

TUGAS AKHIR
PENGARUH VARIASI TEBAL SUDU TERHADAP KINERJA
KINCIR AIR UNDERSHOT

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

M. Reza Ismail
1907230202



PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : M Reza Ismail
Npm : 1907230202
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Undershot
Bidang Ilmu : Konstruksi Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 31 Agustus 2024

Mengetahui dan meyetujui :

Dosen Penguji I



Ahmad Marabdi Siregar S.T., M.T

Dosen Penguji II



Chandra A. Siregar S.T., M.T

Dosen Penguji III



Muhammad Yani S.T., M.T

Ketua Program Studi Teknik Mesin



Chandra A. Siregar S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Lengkap : M Reza Ismail
Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 23 Januari 2000
NPM : 1907230202
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul :

“Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Undershot”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun keterpaksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 31 Agustus 2024

Saya yang menyatakan,



M Reza Ismail

ABSTRAK

Pemanfaatan sumber daya air sebagai energi listrik adalah salah satu cara untuk menghasilkan tenaga listrik. Pembangkit ini adalah salah satu asal tenaga listrik utama yang ada di Indonesia. Diharapkan situasinya dapat memenuhi kebutuhan pasokan listrik untuk masyarakat Indonesia, selain dari sumber energi batu bara. Karena Indonesia memiliki pasokan air yang cukup melimpah, industri pembangkit listrik tenaga air di negara ini sedang berkembang pesat. Peningkatan peluang penggunaan sumber daya manusia dan pembangkit listrik di daerah terpencil, terutama dengan potensi air yang melimpah, telah membuka kemungkinan pengembangan pembangkit listrik skala kecil yang disebut Pembangkit Listrik Tenaga Air Pico Hydro (PLTPH). Cara kerja PLTPH ini adalah dengan memanfaatkan perbedaan tinggi permukaan air dari sumber seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun, serta jumlah aliran air per detik. Aliran air tersebut menggerakkan poros turbin untuk menghasilkan energi kinetik yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Sistem irigasi memiliki potensi untuk menjadi sumber energi listrik. Penyediaan listrik merupakan satu dari infrastruktur yang memiliki kepentingan besar bagi masyarakat secara luas. Untuk memastikan ketersediaan listrik yang cukup, harga yang terjangkau, dan kualitas yang baik, menjadi hal yang sangat penting. Dari perbandingan ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm. Dengan ketebalan sudu 2mm merupakan penghasil daya yang paling besar yaitu 452,45 Watt dan penghasil daya yang paling kecil pada ketebalan sudu 4mm yaitu sebesar 365,50 Watt dengan debit air yang mengalir secara konstan pada irigasi adalah sebesar 0,018 m³/s. Dari perbandingan ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm. Dengan ketebalan sudu 2mm merupakan tingkat efisiensi yang paling besar yaitu 8,31% dan tingkat efisiensi yang paling kecil pada ketebalan sudu 4mm yaitu sebesar 6,712% dengan debit air yang mengalir secara konstan pada irigasi adalah sebesar 0,018 m³/s. Pada variasi ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm, setelah melakukan pengambilan data dan perhitungan analisis kinerja turbin didapat ketebalan sudu 2mm memiliki tingkat kinerja yang lebih maksimal dibandingkan dengan variasi sudu lainnya. Untuk keluaran generator turbin yang memiliki ketebalan sudu 2 mm juga memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi dari variasi sudu lainnya.

Kata kunci : Variasi ketebalan sudu, Turbin air jenis undershot, Picohydro, Debit Air, Efisiensi.

ABSTRACT

Utilizing water resources as electrical energy is one way to produce electrical power. This plant is one of the main sources of electric power in Indonesia. It is hoped that the situation can meet the electricity supply needs of the Indonesian people, apart from coal energy sources. Because Indonesia has a fairly abundant water supply, the country's hydroelectric power generation industry is growing rapidly. Increasing opportunities for the use of human resources and power generation in remote areas, especially with abundant water potential, has opened up the possibility of developing small-scale power plants called Pico Hydro Hydroelectric Power Plants (PLTPH). The way this PLTPH works is by taking advantage of differences in water level from sources such as irrigation canals, rivers or waterfalls, as well as the amount of water flow per second. The water flow moves the turbine shaft to produce kinetic energy which is then converted into electrical energy by the generator. Irrigation systems have the potential to become a source of electrical energy. Providing electricity is one of the infrastructures that has great importance for society at large. Ensuring the availability of sufficient electricity, affordable prices and good quality is very important. From a comparison of blade thicknesses of 2mm, 3mm and 4mm. With a blade thickness of 2mm, it produces the largest power, namely 452.45 Watts and the smallest power producer with a blade thickness of 4mm, namely 365.50 Watts, with a constant flow of water in irrigation of 0.018 m³/s. From a comparison of blade thicknesses of 2mm, 3mm and 4mm. With a blade thickness of 2mm, the highest level of efficiency is 8.31% and the smallest level of efficiency is at a blade thickness of 4mm, namely 6.712% with a constant flow of water in irrigation of 0.018 m³/s. For variations in blade thickness of 2mm, 3mm, and 4mm, after carrying out data collection and calculations for turbine performance analysis, it was found that a blade thickness of 2mm had a maximum level of performance compared to other blade variations. For turbine generator output, which has a blade thickness of 2 mm, it also has a higher efficiency level than other blade variations.

Key words: Variation in blade thickness, Undershot type water turbine, Picohydro, Water Discharge, Efficiency.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Undershot” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak M. Yani S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing serta Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
5. Orang tua penulis: Bapak Riswan dan Ibu Yusnaweli, yang telah bersusah payah membesarkan dan mendidik kami dengan penuh kasih sayang.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Keluarga dan Sahabat – sahabat penulis: Sri Dewi Mahyuni, Sri Linda Ningsih, Sri Yuni Novita Sari, Sri Novita Sari, Sri Nia Khairani, Yusrizal Andika, Nurul Anisa Fadillah, Halfa Andri Pasaribu, M. Rizki Hidayat Sirait, Bayu Prastiyo, Aldiansyah, Dicky Wahyuddin juga keluarga dan teman – teman lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 31 Agustus 2024

M. Reza Ismail

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR Error! Bookmark not defined.	
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Kincir Air	5
2.2 Jenis – Jenis Kincir Air	6
2.2.1 Kincir Air Horizontal	6
2.2.2 Kincir Air Vertikal	7
2.2.3 Kincir Air Tub	10
2.3 Kinerja Kincir Air	11
2.3.1 Brake Horse Power (BHP)	11
2.3.2 Efisiensi (η)	11
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Skala Picohidro	12
2.4.1 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala <i>Picohydro</i>	15
2.5 Generator	17

2.5.1	Jenis – Jenis Generator	18
2.6	Teori dan Persamaan	19
2.6.1	Persamaan Bernoulli Fluida Ideal	19
2.6.2	Persamaan Kontinuitas	20
2.7	Debit Air (Q)	20
2.8	Kecepatan Aliran Air (v)	21
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	22
3.1.1	Lokasi Penelitian	22
3.1.2	Waktu Penelitian	22
3.2	Bahan dan Alat	23
3.3	Diagram Alir Penelitian	26
3.4	Rancangan Alat Penelitian	27
3.5	Prosedur Penelitian	29
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1	Perancangan Kincir	30
4.2	Analisis Pengaruh Aliran Air	32
4.3	Analisis Kinerja Turbin	33
4.4	Pembahasan	38
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	42
5.1	Kesimpulan	42
5.2	Saran	43
	DAFTAR PUSTAKA	44
	LAMPIRAN	46
	LEMBAR ASISTENSI	47
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	48

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian	22
Tabel 4. 1 Data Rpm Turbin Dengan 3 Variasi Ketebalan sudu	33
Tabel 4. 2 Kinerja Turbin Dengan 3 Variasi Ketebalan Sudu	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kincir Air	5
Gambar 2. 2 Kincir Air Horizontal	7
Gambar 2. 3 Kincir Air Tipe Undershot	7
Gambar 2. 4 Kincir Air Tipe Overshot	8
Gambar 2. 5 Kincir Air Tipe Breastshot	9
Gambar 2. 6 Kincir Air Tipe Tub	10
Gambar 2. 7 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Pico-Hydro	15
Gambar 2. 8 Generator AC (Alternating Current)	18
Gambar 2. 9 Konstruksi Generator Arus Searah	19
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	22
Gambar 3. 2 Meteran	23
Gambar 3. 3 Multitester	23
Gambar 3. 4 Tachometer	24
Gambar 3. 5 Stopwatch	24
Gambar 3. 6 Botol Mineral	25
Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 3. 8 Rancangan Kincir Air Dengan Ketebalan Sudu 2mm	27
Gambar 3. 9 Rancangan Kincir Air Dengan Ketebalan Sudu 3mm	27
Gambar 3. 10 Rancangan Kincir Air Dengan Ketebalan Sudu 4mm	28
Gambar 4. 1 Desain Kincir Air 3D	30
Gambar 4. 2 Pintu Masuk Air Irigasi	30
Gambar 4. 3 Posisi Letak Kincir Air	31
Gambar 4. 4 Mengukur Panjang Aliran Irigasi	31
Gambar 4. 5 Mengukur Lebar Aliran Irigasi	31
Gambar 4. 6 Perbandingan RPM 3 Variasi Ketebalan Sudu	34
Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan Sudu Terhadap Gaya	38
Gambar 4. 8 Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan Sudu Terhadap Torsi Turbin	39
Gambar 4. 9 Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan Sudu Terhadap Daya Turbin	40
Gambar 4. 10 Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan Sudu Terhadap Effisiensi Turbin	41

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
V	Kecepatan	m/s
S	Jarak	M
T	Waktu	s
A	Luas	m ²
P	Panjang	m
l	Lebar	m
Q	Debit Air	m ³
Pa	Daya Air	Watt
ρ	Rho Air	m ³
G	Gravitasi	m/s
H	Tinggi	m
F	Gaya	N
T	Torsi	Nm
Eff	Effisiensi	%

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi telah menjadi komponen integral dalam kehidupan manusia dan telah dicatat dalam sejarah. Dalam usaha membuat kehidupan sehari-hari lebih sederhana dan efisien, banyak orang berupaya menghasilkan inovasi teknologi baru. Sebagai hasilnya, masyarakat kini cenderung merasa bergantung pada teknologi dan menganggapnya sebagai kebutuhan penting dalam kehidupan.

Sejalan dengan perkembangan teknologi, sosial, dan budaya semakin hari kebutuhan energi listrik terus meningkat, mulai dari rumah tangga, perkantoran, transportasi, telekomunikasi bergantung dengan energi listrik. Namun demikian, bertumbuhnya tingkat kebutuhan listrik tidak sebanding dengan cadangan energi fosil yang semakin menipis sehingga pusat pembangkit listrik yang berbahan bakar berasal dari fosil akan mengalami penurunan produktifitas dimasa yang akan datang.

Salah satu metode untuk menghasilkan listrik menggunakan energi air adalah dengan membangun turbin air sebagai pembangkit listrik. Menggunakan energi air sebagai sumber listrik memiliki dampak yang minim terhadap lingkungan. Kendala yang dihadapi dalam pengembangan turbin air pembangkit listrik adalah kinerja yang tidak optimal saat turbin air tersebut dibangun oleh masyarakat.

Pemanfaatan sumber daya air sebagai energi listrik adalah salah satu cara untuk menghasilkan tenaga listrik. Pembangkit ini adalah salah satu asal tenaga listrik utama yang ada di Indonesia. Diharapkan situasinya dapat memenuhi kebutuhan pasokan listrik untuk masyarakat Indonesia, selain dari sumber energi batu bara. Karena Indonesia memiliki pasokan air yang cukup melimpah, industri pembangkit listrik tenaga air di negara ini sedang berkembang pesat.

