (Shiono, 2002)

b) Turbin implus

Turbin implus adalah turbin yang sistem kerjanya memanfaatkan kecepatan, tekanan, dan energi potensial menjadi energi kinetiknya

yang akan memutar turbin sehingga energi mekanik yang terdapat pada poros akan ditransmisikan ke generator yang akan menghasilkan energi listrik akibat adanya perputaran pada turbin. Cara kerja dari turbin implus ini adalah energi fluida akan masuk ke sudu yang bergerak untuk membentuk energi kinetik pada *nozzle*, dan air akan keluar dari *nozzle* yang memiliki kecepatan yang tinggi akan membentur sudu turbin yang akan menyebabkan arah kecepatan aliran akan berubah sehingga akan terjadi perubahan momentum yang menyebabkan terjadinya perputaran pada roda turbin. Contoh dari turbin implus ini adalah turbin Pelton, Turgo, dan *crossflow*.



Gambar 2.3 Turbin Turgo (Jaliwala, 2010)

C. *Hydrofoil*

Hydrofoil adalah suatu struktur dengan bentuk hidrodinamik yang berguna untuk menghasilkan gaya mekanis (angkat) akibat dari gerakan relatif dari *hydrofoil* dan juga fluida sekitarnya. *Hydrofoil* merupakan suatu bentuk

sayap atau sudu (dari rotor, baling-baling atau turbin) yang memiliki bentuk, sifat dan tujuan yang menyerupai *airfoil*. Yang membedakan antara *hydrofoil* dan *airfoil* hanyalah media kerjanya. *Hydrofoil* bekerja pada suatu aliran air sedangkan *airfoil* bekerja pada suatu aliran udara, serta pada dasarnya *hydrofoil* memiliki permukaan atas dan bawah. Pada sebagian besar *hydrofoil*, kelengkungan permukaan atas lebih tinggi daripada permukaan bawah, tetapi dapat juga berbentuk simetris yang berarti tinggi permukaan atas sama dengan tinggi permukaan bawah (Irsyad, 2010).

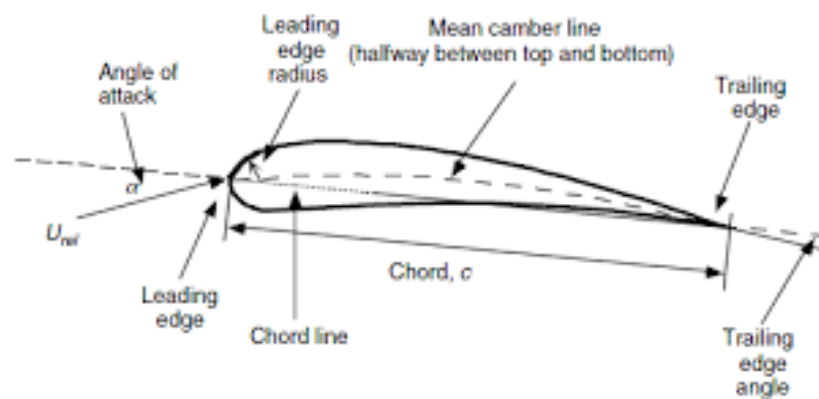
Berdasarkan bentuknya *hydrofoil* memiliki bentuk yang beragam dan memiliki standar data yang telah dikembangkan oleh beberapa lembaga penelitian, salah satunya yaitu *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA), NREL (*U.S. National Renewable Energy Laboratory*), and RISØ *National Laboratory* (Denmark). Profil *hydrofoil* dinyatakan oleh NACA dengan angka yang menyatakan beberapa parameter seperti ketebalan maksimal, *chamber* maksimum, posisi ketebalan maksimal, posisi *chamber* maksimum dan radius hidung dimana setiap angka memiliki makna.

Hydrofoil digunakan terutama untuk menghasilkan gaya lift yang bekerja pada turbin air agar dapat berputar. Salah satu referensi untuk pemilihan *hydrofoil* yang populer adalah profil *hydrofoil* yang dibuat oleh *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA). Pengujian yang dilakukan oleh NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan

dan distribusi ketebalan serta pengujiannya dilakukan pada berbagai bilangan Reynolds. Setiap bentuk *hydrofoil* NACA mempunyai parameter-parameter tersendiri sesuai dengan pengaplikasiannya.

Parameter-parameter yang telah ditentukan menurut standart NACA seperti pada gambar 2.4 dibawah:

1. Panjang *cord* (c)
2. Maksimum *camber* (f) atau *camber ratio* (f/c) dalam %
3. Posisi maksimum *camber* (X_f)
4. Ketebalan maksimum *hydrofoil* (t)
5. Posisi maksimum ketebalan (t_d)
6. Radius *nose* (r_N)
7. Koordinat *hydrofoil* Z_u (X) bagian atas dan z_i (X) bagian bawah.



