

**DESAIN SISTEM GENERATOR LISTRIK TENAGA ARUS AIR LAUT  
BERKECEPATAN RENDAH DENGAN MENGGUNAKAN  
TURBIN DARRIEUS**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Indah Rahmawati**

**2017041040**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2026**

## ABSTRAK

### DESAIN SISTEM GENERATOR LISTRIK TENAGA ARUS AIR LAUT BERKECEPATAN RENDAH DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN DARRIEUS

*Oleh*

**Indah Rahmawati**

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Arus Air Laut (PLTAL) dengan memaksimalkan tegangan yang dihasilkan oleh generator dan turbin. Prototipe dibuat dengan beberapa komponen penting yaitu turbin, generator, kaki pemberat penyangga, dan lampu 12 V. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu merancang alat dan melakukan pengujian secara langsung. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah alat generator yang memiliki keluaran tegangan rata-rata 8,81 volt dari pengambilan data 15 kali dengan rentang rata-rata kecepatan arus sebesar 0,46 m/s. Kecepatan rata-rata rpm generator sebesar 101,81 rpm dan turbin 41,11 rpm. Sedangkan hasil pengujian menggunakan bor drill didapatkan tegangan dari rotasi terendah 19,03 volt hingga rotasi tertinggi 21,38 volt. Hasil tersebut didapatkan dari pengambilan 15 data setiap menitnya. Hasil tegangan dari alat tersebut dapat digunakan untuk menghidupkan lampu atau keperluan listrik kecil lainnya.

**Kata Kunci :** Generator, PLTAL, Turbin, Rpm, Prototipe

## *ABSTRACT*

### **SYSTEM DESIGN OF LOW-SPEED SEAWATER CURRENT POWER GENERATOR USING DARRIEUS TURBINE**

*By*

**Indah Rahmawati**

This study aims to design a prototype of a Marine Current Power Plant (PLTAL) by maximizing the voltage generated by the generator and turbine. The prototype was made with several important components, namely a turbine, generator, support legs, and a 12 V lamp. The methods used in this study were designing the device and conducting direct testing. The result of this research is a generator device that has an average voltage output of 8.81 volts from 15 data collections with an average current speed range of 0.46 m/s. The average speed of the generator is 101.81 rpm and the turbine is 41.11 rpm. Meanwhile, the results of testing using a drill obtained a voltage from the lowest rotation of 19.03 volts to the highest rotation of 21.38 volts. These results were obtained from collecting 15 data points every minute. The voltage from this device can be used to power lights or other small electrical appliances.

**Keyword :** Generator, PLTAL, Turbine, Rpm, Prototype

**DESAIN SISTEM GENERATOR LISTRIK TENAGA ARUS AIR LAUT  
BERKECEPATAN RENDAH DENGAN MENGGUNAKAN  
TURBIN DARRIEUS**

**Oleh**

**Indah Rahmawati**

**Skripsi  
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai  
Gelar Sarjana SAINS**

**Pada**

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



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2026**

Judul Skripsi : Desain Sistem Generator Listrik Tenaga Arus Air  
Laut Berkecepatan Rendah dengan Menggunakan  
Turbin Darrieus

Nama Mahasiswa : **Indah Rahmawati**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2017041040

Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**MENYETUJUI**

**1. Komisi Pembimbing**

Pembimbing I



**Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002

Pembimbing II



**Drs. Pulung Karo Karo, M.Si.**  
NIP. 196107231986031003

**2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA**



**Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.**  
NIP. 199011252019032018

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

**Ketua : Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. ....**

**Sekretaris : Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. ....**

**Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Yanti Yulianti S.Si., M.Si. ....**

**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.T.  
NIP. 197110012005011002**

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 15 April 2026**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak ada 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 ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 09 April 2026



**Indah Rahmawati**  
NPM. 2017041040

## RIWAYAT HIDUP



Penulis memiliki nama Indah Rahmawati dilahirkan di Bandar Lampung, Provinsi Lampung pada 26 November 2002, Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, putri dari pasangan Bapak Suhardianto dan Ibu Rohani. Penulis pernah menempuh pendidikan di TK Kartika II-26 Bandar Lampung tahun 2007-2008, kemudian melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SD Kartika II-5 Bandar Lampung pada tahun 2007-2013, setelah lulus penulis lanjut pendidikan di SMP Kartika II-2 Bandar Lampung pada tahun 2015-2017. Pada tahun 2018 penulis melanjutkan pendidikannya di SMA NEGERI 3 Bandar Lampung dan menyelesaikan masa SMA dari tahun 2018-2020. Setelah menyelesaikan 12 tahun wajib belajar, penulis memasuki jenjang pendidikan tinggi di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung (Unila) dengan mengambil bidang konsentrasi dalam bidang Fisika Energi. Selama menjalani pendidikan tersebut, Penulis juga aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Fisika (HIMAFI) selama 1 periode sebagai Sekretaris biro Kesekretariatan dan Rumah Tangga.

Penulis melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Direktorat Jendral Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi Jakarta Pusat. Penulis juga memenuhi salah satu kewajiban dari tridharma perguruan tinggi yaitu pengabdian kepada masyarakat atau Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Kelurahan Baros, Kec. Kota Agung Pusat, Kab. Tanggamus, Provinsi Lampung. Pengalaman menulis ilmiahnya yakni laporan PKL pada tahun 2023 dengan judul “Identifikasi Kerusakan Modul Fotovoltaik Berdasarkan Hasil Inspeksi Teknis Sistem PLTS Atap di Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Jakarta Pusat”.

## MOTTO

**“dan Dia memberinya rezeki dari arah yang tidak disangka-sangkanya. Dan Barang siapa bertawakal kepada Allah, niscaya Allah akan mencukupkan (keperluan)nya”  
(QS. AT Talaq:03)**

“Proses setiap orang berbeda, ada yang memilih lari marathon atau jalan santai. Tapi tenang saja, karena kalian akan sampai pada tujuan yang sama”  
(Salma Salsabil)

“tuhan tahu waktu yang tepat dan jawaban yang tepat untuk semua doa-doa kita”  
(Rony Parulian)

Rencana allah SWT padamu lebih baik dari rencanamu. Terkadang allah SWT menghalangi rencanamu untuk menguji kesabaranmu. Maka perhatikanlah kepada-Nya kesabaran yang indah. Tak lama kamu akan melihat sesuatu yang menggembirakanmu. Bukan allah SWT tidak peduli denganmu. Tapi allah SWT tau kamu itu kuat, dan akan diganti bahagia diwaktu yang tepat.

## PERSEMBAHAN



**Dengan Mengharapkan Ridho Allah SWT dan Syafaat Nabi Muhammad**

**SAW, Karya ini saya persembahkan kepada:**

### **Kedua Orang Tua dan Keluarga Besar**

Terimakasih atas segala Doa, motivasi dan pengorbanan yang telah diberikan sehingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai Sarjana.

### **Bapak-Ibu Dosen**

Terimakasih atas segala ilmu pengetahuan dan budi pekerti yang telah membuka hati dan wawasanaku .

### **Sahabat dan Teman Seperjuangan**

Terimakasih atas segala kebaikan dan kebersamaan kalian

Almamaterku Tercinta

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

## SANWACANA

Puji dan syukur penulis kepada Allah SWT yang telah memberikan Kesehatan, nikmat dan kurnia serta rahmat-Nya sehingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Desain Sistem Generator Listrik Tenaga Arus Air Laut Berkecepatan Rendah dengan Menggunakan Turbin Darrieus**”. Berhasilnya penelitian dan penulisan skripsi ini tidak hanya dilakukan oleh penulis sendiri namun adanya kontribusi beberapa pihak yang turut menyukseskan dan membuat hasil karya ini menjadi lebih baik. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak-pihak yang telah ikut serta membantu penulis, diantaranya:

1. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dan motivasinya selama melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Pulung Karo Karo, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah memberikan masukan, saran, dan nasihat dalam melakukan penelitian dan penulisan skripsi ini.
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga penelitian dan penulisan skripsi ini menjadi lebih baik.
4. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
5. Bapak Arif Surtono S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan saran selama penulis menempuh bangku perkuliahan.
6. Seluruh dosen Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu selama menjadi mahasiswa di Universitas Lampung.