Peningkatan peluang penggunaan sumber daya manusia dan pembangkit listrik di daerah terpencil, terutama dengan potensi air yang melimpah, telah membuka kemungkinan pengembangan pembangkit listrik skala kecil yang disebut Pembangkit Listrik Tenaga Air Pico Hydro (PLTPH). Cara kerja PLTPH ini adalah dengan memanfaatkan perbedaan tinggi permukaan air dari sumber

seperti saluran irigasi, sungai, atau air terjun, serta jumlah aliran air per detik. Aliran air tersebut menggerakkan poros turbin untuk menghasilkan energi kinetik yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik oleh generator.

Sistem irigasi memiliki potensi untuk menjadi sumber energi listrik. Penyediaan listrik merupakan satu dari infrastruktur yang memiliki kepentingan besar bagi masyarakat secara luas. Untuk memastikan ketersediaan listrik yang cukup, harga yang terjangkau, dan kualitas yang baik, menjadi hal yang sangat penting.

Sebagian besar pasokan listrik di Indonesia saat ini masih bergantung pada energi konvensional yang tidak dapat diperbarui seperti bahan bakar fosil, gas alam, dan batu bara. Namun, penggunaan sumber energi terbarukan seperti sinar matahari, air, angin, panas bumi, biomassa, dan biogas masih minim dan perlu ditingkatkan. Perluasan akses listrik di berbagai daerah di Indonesia juga sangat penting, mengingat hampir semua kegiatan penduduk membutuhkan listrik. Baik secara langsung maupun tidak langsung, listrik menjadi kebutuhan pokok.

Dalam pembangunan PLTPH, selalu digunakan aliran air dengan ketinggian tertentu yang kemudian dihasilkan listrik oleh kincir air dan generator. Semakin besar aliran air, semakin besar peluang untuk menghasilkan energi listrik. Lebih khusus lagi, di Kecamatan Sunggal, di desa Tanjung Rejo, terdapat sumber air di sawah, yang aliran airnya dapat digunakan untuk pembangkit listrik tenaga *PicoHydro*.

Tetapi, ketika dilihat secara langsung di lapangan, terlihat bahwa sumber air bersifat konstan agar dapat sesuai sebagai tempat untuk menghasilkan listrik menggunakan tenaga *PicoHydro*. Terinspirasi oleh latar belakang tersebut, dilakukan penggunaan aliran air yang mengalir untuk menciptakan pembangkit listrik *PicoHydro*.

Kadir (2010) melakukan penelitian tentang kincir air tipe sudu datar dengan memvariasikan tinggi sudu (8, 16 dan 24 cm) untuk lebar sudu tetap (2 x 50 cm) dan dengan variasi jumlah sudu 4 buah dan 8 buah tiap roda kincir. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kinerja kincir terletak pada harga tinggi sudu tertentu, sedangkan efisiensi kincir akan semakin tinggi jika tinggi sudu semakin kecil. Daya maksimum kincir terletak pada tinggi sudu 16 cm baik untuk jumlah

sudu 4 buah ataupun untuk jumlah sudu 8 buah sedangkan efisiensi maksimum dicapai pada tinggi sudu 8 cm untuk jumlah sudu 4 buah atau 8 buah.

Berdasarkan observasi yang peneliti lakukan, maka perlu kiranya dilakukan penelitian tentang “**Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Undershot**”. Sehingga diharapkan setelah dilakukannya variasi tersebut akan terjadi peningkatan efisiensi.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana memanfaatkan aliran irigasi persawahan sebagai PLTPH di desa Tanjung Rejo Kec. Sunggal ?
2. Bagaimana pengaruh variasi tebal sudu terhadap kinerja kincir air *undershot* tenaga *picohidro* yang berada di Desa Tanjung Rejo Kec. Sunggal ?

1.3 Ruang Lingkup

Salah satu solusi yang dapat diprioritaskan untuk mengatasi kurangnya penyediaan listrik di wilayah pedesaan adalah menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi yang didukung oleh sungai-sungai sebagai sumber energi. Di wilayah irigasi persawahan dengan ketinggian yang rendah juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan *Pico-Hydro*.

1.4 Tujuan

Adapun yang menjadi tujuan dari Penulisan ini adalah:

1. Menganalisa hasil kerja dari pemakaian sudu dengan ketebalan 2mm, 3mm dan 4mm pada pembangkit listrik *picohydro* dengan menggunakan turbin air jenis *undershot*.
2. Menganalisa daya listrik tertinggi yang dihasilkan turbin air jenis *undershot* dari ketebalan sudu 2mm, 3mm dan 4mm.
3. Menganalisa efisiensi dari ketebalan sudu 2mm, 3mm dan 4mm.

1.5 Manfaat

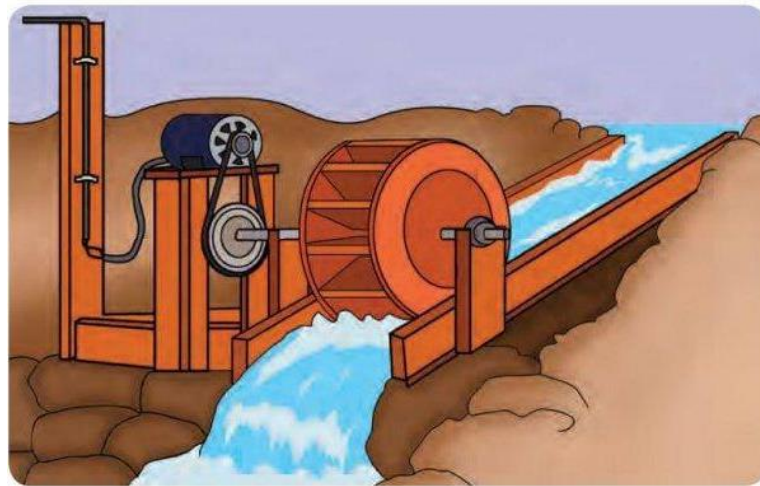
Manfaat penelitian ini adalah:

1. Bagi penyusun: Mempelajari tentang pembangkit listrik tenaga *PicoHydro* dapat meningkatkan wawasan, pemahaman, dan keahlian dalam bidang ini.
2. Dalam mencari tahu daya yang dihasilkan oleh setiap variasi tebal sudu di PLTPH Desa Tanjung Rejo, Kecamatan, kita ingin mengetahui berapa daya yang dihasilkan dari setiap perubahan sudu di pembangkit listrik *PicoHydro*. Sunggal adalah sebuah daerah di Sumatera Utara.
3. Bagi mahasiswa: Dengan menggunakan teknologi *Pico-Hydro*, proses pembelajaran mengenai pembangkitan listrik dapat menjadi lebih mudah dan efisien, terutama dalam konteks pembangkit listrik tenaga *PicoHydro*.
4. Bagi Masyarakat: Mengedukasi penduduk Tanjung Rejo Kec. tentang penerapan teknologi pembangkit listrik menggunakan PLTP-H dalam skala kecil. Di daerah Sunggal, terdapat sebuah jenis kincir air yang sangat khas.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Kincir Air

Kincir air adalah peralatan mekanis berbentuk roda dengan sudu (*bucket* atau *vane*) pada sekeliling tepi tepinya yang diletakkan pada poros horizontal. Kincir air memanfaatkan selisih ketinggian alamiah dari permukaan sungai kecil. Air yang masuk ke dalam dan keluar kincir tidak mempunyai tekanan lebih (*over pressure*), hanya tekanan atmosfer saja. Air itu menerjang sudu dari sebuah roda, yang kebanyakan langsung dihubungkan dengan sebuah mesin. Kincir air dapat diklasifikasikan berdasarkan sistem aliran airnya, yaitu: kincir air *overshot*, kincir air *undershot*, kincir air *breastshot* dan kincir air tub.



Gambar 2. 1 Kincir Air

Pada hakikatnya untuk suatu prinsip kerja dari pada listrik tenaga air adalah mengupayakan atau mengubah energi yang terdapat pada air yang mengalir di dalam aliran irigasi atau pun sungai menjadi energi mekanik dimana kemudian energi mekanik inilah mampu diubah menjadi suatu bentuk pada energi listrik. Alat utama yang selalu dibuatkan dalam pembuatan kincir air adalah kincir dan juga generator yang terhubung secara langsung. Kedua alat ini kincir dan juga generator tidak boleh dilupakan dalam pembuatan kincir air.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan eksperimental mengenai sebuah kincir air undershot tipe sudu datar yang ditempatkan mengambang diatas sungai dengan memvariasikan tinggi sudu untuk lebar sudu tetap. Pada penelitian ini efisiensi kincir akan semakin tinggi sudu semakin kecil. (*Kadir 2010*)

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan tentang analisis kinerja kincir air tipe sudu datar dengan variasi sistem aliran fluida. Hasil penelitian ini ialah efisiensi tertinggi terdapat pada sistem liran *overshot*. (*Bima 2012*)

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan tentang variasi tebal sudu kincir air mempunyai pengaruh terhadap daya poros dan efisiensi kincir air tipe sudu datar. Semakin tebal sudu kincir air maka daya poros semakin menurun dan efisiensi pun semakin menurun. (*Dhimas Nur Cahyadi 2012*)

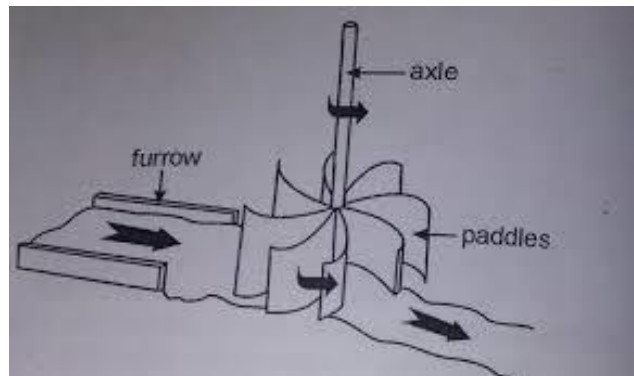
Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan tentang pengaruh penggunaan sudu berbahan akrilik pada kincir air dapat digunakan tanpa membutuhkan aliran air yang deras, selain itu dilihat dari keunggulan bahan akrilik yang tahan terhadap karat dan terhadap paparan sinar matahari langsung menjadikan bahan akrilik dapat digunakan. (*Rizky Tampubolon 2022*)

2.2 Jenis – Jenis Kincir Air

Kincir air dapat dikelompokkan dilihat dari keadaan dan bentuknya, kincir air dibedakan menjadi 2 macam yaitu:

2.2.1 Kincir Air Horizontal

Kincir Horizontal Kincir Horizontal atau biasa disebut juga kincir Tub atau Norse yang memiliki sumbu tegak. Pada dasarnya kincir air horizontal adalah turbin yang primitif dan tidak efisien yang penerapannya biasa di letakkan di bawah bangunan. Aliran air diarahkan ke sudu kincir membuat kincir berputar dan air keluar di bawah kincir, pada umumnya melalui pusat. Ini adalah kerangka dasar, umumnya yang digunakan tanpa roda gigi sehingga poros atas kincir air berubah menjadi poros penggerak. Seperti di tunjukkan pada Gambar 2.2



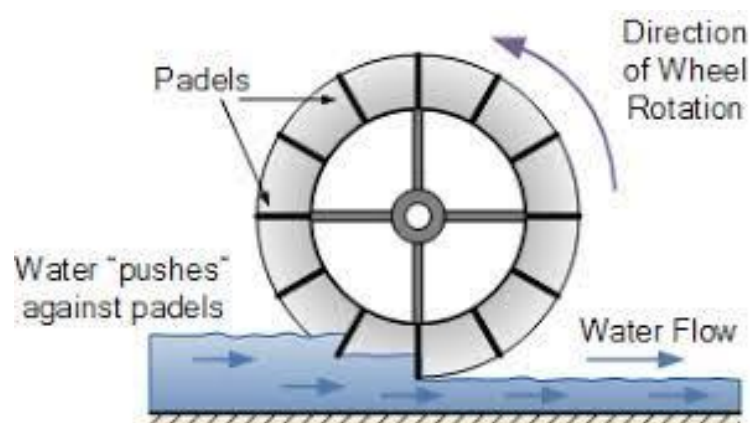
Gambar 2. 2 Kincir Air Horizontal

2.2.2 Kincir Air Vertikal

Kincir air vertikal memiliki poros datar dan dapat dibedakan menjadi 3 jenis berdasarkan posisi air mengenai roda kincir air, yaitu :

a. Kincir Air *Undershot*

Pada kincir air *undershot* jenis ini, air masuk ke dalam bentuk pancaran air menumbuk sudu gerak yang membentuk vanes, di posisi roda kincir sewaktu berada di bawah atau dasar. Roda kincir berputar hanya karena tumbukan air yang membentuk pancaran air pada sudu gerak. Head potensial dari air mula-mula diubah menjadi head kecepatan sebelum air menumbuk sudu gerak. Tipe kincir air ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata karena aliran yang dibutuhkan adalah aliran datar, dan aliran ini searah dengan arah putaran .



