

LAPORAN TUGAS AKHIR

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Portabel dengan Turbin *Undershot Waterwheel*



Penyusun:

Galang Ismu Kurniawan (20524117)

Muhammad Rifan Ghifari (20524121)

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2024

HALAMAN PENGESAHAN

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Portabel dengan Turbin *Undershot Waterwheel*

Penyusun:

Galang Ismu Kurniawan (20524117)

Muhammad Rifan Ghifari (20524121)

Yogyakarta, 9 Juli 2024

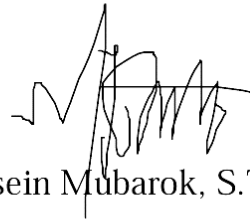
Dosen Pembimbing 1



Iftitah Imawati, S.T.,M.Eng.

215241301

Dosen Pembimbing 2



Husein Mubarak, S.T.,M.Eng.

155241305

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2024

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Portabel dengan Turbin



Disusun oleh:
Galang Ismu Kurniawan 20524117
Muhammad Rifan Ghifari 20524121

Telah dipertahankan di depan dewan penguji
pada tanggal: 23 Juli 2024

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji
Anggota Penguji 1
Anggota Penguji 2

: Iftitah Imawati, S.T., M.Eng.
: Firmansyah N. B., S.T., M.Sc., Ph.D.
: Rachman Yustian

Tugas akhir ini telah disahkan sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal: 3 Agustus 2024

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dwi Ana Ratna Wati, S.T., M.Eng.

035240102

PERNYATAAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi lainnya, dan sepanjang pengetahuan kami juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Tugas Akhir yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak, yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Tugas Akhir terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut di atas.

Yogyakarta, 3 Agustus 2024



Galang Ismu Kurniawan (20524117)



Muhammad Rifan Ghifari (20524121)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	5
DAFTAR GAMBAR	8
RINGKASAN	10
BAB 1. PENDAHULUAN	11
1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah	11
1.2 Rumusan Masalah	13
1.3 Tujuan.....	13
1.4 Batasan Masalah.....	13
1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan.....	13
BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM	14
2.1 Studi Literatur dan Observasi.....	14
2.2 Dasar Teori.....	18
2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga pikohidro	18
2.2.2 Generator	18
2.2.3 <i>Water Turbine</i>	19
2.2.3.1 <i>Water Wheel Turbine</i>	19
2.2.3.2 <i>Archimedes Screw Turbine</i>	20
2.2.4 Baterai	20
2.2.5 Inverter	21
2.2.6 <i>Solar Charge Controller</i>	21
2.2.7 Multimeter	21
2.2.8 <i>Tachometer</i>	22
2.2.9 Debit air.....	22
2.2.10 Kapasitas Daya.....	23
2.2.10.1 Kapasitas <i>Water Wheel</i>	24
2.2.10.2 Kapasitas <i>Archimedes Screw Turbine</i>	24
BAB 3. USULAN SOLUSI	29
3.1 Usulan Solusi 1.....	29
3.1.1 Usulan Solusi 1.1.....	33
3.1.1.1 Desain Sistem 1.1	34