Gambar 2.4 Bentuk profil sudu *hydrofoil*.

Untuk *hydrofoil* yang simetris, maka sudu diberikan dengan persamaan berikut :

$$y = \pm \left(\frac{t}{c} \right) \left(1,4845 \cdot x^{\frac{1}{2}} - 0,63 \cdot x^2 - 1,578 \cdot x^2 + 1,4215 \cdot x^3 - 0,5075 \cdot x^4 \right) \dots \dots \dots (2.1)$$

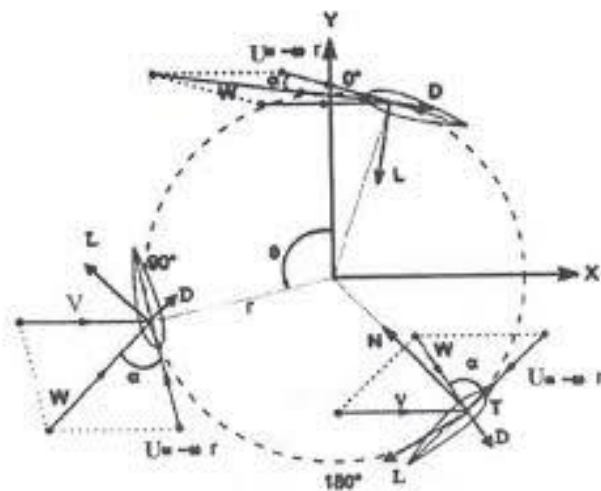
Dimana:

t = tebal maksimum sudu

c = lebar sudu (*chord length*).

D. Turbin Darrieus

Unjuk kerja dari turbin *Darrieus*, dinyatakan dalam harga koefisien gaya *drag* (C_D) dan gaya *lift* (C_L). Gaya *lift* adalah gaya yang arahnya tegak lurus aliran yang mengenai suatu bentuk *hydrofoil*. Gaya *drag* adalah gaya yang sejajar dengan aliran fluida yang mengenai suatu bentuk *hydrofoil*.



Gambar. 2.6 Gaya Gaya Turbin Darrieus (Wikipedia, 2008)

Adapun persamaan untuk menghitung gaya *drag* (F_D) dan gaya *lift* (F_L) dijabarkan pada Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3 berikut (Fox, 2004) :

$$F_D = \frac{1}{2} C_d \rho A W^2 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$F_L = \frac{1}{2} C_l \rho A W^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

W = Kecepatan relatif (m/s)

Kecepatan relatif dapat dicari dengan mempertimbangkan bentuk geometris, vektor kecepatan relatif (W) dan sudut serang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$W = \sqrt{(U \sin \theta)^2 + (U \cos \theta + \lambda U)^2} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sin \theta}{\cos \theta + \lambda} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{U} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dan adapun parameter-parameter yang digunakan untuk mengetahui unjuk kerja dari turbin *Darrieus* adalah sebagai berikut ini :

1. Torsi

Pada persamaan 2.7 ini torsi tersebut didapatkan karena adanya gaya-gaya *hidronamik* dan Untuk menghitung torsi tersebut digunakan persamaan dibawah ini :

$$T = \sum F \cdot R \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

$T =$ Torsi (N/m)

$F =$ Gaya tegak lurus terhadap lengan (N)

$R =$ Jari-jari turbin (m)

2. Daya

Daya merupakan besar usaha persatuan waktu. Besar daya masukan atau daya air (hidro), dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut :

$$P_h = 0.5 \rho A_t U^3 \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

$P_h =$ Daya masukan / hidro (Watt)

$\rho =$ Massa jenis fluida (Kg/m³)

$A_t =$ Luas penampang turbin (m²)

$V =$ Kecepatan air (m/s)

Daya keluaran (*output*) yang dihasilkan turbin dapat diperoleh dengan perkalian torsi terhadap kecepatan sudut turbin, ω (rad/s) pada persamaan sebagai berikut:

$$P_t = T \cdot \omega \dots\dots\dots(2.10)$$

Dengan mensubstitusikan putaran turbin n (rpm) kedalam persamaan 2.10 maka didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$P_t = 0.105.T.n \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

T = Torsi yang diperoleh dari alat ukur torsi (N/m)