Gambar 2. 3 Kincir Air Tipe Undershot

Adapun keuntungan dari kincir air undershot adalah:

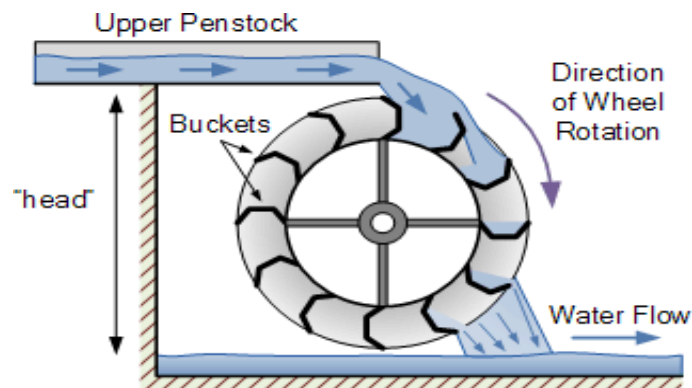
1. Konstruksi lebih sederhana.
2. Lebih ekonomis.
3. Mudah untuk dipindahkan.

Adapun kerugian dari kincir air undershot adalah:

1. Efisiensi kecil.
2. Daya yang dihasilkan relatif kecil.

b. Kincir Air *Overshot*

Kincir air *overshot* bekerja bila air yang mengalir jatuh ke dalam bagian sudus sisi bagian atas, dan karena gaya berat air roda kincir berputar. Kincir air *overshot* adalah kincir air yang paling banyak digunakan dibandingkan dengan jenis kincir air yang lain. Kincir air *overshot* adalah kincir air yang dipasang secara vertikal yang diputar oleh air yang masuk ke bilah tepat melewati bagian atas kincir sehingga dikatakan *overshot*. Kincir air *overshot* khasnya memiliki aliran air yang disalurkan di bagian atas dan sedikit di luar poros. Desain kincir air *overshot* sangat efisien, dapat mencapai 90%, dan tidak memerlukan aliran cepat.



Gambar 2. 4 Kincir Air Tipe Overshot

Keuntungan dari turbin *overshoot* :

1. Tingkat efisiensi yang tinggi dapat mencapai 85%.
2. Tidak membutuhkan aliran yang deras.
3. Konstruksi yang sederhana.
4. Mudah dalam perawatan.
5. Teknologi yang sederhana mudah diterapkan di daerah yang terisolir.

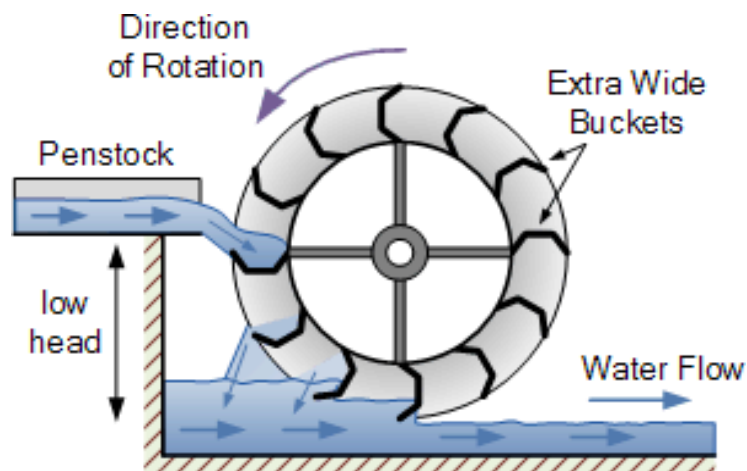
Kerugian dari turbin *overshot*

1. Karena aliran air berasal dari atas maka biasanya reservoir air atau bendungan air, sehingga memerlukan investasi yang lebih banyak.
2. Tidak dapat diterapkan untuk mesin putaran tinggi.
3. Membutuhkan ruang yang lebih luas untuk penempatan.
4. Daya yang dihasilkan relatif kecil.

a) Kincir Air *Breastshot*

Kincir air *breastshot* memiliki bilah berventilasi dengan lubang di samping untuk memungkinkan udara keluar saat air masuk. Selain itu, kincir ini juga memiliki penahan yang berguna untuk menahan air di bilah saat kincir bergerak ke bawah. Kincir air *breastshot* kurang efisien jika dibandingkan kincir air *overshot* dan *backshot*, tetapi kincir ini dapat menangani laju aliran tinggi dan aliran air volume tinggi yang stabil.

Beberapa hal khusus dari rancangan kincir air jenis *breastshot* adalah sebagian dari bawah roda kincir terendam atau berada dibawah permukaan air bawah (*tail race*) karena gerakan kearah yang sama dari roda kincir dan aliran permukaan air bawah, maka sewaktu air mengalir lebih lanjut akan membantu memutar roda kincir. Karena itu dapat dikatakan roda kincir digerakkan oleh kombinasi gaya berat air dan sebagian karena dorongan air (*prayatmo*, 2007).



Gambar 2. 5 Kincir Air Tipe Breastshot

Adapun keuntungan dari kincir air breastshot adalah:

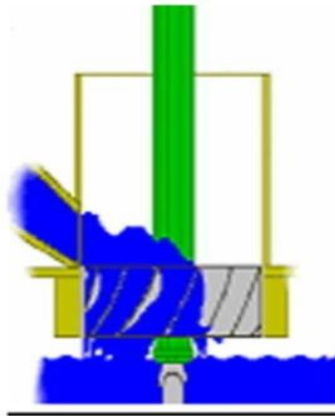
1. Tipe ini lebih efisien daeri tipe *undershot*.
2. Tipe breastshot dibandingkan tipe *overshot* tinggi jatuhnya lebih pendek.
3. Dapat diaplikasikan pada sumber air aliran datar.

Adapun kerugian dari kincir air *breastshot* adalah:

1. Sudu-sudu tipe ini tidak rata seperti tipe *undershot* (lebih rumit).
2. Diperlukan dam pada arus aliran datar.
3. Efisiensi lebih kecil dari pada tipe *overshot*.

2.2.3 Kincir Air Tub

Kincir air *Tub* ini merupakan kincir air yang kincirnya di letakkan secara horizontal dan sudu – sudunya miring terhadap garis vertical, dan type ini dapat di buat lebih kecil dari pada *overshot* maupun *undershot*. Karena arah gaya dari pancaran air menyamping maka energi yang di terima oleh kincir yaitu energy potensial dan kinetic.



Gambar 2. 6 Kincir Air Tipe Tub

Adapun keuntungan dari kincir air *Tub* adalah :

- a. Memiliki konstruksi yang lebih ringkas.
- b. Kecepatan putarnya cepat.

Adapun kerugian dari kincir air *Tub* adalah:

1. Tidak menghasilkan daya yang besar.
2. Karena komponennya lebih kecil maka membutuhkan tingkat ketelitian yang besar.

2.3 Kinerja Kincir Air

Dalam pembahasan kali ini parameter – parameter dari kinerja kincir air yang dibahas adalah *Brake Horse Power (BHP)* dan *Efisiensi (η)*.

2.3.1 Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power adalah daya dari kincir yang diukur setelah mengalami pembebanan. Brake yang dimaksud adalah suatu peralatan yang digunakan untuk memberikan beban pada kincir sehingga putarannya dapat terjaga secara konstan. Besarnya BHP dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{BHP (P)} = T (\omega) \quad (2-1)$$

Dimana : BHP (P) : Brake Horse Power (watt)

T : torsi (N.m)

(ω) : Kecepatan sudut = $\frac{2.\pi.n}{60}$

$$T = F \times R \quad (2-2)$$

Dimana : F : gaya tangensial (N)

R : radius kincir (m)

2.3.2 Efisiensi (η)

Untuk menyatakan performa suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara BHP dengan WHP. Lebih sederhananya adalah perbandingan antar input dan output yang dinyatakan dalam persen (%). Seperti pada rumus 2-3 berikut.

$$\eta = \frac{P_{kincir}}{P_{air}} \cdot 100\% \quad (2-3)$$

Dimana : η : efisiensi

P_{kincir} : daya poros kincir (watt)

P_{air} : daya air (watt)

Daya air (water horse power) didapat dari persamaan

$$WHP = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \quad (2-4)$$

Dimana : Q : kapasitas aliran [m^3/s]
 : ρ : densitas air [kg/m^3]
 : g : percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
 : h : head air (m)

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Skala Pikohidro

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia untuk mendapatkan kesejahteraan hidup. Pemanfaatan energi listrik secara luas telah digunakan untuk kebutuhan seperti industri, instansi pemerintah, komersial maupun rumah tangga (Saefudin et al., 2018)(Prian et al., 2019).

Pembangkit listrik tenaga pikohidro merupakan salah satu alternative pembangkit listrik skala kecil yang dapat diterapkan di daerah pedesaan dimana tersedia aliran sungai yang mempunyai debit air yang kontinu dan tinggi jatuh air yang relative rendah untuk menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan daya listrik. Untuk dapat menghasilkan daya listrik dengan potensi yang demikian, diperlukan pembangkit listrik tenaga skala pikohidro. (Yusuf Ismail Nakhoda, Irrine Budi Sulistiawati, Aryuanto Soetedjo 2018)

Untuk mewujudkan pembangkit listrik tenaga skala pikohidro, pertama kali yang harus dilakukan adalah survei lokasi sungai yang akan dipasang pembangkit listrik tenaga skala pikohidro sesuai dengan potensi aliran dan debit air yang mengalir pada sungai tersebut. Selanjutnya perancang konstruksi kincir/turbin air yang disesuaikan dengan potensi debit air yang ada di lokasi dan merancang posisi generator magnet permanen yang akan diputar turbin air melalui vanbelt, sehingga energi gerak putar dari turbin air dihubungkan pada poros generator sehingga menghasilkan energi listrik (Ahmad, 2014; Gatot & Yusuf, 2007; Ihfazh, et al., 2013).

Picohydro adalah jenis pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas kecil, sehingga berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan yang digunakan. Keunggulan picohydro yaitu tidak menimbulkan kerusakan lingkungan, Picohydro dirancang menghasilkan daya terbangkit 100W-5kW dan memanfaatkan potensi tenaga air dengan head yang rendah sebagai tenaga penggeraknya, (*Risnandar dkk, 2011*).

Air hujan yang yang biasanya kurang dimanfaatkan juga dapat dijadikan sumber pembangkit dengan menampung air hujan pada bak penampungan. Oleh karena itu maka penulis sangat tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul : “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro (PLTPh) Rumah Tangga“, dimana penelitian ini akan menerapkan pemanfaatan terhadap air hujan untuk perencanaan tersebut.

Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro adalah pembangkit yang diklasifikasikan sebagai pembangkit listrik berskala kecil dengan menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW. Pembangkitan tenaga air memiliki prinsip yaitu suatu bentuk dari perubahan tenaga, dalam hal ini tenaga air dengan debit dan ketinggian tertentu menjadi tenaga listrik, dengan memanfaatkan turbin dan generator untuk menghasilkan listrik. Prinsipnya pada PLTA skala piko hidro, adalah dengan memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran sungai, kemudian aliran air nantinya akan menggerakkan sudu-sudu turbin, lalu turbin mentransmisikan putaran ke generator dan generator menghasilkan listrik (*Silvester Sandy 2016*)

PLTPh adalah pembangkit listrik tenaga piko hidro yang memiliki skala kecil memiliki kapasitas kurang dari 5 kW. Jika menginginkan energi listrik dari aliran air sungai, maka memerlukan suatu mekanisme untuk mengubah energi kinetik dan energi potensial dari aliran air sungai melalui kincir air. Kincir air ini merupakan alat yang berputar karena adanya aliran air dari sungai. Manfaat dari perputaran kincir untuk menggerakkan generator dan menghasilkan listrik (*Dewatama, dkk 2018*).