7. Seluruh Staf dan Karyawan Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah membantu kebutuhan administrasi penulis selama masa kuliah.
8. Kedua orang tuaku Ayah Suhardianto dan Ibu Rohani yang selalu memberikan kasih sayang, membesarkan, mendidik dan mendoakan penulis hingga sampai saat ini.
9. Kakak kesayanganku dr. Intan Hardianti yang senantiasa dan selalu memberikan semangat, doa, dukungan serta keceriaan.
10. Teman-teman seperjuangan penulis, Yolla Armala Suci dan Siti Nurjanah yang selalu ada disaat senang dan susah selama dibangku perkuliahan serta telah menjadi kawan diskusi yang baik.
11. Teman-teman pimpinan dan pengurus HIMAFI 2022 dan Teman-teman KBK Energi terimakasih atas dukungan dan motivasi sehingga penulis senantiasa belajar menjadi lebih baik lagi.
12. Seluruh mahasiswa/i Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung angkatan 2020, dan teman-teman yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.
13. Idola penulis Salma Salsabil dan Rony Parulian yang secara tidak langsung menjadi sumber inspirasi dan dorongan dalam menghibur penulis melalui karya musik yang membuat suasana hati penulis menjadi lebih berwarna. .
14. Teruntuk diri saya sendiri, terimakasih telah berjuang keras dan berusaha sampai sejauh ini. Sudah mampu bertahan dan mengendalikan diri dari berbagai tekanan diluar keadaan dan tidak pernah berfikir dan memutuskan untuk menyerah sesulit apapun proses dalam penyusunan skripsi ini dengan menyelesaikan sebaik dan semaksimal mungkin.

Serta berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah Subhanahu wa ta'ala dapat membalas seluruh kebaikan dan mempermudah segala urusannya.

Bandar Lampung, 9 Januari 2026

Indah Rahmawati

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>ix</b>
<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN .....</b>	<b>v</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vi</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>PERSEMBAHAN .....</b>	<b>viii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>SANWACANA .....</b>	<b>x</b>
<b>HALAMAN JUDUL.....</b>	<b>ixi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ixii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>

2.1 Penelitian Terkait .....	5
2.2 Landasan Teori .....	6
2.2.1 Energi Hidrokinetik.....	6
2.2.2 Pengertian Turbin Air .....	10
2.2.3 Definisi Turbin Air.....	11
2.2.4 Jenis-Jenis Turbin .....	12
2.2.4.1 Turbin Sumbu Horizontal .....	12
2.2.4.2 Turbin Sumbu Vertikal .....	13
2.2.5 Macam-macam aliran fluida .....	14
2.2.5.1 Pengertian Fluida .....	14
2.2.6 Sudu (Blade) .....	16
2.2.7 Airfoil NACA .....	16
2.2.8 Faktor Penyebab Terjadinya Arus .....	16
2.2.9 Kreteria Pemilihan Turbin .....	18
2.2.10 Kontinuitas fluida .....	18
2.2.11 Persamaan Bernoulli .....	20
<b>III. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>20</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	20
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	20
3.2.1 Alat Penelitian .....	21
3.2.2 Alat Penelitian .....	21
3.2.3 Perangkat Lunak.....	22
3.3 Prosedur Penelitian.....	22
3.3.1 Perancangan dan Analisis Generator .....	22
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Hasil Penelitian .....	<b>32</b>
4.1.1 Realisai Alat.....	32
4.1.1.1 Pembuatan Kerangka Turbin .....	32

4.1.1.2 Pemasangan Komponen Utama pada Turbin.....	35
4.1.2 Rangkaian Listrik pada Prototipe.....	36
<b>4.2. Pengujian dan Analisis Data.....</b>	<b>38</b>
4.2.1 Kecepatan Arus Laut .....	39
4.2.2 Pengaruh Kecepatan Arus terhadap Putar Turbin dan Generator.....	39

## **V. SIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Simpulan .....	50
5.2 Saran .....	50

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Jenis-jenis Turbin .....	1
<b>Gambar 2.2</b> Outline sistem konversi pada energi hidrokinetik dengan menggunakan turbin .....	16
<b>Gambar 2.3</b> Skema Turbin Pelton.....	18
<b>Gambar 2.4</b> Turbin Darrieus .....	21
<b>Gambar 2.5</b> Turbin Savonius .....	24
<b>Gambar 2.6</b> Aliran Laminar .....	25
<b>Gambar 2.7</b> Aliran Transisi.....	25
<b>Gambar 2.8</b> Aliran Turbulen.....	27
<b>Gambar 3.1</b> Gambar Diagram Alir Penelitian .....	30
<b>Gambar 3.2</b> Desain PLTAL .....	31
<b>Gambar 4.1</b> Realisasi Kerangka Turbin.....	32
<b>Gambar 4.2</b> Plat Besi Penyangga Kerangka Turbin .....	33
<b>Gambar 4.3</b> Pemasangan Kerangka dan Papan Penyangga .....	34
<b>Gambar 4.4</b> Proses Pengujian Prototype PLTAL .....	35
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Kecepatan Arus Air Terhadap Putaran Turbin dan Generator .....	37
<b>Gambar 4.6</b> Grafik Tegangan Dengan Aliran Air dan Tegangan Dengan Putaran bor .....	38
<b>Gambar 4.7</b> Grafik Tegangan dengan Putaran rpm Bor .....	40

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Kecepatan untuk spesifikasi turbin.....	13
<b>Tabel 3.1</b> Jadwal pelaksanaan penelitian.....	24
<b>Tabel 3.2</b> Alat-alat penelitian .....	25
<b>Tabel 3.3</b> Bahan-bahan penelitian .....	25
<b>Tabel 3.4</b> Perangkat Lunak pada penelitian.....	26
<b>Tabel 3.5</b> Pengukuran Kecepatan dan Elektrikvitas Generator .....	29
<b>Tabel 3.6</b> Pengukuran kecepatan arus.....	30
<b>Tabel 3.7</b> Hubungan Kecepatan arus air terhadap putaran turbin dan generator alat .....	30
<b>Tabel 4.1</b> Pengukuran Kecepatan dan Elektrikvitas Generator .....	35
<b>Tabel 4.2</b> Kecepatan arus air terhadap putaran turbin dan Generator.....	36
<b>Tabel 4.3</b> Hasil data menggunakan Bor <i>drill</i> Generator .....	38

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan populasi dan industrialisasi yang pesat, kebutuhan akan energi semakin meningkat, namun sumber energi fosil yang terbatas menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi terbarukan menjadi sangat penting sebagai alternatif yang ramah lingkungan (Pieters dkk, 2018). Rendahnya ketahanan negara di bidang energi merupakan salah satu penghambat pertumbuhan ekonomi nasional. Permintaan sumber energi nasional yang paling tinggi diduduki oleh batu bara sebesar 40% dan minyak bumi sebesar 23%, lalu diikuti oleh gas sebesar 22%, panas bumi sebesar 3% serta sumber energi terbarukan lainnya sebesar 12%.

Potensi energi arus air laut sangat melimpah dan dapat diandalkan, dengan distribusi yang luas di berbagai wilayah pesisir dan lautan arus air laut merupakan sumber energi terbarukan yang memiliki keunggulan, yaitu ketersediaannya yang kontinyu dan dapat diprediksi. Namun, karakteristik arus air laut yang memiliki kecepatan bervariasi menimbulkan tantangan dalam pemanfaatannya, terutama pada arus air laut berkecepatan rendah (Madi dkk, 2021). Kecepatan arus air laut yang rendah di beberapa wilayah pesisir dan lautan menjadi kendala dalam mengembangkan teknologi pemanfaatan energi arus air laut. Alasan ini menjadikan suatu peluang untuk mengembangkan suatu energi alternatif terbarukan yang ramah lingkungan. Di lain pihak, Indonesia merupakan negara maritim yang sebagian besar luas wilayahnya didominasi oleh laut yang luas. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan penggunaan sumber energi terbarukan dalam memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia terutama pemanfaatan potensi besar energi arus laut yang mampu dapat dijadikan sebagai energi baru terbarukan (Ray dkk., 2005).

Turbin air dapat dikelompokkan menjadi dua tipe berdasarkan sumbu berputarnya yaitu, horizontal dan vertikal (Khan dkk, 2016). Turbin Horizontal dapat menangkap aliran dari satu arah yang paling dominan, sehingga jika ada arah aliran yang tidak dominan performanya menjadi menurun. Turbin Vertikal dapat menangkap aliran dari berbagai macam arah, sehingga performanya akan tetap stabil walaupun alirannya dari berbagai macam arah (Gundersen, 2015). Adapun karakteristik arus laut mengalir dari berbagai macam arah baik yang vertikal, horizontal, dan diagonal. Sehingga, tipe turbin yang baik digunakan untuk arus laut adalah tipe vertikal. Turbin Vertikal secara umum terdiri dari atas dua bentuk yaitu, *blade* lurus dan *blade* spiral. *Blade* lurus pertama kali ditemukan oleh Darrieus, sehingga biasa dikenal dengan Turbin Darrieus (Golecha dkk, 2011).