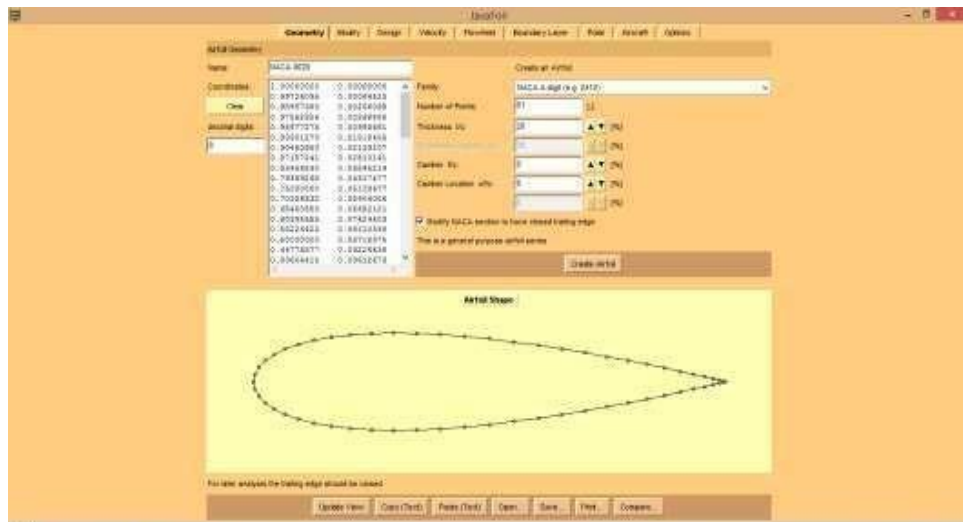
Selain menggunakan persamaan diatas, daya turbin dapat ditinjau dari daya listrik yang dihasilkan oleh generator yang diputar oleh turbin. Daya generator yang dihasilkan dihitung dengan mengukur tegangan (V) dan arus listrik (i) dengan persamaan berikut:

$$P_g = V_g.I_g \dots \dots \dots (2.12)$$

E. Javafoil

Javafoil merupakan perangkat lunak yang berfungsi untuk menentukan karakteristik *hydrofoil* seperti *lift*, *drag*, dan momen. Diciptakan oleh Martin Hepperle pada tahun 2001 untuk menganalisis *hydrofoil* pada aliran subsonic ($M < 1$). Program ini akan menghitung distribusi kecepatan pada permukaan *hydrofoil* dengan beberapa parameter seperti kecepatan dan tekanan lokal, bilangan *Reynold*, sudut serang dan lain-lain.

Javafoil menggunakan modul analisis aliran potensial yang didasarkan pada yang lebih tinggi metodi *panel order* (distribusi vortisitas bervariasi secara linier) dan tekanan local ini terkait dengan persamaan Bernoulli. Untuk menemukan *lift* dan *pitching*, koefisien momen distribusi tekanan dapat diintegrasikan sepanjang permukaan (Volgeltanz, 2016).



Gambar 2.7 Tampilan Dari Program *Javafoil*

Program ini dapat digunakan dalam merancang *hydrofoil* sebagai sudu turbin sehingga koefisien *lift* (C_l) dan koefisien *drag* (C_d) didapatkan dan besar gaya yang dihasilkan tiap sudu dapat dihitung. Selain untuk perhitungan *lift* (C_l) dan koefisien *drag* (C_d), profil sudu airfoil NACA dari *Javafoil* juga dapat di *import* ke program desain lain seperti *Solidwork* sehingga dapat digunakan untuk desain 3D sudu.

Pengoperasian *software javafoil* yaitu dengan menentukan profil *hydrofoil* pada menu *geometry* sesuai dengan profil NACA yang diinginkan, lalu

pada menu *options* masukkan parameter-parameter seperti densitas fluida, viskositas dinamik fluida, kecepatan suara, bilangan *mach*, *aspect ratio* (panjang sudu dibagi panjang *chord*), dan sudut *sweep* sesuai dengan kondisi yang dirancang. Lalu untuk mendapatkan koefisien *lift* dan *drag* dapat diperoleh pada menu *Polar*, masukkan bilangan *Reynold* dan sudut serang pada setiap posisi sudu, lalu klik “*Analyze it!*”. Kemudian akan muncul grafik dan tabel yang berisikan koefisien *lift* dan *drag* pada setiap posisi sudut serang sudu yang dianalisa. Koefisien *lift* (C_L) dan *drag* (C_D) ini kemudian digunakan untuk menghitung gaya *Lift* dan *Drag* seperti Persamaan 2.2 dan 2.3. Dan untuk menghitung panjang sudu dan bilangan *Reynold* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Re = \frac{\rho \cdot (W \cos \alpha) c}{\mu} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :

ρ = massa jenis (Kg/m^3)

c = *chord* (m)