Pembangkit listrik tenaga pikohidro dalam hal ini memanfaatkan aliran air yang dialirkan dari saluran irigasi, sungai-sungai yang berada pada dataran rendah, dan memanfaatkan daerah yang memiliki air yang melimpah walaupun tidak memiliki bukit-bukit, karena pembangkit listrik pikohidro tidak harus memanfaatkan aliran air yang deras, tetapi dapat memanfaatkan penggunaan sistem bendungan. Energi listrik yang dihasilkan generator berhubungan dengan frekuensi putaran turbin. Pembangkit listrik tenaga air pikohidro dalam skala kecil, dapat digunakan sebagai energi alternatif dari pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) yang memanfaatkan bahan bakar minyak yaitu solar dimana biaya operasionalnya lebih besar.

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

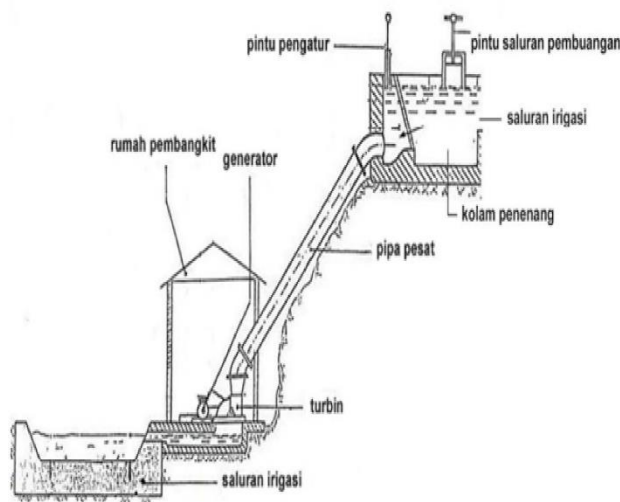
Pada dasarnya suatu pembangkit listrik tenaga air berfungsi untuk mengubah potensi tenaga air yang berupa aliran air yang mempunyai debit dan tinggi jatuh (head) untuk menghasilkan energi listrik. Bangunan tersebut mencakup bangunan sipil dan peralatan elektromekanik.

“Transmisi menuju generator terdapat bagian bagian utama yaitu poros, bantalan/bearing, puley dan belt. Poros yang digunakan terdapat pada 2 bagian, yaitu pada turbin, dan pada generator. Bantalan/bearing merupakan bagian penting yang mana berfungsi menopang dari poros turbin. Pulley digunakan untuk mentransmisikan daya, pulley yang digunakan ada 2 bagian yaitu Pulley turbin dan pulley generator (*Abdullah Fahrís 2019.*) Perubahan energi dari bentuk mekanik menjadi bentuk listrik dan kemudian bentuk listrik menjadi bentuk mekanik merupakan konversi energi elektromagnetik.

Alternator atau generator sinkron merupakan jenis alat listrik yang memiliki fungsi yang dapat menghasilkan tegangan bolak-balik dengan mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Dimana putaran rotor yang digerakkan oleh penggerak mula atau prime mover menghasilkan energi mekanis, dan energi

listrik di peroleh dari kumparan stator dan rotor yang mana didalamnya memproses induksi elektromagnetik (Eugene C. Luster 1993: 78).

“Pada tahun 2017, Henanto Pandu melakukan penelitian tentang pembuatan dan pengujian turbin propeller dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan variasi debit aliran, Dan variasi debit alirannya yaitu 0,0053 m³ /s, 0,0066 m³ /s, 0,0076 m³ /s, dan 0,0088 m³ /s, dari debit air tertinggi menghasilkan daya generator 4 Watt dengan efisiensi generatornya 30,45 % (Henanto Pandu dan Dwi Aries 2017).”



Gambar 2. 7 Proses Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala Pico-Hydro

2.4.1 Kelebihan dan Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala *Picohydro*

a. Kelebihan Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala *Picohydro*

1. Menggunakan energi terbarukan.
2. Ramah lingkungan.
3. Indonesia memiliki potensi air yang besar.
4. Jumlah sumber daya manusia yang banyak.
5. Lokasi sumber daya air Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala *Picohydro* pada umumnya berada di wilayah perdesaan dan desa terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik.
6. Mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan bakar fosil.
7. Menjadi energi alternatif pengganti listrik untuk penerangan di desa-desa terpencil yang tidak tersentuh jaringan PLN.

b. Kekurangan Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala *Picohydro*

1. Tidak semua aliran air dapat digunakan untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala *Picohydro*, karena Faktor debit aliran sangat menentukan
2. Beberapa jenis turbin air sangat sensitif terhadap fluktuasi debit air.
3. Perlu konservasi daerah tangkapan air, terutama di daerah hulu sungai.
4. Biaya perijinan sebagai syarat untuk memperoleh *Power Purchase Agreement* (PPA) dalam membangun Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala *Picohydro* juga masih relatif tinggi, padahal PPA merupakan syarat untuk memperoleh kredit dari perbankan.
5. Kemampuan teknisi lokal yang masih terbatas dan sering menimbulkan kesalahan yang fatal.
6. Biaya investasi untuk teknologi *pico hidro* masih tinggi.
7. Kurangnya sosialisasi Pembangkit Listrik Tenaga Air Skala *Picohydro*, terutama potensinya sebagai penggerak mekanis seperti pompa air, penggiling padi, dan lainnya.

Biasanya PLTPH dibangun berdasarkan adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*) mengacu kepada kapasitas sedangkan head adalah beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi. Sebab instalasi pembangkit listrik seperti ini menggunakan sumber daya yang disediakan oleh alam dan ramah lingkungan.

Dapat kita ketahui bahwa alam memiliki tempat air mengalir seperti sungai, air terjun, aliran irigasi dll. Dengan adanya perkembangan teknologi pada era saat ini maka energi air beserta energi dari pengaruh perbedaan ketinggian dengan daerah tertentu (tempat instalasi yang akan dibangun) akan dapat diubah menjadi energi listrik.

2.5 Generator

Generator adalah jenis mesin yang mampu mengubah energi gerak (mekanik) menjadi energi listrik. Kekuatan untuk menjalankan generator berasal dari berbagai sumber. Misalnya pada pembangkit listrik tenaga angin, generator digerakkan oleh turbin angin yang berputar dengan energi angin. Demikian pula pada pembangkit listrik tenaga air, tenaga penggerakannya adalah energi gerak air. Pada pembangkit listrik tenaga diesel, gerakan generator dihasilkan dari hasil pembakaran bahan bakar solar.

Generator yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik muncul di medan magnet. Karena energi mekanik yang dipasok ke generator, arus listrik muncul di konduktor karena perubahan medan magnet di sekitar konduktor. Dalam hukum Faraday, dikatakan bahwa jika sepotong konduktor berada dalam medan magnet yang berubah, gaya gerak listrik (EMF) akan terbentuk di konduktor tersebut. Ggl induksi dapat diperluas dengan menambah jumlah lilitan kumparan, menggunakan magnet permanen yang lebih kuat, meningkatkan kecepatan putaran kumparan, dan memasukkan inti besi lunak ke dalam kumparan.

Generator akan berfungsi apabila memiliki kumparan medan yang berguna untuk menghasilkan medan magnet, kumparan jangkar yang berfungsi sebagai pengibas GGL pada konduktor – konduktor yang terletak pada alur jangkar serta celah udara yang memungkinkan berputarnya jangkar dalam medan magnet. Terdapat dua jenis konstruksi dari generator, jenis medan diam dan medan magnet berputar. Pada medan magnet diam secara umum kapasitas Kilovolts ampere relatif kecil dan ukuran kerja tegangan rendah, jenis ini mirip dengan generator DC kecuali terdapat slips ring sebagai alat untuk pengganti komutator.

Sedangkan pada generator jenis medan magnet berputar dapat menyederhanakan masalah pengisolasian tegangan. Siklus tegangan yang dibangkitkan tergantung pada jumlah kutub yang digunakan pada magnet, pada generator yang menggunakan dua kutub dapat membangkitkan satu siklus tegangan sedangkan pada generator dengan empat kutub dapat menghasilkan dua siklus tegangan. Sehingga terdapat perbedaan antara derajat mekanis dan derajat listrik.

2.5.1 Jenis – Jenis Generator

Secara garis besar, Generator terbagi menjadi dua yaitu generator AC dan generator DC sebagai berikut.

1. Generator AC (*alternating current*)

Generator arus bolak balik (AC) atau disebut dengan alternator adalah suatu peralatan yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik (elektrik) dengan perantara induksi medan magnet.

Prinsip dasar generator AC menggunakan hukum Faraday yang menyatakan bahwa jika sebuah penghantar terkena medan magnet yang berubah-ubah, maka akan terbentuk gaya gerak listrik pada penghantar tersebut. Arus bolak-balik dihasilkan oleh induksi elektromagnetik, sebuah kumparan tembaga ditempatkan di sebelah kutub magnet permanen. Kutub magnet permanen berputar pada porosnya sehingga arus mengalir di kedua ujung kumparan tembaga, yang ditunjukkan oleh voltmeter.

Jarum voltmeter berputar ke kanan dan ke kiri, itu menunjukkan sekali kutub positif, sekali kutub negatif. Perubahan energi ini terjadi karena adanya perubahan medan magnet pada kumparan jangkar (tempat arus mengalir pada generator). Kumparan medan pada generator AC ada di rotor sedangkan belitan jangkar ada di stator.



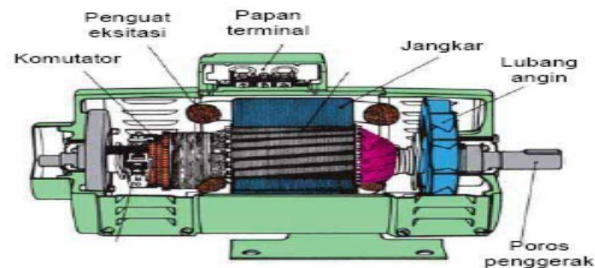
Gambar 2. 8 Generator AC (Alternating Current)

2. Generator DC (*Direct Current*)

Generator DC atau arus searah mempunyai komponen dasar yang umumnya hampir sama dengan komponen generator AC. Secara umum, generator DC adalah alat untuk mengubah energi mekanik dalam bentuk putaran menjadi energi listrik DC. Energi mekanik digunakan untuk memutar gulungan kawat dalam medan magnet.

Berdasarkan hukum Faraday, gaya gerak listrik induksi akan terjadi pada konduktor sebanding dengan laju perubahan fluks magnet yang dikelilingi oleh konduktor. Jika kumparan merupakan rangkaian tertutup maka akan muncul arus induksi yang membedakannya dengan alternator yang berada pada elemen penyearah di dalamnya yang disebut komutator dan sikat.

Generator DC terdiri dari dua bagian, bagian yang berputar (rotor) dan bagian yang tetap (stator). Stator adalah rangka, komponen magnet, dan komponen sikat. Sedangkan rotor terdiri dari jangkar, kumparan jangkar dan komutator.