Dalam konteks ini, turbin Darrieus menjadi solusi yang potensial karena prinsip kerjanya yang efisien dalam memanfaatkan arus air laut, serta kemampuannya untuk beroperasi pada kecepatan arus rendah (Akwa dkk, 2018). Turbin Darrieus memiliki desain yang unik dengan sudu-sudu berbentuk lengkung, yang memungkinkannya untuk menghasilkan daya listrik bahkan pada kecepatan arus air laut yang rendah (Akwa dkk, 2018). Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan keberhasilan penggunaan turbin Darrieus untuk aplikasi arus air laut, dengan kelebihan-kelebihan yang dimilikinya dibandingkan jenis turbin lainnya. Melalui penelitian dan pengembangan yang terus menerus, diharapkan desain sistem generator listrik tenaga arus air laut berkecepatan rendah dengan turbin Darrieus dapat memberikan kontribusi signifikan dalam menggerakkan transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengembangkan dan menyempurnakan desain turbin Darrieus agar dapat memanfaatkan potensi energi arus air laut terutama pada wilayah-wilayah dengan kecepatan arus yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem generator listrik tenaga arus air laut berkecepatan rendah, mengoptimalkan desain turbin Darrieus untuk aplikasi arus air laut, serta meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem generator listrik tenaga arus air laut. Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi energi terbarukan berbasis arus air laut, meningkatkan pemanfaatan potensi energi arus air laut di wilayah-

wilayah dengan kecepatan arus rendah, serta memberikan dampak positif terhadap lingkungan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam upaya pengembangan energi terbarukan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, rumusan masalah yang menjadi aspek utama dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1 Bagaimana merancang dan membuat sistem generator listrik arus air laut menggunakan turbin Darrieus?
- 2 Bagaimana pengujian tegangan dan arus yang akan dihasilkan oleh generator untuk menhidupkan lampu?
- 3 Apa saja faktor yang mempengaruhi efisiensi keseluruhan sistem dimulai dari pengambilan energi arus air laut hingga dikonversi menjadi listrik?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukan penelitian ini antara lain sebagai berikut :

- 1 Menghasilkan generator yang dapat menghasilkan energi listrik pada arus air laut yang rendah dengan turbin Darrieus.
- 2 Mengaplikasikan generator pada perangkat lampu DC.
- 3 Mengetahui karakteristik elektrik alat sehingga dapat digunakan sebagai sumber energi listrik alternatif.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan antara lain sebagai berikut:

- 1 Mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap pemakaian bahan bakar fosil.
- 2 Dapat memecahkan masalah keterbatasan energi listrik dengan menggunakan sumber energi alternatif.
- 3 Dapat membantu penerangan pada daerah pesisir laut.

## 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain sebagai berikut :

- 1 Turbin yang digunakan yaitu turbin Darrieus tipe rotor H.
- 2 Energi yang digunakan untuk menggerakkan generator berasal dari arus air laut.
- 3 Arus laut yang akan menjadi tempat objek penelitian yaitu pada kecepatan arus kurang dari 2 m/s.
- 4 Jumlah *blade* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 3 buah.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian – penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian terkait mengenai pembangkit listrik tenaga arus air laut (PLTAL) yang dapat digunakan sebagai acuan penelitian agar kemudian dapat dikembangkan kembali untuk penelitian yang akan datang. Sebelumnya, penelitian yang dilakukan oleh madi dkk, (2021) yaitu studi eksperimen model *water flow deflector* untuk meningkatkan performa turbin arus air laut tipe *vertical* pada kecepatan arus rendah. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan performa turbin arus laut tipe vertikal dengan menambahkan *water flow deflector*. Prinsip kerja *deflector* berdasarkan Hukum Kontinuitas, dengan memperkecil luas permukaan input maka arus laut yang mengenai turbin akan meningkat sehingga menghasilkan putaran dan torsi yang lebih besar (Gorlov, 1998). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen karena lebih mendekati dengan kondisi aktual. Hasil akhir penelitian ini telah menunjukkan bahwa, *water flow deflector* telah meningkatkan performa turbin sebesar 216,67%. Sehingga, *water flow deflector* sangat direkomendasikan untuk diterapkan di wilayah perairan Indonesia yang cenderung berkecepatan arus rendah.

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Aditia dkk. (2023), dengan judul *Rancang Bangun Generator Apung Nanohidro sebagai Sumber Penerangan pada Lahan Persawahan* juga menjadi referensi penulis dalam pembuatan rancang bangun alat. Penelitian yang dilakukan oleh Aditia dkk. (2023), bertujuan untuk membuat generator yang dapat menghasilkan listrik pada irigasi pertanian. Generator yang ditujukan untuk mengubah energi mekanik menjadi listrik, penulis membuat rancangan generator apung menggunakan turbin yang sebagian besar

menggunakan bahan utama pipa agar alat dapat mengapung dan besi untuk menjadi kerangka dari turbin yang dibuat. Alat yang dirancang oleh penulis memiliki keluaran tegangan rata-rata 19,19 V dari pengambilan data 20 kali dengan rentang waktu 1 menit. Kecepatan rata-rata *range per minute* (rpm) generator sebesar 30,1 rpm dan turbin 104,4 rpm.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Energi Hidrokinetik**

Hidrokinetik energi merupakan salah satu bentuk energi baru terbarukan yang potensial untuk dikembangkan. Menurut Guney, potensi energi hidrokinetik dunia diprediksi mencapai kapasitas 14 GWatt (Guney, 2011). Prediksi kapasitas energi hidrokinetik bahwa potensi energi hidrokinetik terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Hal ini tidak terlepas dari semakin banyaknya penelitian yang mengembangkan jenis energi ini. Konversi energi hidrokinetik menjadi energi listrik sangat bergantung pada kecepatan air, massa jenis dan luas penampang. Perlu diketahui bahwa satu pertiga populasi di dunia tidak memimiliki akses energi listrik tetapi memiliki akses terhadap air mengalir. Diantara beberapa energi alternatif yang ada, hidropower merupakan pilihan utama yang digunakan oleh sebagian besar negara di dunia karena ketersediaannya yang terus menerus, densitas tinggi, memiliki tenaga paling besar, dapat diprediksi, tidak bergantung terhadap kondisi cuaca, serta memiliki dampak yang kecil terhadap lingkungan. Energi hidrokinetik dapat dihasilkan melalui ombak, pasang surut air laut, arus laut dan aliran pada sungai.

Pembangkit kecil umumnya menggunakan aliran sungai sebagai tenaga air untuk menggerakkan turbin, pembangkit mini/mikro/pikohidro elektrik menggunakan aliran air yang sangat kecil, biasanya terdapat di saluran air, tidak terpengaruh oleh kondisi cuaca, dan memiliki tingkat pemanfaatan kapasitas 70% (Fujii dkk., 2017). Daya listrik adalah ukuran seberapa cepat energi listrik digunakan, dipindahkan, atau diubah menjadi bentuk kerja lainnya dalam sistem listrik. Daya diukur dalam satuan watt dan merupakan salah satu konsep paling dasar dalam ilmu listrik. Daya listrik adalah ukuran yang penting dalam perhitungan dan perancangan sistem

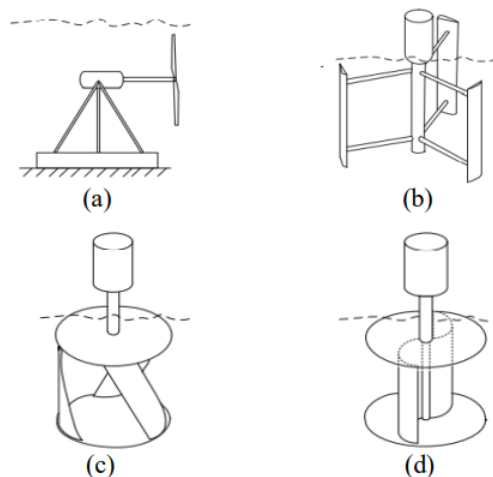
listrik, dalam perhitungan daya yang dibangkitkan pada penelitian ini yaitu dengan **Persamaan (2.1)**.

$$P = V.I \quad (1.1)$$

dengan  $P$  adalah daya listrik (W),  $V$  adalah tegangan listrik (V) dan  $I$  adalah arus listrik (A) (Serway and Jewett, 2009). Perhitungan efisiensi dalam (PLTPh) adalah cara untuk mengevaluasi sejauh mana pembangkit listrik tersebut mengubah energi kinetik air menjadi energi listrik dengan efisien. Efisiensi ini diukur dengan membandingkan listrik yang dihasilkan dengan energi kinetik air yang tersedia.