μ = viskositas (Ns/m^2)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Tempat Penelitian

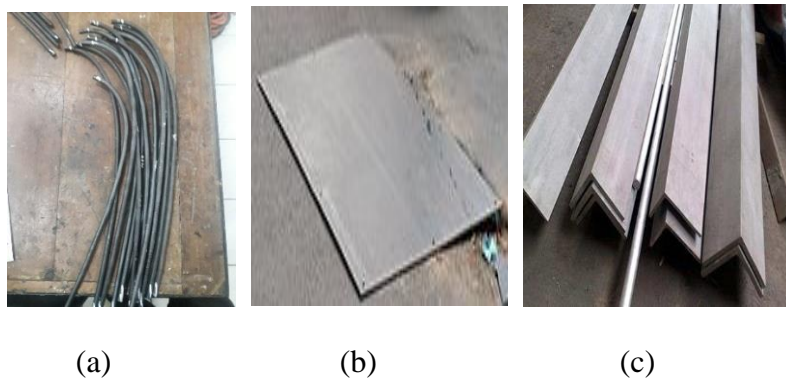
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Fakultas Teknik Universitas Lampung (UNILA)

B. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan berbagai alat dan bahan untuk pembuatan dan pengujian unjuk kerja turbin *Darrieus*. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut

1. Bahan pembuatan turbin *Darrieus*

Adapun bahan yang digunakan dalam pembuatan turbin *Darrieus* dapat dilihat pada Gambar 3.1 sampai Gambar 3.2 sebagai berikut :



Gambar 3.1. (a) Besi cor, (b) Plat 1,2 mm, (c) Besi siku.



(a)

(b)

(c)

Gambar 3.2. (a) Besi poros pejal, (b) Dempul, (c) Mur dan baut.

2. Alat pembuatan turbin sudu lurus (*Darrieus*)

Adapun alat yang akan digunakan dalam pembuatan model pembangkit listrik menggunakan turbin *Darrieus* dapat dilihat pada Gambar 3.3 sampai Gambar 3.7 sebagai berikut :



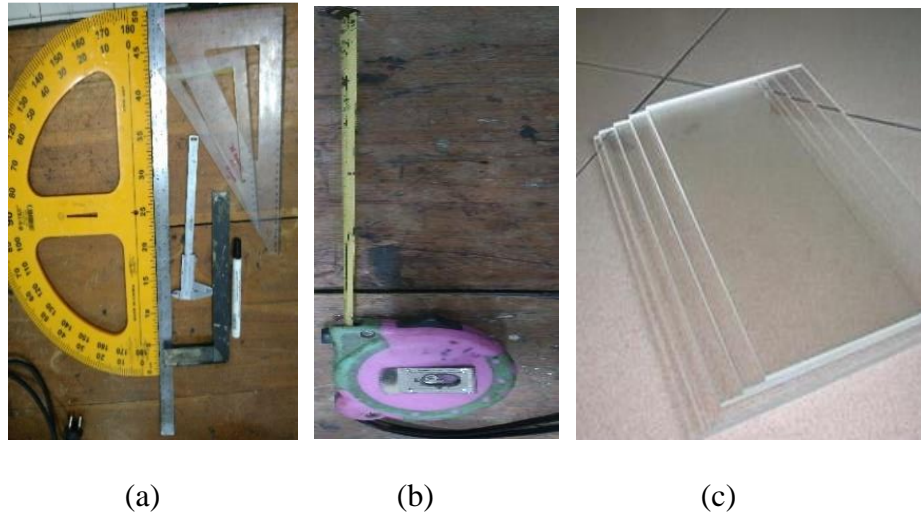
(a)

(b)

(c)

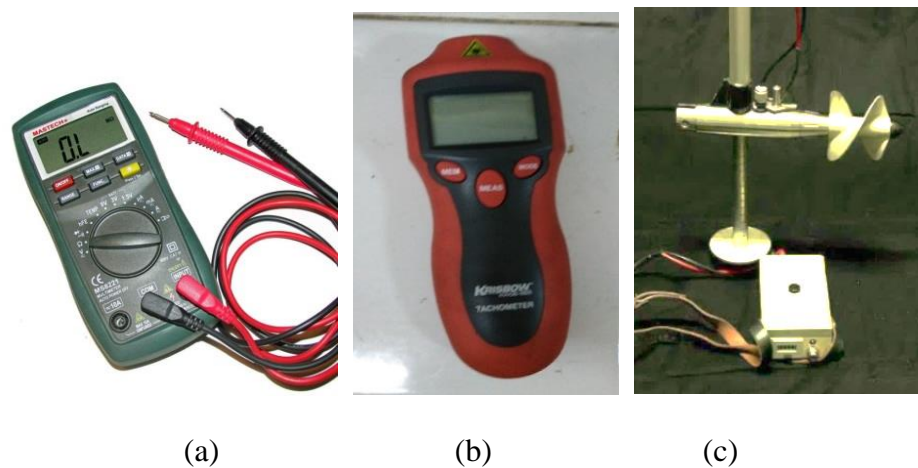
Gambar 3.3. (a) Mesin las dan elektroda, (b) Mesin Gerinda,