Gambar 2. 9 Konstruksi Generator Arus Searah

2.6 Teori dan Persamaan

2.6.1 Persamaan Bernoulli Fluida Ideal

Persamaan hukum Bernoulli erat kaitannya dengan tekanan, kecepatan, dan ketinggian dari dua titik poin dengan aliran fluida yang massa jenis. Munculnya persamaan Bernoulli didapat dari keseimbangan energi mekanik atau energi kinetik dan energi potensial bersamaan dengan adanya tekanan yang muncul hingga menghasilkan implementasi berikut.

$$\text{Tekanan} + E_{kinetik} + E_{potensial} = \text{konstan}$$

Dimana : p : tekanan (pascal)

ρ : massa jenis fluida (kg/m^3)

v : kecepatan fluida (m/s)

g : percepatan gravitasi ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

h : ketinggian (m)

$$w = g \cdot z + \frac{p}{\rho \cdot g} + m \cdot \frac{c^2}{2g} = \text{konstan} \quad (2-5)$$

Apabila dibagi lagi dengan percepatan gravitasi (g), maka persamaannya dinamakan persamaan energi persatuan berat fluida atau head.

$$H = z + \frac{p}{\rho \cdot g} + m \cdot \frac{c^2}{2g} = \text{konstan} \quad (2-6)$$

Untuk menggunakan persamaan Bernoulli diatas terdapat asumsi – asumsi yang harus diperhatikan, yaitu :

1. Alirannya tidak mengalami perubahan kecepatan (*steady*).
2. Tak mampu mampat (*incompressible*).
3. Tak ada gesekan antara fluida dengan permukaan saluran (*frictionless flow*).
4. Tidak ada kerja yang masuk maupun keluar dari pipa.

2.6.2 Persamaan Kontinuitas

Persamaan kontinuitas adalah persamaan yang menghubungkan kecepatan fluida dalam dari satu tempat ke tempat lain. Sebelum menurunkan hubungan, harus memahami beberapa istilah dalam aliran fluida. Garis aliran (stream line) diartikan sebagai jalur aliran fluida ideal (aliran lunak). Garis singgung di suatu titik pada garis memberikan kita arah kecepatan aliran fluida. Garis alir tidak berpotongan satu sama lain.

Sebelum menurunkan persamaan kontinuitas ini, harus mengetahui terlebih dahulu mengenai istilah aliran fluida. Garis aliran merupakan jalur aliran lunak atau aliran fluida ideal. Garis singgung yang berada pada garis dan merupakan sebuah titik akan memberikan arah kecepatan atau kelajuan pada fluida.

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (2-7)$$

Dimana : Q = Debit aliran (m^2/s^{-1})

A = Luas penampang aliran (m^2)

v = kecepatan aliran (m/s)

2.7 Debit Air (Q)

Debit air adalah seberapa banyak air yang mengalir dalam suatu saluran. Sistem satuan SI besarnya debit dinyatakan dalam satuan meter kubik perdetik (m^3/dt).

Sebelum dilakukan penentuan air yang mengalir terlebih dahulu diketahui volume air dalam tabung reservoir menggunakan persamaan yaitu :

$$V = \pi \cdot r^2 t' \quad (2-8)$$

Dimana : $V =$ Volume air (m^3)
 $r^2 =$ jari – jari tabung (m^2)
 $t' =$ tinggi tabung (m)

2.8 Kecepatan Aliran Air (v)

Kecepatan aliran adalah jarak yang ditempuh oleh gerak air secara langsung dalam satuan waktu. Kecepatan aliran air melalui saluran dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$v = \frac{s}{t} (m/s) \quad (2-9)$$

Dimana : $v =$ Kecepatan aliran (m/s)
 $S =$ Jarak atau panjang saluran (m)
 $T =$ Waktu (s)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Desa Tanjung Rejo Kecamatan Medan Sunggal.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian

3.1.2 Waktu Penelitian

Untuk waktu penelitian yang dilakukan adalah pada saat jam kerja efektif yaitu pada pukul 08.00 – 16.00 Wib. Adapun data yang diperoleh berupa data primer dan data sekunder.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Waktu					
		1	2	3	4	5	6
1.	Pengajuan Judul						
2.	Studi Literatur						
3.	Pembuatan Proposal						
4.	Perancangan Alat						
5.	Pengambilan Data						
6.	Seminar Hasil						
7.	Sidang Sarjana						

3.2 Bahan dan Alat

1. Meteran

Meteran berfungsi untuk mengukur jarak atau panjang. Meteran juga berguna untuk mengukur sudut, membuat sudut siku-siku.



Gambar 3. 2 Meteran

2. Multitester

Multitester digital digunakan untuk mengukur tegangan, ampere yang dihasilkan output generator. Maka dengan multitester kita dapat mengetahui seberapa besar tegangan DC yang dihasilkan oleh generator setelah mengalami perubahan dari tegangan AC menjadi tegangan DC yang dihasilkan.



Gambar 3. 3 Multitester

3. Tachometer

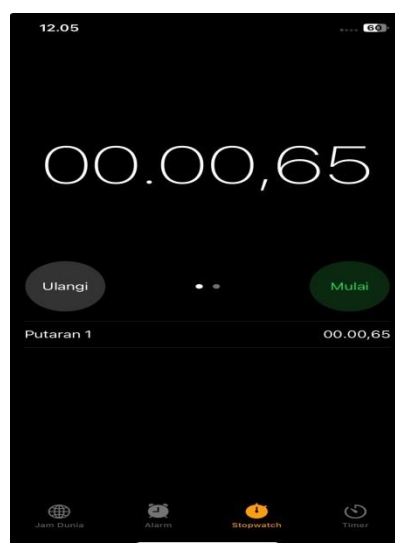
Tachometer sebagai media alat ukur kecepatan rotasi yang dihasilkan dari putaran kincir air untuk memutar generator agar dapat mengetahui seberapa besar kecepatan putaran pada saat adanya beban ataupun tanpa beban dari putaran generator.



Gambar 3. 4 Tachometer

4. Stopwatch

Stopwatch digunakan untuk pengukuran waktu akurat hingga skala detik, untuk menghitung waktu yang dihasilkan aliran air menuju kincir menggunakan botol mineral.



Gambar 3. 5 Stopwatch

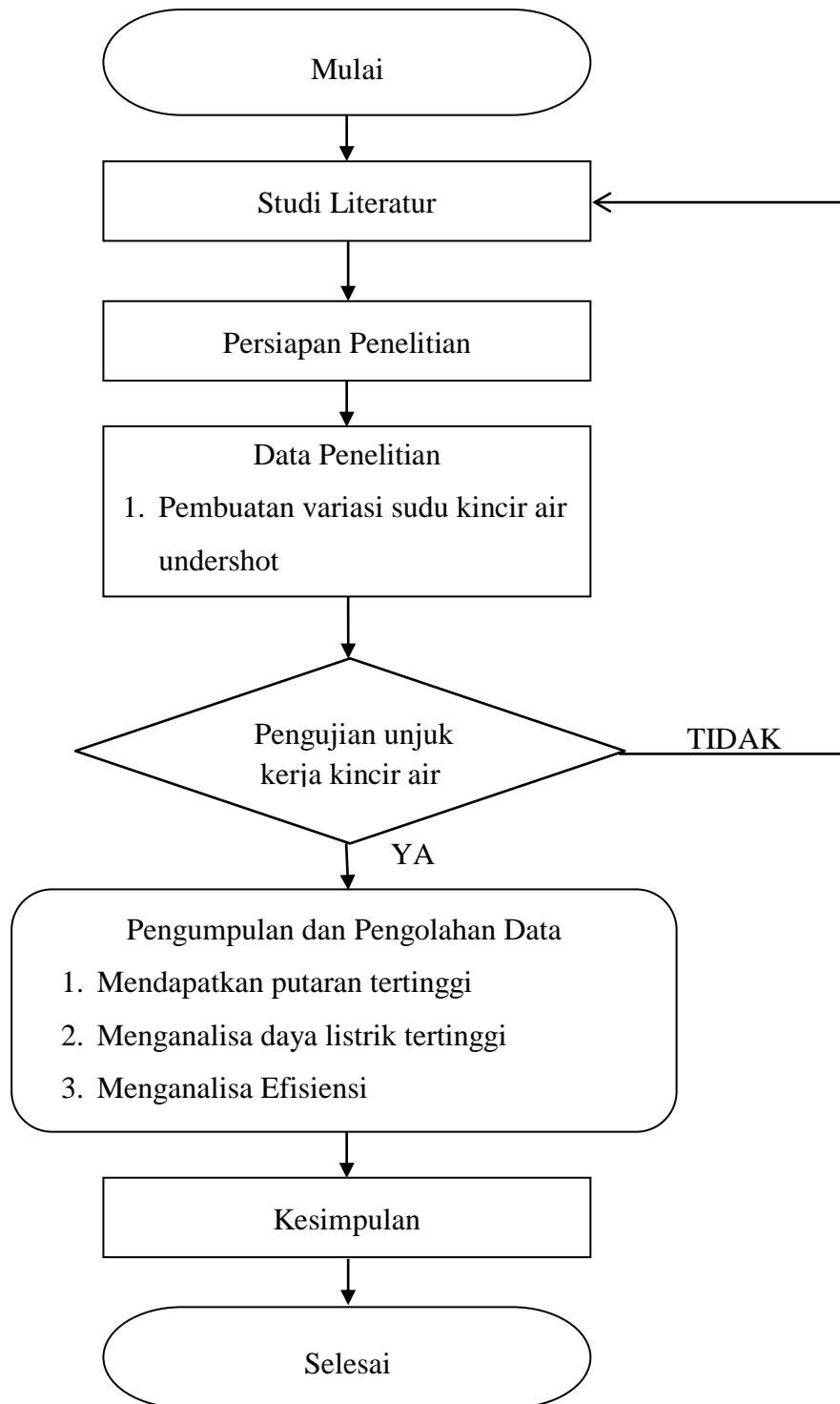
5. Botol mineral

Botol mineral digunakan menjadi alat bantu untuk mengetahui seberapa cepat aliran air menuju kincir.