Prinsip utama energi hidrokinetik yakni mengubah energi kinetik yang dimiliki arus air menjadi energi kinetik yang memutar poros turbin. Besarnya energi yang dapat ditransfer pada sudut turbin bergantung oleh massa jenis air, luas area sudu dan kecepatan arus air. Adapun, inovasi menggunakan turbin *deflector* dari berbagai macam arah yang mengelilingi rotor turbin, sehingga dapat menerima dari berbagai macam arah aliran arus dan efisiensi yang dihasilkan dapat menjadi lebih baik. Turbin vertikal secara umum terdiri atas dua bentuk, yaitu *blade* lurus dan *blade*

spiral. *Blade* lurus pertama kali ditemukan oleh Darrieus, sehingga biasa dikenal dengan turbin Darrieus. Pada **Gambar 2.1** dapat ditunjukkan jenis-jenis turbin.



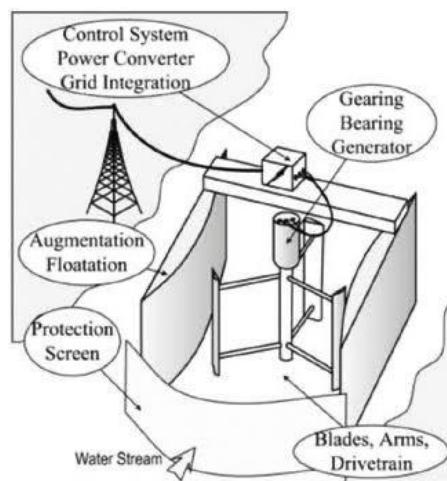
**Gambar 2. 1** Jenis-jenis turbin (a) horizontal; (b) Darrieus; (c) Gorlov; (d) Savonius (Khan dkk, 2009)

Selanjutnya, yaitu penelitian yang dilakukan oleh Abdul K. (2019), yaitu Penelitian tentang Pengaruh Sudut Kemiringan dan Lebar Sudut Terhadap Kinerja Turbin Darrieus dengan *airfoil* NACA 0021. Dari penelitian tersebut bahwa kesimpulan terdapat hasil penelitian pada model turbin Darrieus dengan diameter 20 cm, panjang sudut 25 cm, profil penampang sudut NACA 0021, variasi lebar sudut 5 cm dan 6 cm, dan variasi sudut serang  $0^0$ ,  $5^0$ , dan  $10^0$ , dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

- a. Daya *output* maksimum 0,54083 W, efisiensi maksimum 40,94%, dan faktor daya maksimum 0,2303% yang semuanya dicapai pada lebar sudu 5 cm.
- b. Turbin Darrieus tersebut merupakan turbin reaksi karena kecepatan alir air keluar turbin lebih tinggi dari pada kecepatan alir masuk turbin.

Perkembangan penelitian peningkatan performa Turbin Darrieus telah dilakukan oleh beberapa peneliti dunia, salah satunya adalah Gorlov. Turbin Darrieus dari sudu lurus dirubah menjadi sudu heliks (**Gambar 2.1 (d)**) dan menunjukkan peningkatan performa sebesar 35% (Gorlov, 1998). Namun, berdasarkan dari perkembangan beberapa penelitian akhir-akhir ini, perbandingan performa Turbin Darrieus dan Gorlov menyatakan bahwa efisiensi yang dihasilkan sama yaitu, sebesar 25% (Winchester dan Quayle, 2015). Perkembangan selanjutnya menyatakan bahwa Turbin Darrieus memiliki efisiensi yang tinggi dibandingkan Turbin Gorlov, masing-masing sebesar 27% dan 25% (Marsh dkk, 2015). Hasil eksperimen juga telah dilakukan perbandingan performa Turbin Darrieus dan Gorlov, masing-masing sebesar 25% dan 15% (Hantoro dkk, 2018). Namun, bagaimanapun Turbin Darrieus memiliki efisiensi yang lebih kecil dari Turbin Horizontal (Akwa dkk, 2018). Sehingga, peningkatan performa Turbin Darrieus menjadi tantangan bagi peneliti terutama pada kecepatan arus rendah. Dalam desain Turbin Darrieus sangat dipengaruhi dengan pemilihan jenis foil. Adapun foil dengan performa paling baik adalah tipe simetris NACA 0018 (Mohamed, 2014). Terdapat dua cara yang digunakan untuk mengekstrak energi hidrokinetik, yaitu dengan menggunakan sistem turbin dan tanpa menggunakan sistem turbin. *Flutter*

*vane*, *piezoelectric*, *vortex induced vibration*, *oscillating hydrofoil* dan *sails* merupakan beberapa contoh cara konfersi energi hidrokinetik tanpa menggunakan sistem turbin. Sedangkan contoh konfersi dengan menggunakan turbin adalah dengan menggunakan turbin sumbu vertikal, turbin sumbu horizontal, *cross-flow turbin*, *venture* dan *gravitational vortex* (Khan dkk, 2009). **Gambar 2.2** menunjukkan sistem konfersi energi hidrokinetik menjadi listrik dengan menggunakan turbin.



**Gambar 2. 2** Outline sistem konversi energi hidrokinetik dengan menggunakan turbin (Khan, 2009 ).

Teknologi hydropower mulai banyak dikembangkan. Sebanyak 3 pembangkit yang dioperasikan secara komersial di EU, Perancis dan Inggris memiliki kapasitas terinstal sebesar 260 MW. Selain tiga negara tersebut, beberapa negara lain seperti Kanada, Argentina, Australia Timur, dan Korea juga memiliki potensi yang baik untuk mengembangkan teknologi ini. Beberapa wilayah diluar Eropa yang memiliki potensi untuk mengaplikasikan teknologi *hydropower* adalah Asia Tenggara, pantai barat dan timur Kanada (Guney, 2011) Pada April 2008, dilakukan instalasi prototipe SeaGen turbin di Strangford Lough, Irlandia Utara. Turbin ini mampu memasok 150 Kw listrik ke jaringan listrik setempat untuk pertama kalinya pada tanggal 17 Juli 2008. Namun pada awalnya terjadi beberapa gangguan pada blade sehingga dilakukan penggantian dan perbaikan. Pada Desember 2008, turbin ini mampu menghasilkan energi listrik sebesar 1,2 MW pada kapasitas penuh.

jenis turbin lain yang disebut AK1000 juga dikembangkan oleh *Atlantis Resource*.

Turbin ini memiliki tinggi 18 m dan mampu menghasilkan listrik sebesar 1 MW, yang cukup untuk memenuhi kebutuhan listrik 1000 rumah. AK1000 akan dipasang di *European Marine Energy Centre*, Orkney, Skotlandia. Kedua turbin diatas merupakan turbin jenis horisontal aksis. Contoh turbin vertikal aksis yang digunakan untuk *Hydropower* adalah *EnCurrent Generation System* yang dibangun berdasarkan turbin angin tipe Darrieus.

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa turbin jenis ini mampu menghasilkan energi sebesar 5 MW (Doda dkk, 2012). Produksi energi listrik dengan dari energi hidrokinetik memang tidak menghasilkan emisi gas yang berbahaya. Namun, proses produksi ini dapat menyebabkan beberapa efek buruk terhadap lingkungan, terutama lingkungan bawah air. Beberapa efek yang ditimbulkan ini adalah sebagai berikut :

1. dapat merusak habitat dari berbagai populasi bawah laut,
2. array sistem konfersi energi yang besar dapat menyebabkan noise yang akan mempengaruhi kehidupan bawah air,
3. alat konfersi dapat menghalangi pergerakan hewan-hewan air, pembuatan sistem dan kanal dapat mengubah kontur bawah laut dan hidrologinya, Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk menghindari efek buruk ini adalah pemilihan lokasi yang tepat, desain alat yang tepat serta usaha pencegahan (Gurney dan Kaygusuz, 2010).

### **2.2.2 Pengertian Turbin Air**

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak mula di mana energi fluida kerja yang digunakan langsung memutar roda turbin, fluida kerjanya yaitu berupa air, uap air dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air. Berbeda yang terjadi pada mesin torak (motor bakar), pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi. Bagian turbin yang berputar dinamai rotor (*runner pada turbin cross-flow*) atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamai stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak didalam rumah turbin dan pada roda turbin memutar poros daya yang menggerakkan atau memutar bebannya (Mafruddin dan

Irawan, 2014). Turbin air secara umum memiliki prinsip kerja dengan mengubah energi kinetik aliran sungai menjadi energi putar poros. Energi putar poros yang dikopel dengan generator sehingga menjadi tenaga listrik. Jenis turbin air dikelompokkan menjadi turbin impuls dan turbin reaksi (Brian, 2017).