3.1.1.2 Rencana Anggaran Biaya Desain Sistem 1.1	35
3.1.1.3 Analisis Resiko Desain 1.1	36
3.1.2 Usulan Solusi 1.2.....	37
3.1.2.1 Desain Sistem 1.2.....	38
3.1.2.2 Rencana Anggaran Biaya Desain Sistem 1.2	40
3.1.2.3 Analisis Resiko Desain 1.2	41
3.1.2.4 Pengukuran Performa 1.2.....	41
3.2 Usulan Solusi 2.....	42
3.2.1 Usulan Solusi 2.1.....	45
3.2.1.1 Desain Sistem 2.1	45
3.2.1.2 Rencana Anggaran Biaya Desain Sistem 2.1	46
3.2.1.3 Analisis Resiko Desain 2.1	47
3.2.1.4 Pengukuran Performa 2.1	48
3.2.2 Usulan Solusi 2.2.....	48
3.2.2.1 Desain Sistem 2.2.....	49
3.2.2.2 Rencana Anggaran Biaya Desain Sistem 2.2	51
3.2.2.3 Analisis Resiko Desain 2.2	52
3.2.2.4 Pengukuran Performa 2.2.....	52
3.3 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik	52
3.4 Gantt <i>Chart</i>	54
3.5 Realisasi Pelaksanaan TA1	55
BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN	56
4.1 Hasil Rancangan Sistem.....	56
4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan.....	61
BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS	63
5.1. Analisis Hasil	63
5.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Indikator.....	63
5.1.2 Pemenuhan Spesifikasi Sistem	80
5.1.3 Pengalaman Pengguna	83
5.1.4 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya.....	86
5.2 Dampak Implementasi Sistem.....	90

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	92
6.1 Kesimpulan.....	92
6.2 Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN – LAMPIRAN.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Undershot water wheel.....	20
Gambar 2. 2 Archimedes screw turbin	20
Gambar 2. 3 Solar charge controller	21
Gambar 2. 4 Multimeter digital	22
Gambar 2. 5 Tachometer.....	22
Gambar 2. 6 Diagram stakeholder	26
Gambar 3. 1 Desain turbin water wheel.....	30
Gambar 3. 2 Rancangan desain 1.....	31
Gambar 3. 3 Dimensi rancangan desain 1	32
Gambar 3. 4 Keterangan peletakan komponen	33
Gambar 3. 5 Skema usulan solusi 1,1	34
Gambar 3. 6 Skema usulan solusi 1.2.....	38
Gambar 3. 7 Desain turbin archimedes screw	43
Gambar 3. 8 Rancangan desain 2.....	44
Gambar 3. 9 Dimensi desain 2.....	44
Gambar 3. 10 Skema usulan solusi 2.1	45
Gambar 3. 11 Skema usulan solusi 2.1	49
Gambar 4. 1 Rangkaian elektronik PLTPh portabel.....	56
Gambar 4. 2 Wiring diagram panel kontrol	56
Gambar 4. 3 Tampak dalam panel kontrol elektronis.....	57
Gambar 4. 4 Tampak luar panel kontrol elektronis	58
Gambar 4. 5 Desain 3D PLTPh portabel	58
Gambar 4. 6 Tampak atas desain 3D PLTPh portabel.....	59
Gambar 4. 7 Tampak samping desain 3D PLTPh portabel	59
Gambar 4. 8 Desain akhir perancangan Sistem PLTPh.....	60
Gambar 4. 9 Tampak atas hasil perancangan Sistem PLTPh	60
Gambar 4. 10 Tampak samping hasil perancangan Sistem PLTPh.....	61
Gambar 5. 1 Pengaturan Posisi Selang.....	65
Gambar 5. 2 Pengukuran rpm pada generator	66
Gambar 5. 3 Grafik Hubungan rpm dan Tegangan dalam keadaan tanpa beban	69
Gambar 5. 4 Kondisi turbin di lapangan.....	70
Gambar 5. 5 Kondisi alat di lapangan.....	70
Gambar 5. 6 Pengambilan data kecepatan putaran generator di Lapangan	71
Gambar 5. 7 Grafik Hubungan rpm dan daya.....	72
Gambar 5. 8 Grafik hubungan rpm dan daya di Desa Pakembinangun.....	74
Gambar 5. 9 Grafik hubungan rpm dan daya di Desa Hargobinangun.....	74
Gambar 5. 10 Kondisi baterai sebelum charging.....	75
Gambar 5. 11 Kondisi baterai setelah charging	75
Gambar 5. 12 Letak pengukuran sudut kemiringan blade	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil studi literatur solusi sejenis.....	14
Tabel 2. 2 Spesifikasi turbin berdasarkan debit air[9]	19
Tabel 3. 1 Spesifikasi turbin water wheel.....	30
Tabel 3. 2 Kebutuhan perangkat keras solusi 1.1	35
Tabel 3. 3 Rencana anggaran biaya usulan 1,1	36
Tabel 3. 4 Kebutuhan perangkat keras usulan 1.2	39
Tabel 3. 5 Rencana anggaran biaya usulan 1.2.....	40
Tabel 3. 6 Spesifikasi turbin archimedes screw	43
Tabel 3. 7 Kebutuhan perangkat keras usulan 2.1	46
Tabel 3. 8 Rencana anggaran biaya usulan 2.1	47
Tabel 3. 9 Kebutuhan perangkat keras usulan 2.2	50
Tabel 3. 10 Rencana anggaran biaya usulan 2.2.....	51
Tabel 5. 1 Pengujian menggunakan mesin bor tanpa beban pada generator	64
Tabel 5. 2 Pengujian menggunakan air keran tanpa beban pada generator	64
Tabel 5. 3 Pengujian menggunakan air keran dengan beban lampu DC 12W pada generator	67
Tabel 5. 4 Pengujian menggunakan air keran dengan beban full sistem pada generator	67
Tabel 5. 5 Hasil pengujian lapangan tanpa beban pada generator	68
Tabel 5. 6 Hasil pengujian lapangan dengan beban lampu 12 watt	71
Tabel 5. 7 Hasil pengujian lapangan dengan sistem keseluruhan	73
Tabel 5. 8 Nilai Efisiensi dalam Beberapa Kondisi	77
Tabel 5. 9 Durabilitas	78
Tabel 5. 10 Perbandingan performa antara sistem yang dibuat dengan sistem lain	79
Tabel 5. 11 Perbandingan usulan dan hasil perancangan sistem	80
Tabel 5. 12 Tabel Klasifikasi hydropower	81
Tabel 5. 13 Pengalaman pengguna	83
Tabel 5. 14 Kesesuaian antara usulan dan realisasi timeline pengerjaan tugas akhir 2	86
Tabel 5. 15 Kesesuaian RAB tugas akhir antara usulan dan realisasi	87
Tabel 5. 16 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 2	88