(c) Mesin Bor

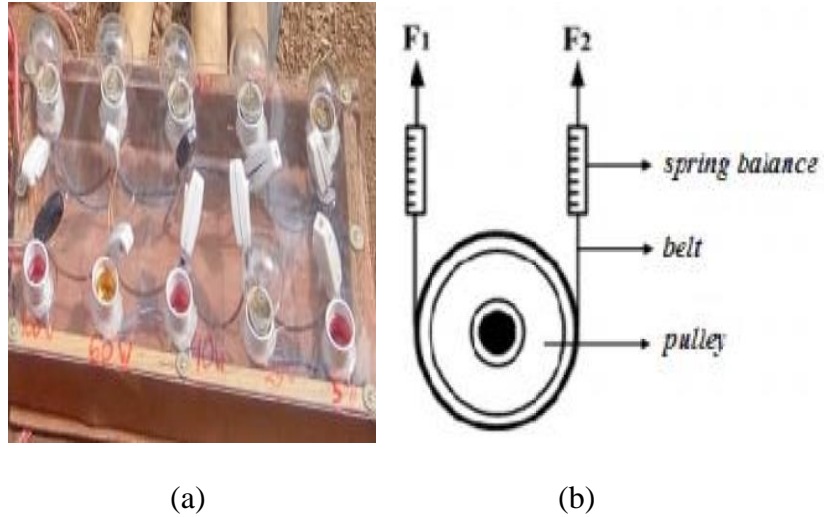


Gambar 3.4. (a) Mistar, siku, busur, (b) meteran, (c) akrilik

3. Alat ukur dan perlengkapan untuk pengujian unjuk kerja turbin *darrieus*
 Adapun alat yang digunakan dalam pengujian model pembangkit listrik menggunakan turbin *darrieus* dapat dilihat pada Gambar 3.5 sampai Gambar 3.7 sebagai berikut :



Gambar 3.5 (a) multimeter, (b) tachometer, (c) current meter.



Gambar 3.6 (a) Rangkaian lampu, (b) Sistem pengereman belt.



(a) Pompa

Gambar 3.7 (a) Pompa

C. Tahap Perancangan dan Pembuatan

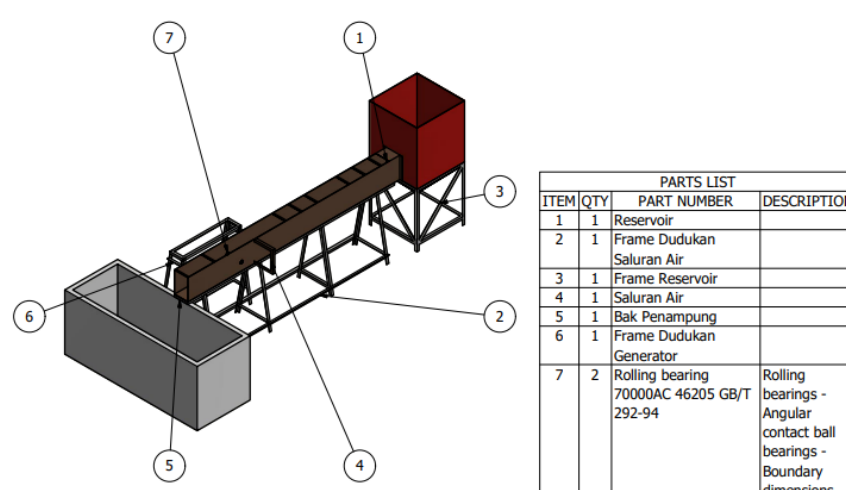
Dalam melakukan perancangan dan pembuatan model pembangkit turbin *darrieus* ini dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut ini:

1. Tahap Persiapan

Pada tahap ini dilakukan studi literatur dan melengkapi bahan-bahan perlengkapan yang dibutuhkan dalam tahap perancangan dan pembuatan system pembangkit listrik.