Gambar 3. 6 Botol Mineral

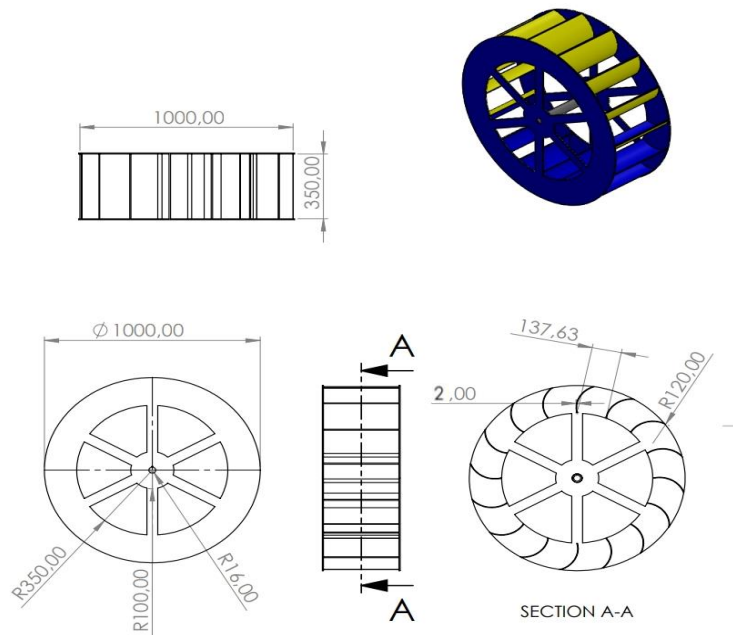
3.3 Diagram Alir Penelitian



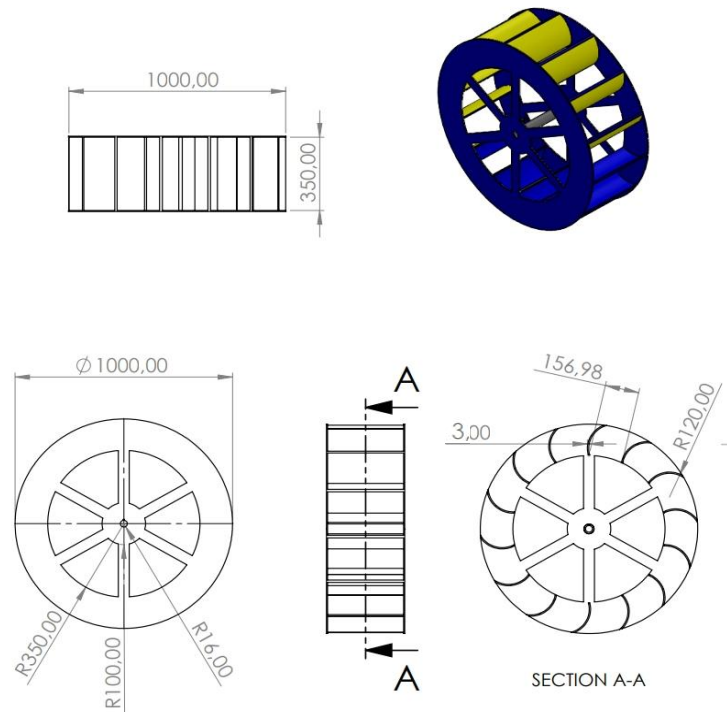
Gambar 3. 7 Diagram Alir Penelitian

3.4 Rancangan Alat Penelitian

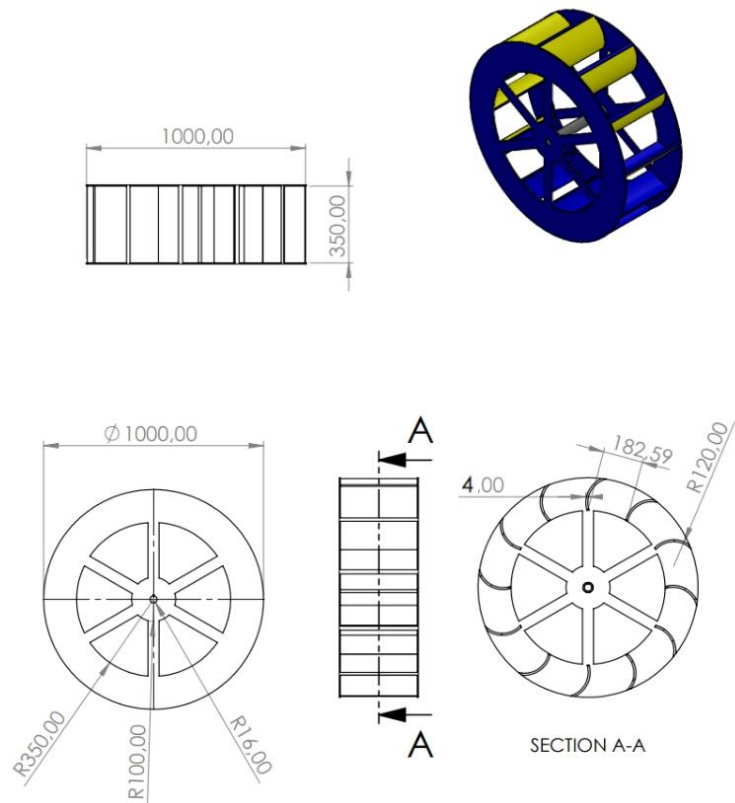
Berikut rancangan alat penelitian :



Gambar 3. 8 Rancangan Kincir Air Dengan Ketebalan Sudu 2mm



Gambar 3. 9 Rancangan Kincir Air Dengan Ketebalan Sudu 3mm



Gambar 3. 10 Rancangan Kincir Air Dengan Ketebalan Sudu 4mm

Gambar – gambar diatas menggambarkan tentang skema rancangan kincir air dan siklus air dengan variasi ketebalan sudu – sudu 2mm , 3mm , dan 4mm. Siklus air yang terjadi mulai dari kincir air yang aliran air pendorongnya menabrak sudu pada bagian bawah kincir. Memanfaatkan debit air yang rendah disaluran irigasi, kincir air menghasilkan energi listrik dengan bantuan generator.

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian sebagai berikut :

1. Perakitan kincir air dengan variasi sudu – sudu ketebalan 2mm , 3mm dan 4mm.
2. Pemasangan kincir air kesaluran irigasi.
3. Mengukur jarak lebar irigasi dan panjang irigasi dari pintu air sampai kekincir.
4. Pengukuran debit aliran air dengan menggunakan alat bantu botol mineral, menggunakan stopwatch untuk menghitung waktu dan mencatat hasilnya.
5. Pengukuran kecepatan kincir menggunakan tachometer dengan variasi ketebalan sudu – sudu 2mm , 3mm , dan 4mm, dan mencatat hasilnya.
6. Mengulang percobaan untuk memperoleh data rata - rata dari percobaan yang dilakukan.
7. Selesai.

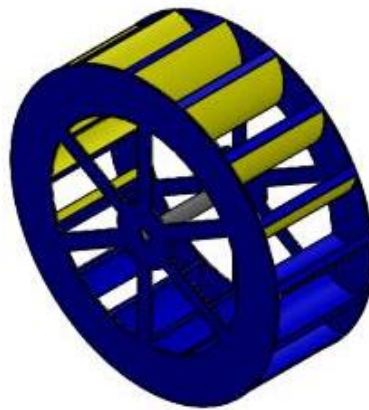
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Kincir

Pengujian menggunakan kincir air dengan perbedaan ketebalan sudu – sudu kincir dan didapat hasil sebagai berikut :

1. Desain Kincir

Pada gambar 4.1 yaitu desain kincir air dan dibedakan dengan ketebalan sudu – sudu pada kincir air. Ketebalan sudu – sudu yang digunakan pada penelitian ini yaitu 2mm, 3mm, dan 4mm dengan diameter kincir 100 cm dan lebar 35 cm.



Gambar 4. 1 Desain Kincir Air 3D

2. Data Pengujian

Pada gambar 4.2 pintu masuk air dengan tinggi air 66 cm, panjang 420 cm dan lebar 86 cm. Sedangkan pada gambar 4.3 yaitu posisi letak kincir air.



Gambar 4. 2 Pintu Masuk Air Irigasi



Gambar 4. 3 Posisi Letak Kincir Air

Pada gambar 4.4 yaitu mengukur panjang aliran air dan pada gambar 4.5 mengukur lebar aliran air untuk mempermudah dalam menghitung kinerja kincir air.



Gambar 4. 4 Mengukur Panjang Aliran Irigasi



Gambar 4. 5 Mengukur Lebar Aliran Irigasi

Setelah kincir terpasang tahap selanjutnya pengujian dan pengambilan data. Data yang diambil yaitu putaran kincir menggunakan tachometer seperti yang terlihat pada gambar 4.6 dan laju aliran menggunakan metode jarak/waktu. Data pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1

4.2 Analisis Pengaruh Aliran Air

Untuk menguji kinerja dari kinerja turbin dengan variasi ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm, maka dilakukan pengambilan data yang mencakup data kecepatan air, data luas aliran air dan perhitungan daya air. Diketahui pada pengambilan data air dilakukan dengan metode pelampung dengan panjang aliran 1,2 m dan waktu yang ditempuh pelampung adalah 0,65 s. Maka dapat diketahui kecepatan aliran air dengan persamaan (2.9) yaitu.

$$\begin{aligned}V &= s/t \\ &= 1.2 / 0,65 \\ &= 1,85 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Untuk mengetahui debit air yang ada pada saluran irigasi, diketahui spesifikasi irigasi pada tempat pemasangan turbin adalah sebagai saluran irigasi berbentuk persegi panjang. Dimana panjang (P) diketahui 1,2 m dan lebar (I) diketahui 0,5 m. Maka dapat diketahui luas saluran air yang mengalir pada saluran irigasi adalah :

$$\begin{aligned}\text{Luas (A)} &= P \times l \\ &= 1,2 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \\ &= 0,6 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Maka dari luas saluran irigasi dan kecepatan air yang mengalir dapat diketahui debit air pada saluran irigasi dengan persamaan :

$$\begin{aligned}Q &= V \times A \\ &= 1,85 \text{ m/s} \times 0,6 \text{ m}^2 \\ &= 1,11 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Untuk menghitung daya air (P_{air}) dapat digunakan persamaan :

$$\begin{aligned} P_a &= Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \\ &= 1,11 \cdot 1000 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \\ &= 5445 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4.3 Analisis Kinerja Turbin

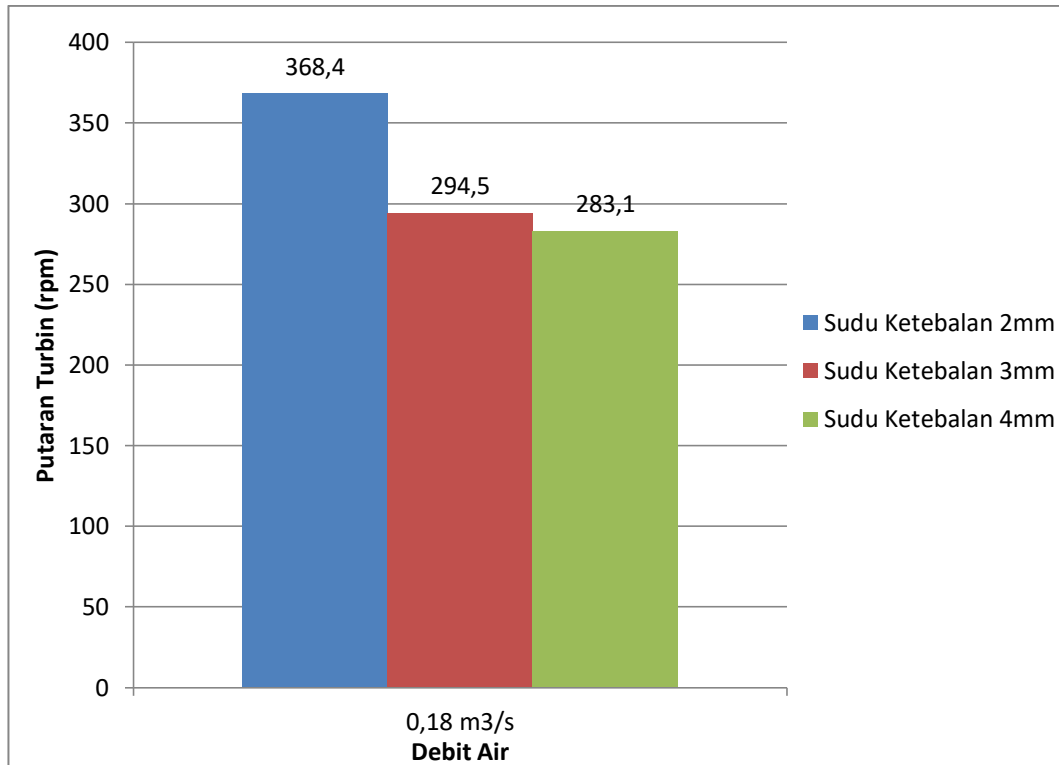
Analisis kinerja turbin pada penelitian ini dilakukan dengan 3 variasi ketebalan sudu, dengan ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm. Dimana dari masing – masing ketebalan sudu akan dianalisis nilai putaran (rpm), gaya yang diterima (N), torsi pada turbin (Nm), daya turbin (Watt) dan efisiensi turbin (%).