Turbin adalah mesin penggerak dimana energi fluida kerja dipergunakan langsung untuk memutar sudu turbin. Bagian turbin yang bergerak dinamakan rotor atau sudu turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamakan stator atau rumah turbin. Secara umum, turbin adalah alat mekanika yang terdiri dari poros dan sudu-sudu. Sudu tetap ataupun *stationary blade*, tidak ikut berputar bersama poros, dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar atau *rotary blade*, mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida yang tak kompresibel, yaitu fluida yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan. (Sihombing dkk, 2014).

### **2.2.3 Definisi Turbin Air**

Turbin air adalah salah satu mesin berputar yang mengkonversi energi dari suatu gerakan aliran air menjadi energi mekanis. Energi mekanis kemudian ditransfer melalui suatu poros untuk mengoperasikan mesin atau generator.

Turbin air digunakan pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, dengan memanfaatkan aliran dan tinggi air jatuh. Air dibawah tekanan tinggi di dalam dam dilepaskan ke dalam suatu saluran dimana akan menggerakkan impeler turbin sehingga menyebabkan putaran yang cepat. Daya mekanis ini kemudian ditransfer ke generator oleh suatu poros dan kemudian akan menghasilkan energi listrik. Pemilihan suatu turbin tergantung pada karakteristik lokasi, karena menentukan tinggi air jatuh dan kapasitas air. Selain itu pemilihan turbin juga tergantung dari kecepatan putar yang diminta oleh generator. (Khairul dkk, 2020).

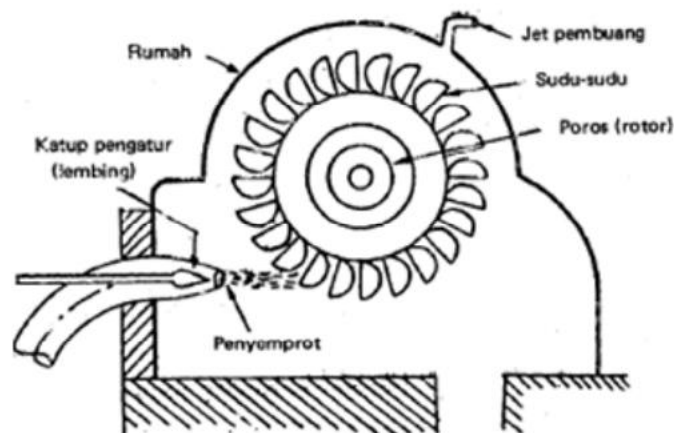
Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak mula yang fluida kerjanya adalah air. (Adiarso dkk, 2018). Berbeda yang terjadi pada mesin torak (motor bakar), pada turbin tidak terdapat bagian mesin yang bergerak translasi. Bagian turbin yang berputar dinamai rotor (runner pada turbin cross-flow) atau roda turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamai stator atau rumah turbin.

## 2.2.4 Jenis-Jenis Turbin

### 2.2.4.1 Turbin Sumbu Horizontal

#### a. Turbin Pelton

Turbin pelton adalah suatu alat yang bekerja untuk merubah energi kinetik air yang diakibatkan karena adanya energi potensial yang dimiliki oleh air menjadi energi mekanik berupa putaran pada poros turbin tersebut. Dan perputaran poros dari poros tersebut bisa digunakan untuk memutar generator listrik yang kemudian bisa menghasilkan energi listrik. Pada roda turbin terdapat sudu dan fluida kerja mengalir melalui ruang di antara sudu tersebut. Dua hal yang penting yang selalu menjadi acuan didalam menentukan ukuran utama Turbin pelton ialah kecepatan spesifik ( $n_s$ ) dan batas tinggi jatuh yang diinginkan ( $H_{max}$ ),  $n_s$  (*Specific Speed*) merupakan parameter untuk memilih pompa digunakan oleh para desainer pompa (perencana/perancang pompa). (Fauzi dkk, 2016).



**Gambar 2.3** Skema Turbin Pelton (Wicaksana, 2018).

### 2.2.4.2 Turbin Sumbu Vertikal

#### a. Turbin Darrieus

Turbin darrieus mula-mula diperkenalkan di Perancis pada sekitar tahun 1920-an. Turbin angin sumbu vertikal ini mempunyai bilah-bilah tegak yang berputar kedalam dan keluar dari arah angin (Daryanto, 2007). Contoh turbin Darrieus ditunjukkan pada **Gambar 2.4**.



**Gambar 2.4** Turbin Darrieus (Farel, 2014).

#### b. Turbin Savonius

Turbin savonius diciptakan pertama kali di negara Finlandia dan berbentuk S apabila dilihat dari atas. Turbin jenis ini secara umumnya bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar. Contoh turbin Savonius ditunjukkan pada **Gambar 2.5**



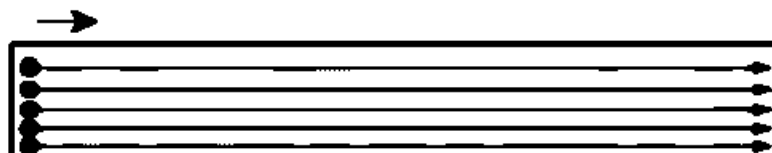
**Gambar 2.5** Turbin Savonius (Farel, 2014).

## 2.2.5 Macam-macam aliran fluida

### 2.2.5.1 Pengertian Fluida

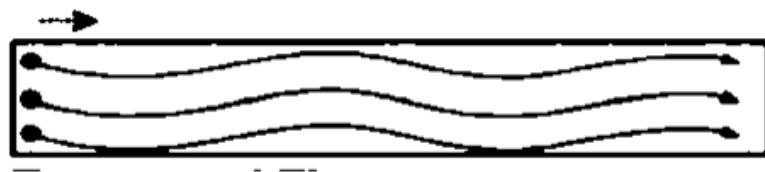
Fluida merupakan zat cair yang dapat berubah bentuk secara terus menerus jika terkena tegangan geser meskipun tegangan geser tersebut kecil. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mengalami hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan (Birjandi, 2012).

- a. Aliran laminar Didalam aliran laminier partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang saling sejajar. Aliran laminar lebih mudah terjadi bila aliran relatif kecil sedangkan viskositas cairan besar dan pengaruh kekentalan cukup dominan dibandingkan dengan kecepatan aliran, sehingga partikel-partikel zat cair akan bergerak teratur mengikuti lintasan lurus (Birjandi, 2012).



**Gambar 2.6** Aliran Laminar (Birjandi, 2012).

- b. Aliran transisi Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Ketika kecepatan aliran itu bertambah atau viskositasnya berkurang (dapat disebabkan temperatur meningkat) gangguan-gangguan akan terus teramati dan semakin membesar serta kuat yang akhirnya suatu keadaan peralihan tercapai. Keadaan peralihan ini tergantung viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran.



**Gambar 2.7** Aliran Transisi (Birjandi, 2012).

- c. Aliran turbulen Aliran turbulen adalah gerakan partikel zat cair yang tidak teratur antara satu dengan yang lain dan sembarang dalam waktu dan ruang. Turbulensi ditimbulkan oleh gaya-gaya viskos dan gerak lapis zat cair yang berdampikan pada kecepatan yang berbeda. Karakteristik aliran turbulen ditunjukkan oleh terbentuknya pusaran-pusaran dalam aliran yang menghasilkan pencampuran pada partikel-partikel secara terus menerus antara partikel-partikel cairan didalam seluruh penampang aliran.



**Gambar 2.8** Aliran Turbulen (Birjandi, 2012).

### **2.2.6 Sudu (Blade)**

Sudu atau rotor berfungsi untuk menghasilkan putaran akibat gaya arus dan menggerakkan poros turbin dan poros generator yang kemudian akan menghasilkan energi listrik. Pada sudu turbin arus akan terjadi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan arus. Distribusi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan arus. Distribusi tegangan pada permukaan sudu ini dipresentasi dengan adanya gaya tekan (*drag*) yang arahnya sejajar dengan arah aliran fluida dan gaya angkat (*lift*) yang arahnya tegaklurus dari arah aliran fluida. Kedua gaya ini menyebabkan sudu dapat berputar. Kedua gaya ini dipengaruhi oleh bentuk sudu, luas permukaan bidang sentuh dan kecepatan arus tersebut. (Deni dkk, 2017)

### **2.2.7 Airfoil NACA**

NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat menghasilkan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian suatu matematis sangat memungkinkan memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi airfoil. geometri airfoil sangat berpengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika. hingga saat ini sampai sekitar perang dunia II. Selama priode ini banyak pengajuan airfoil dilakukan diberbagai negara, namun hasil riset nacalah yang terkemuka (Mulyadi, 2014).