2. Tahap Perancangan

Pada tahap ini dilakukan pembuatan skema system pembangkit listrik menggunakan sudu *darrieus* seperti yang terlihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Skema Model Pembangkit Listrik Turbin *Darrieus*

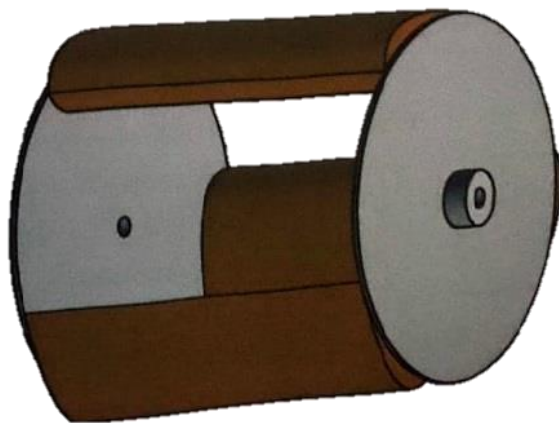
Adapun tahapan yang dilakukan dalam proses perancangan model pembangkit turbin dengan sudu lurus (*darrieus*) adalah sebagai berikut:

a. Kajian ruang laboratium mekanika fluida

Dalam merancang model pembangkit listrik menggunakan turbin *darrieus* di buat pada laboratorium untuk menentukan dimensi saluran air dan tangki penampungan air (*reservoir*) dilakukan pengukuran tempat yang tersedia di laboratorium mekanika fluida Universitas Lampung.

- b. Penentuan ukuran dimensi model pembangkit listrik turbin *Darrieus*.
- c. Penentuan dimensi ukuran model pembangkit seperti *reservoir*, saluran, dan bak penampungan air berdasarkan kapasitas ruangan laboratorium.
- d. Penentuan dimensi turbin, jumlah sudu dan profil sudu turbin sudu lurus (*darrieus*).

Penentuan dimensi turbin *darrieus* dilakukan berdasarkan dimensi saluran alat uji yang dibuat. Penentuan skema sudu turbin dilakukan berdasarkan perhitungan pemodelan menggunakan software *javafoil*. Penentuan jumlah sudu turbin sudu lurus dilakukan berdasarkan studi literatur dari penelitian Shiono yang menyatakan bahwa unjuk kerja turbin sudu lurus terbaik diperoleh oleh turbin dengan 3 sudu (Shiono, 2016). Rancangan turbin sudu lurus yang akan dibuat adalah seperti sketsa pada gambar 3.9 dibawah ini :



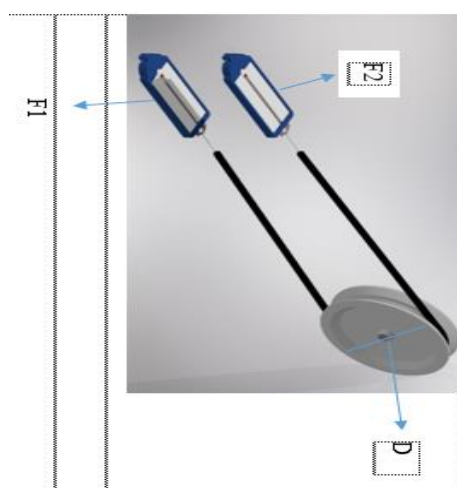
Gambar 3.9 Skema turbin Darrieus

e. Pembuatan turbin

Proses pembuatan turbin terdiri dari komponen-komponen utama seperti poros, sudu, dudukan sudu, dudukan turbin dan beberapa komponen lainnya. Dimensi setiap komponen yang dibuat berdasarkan proses perancangan yang dilakukan pada tahapan sebelumnya.

f. Pemilihan sistem pengukuran torsi

Sistem pengukuran torsi diperlukan untuk putaran turbin. Oleh karena itu, pemilihan sistem pengukuran torsi yang akan digunakan sangat penting untuk mengoptimalkan proses konversi energi aliran air menjadi energi listrik. Adapun skema yang digunakan untuk sistem transmisi adalah sistem pengereman neraca pegas, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.10 Skema Pengereman Neraca Pegas

D. Tahap pengujian dan pengambilan data unjuk kerja turbin.

Pengujian model pembangkit listrik turbin darrieus dilakukan untuk memperoleh data pengujian dengan beberapa variasi pengujian. Adapun data yang akan diambil dalam pengujian turbin darrieus di laboratorium adalah kecepatan aliran air, kecepatan putaran turbin (rpm), kecepatan putaran generator (rpm), torsi turbin (Nm), arus listrik (A), dan tegangan listrik (Volt).