RINGKASAN

Listrik saat ini merupakan kebutuhan mendasar bagi kehidupan sehari-hari manusia di Indonesia. Seiring pertambahan waktu dan populasi, kebutuhan listrik nasional juga semakin meningkat. Kekhawatiran akan dampak negatif penggunaan batu bara dan minyak bumi sebagai sumber energi utama, seperti polusi udara dan kerusakan lingkungan, semakin mendorong untuk beralih ke sumber energi terbarukan. Indonesia memiliki potensi besar dalam energi terbarukan, termasuk energi air, yang dapat dimanfaatkan dengan baik mengingat kekayaan sumber daya alamnya.

Pembangkit Listrik Tenaga pikohidro (PLTPh) menjadi solusi yang tepat untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil dengan potensi aliran air yang memadai. Proses pengembangan PLTPh melibatkan langkah-langkah mulai dari pembuatan rangka dan turbin, pengujian di berbagai kondisi, hingga penyusunan laporan akhir dan presentasi pada forum industri. Tim proyek terlibat aktif dalam merancang sistem, mengelola anggaran, dan memastikan kelancaran implementasi. Data hasil pengukuran dan analisis dari PLTPh Portabel yang disajikan dalam dokumen ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai performa sistem dalam menghasilkan listrik dari aliran air. Meskipun ada beberapa perbedaan dengan spesifikasi awal, proyek ini tetap bertujuan untuk mempromosikan teknologi energi terbarukan dan meningkatkan akses listrik di masyarakat. Dengan memanfaatkan potensi air yang melimpah, PLTPh diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang dan Identifikasi Masalah