Dari pergerakan turbin, jumlah putaran dapat diukur dengan alat ukur tachometer digital. Adapun tabel pengambilan data rpm yang dilakukan pada 3 variasi ketebalan sudu adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Data Rpm Turbin Dengan 3 Variasi Ketebalan sudu

Ketebalan Sudu	Percobaan	Putaran Turbin (Rpm)
2mm	1	364,3
	2	387,6
	3	353,2
3mm	1	293,6
	2	295,5
	3	294,5
4mm	1	288,8
	2	275,7
	3	284,8

Dapat dilihat pada tabel 4.1 tiap variasi ketebalan sudu dilakukan dengan percobaan pengambilan data rpm sebanyak 3 kali, dan gambar percobaan yang dilakukan dengan pengukuran menggunakan tachometer dapat dilihat pada lampiran dimana percobaan dilakukan dengan gambar dengan variasi ketebalan sudu 2mm, untuk ketebalan sudu 3mm dan 4mm sama dengan percobaan yang dilakukan dengan ketebalan sudu 2mm. Adapun rata – rata rpm pada ketebalan sudu 2 mm adalah 368,4 rpm, pada ketebalan sudu 3 mm adalah 294,5 rpm, dan pada ketebalan sudu 4 mm adalah 283,1 rpm. Adapun perbandingan rpm dari ke 3 variasi ketebalan sudu dapat dilihat pada grafik berikut ini :



Gambar 4. 6 Perbandingan RPM 3 Variasi Ketebalan Sudu

Dapat dilihat dari gambar grafik, rpm yang paling tinggi terjadi pada variasi ketebalan sudu 2mm sedangkan yang terkecil terjadi pada variasi ketebalan 4mm.

a. Kinerja Turbin Dengan Ketebalan Sudu 2mm

Diketahui :

Putaran yang dihasilkan 368,4 rpm

Dimana nilai v adalah kecepatan turbin, maka hal pertama dilakukan adalah mengkonversi 368,4 rpm ke m/s adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 368,4 \text{ rpm} &= 368,4 / 60 \text{ rps} \\
 &= 6,14 \text{ rps}
 \end{aligned}$$

Artinya adalah turbin berputar sebanyak 5,25 putaran selama 1 detik. Untuk mengetahui panjang keliling turbin selama 1 putaran digunakan rumus mencari keliling lingkaran yaitu $2\pi r$. Maka 1 putaran turbin adalah :

$$\begin{aligned}
 \text{Keliling turbin} &= 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \\
 &= 4,71 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka jika rpm turbin adalah 6,14 rps maka sama dengan 6,14 dikalikan dengan keliling turbin sebanyak 1 putaran.

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan turbin} &= 6,14 \times 4,71 \\ &= 28,92 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Maka nilai gaya yang diterima pada turbin dapat dicari dengan menggunakan persamaan $F = Q \cdot P \cdot v$

$$\begin{aligned}F &= 1,11 \cdot 1000 \cdot 28,92 \\ &= 32,10 \text{ N}\end{aligned}$$

Torsi yang didapat adalah :

$$\begin{aligned}T &= 32,10 \cdot 0,5 \\ &= 16,05 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Adapun daya turbin (Watt) yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P_{\text{turbin}} &= T \frac{\pi n}{30} \\ &= 16,05 \frac{3,14 \times 368,4}{30} \\ &= 618,87 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Tingkat efisiensi turbin dapat diketahui dengan persamaan :

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi turbin (\%)} &= \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \\ &= \frac{618,87}{5445} \times 100\% \\ &= 11,36\%\end{aligned}$$

b. Kinerja Turbin Dengan Ketebalan Sudu 3mm

Diketahui :

Putaran yang dihasilkan 294,5 rpm

Dimana nilai v adalah kecepatan turbin, maka hal pertama dilakukan adalah mengkonversi 294,5 rpm ke m/s adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}294,5 \text{ rpm} &= 294,5 / 60 \text{ rps} \\ &= 4,91 \text{ rps}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Keliling turbin} &= 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \\ &= 4,71 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kecepatan turbin} &= 4,91 \times 4,71 \\ &= 23,13 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Maka nilai gaya yang diterima pada turbin dapat dicari dengan menggunakan persamaan $F = Q \cdot P \cdot v$

$$\begin{aligned}F &= 1,11 \cdot 1000 \cdot 23,13 \\ &= 25,67 \text{ N}\end{aligned}$$

Torsi yang didapat adalah :

$$\begin{aligned}T &= 25,67 \cdot 0,5 \\ &= 12,835 \text{ Nm}\end{aligned}$$

Adapun daya turbin (Watt) yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}P_{\text{turbin}} &= T \frac{\pi n}{30} \\ &= 12,835 \frac{3,14 \times 294,5}{30} \\ &= 395,63 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Tingkat efisiensi turbin dapat diketahui dengan persamaan :

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi turbin (\%)} &= \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \\ &= \frac{395,63}{5445} \times 100\% \\ &= 7,265\%\end{aligned}$$

c. Kinerja Turbin Dengan Ketebalan Sudu 4mm

Diketahui :

Putaran yang dihasilkan 283,1 rpm

Dimana nilai v adalah kecepatan turbin, maka hal pertama dilakukan adalah mengkonversi 283,1 rpm ke m/s adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} 283,1 \text{ rpm} &= 283,1 / 60 \text{ rps} \\ &= 4,72 \text{ rps} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling turbin} &= 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \\ &= 4,71 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan turbin} &= 4,72 \times 4,71 \\ &= 22,23 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Maka nilai gaya yang diterima pada turbin dapat dicari dengan menggunakan persamaan $F = Q \cdot P \cdot v$

$$\begin{aligned} F &= 1,11 \cdot 1000 \cdot 22,23 \\ &= 24,67 \text{ N} \end{aligned}$$

Torsi yang didapat adalah :

$$\begin{aligned} T &= 24,67 \cdot 0,5 \\ &= 12,335 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Adapun daya turbin (Watt) yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{\text{turbin}} &= T \frac{\pi n}{30} \\ &= 12,335 \frac{3,14 \times 283,1}{30} \\ &= 365,50 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Tingkat efisiensi turbin dapat diketahui dengan persamaan :

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi turbin (\%)} &= \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \\ &= \frac{365,50}{5445} \times 100\% \\ &= 6,712\% \end{aligned}$$

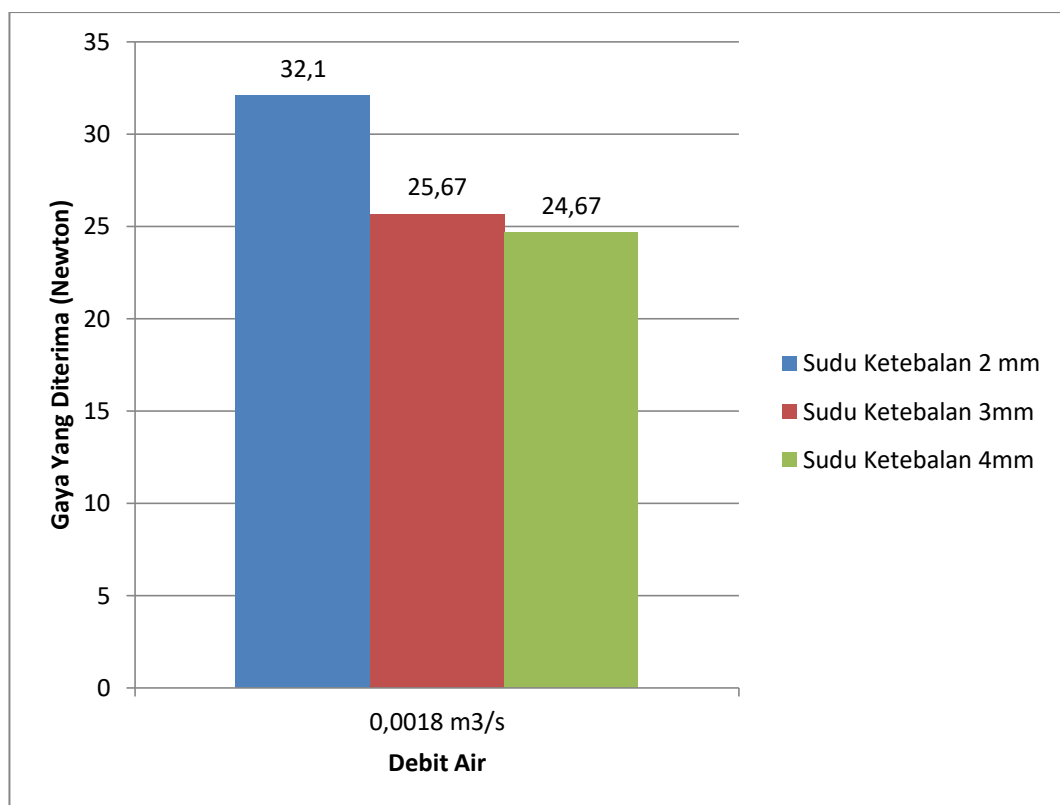
4.4 Pembahasan

Pada hasil perhitungan pada sub bab sebelumnya tentang kinerja turbin dengan 3 variasi ketebalan sudu, maka adapun hasil perhitungan kinerja turbin dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Kinerja Turbin Dengan 3 Variasi Ketebalan Sudu

Variasi Ketebalan Sudu	Putaran Turbin (RPM)	Gaya Turbin (Newton)	Torsi Turbin (Nm)	Daya Turbin (Watt)	Effisiensi Turbin (%)
2mm	368,4	32,1	16,05	618,87	11,36
3mm	294,5	25,67	12,835	395,63	7,265
4mm	283,1	24,67	12,335	365,50	6,712

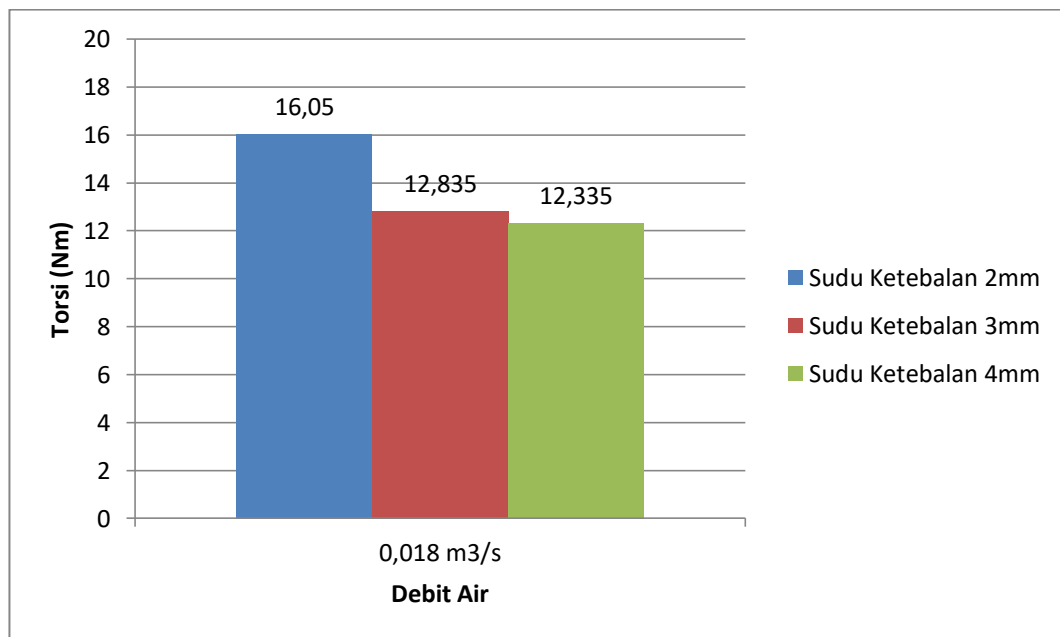
Adapun perbandingan antara gaya yang diterima turbin terhadap 3 variasi ketebalan sudu pada turbin adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan Sudu Terhadap Gaya

Dapat dilihat berdasarkan gambar grafik 4.7 menunjukkan bahwa dari perbandingan ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm nilai gaya yang dihasilkan oleh ketebalan sudu 2mm merupakan yang paling tinggi yaitu 32,1 N. Sedangkan nilai gaya terendah adalah dengan ketebalan sudu 4mm dengan nilai gaya 24,67N dengan debit air yang mengalir secara konstan pada irigasi adalah sebesar 0,018 m³/s.