Langkah-langkah yang digunakan dalam pengujian model pembangkit turbin darrieus di laboratorium mekanika fluida adalah sebagai berikut:

1. Mengisi air kedalam reservoir sampai penuh.
2. Membuka katub saluran air pada reservoir dengan variasi kecepatan aliran air.
3. Mengukur kecepatan pada setiap level ketinggian air.
4. Mengukur torsi turbin dengan menggunakan pengereman sabuk.
5. Setelah turbin beroperasi dilakukan pengukuran kecepatan putaran turbin dan putaran generator menggunakan *tacho meter*.
6. Mengukur arus dan tegangan listrik menggunakan *clampmeter* yang dihasilkan generator dengan tanpa pembebanan dan variasi pembebanan listrik.
7. Mencatat data hasil pengujian.

Metode pengambilan data dalam pengujian model pembangkit turbin

Darrieus :

a) Pengukuran kecepatan aliran

Pengukuran kecepatan aliran air dilakukan untuk mengetahui potensi daya yang dimiliki saluran alat uji sehingga dapat merancang letak turbin yang sesuai. Pengukuran kecepatan aliran menggunakan alat ukur *current meter* dengan metode pengukuran tiga titik referensi, yaitu 0,25m, 0,30m, dan 0,35m,

Kecepatan rata-rata aliran dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1 berikut:

$$U = \frac{U_{0,2} + U_{0,6} + U_{0,8}}{3} \dots\dots\dots(3.1)$$

Nilai rata-rata hasil pengukuran di semua titik kemudian di substitusi dalam persamaan kalibrasi alat ukur yang dikalibrasi oleh Laboratorium Balitbang Hidrologi dan Tata Air, Kementerian PUPR pada Persamaan 3.2 dan 3.3 berikut ini (Tobiin, 2017):

Untuk $n < 1,22$ maka,

$$U = 0,1253 n + 0,0193 \text{ (m/s)} \dots\dots\dots(3.2)$$

Sedangkan untuk $n \geq 1,22$ maka

$$U = 0,1312 n + 0,0121 \text{ (m/s)} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dimana

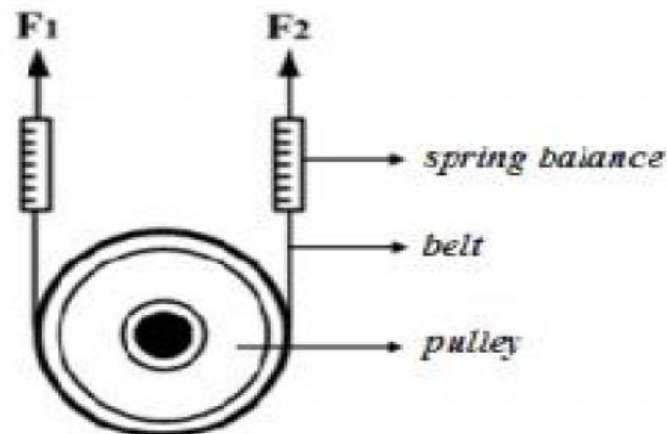
n = Jumlah putaran propeler.

b) Pengukuran putaran turbin

Pengukuran putaran turbin dilakukan untuk mengetahui jumlah putaran poros turbin per menit untuk mengetahui besar daya poros turbin. Alat yang digunakan dalam menghitung putaran turbin adalah *tachometer*.

c) Pengukuran torsi turbin

Torsi turbin dapat diukur dengan melakukan pengereman terhadap turbin saat berputar dengan metode sistem pengereman sabuk. Sistem pengereman sabuk menggunakan dua buah neraca pegas sebagai pengukur besar tegangan tali pengereman seperti Gambar 3.10 (Tohari, 2015).



Gambar 3.10 Sistem pengereman sabuk (Tohari, 2015)

Selanjutnya untuk mengetahui torsi dihitung dengan selisih tegangan tali antara sisi ketat dan sisi kendur merupakan gaya (F) pengereman seperti Persamaan 3.4 berikut (Ewen, 2012).

$$T = F \cdot r \dots \dots \dots (3.4)$$

Sehingga daya turbin (P_t) dengan Persamaan 3.5 berikut (Ewen, 2012):

$$P_t = T \cdot \omega \dots\dots\dots(3.5)$$

Dimana:

$$F = |F_1 - F_2| \text{ (N)}$$

r = Jari-jari *pulley* pengereman (m)

P_t = Daya poros turbin (Watt)

T = Torsi turbin (Nm)

ω = Kecepatan sudut turbin (rad/s)

Pengambilan data hasil pengujian torsi turbin sudu lurus kemudian akan disajikan dalam tabel dengan format sebagai berikut.