### **2.2.8 Faktor Penyebab Terjadinya Arus**

Terjadinya arus di lautan disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal seperti perbedaan densitas air laut, gradien tekanan mendatar dan gesekan lapisan air. Sedangkan faktor eksternal seperti gaya tarik matahari dan pada bulan yang dipengaruhi oleh tahanan dasar laut dan gaya coriolis, perbedaan tekanan udara, gaya gravitasi, gaya tektonik dan angin (Gross, 1990).

Arus laut adalah pergerakan massa air secara vertikal dan horizontal sehingga menuju keseimbangannya atau gerakan air yang sangat luas yang terjadi di seluruh lautan dunia (Hutabarat dan Evans, 1996). Arus juga merupakan gerakan mengalir suatu massa air yang dikarenakan tiupan angin atau perbedaan densitas atau pergerakan gelombang panjang (Nontji, 1987). Menurut Sahala Hutabarat, selain angin, arus dipengaruhi oleh paling tidak tiga faktor yaitu:

1. Bentuk topografi dasar lautan dan pulau-pulau yang ada di sekitarnya. Beberapa sistem lautan utama di dunia dibatasi oleh massa daratan dari tiga sisi dan pula oleh arus equatorial counter di sisi yang keempat. Batas-batas ini menghasilkan sistem aliran yang hampir tertutup dan cenderung membuat aliran mengarah dalam suatu bentuk bulatan.
2. Gaya Coriolis dan arus Ekman. Gaya coriolis memengaruhi aliran masa air, di mana gaya ini akan membelokkan arah mereka dari arah yang lurus. Gaya coriolis juga menyebabkan timbulnya perubahan-perubahan arah arus yang kompleks susunannya yang terjadi sesuai dengan semakin dalamnya kedalaman suatu perairan.
3. Perbedaan densitas serta upwelling dan sinking. Perbedaan densitas menyebabkan timbulnya aliran massa air dari laut yang dalam di daerah kutub selatan dan kutub utara ke arah daerah tropis.

Adapun jenis-jenis arus dibedakan menjadi dua bagian, yaitu:

1. Berdasarkan penyebab terjadinya
  - a. Arus Ekman: Arus yang dipengaruhi oleh angin.
  - b. Arus Termohaline: Arus yang dipengaruhi oleh densitas dan gravitasi.
  - c. Arus Pasut: Arus yang dipengaruhi oleh Pasang surut.
  - d. Arus Geostropik: Arus yang dipengaruhi oleh gradient tekanan mendatar dan gaya coriolis.

Ketika angin berhembus di laut, energi yang ditransfer dari angin ke batas permukaan, sebagian energi ini digunakan dalam pembentukan gelombang gravitasi permukaan, yang memberikan pergerakan air dari yang kecil ke arah perambatan gelombang sehingga terbentuklah arus dilaut. Semakin cepat kecepatan

angin, semakin besar gaya gesekan yang bekerja pada permukaan laut, dan semakin besar arus permukaan. Dalam proses gesekan antara angin dengan permukaan laut dapat menghasilkan gerakan air yaitu pergerakan air laminar dan pergerakan air turbulen (Susilo, 2018).

### 2.2.9 Kreteria Pemilihan Turbin

Pada 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 dibawah 10 MW) mempunyai poros horisontal, kadang dipakai juga pada kapasitas turbin mencapai 100 MW. Turbin Francis dan turbin Kaplan biasanya mempunyai poros atau sudut 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 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 directcouple antara generator dengan turbin pada head rendah, sebuah turbin reaksi (*propeller*) dapat mencapai pada putaran yang diinginkan, sementara turbin pelton dan

*crossflow* berputar sangat lambat (*lowspeed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi. Ketiga faktor (*nethead*, *power* dan putaran) diatassering kali diekspresikan sebagai "kecepatan spesifik".

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

**Tabel 2.1** Kecepatan Untuk Spesifikasi Turbin

<b>Jenis Turbin</b>	<b>Kecepatan Spesifik (rpm)</b>
Pelton dan kincir air	10-35
Francis	60 – 300
Cross-Flow	40 – 200
Kaplan dan propelle	250 – 1000

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Oktober sampai dengan bulan Desember 2025. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan meliputi perancangan alat, pengujian alat, pengambilan data dan analisis hasil. Perancangan alat telah dilakukan di Kecamatan Segalamider, Kota Bandar Lampung pada bulan Oktober 2025 sampai November 2025. Pengambilan data telah dilakukan di Pantai Pasir Putih, di Rantai Tri Tunggal, Desa Tarahan, Kecamatan Katibung, Kabupaten Kalianda, Lampung Selatan, Provinsi Lampung. Jadwal pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1** Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No	Nama	Fungsi		
		Oktober	November	Desember
1.	Perancangan Alat	■		
2.	Pembuatan Alat	■	■	
3.	Perancangan Aplikasi		■	
4.	Pengambilan Data			■
5.	Analisis Hasil			■

#### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam pembuatan perangkat pada penelitian ini terdapat alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung berjalannya pembuatan perangkat antara lain sebagai berikut.

### 3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

**Tabel 3.2** Alat-alat Penelitian

No	Nama	Fungsi
1.	Multimeter	Untuk mengukur Tegangan, arus dan resistansi
2.	Stopwatch	untuk mengukur waktu
3.	Tachometer	untuk mengukur rpm kincir air pada generator.
4.	Mesin Gerinda	untuk membelah pipa atau paralon.
5.	Mesin Bor	untuk membuat lubang bulat pada pipa atau paralon dan juga pada plat.
6.	Meter Ukur	untuk mengetahui jarak panjang pipa atau paralon
7.	Caliper	untuk mengukur lebar dan diameter pipa atau paralon.
8.	Peralatan Kerja Lainnya	Sebagai pendukung dalam pembuatan alat, seperti obeng, kabel, bor, dan lainnya

### 3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.3** Bahan-bahan penelitian

No	Nama	Fungsi
1.	Dinamo DC	sebagai penggerak turbin
2.	Pulley	sebagai penggerak turbin ke generator
3.	Turbin air	digunakan sebagai penggerak generator
4.	Kabel	sebagai penghubung lampu DC ke generator
5.	Pipa PVC	Digunakan sebagai mengalirnya arus air laut ke turbin
6.	lem Dextone	digunakan sebagai penutup dan perekat.
7.	Lampu DC	digunakan sebagai alat uji/beban

### 3.2.3 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada **Tabel 3.4**.

**Tabel 3.4** Perangkat lunak pada penelitian

No	Nama	Fungsi
1.	Sketchup pro 2023	Untuk membuat desain turbin yang akan dirancang

### 3.3 Prosedur Penelitian

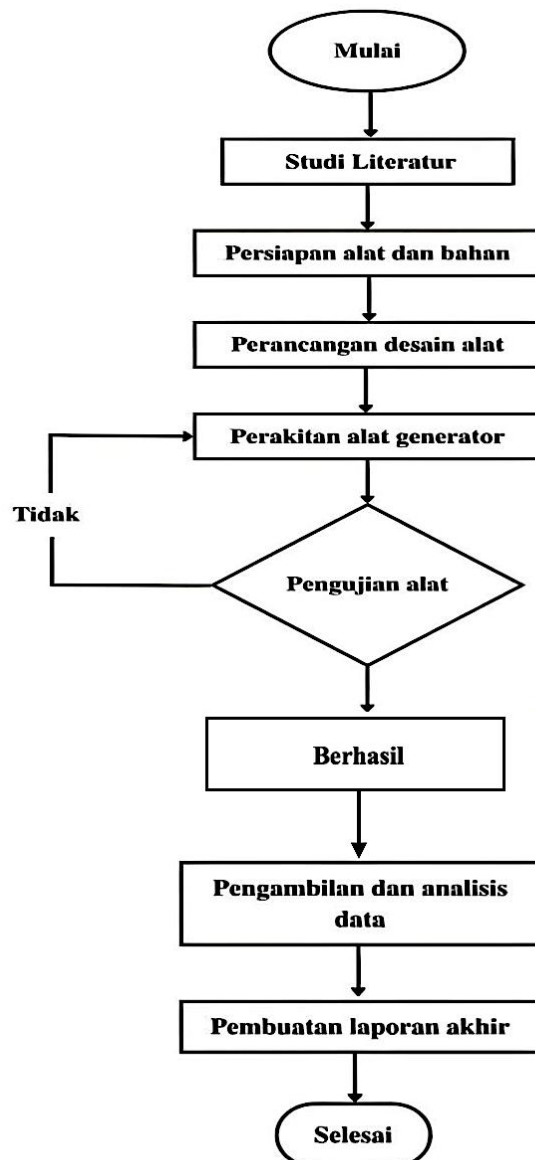
#### 3.3.1 Perancangan dan Analisis Generator

Perancangan yang akan dilakukan meliputi pembuatan prototipe, turbin air dan pengujian. Rancangan yang paling utama adalah membuat rangkaian prototipe sebagai penyangga untuk generator dan turbin air. Tahap berikutnya, penulis merancang produk yang akan dibuat berupa desain rupa produk dan sistem yang akan dibangun. Desain produk dirancang kedalam bentuk purwarupa berupa **Gambar 3.2** dimensi yang dibuat menggunakan software desain. Selanjutnya, melakukan perancangan fungsi dan fitur yang akan dikembangkan serta pemilihan material yang akan digunakan pada alat.