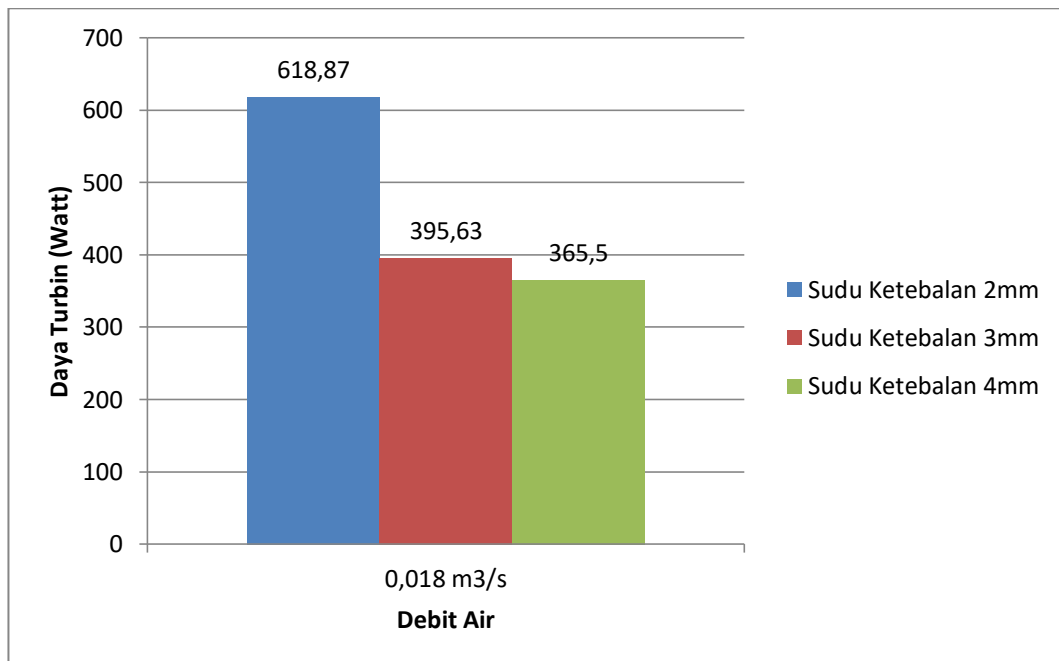
Adapun perbandingan antara torsi turbin terhadap 3 variasi ketebalan sudu pada turbin adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 8 Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan Sudu Terhadap Torsi Turbin

Dapat dilihat berdasarkan gambar grafik 4.8 menunjukkan bahwa dari perbandingan 3 variasi ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm nilai torsi yang dihasilkan oleh ketebalan sudu 2mm mempunyai nilai tertinggi 16,05 Nm. Sedangkan terendah adalah dengan ketebalan sudu 4mm dengan nilai torsi sebesar 12,335 Nm. Dengan debit air yang mengalir secara konstan pada irigasi sebesar 0,018 m³/s.

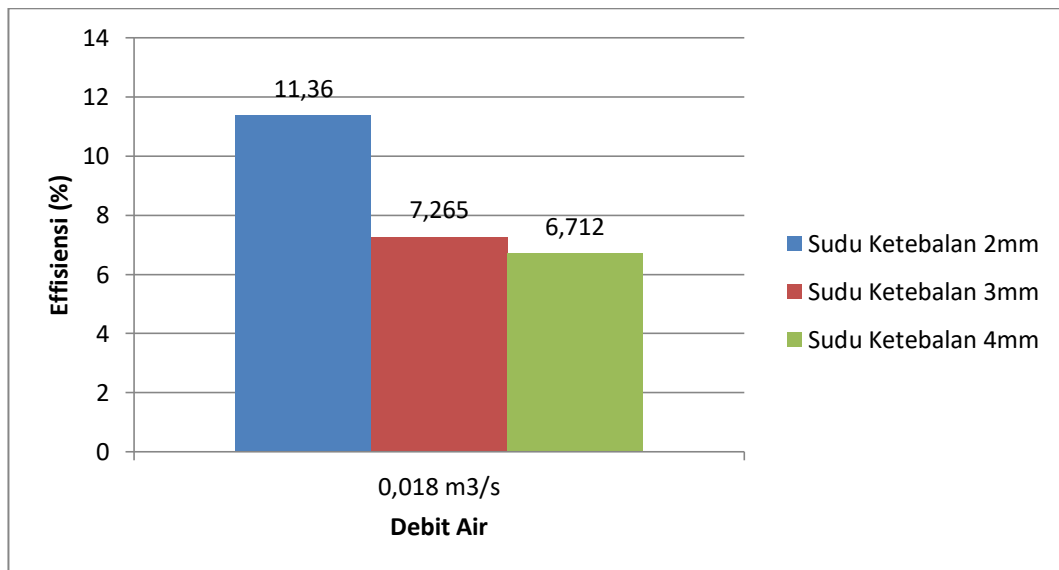
Adapun perbandingan antara daya turbin terhadap 3 variasi ketebalan sudu pada turbin adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 9 Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan Sudu Terhadap Daya Turbin

Dapat dilihat berdasarkan gambar grafik 4.9 menunjukkan bahwa dari perbandingan ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm, dengan ketebalan sudu 2mm merupakan penghasil daya yang paling besar yaitu 618,87 Watt dan penghasil daya yang paling kecil adalah pada ketebalan sudu 4mm yaitu 365,5 Watt dengan debit air yang mengalir secara konstan pada irigasi adalah sebesar 0,018 m³/s.

Adapun perbandingan antara efisiensi turbin terhadap 3 variasi ketebalan sudu pada turbin sebagai berikut :



Gambar 4. 10 Grafik Pengaruh Variasi Ketebalan Sudu Terhadap Effisiensi Turbin

Dapat dilihat berdasarkan gambar grafik 4.10 menunjukkan bahwa dari perbandingan 3 variasi ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm. Dengan ketebalan sudu 2mm merupakan tingkat efisiensi yang paling besar yaitu 11,36% dan tingkat efisiensi yang paling kecil adalah pada ketebalan sudu 4mm yaitu 6,712% dengan debit air yang mengalir secara konstan pada irigasi yaitu 0,018 m³/s.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian diatas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada variasi ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm, setelah melakukan pengambilan data dan perhitungan analisis kinerja turbin didapat ketebalan sudu 2mm memiliki tingkat kinerja yang lebih maksimal dibandingkan dengan variasi sudu lainnya.
2. Dari perbandingan ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm. Dengan ketebalan sudu 2mm merupakan penghasil daya yang paling besar yaitu 618,87 Watt dan penghasil daya yang paling kecil pada ketebalan sudu 4mm yaitu sebesar 365,50 Watt dengan debit air yang mengalir secara konstan pada irigasi adalah sebesar 0,018 m³/s.
3. Untuk keluaran generator turbin yang memiliki ketebalan sudu 2 mm juga memiliki tingkat efisiensi yang lebih tinggi dari variasi sudu lainnya.
4. Dari perbandingan ketebalan sudu 2mm, 3mm, dan 4mm. Dengan ketebalan sudu 2mm merupakan tingkat efisiensi yang paling besar yaitu 11,36% dan tingkat efisiensi yang paling kecil pada ketebalan sudu 4mm yaitu sebesar 6,712% dengan debit air yang mengalir secara konstan pada irigasi adalah sebesar 0,018 m³/s.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan sebagai berikut :

1. Diharapkan hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk pengembangan pembangkit listrik skala rumah tangga, dapat dikembangkan untuk skala yang lebih besar dan dapat dilakukan di sungai yang memiliki debit dan kecepatan aliran air yang cukup besar.
2. Pada saat melakukan pengujian pemilihan ketebalan sudu harus diperhatikan diameter pada kincir agar putaran kincir dapat seimbang.
3. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada pengaruh desain sudu yang lebih kompleks, seperti penggunaan sudu dengan bentuk yang lebih aerodinamis atau pengoptimalan geometri sudu untuk meningkatkan efisiensi kincir air *undershot*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, R. Y. (2014) '*Optimalisasi Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Air Berskala Pico Hydro*', Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu
- Amri, Syaiful 2012. *Analisis kinerja kincir air tipe sudu datar dengan variasi lebar sudu*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Barlian Mahendra and I Made Mara, "*Perancangan Pipa Pesat dan Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Air Kokok Putih Desa Bilok Petung Kecamatan Sembalun Kabupaten Lombok Timur*" Teknik Mesin, Universitas Mataram vol. 3, no. 2, 2013.
- Bima, Isa 2012. *Analisis kinerja kincir air tipe sudu datar dengan variasi sistem aliran fluida*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Bono, B., & Suwarti, S. (2019). *Variasi Jumlah Sudu Dan Modifikasi Bentuk Nosel Pada Turbin Turgo Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Eksergi*, 15(2), 81. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v15i2.1510>
- Haidar, A. M. A., Senan, M. F. M., Noman, A., & Radman, T. (2012). *Utilization of pico hydro generation in domestic and commercial loads. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 518–524. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.017>
- Harahap, P., & Laksono, H. A. (2019). *Analisa Perbandingan Pengaruh Variasi Jumlah Sudu 4 Dan 8 Pada Turbin Angin Savonius Terhadap Tegangan Dan Arus Generator Dc*. 2(1), 1–8.
- Harja, H. B., Abdurrahim, H., Yoewono, S., & Riyanto, H. (2016). *Penentuan Dimensi Sudu Turbin dan Sudut Kemiringan Poros Turbin pada Turbin Ular Archimedes*. *Metal Indonesia*, 36(1), 26-33. Tersedia pada: <https://doi.org/10.32423/jmi.2014.v36.26-33>.
- Ihfazh, N. E. N, Waluyo, dan Syahrial (2013) '*Penerapan dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro dengan Turbin Propeller Open Flume TC 60 dan Generator Sinkron Satu Fasa 100 VA di UPI Bandung*', *Jurnal Reka Elkomika*, Vol.1 No.4, ISSN 2337-439X.

- Iwan Ardianto, “Pembuatan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro, Tugas Akhir, Program Studi Teknik Elektro, Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, 2017.”
- Luthfie, A. A. (2017). *Analisis Pengaruh Perubahan Sudut Pipa Siphon Terhadap Performasi Turbin Hydrocoil Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (Cfd)*. Jurnal Teknik Mesin, 6(1), 41.
- Prian, G.C. et al. (2019) “Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro dengan Memanfaatkan Instalasi Air Bersih,” Prosiding Seminar Nasional Teknoka, 4(2502), hal. E69–E73.
- Wahyudi Slamet, Cahyadi Dhimas Nur, Purnami, 2012, “Pengaruh Variasi Tebal Sudu terhadap Kinerja Kincir Air Tipe Sudu Datar”, *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 3, no. 2 : 337-342
- Weking, A. I., & Jasa, L. (2019). *Analisa Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Putaran Turbin Ulir Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*. 18(2).
- Zahir, Kadir . 2010 “Pengaruh Tinggi Sudu Kincir air Terhadap Daya dan Efisiensi yang dihasilkan” Skripsi diterbitkan. Palembang : Universitas Sriwijaya.

LAMPIRAN



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Pengaruh Variasi Tebal Sudu Terhadap Kinerja Kincir Air Undershot

Nama : M. Reza Ismail
 NPM : 1907230202

Dosen Pembimbing 1 : M. Yani, S.T., M.T
 Dosen Pembimbing 2 :

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
-		- Pembentukan spesifikasi tugas	myz
		- Perbaiki bab I. tujuan penelitian	myz
		- Perbaiki bab II, Gambar & persamaan harus disertai dgn tabel	myz
		- Perbaiki Bab III, Perbaiki flow chart penelitian	myz
		- Aee seminar proposal	myz
		- Perbaiki Bab IV	myz
		- Perbaiki Bab V	myz
		- Aee seminar hasil	myz
		- Aee sidang	myz

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama Lengkap : M Reza Ismail
Alamat : Jl. Bersama Gg Mesjid No 1 Medan
Jenis Kelamin : Laki - Laki
Umur : 24 Tahun
Agama : Islam
Status : Sudah Menikah
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 23 Januari 2000
Tinggi / Berat Badan : 178 cm / 58 kg
Kewarganegaraan : Indonesia
Anak ke : 6 Dari 7 Bersaudara
No Hp : 0878 – 6876 – 9189
Email : rezabatubara23@gmail.com

Nama Orang Tua

Ayah : Riswan
Ibu : Yusnaweli

Pendidikan

Tahun 2005 – 2011 : SDN 064037 MEDAN
Tahun 2011 – 2014 : SMP NEGERI 17 MEDAN
Tahun 2014 – 2017 : SMK NEGERI 4 MEDAN
Tahun 2019 – 2024 : UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA
UTARA (UMSU)