Tabel 3.1. Contoh tabel pengambilan data pengujian torsi

Kecepatan aliran (m/s)	No	Beban Pengereman (kg)	Torsi (N.m)	Putaran Poros (rpm)
	1			
	2			
	...			
	7			
	1			
	2			
	...			
	7			
	1			
	2			

	...			
	7			

d) Pengukuran kuat arus (I) dan tegangan listrik (V)

Kuat arus (I) dan tegangan listrik (V) keluaran generator diukur menggunakan alat ukur *clampmeter*. Kuat arus (I) dan tegangan listrik (V) merupakan parameter daya yang dihasilkan oleh model pembangkit listrik.

Hasil pengambilan data pengujian listrik model pembangkit turbin darrieus kemudian akan disajikan dalam tabel dengan format berikut.

Tabel 3.2 Contoh tabel pengambilan data pengujian listrik

Kecepatan aliran (m/s)	No	Beban Listrik (W)	Putaran Poros Turbin (rpm)	Arus (A)	Tegangan (V)
	1				
	2				
	...				
	7				
	1				
	2				
	...				
	7				
	1				

	2				
	...				
	7				

E. Pengolahan Data

Data-data pengujian yang telah didapatkan, diolah untuk mengetahui daya hidro (P_h), daya turbin (P_t), efisiensi turbin (η_t), efisiensi (η_{PLTMH}) alat uji. Untuk menghitung daya hidro digunakan data berupa kecepatan air dari saluran air dengan menggunakan Persamaan 2.9. Untuk menghitung daya turbin digunakan data torsi dan kecepatan sudut dengan menggunakan Persamaan 2.10. Untuk menghitung efisiensi turbin digunakan daya turbin dan daya hidro dengan menggunakan Persamaan 2.11.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Parameter dari model pembangkit listrik tenaga air yang digunakan adalah reservoir, saluran, turbin darrieus, sistem pengereman menggunakan neraca pegas, pully, generator.
2. Berdasarkan hasil rancangan didapatkan dimensi turbin *Darrieus* dengan diameter 0,2 m, tinggi 0,2 m, panjang chord 0,084 m.
3. Hasil dari pengujian unjuk kerja turbin *Darrieus* sudu RISO A-832 diperoleh efisiensi terbaik sebesar 20,53 %.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam pada laporan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam proses pembuatan sudu turbin sebaiknya digunakan cetakan agar mendapatkan bentuk air foil lebih baik.

2. Diharapkan dengan adanya pengujian eksperimen ini, peneliti selanjutnya dapat mengembangkan pengujian secara digital pengambilan data secara bersamaan dengan menggunakan modul yang telah dibuat sebelumnya dikomputer.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah Moratoglu, dan M. Ishak Yuce., 2015. *Performance Analysis of Hydrokinetic Turbine Blade Sections*. Journal ISSN: DOI : TBA. Turkey.

Dietzel, F., 1996. *Turbin an Pompa Kompresor PT*. Gelora Aksara Pratama. Jakarta.

Dominy R, Lunt P, Bickerdyke A, Dominy J., 2007. *Self-Starting Capabilit of a Darrieus Turbine*. *Proc Inst Mech ng (IMechE) ePart A: J Power Energy*: 221: 111-120

Fox, R.W., McDonalds, A.T, Pritchard, P.J., 2004. *Introduction to Fluid Mechanics*. United State of America. John Wiley an Sons, Inc.

Irsyad., 2010. *Kinerja Turbin Air Tipe Darrieus Dengan Sudu Hydrofoil Standar Naca 6512*, *DINAMIKA*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol. 1, No. 2.

Jaliwala, R., dan Tim *Contained Energy Indonesia.*, 2020. *Buku Panduan Energi yang Terbarukan*. Kementrian Dalam Negeri. Jakarta.

Outlook Energy Indonesia, 2019. *Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional*. Jakarta.

Patty. O.F., 1995, *Tenaga Air*, Erlangga, Jakarta.

PLN (Persero)., 2018. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik – Perusahaan Listrik Negara (RUPTL-PLN) 2018*. PT. PLN (Persero). Jakarta.

Shiono, M., Suzuki, K., dan Kiho, S., 2002. *Output Characteristic of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations: Journal ISSN*. Nihon University. Japan.

Sudargana, R, 2012, “*Analisa Perancangan Turbin Darrieus Pada Hydrofoil NACA 0015 Dari Karakteristik dan Pada Variasi Sudut Serang menggunakan Regresi Linier Pada Matlab*”, Semarang : Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Wikipedia, 2008. *Vertical Axis Wind Turbine*. Dapat diakses di https://upload.wikimedia.org/Wikipedia/commons/thumb/4/4d/Forces_and_velocities.png/440px-Force_and_velocities.png. Diunduh pada tanggal 12 November 2020.