Hasil Pengukuran Kecepatan Arus Kecepatan arus diukur dengan metode drifter. Adapun drifter menggunakan tali rami dan ditambah dengan pemberat. Drifter diletakkan pada titik nol dari posisi kecepatan inlet. Drifter akan mengikuti pergerakan arus sepanjang (s) 50 cm. Selanjutnya data dicatat selama 10 kali untuk menghasilkan besaran waktu (t). Kecepatan arus didapat dari hasil pembagian jarak dengan waktu yang didapatkan. Hasil Kecepatan Putar Turbin Kecepatan putaran turbin diukur menggunakan *tachometer non-contact* pada kondisi putaran yang stabil. Data yang dihasilkan dalam satuan RPM, yang diambil selama sepuluh detik. Adapun hasil kecepatan putaran turbin terhadap waktu.

Prosedur penelitian ini terdiri dari pembuatan prototipe pembangkit listrik tenaga arus laut dan analisis sumber tegangan yang dihasilkan. Pembuatan prototipe ini dibagi menjadi 3 tahap. Pertama, ialah mencari bahan literatur ini yang berhubungan dengan

teori mengenai pembangkit listrik tenaga arus laut dan mencari literatur mengenai komponen maupun parameter utama yang diimplementasikan dalam perancangan alat diantaranya generator, turbin. Kedua, yaitu dilakukan perancangan prototipe pembangkit listrik tenaga air dengan membuat gambar sketsa terlebih dahulu kemudian dibuatkan rancangan dengan menggunakan *software sketchup*. Ketiga, mengimplementasikan rancangan desain PLTAL yaitu dengan merangkai prototipe PLTAL sampai turbin dapat berputar. Setelah prototipe selesai dibuat yang terakhir dilakukan adalah memasang instalasi rangkaian listrik dengan menggunakan kabel dan lampu led adapun proses Pembuatan alat ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan yaitu perancangan perangkat, pengujian kerja alat, dan pengambilan data pengukuran. Langkah – langkah yang dilakukan pada pembuatan perangkat ditunjukkan dalam diagram alir penelitian pada **Gambar 3.1**.

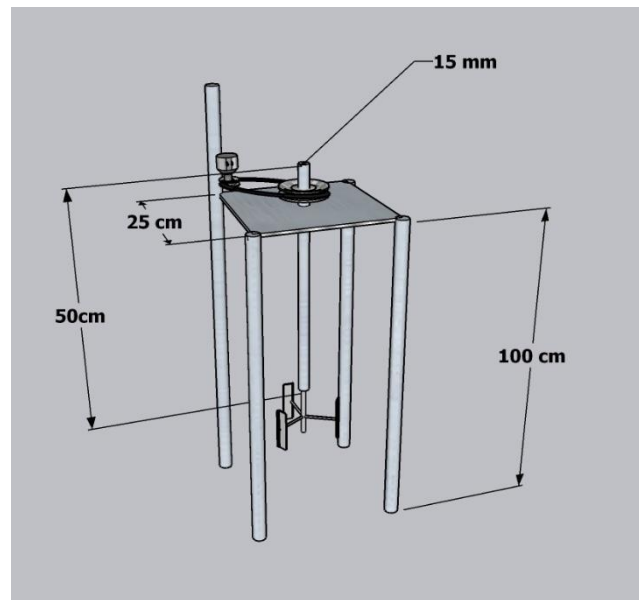


**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

Pada **Gambar 3.1** terdapat diagram alir dimana terdapat langkah – langkah yang akan dilakukan pada Penelitian ini dilakukan dengan memisahkan rancangan penelitian ke dalam 4 tahap. Diantaranya ialah mencari bahan literatur yang berhubungan dengan teori tentang turbin, teori tentang generator, teori arus air laut, serta pengaplikasian pada rangkaian alat dan mempelajari parameter-parameter utama yang akan diimplementasikan dalam pembuatan alat yang akan dibuat.

### 3.4 Perancangan Alat

Perancangan alat yang pertama melakukan pembuatan yang dimana meliputi pembuatan turbin air dan akan melakukan pengujian. Pada rancangan yang paling utama adalah membuat rangkaian pada penyangga turbin yang dimana akan digunakan untuk menaruh generator dan turbin. Lalu, pada tahap berikutnya, melakukan perancangan alat yang akan dibuat berupa desain rupa alat dan pada sistem yang akan dilakukan perancangan. Pada desain alat yang akan dirancang kedalam bentuk 3 dimensi yang ditunjukkan pada **Gambar 3.2** untuk dimensi alat yang dibuat dengan menggunakan software desain yaitu sketchup Selanjutnya, melakukan perancangan untuk fungsi dan pengaplikasian yang akan dikembangkan dan serta melakukan pemilihan material yang akan digunakan pada alat yang akan dibuat.



**Gambar 3.2.** Desain PLTAL

### 3.5 Rancangan Data Hasil Penelitian

Data pengamatan yang diambil yaitu memanfaatkan energi gerak pada putaran kincir yang nantinya akan diubah oleh generator menjadi energi listrik. Untuk melakukan pengujian, generator akan diuji menggunakan motor penggerak. Data pengujian generator dapat dilihat pada **tabel 3.5**

**Tabel 3.5** Pengukuran Kecepatan dan Elektrikvitas Generator

No	Waktu(s)	Kecepatan			Generator	
		Arus Laut (m/s)	Rotasi Turbin (rpm)	Generato r (rpm)	Teganga n (V)	Aru s (I)
1						
2						
...						

### 3.6 Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini berupa tegangan hasil generator dengan variasi arus air laut, tegangan dan arus pengisian pada baterai pada masing-masing variasi debit air yang digunakan, lama waktu pengisian, serta daya yang dihasilkan dari alat. Pengambilan data yang telah dilakukan berupa tegangan yang dihasilkan generator, kecepatan rotasi turbin, kecepatan rotasi generator yang dihasilkan. Pengukuran pada tegangan diukur dengan multimeter digital, sedangkan nilai kecepatan rotasi turbin (rpm), kecepatan rotasi generator (rpm) menggunakan tachometer. Untuk pengambilan data tegangan generator dengan menggunakan multimeter digital.

### 3.7 Kecepatan Arus Air laut

Pengukuran dilakukan dengan pengambilan data sebanyak 5 kali pengulangan. Menggunakan media alat sederhana yaitu potongan *styrofoam* dan meteran kemudian menghitungnya menggunakan rumus kecepatan. Pengukuran dilakukan dengan menentukan titik a dan b dengan menggunakan meteran lalu menghitung waktu *styrofoam* mengapung mengikuti arus laut dari titik a menuju b. Jarak yang akan digunakan yaitu 1 meter dari titik a menuju titik b. Hasil dari pengukuran kecepatan arus laut ditunjukkan pada **Tabel 3.6**.

**Tabel 3.6** Pengukuran kecepatan arus

No	Jarak (m)	Waktu (s)	Kecepatan arus air (m/s)
1			
2			
3			
4			
5			
Rata-rata			

untuk pengukuran kecepatan putar generator proses pengambilan data menggunakan tachometer yang ditembakkan ke arah generator yang sedang berputar. Pengambilan data akan dilakukan dengan 5 kali pengulangan kemudian ditentukan rata-rata dari kecepatan putar pada turbin dan generator. Hasil pengukuran kecepatan turbin dan generator ditunjukkan pada **Tabel 4.2**.

**Tabel 3.7** Hubungan Kecepatan arus air terhadap putaran turbin dan generator

No	Kecepatan arus air (m/s)	Kecepatan Putar Turbin (rpm)	Kecepatan Putar Generator (rpm)
1			
2			
3			
4			
5			
Rata-Rata			

### 3.8 Rancangan Data Hasil Penelitian

Pada tahap ini dilakukan pengambilan dan analisis dari data yang didapatkan. Pengambilan data dilakukan di Pantai Pasir Putih, di Rantai Tri Tunggal, Desa Tarahan, Kecamatan Katibung, Kabupaten Kalianda, Lampung Selatan, Lampung.

Adapun langkah- langkah yang akan dilakukan selama pengambilan data adalah sebagai berikut.

1. Memeriksa kembali seluruh rancangan alat penelitian setelah dilakukan pengujian guna mengantisipasi kesalahan sistem.
2. Menyiapkan lembar pengambilan data untuk kecepatan arus air, kecepatan turbin, kecepatan generator, tegangan generator, dan arus yang dihasilkan oleh generator DC.
3. Memasang kabel generator pada lampu DC.

4. Mencatat besarnya data untuk kecepatan arus air kecepatan arus air, kecepatan turbin, kecepatan generator, tegangan generator, dan arus yang dihasilkan oleh generator DC.
  - a. Mencatat besarnya tegangan yang dihasilkan oleh generator

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 *Simpulan*

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Rancang bangun PLTAL yang dikembangkan dengan menggunakan turbin darrieus berhasil mencapai tujuan penelitian, yaitu sudah dibuat PLTAL yang dapat menghasilkan daya listrik menggunakan sumber arus air laut yang berkecepatan rendah.
2. Tegangan yang dihasilkan oleh putaran generator menggunakan bor *drill* mendapatkan nilai rata-rata sebesar 21,38 volt.
3. Kecepatan arus laut terendah yang terukur sebesar 0,27 m/s, sedangkan kecepatan arus laut tertinggi mencapai 0,96 m/s.

### 5.2 *Saran*

Saran yang dapat dilakukan untuk penyempurnaan penelitian selanjutnya adalah memaksimalkan blade turbin dan menggunakan gearbox sehingga turbin dapat memutar lebih lebih maksimal dan sebaiknya untuk tinggi penyangga lebih ditambah agar kabel yang ada pada generator tidak terkena air laut yang akan menyebabkan korosi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, K. dan Wagiani, S. 2015 . Studi Analisis Perbandingan Kecepatan Aliran Air melalui Pipa Venturi dengan Perbedaan Diameter Pipa. *Jurnal Dinamika*. 4(1): 62- 78.
- Aditia, D., Pauzi, G. A., Supriyanto, A., dan Wahyu, S. 2023. Rancang Bangun Generator Apung Nanohidro sebagai Sumber Penerangan pada Lahan Persawahan. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika* 10(1): 1-7.
- Akwa, J. V., Vielmo, H. A., dan Petry, A. P. 2018. A Review on The Performance of Savonius Wind Turbine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(5): 3054-3064.
- Wicaksana, A. 2018. *Pengaruh Twist Angle terhadap Kinerja Turbin Air Sumbu Vertikal*. (Skripsi). Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Bachant, W. 2015. Performance Measurements of Cylindrical and Spherical-helical Cross-flow Marine Hydrokinetic Turbines, with Estimates of Energy Efficiency. *Journal Renewable Energy*. 7(4): 318-325.
- Brian, J. 2017. *Perancangan dan Pembuatan Turbin Air sebagai Pembangkit Listrik 750 Watt pada Sungai Hidrokinetik*. (Skripsi). Universitas Kristen Petra. Surabaya.
- Oktavianto, D., Budiarto, U., dan Kiryanto. 2017. Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Sudu, Sudut Serang dan Kecepatan Arus pada Turbin Arus Tipe Sumbu Vertikal terhadap Daya yang Dihasilkan oleh Turbin. *Jurnal Teknik Perkapalan*. 5(2): 421–430.
- Doda, N. dan Mohammad, H. 2015. Analisis Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Kabupaten Bone Bolango Gorontalo. *Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 1(1): 1-12.
- Fauzi, M. N., Harbintoro, S., dan Mahaputra. 2016. Analisis Regresi untuk Menentukan Korelasi Pembebanan terhadap Daya dan Torsi pada Turbin Pelton. *Jurnal Metal Indonesia*. 38(2): 1-11.

- Farel, H., Ekawira K., dan Napitupulu, E. 2014. Uji Performansi Turbin Angin Tipe Darrieus-H dengan Profil Sudu Naca 0012 dan Analisa Perbandingan Efisiensi menggunakan Variasi Jumlah Sudu dan Sudut Pitch. *Jurnal Dinamis*. 2(14): 1-9.
- Fox, R. W. dan Mc Donald, A.T. 1995. *Introduction To Fluid Mechanics*. Science Direct. New York.
- Gorlov, A. 1998. Development of Helical Reaction Hydraulic Turbine, Washington DC: The US Department of Energy.
- Golecha, K., Eldho, T. I., dan Prabhu, S. V. 2011. Influence of the Deflector Plate on the Performance of Modified Savonius Water Turbine. *Applied Energy*. 88(9): 3207-3217.
- Gundersen, D.H.Z. 2015. A Novel Flexible Foil Vertical Axis Turbine for River, Ocean, and Tidal Applications. *Applied Energy*. 151: 60-66.
- Hantoro, R., Utama, I.K.A.P., Erwandi, E. 2011. Investigasi eksperimental turbin arus laut sumbu vertikal pitch variabel pasif. *Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi*, 43(1), 27-40.
- Gurney, M. dan Kaygusuz, K., 2017. Hydrokinetic Energy Conversion System: A Technology Status Review. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 14(23): 2996-3004.
- Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal, M. T. dan Quaiocoe, J. E. 2016. Hydrokinetic Energy Conversion Systems and Assessment of Horizontal and Vertical Axis Turbines for River and Tidal Applications: A Technology Status Review. *Applied Energy*. 86(10): 1823-1835.
- Khairul U., Siregar, A.M., dan Amin, S.A. 2020. Pengaruh Jumlah Sudu *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe *Whirlpool* terhadap Kinerja. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*. 3(2): 103-111
- Kirke, B. K. dan Lazauskas, L. 2011. Limitations of Fixed Pitch Darrieus Hydrokinetic Turbines and the Challenge of Variable Pitch. *Renewable Energy*, 36(3): 893-897
- Mafruddin, M., dan Irawan, D. 2014. Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe CrossFlow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur. Turbo : *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, Vol. 3(2) : 7–12.
- Maryono, A. 2017. River Development Impact and River Restorations: Pembangunan Sungai Dampak dan Restorasi Sungai. (Skripsi). Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

- Mohamed, M. H. 2014. Performance Investigation of H-Rotor Darrieus Turbine with New Airfoil Shapes. *Energy*, 47(1): 522-530.
- Mosbahi, M., Elgasri, S., Lajnef, M., dan Driss, Z. 2021. Performance Enhancement of a Twisted Savonius Hydrokinetic Turbine with an Upstream Deflector. *International Journal of Green Energy*. 18(1): 51-65.
- Pietersz, Richard , Rudy Soenoko, S. W. 2018. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 4(2), 93–100.
- PT PLN (Persero), Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2015-2024. Jakarta: PT PLN, 2014, pp. 27-29. Diakses melalui [www.pln.co.id](http://www.pln.co.id) pada 26 November 2023
- Sese, M. R., Annawaty, dan Yusron, E. (2018). Keanekaragaman Echinodermata (Echinoidea dan Holothuroidea) di Pulau Bakalan, Banggai Kepulauan, Sulawesi Tengah, Indonesia. *Scripta Biologica*, 5(2), 73–77.
- Serway, R., dan Jewett, W. (2010). Fisika untuk Sains dan Teknik Edisi 6. Jakarta: Salemba Teknika.
- Shiono, M., Suzuki, K., dan Kiho, S., 2002. Output Characteristic of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations. *Proceedings of The Twelfth (2002) International Offshore and Polar Engineering Conference – Kitakyushu*, Jepang: 26-31 Mei 2002. 859-864.
- Sihombing, R.P.J. dan Gultom, S. 2014. Analisa Efisiensi Turbin Vortex dengan *Casing* Berpenampang Lingkaran pada Sudu Berdiameter 56 cm untuk 3 Variasi Jarak Sudu dengan Saluran Keluar. *Jurnal e-Dinamis*. 10(2): 143-148.
- Susilo. 2014. *Simulasi Mekanisme Passive-Pitch dengan Flapping Wing pada Turbin Vertikal Aksis Arus Sungai Jenis Darrieus Straight-Bladed Berbasis CFD*. (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Triyono, B., Haryadi., dan Nurega, P. 2014. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) *Head* Rendah dan *Portable*. *5<sup>th</sup> Industrial Research Workshop and National Seminar – Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Politeknik Negeri Bandung*: 2014. 172-177.
- Winchester, J.D. dan Quayle, S.D. 2009. Torque Ripple and Variable Blade Force: A Comparison of Darrieus and Gorlov-Type Turbines for Tidal Stream Energy Conversion. *Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference – Uppsala, Sweden*: 2009. 668-676.