Dalam era modern ketersediaan listrik sudah menjadi kebutuhan dasar manusia untuk beraktivitas sehari-harinya. Oleh karena itu, Kebutuhan listrik nasional akan meningkat seiring berjalannya waktu dan bertambahnya populasi. Kekhawatiran atas penggunaan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui seperti batu bara dan minyak bumi sebagai sumber energi listrik menjadi alasan utama pemaksimalan dan transisi potensi energi baru terbarukan di Indonesia harus cepat dilakukan. Dampak negatif dari penggunaan batu bara dan minyak bumi tersebut sudah dapat kita rasakan seperti semakin meningkatnya polusi udara dan pencemaran lingkungan, dampak tersebut dapat berpengaruh pada kesehatan dan kesejahteraan manusia sehingga dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan kualitas sumber daya manusia dan ekonomi nasional.

Pada siaran pers kementerian ESDM, Indonesia memiliki potensi energi baru terbarukan mulai dari energi surya, bayu, hidro, bio energi, panas bumi, dan laut dengan total potensinya 3.686 gigawatt (GW). Sedangkan kapasitas yang baru terpasang baru mencapai 81.2 GW. Kementerian ESDM juga mengungkap bahwa 87.4% listrik di Indonesia dihasilkan dari energi fosil dan pemanfaatan energi terbarukan baru 12.6%[1]. Dengan perbedaan persentase yang cukup signifikan tersebut, hasil rasio elektrifikasi di Indonesia pada tahun 2020 oleh Badan Pusat Statistik mencapai 99.2% yang artinya masih terdapat daerah yang belum tersentuh listrik.

Mengingat Indonesia merupakan negara maritim dengan jumlah pulau yang banyak maka ketersediaan air di Indonesia cukup melimpah baik air laut dan air tawar sehingga memiliki potensi pemanfaatan air untuk menghasilkan energi listrik. Aliran air dapat dimanfaatkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Prinsip kerja PLTA yaitu menggunakan air sebagai penggerak utama turbin yang terhubung dengan generator yang menyebabkan generator menghasilkan listrik. Berdasarkan klasifikasi daya listrik yang dihasilkan, PLTA dapat menghasilkan daya listrik lebih dari 5000 kW, *mikrohidro* menghasilkan daya lebih rendah dari 100 kW dan *pikohidro* dengan daya listrik 1 kW hingga 5 kW[2]. Melimpahnya potensi pada aliran-aliran sungai di berbagai daerah, dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan listrik masyarakat sekitar.

Dengan begitu banyaknya kebutuhan listrik, kebutuhan akan sumber energi yang terjangkau dan dapat diandalkan semakin mendesak di berbagai daerah terpencil dan terisolasi di Indonesia. Salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan energi ini adalah melalui pemanfaatan sumber daya air yang ada di sekitar lokasi tersebut. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPh) adalah salah satu alternatif yang ideal untuk menyediakan listrik di daerah-daerah terpencil yang terdapat potensi aliran air untuk dimanfaatkan sebagai *free energy* atau biaya dikeluarkan ketika pembuatan dan pemeliharaan alat. Daerah ini sering kali tidak memiliki akses yang memadai ke jaringan listrik nasional, dan jika ada, sering kali tidak dapat diandalkan. Oleh karena itu, pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro menjadi solusi yang relevan dan bermanfaat untuk mengatasi tantangan ini.

Sesuai dengan namanya, Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro atau PLTPh adalah pembangkit listrik tenaga air yang dapat diinstalasi dengan relatif mudah di sekitar sumber air yang ada, seperti sungai kecil, aliran air, atau saluran air. PLTPh tidak memerlukan reservoir air sehingga biaya operasional dan pembangunan infrastrukturnya lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga air lainnya. PLTPh memanfaatkan energi kinetik air untuk menghasilkan listrik, dengan dampak lingkungan yang rendah dan memanfaatkan sumber energi terbarukan. Dengan kemampuannya yang dapat digunakan pada aliran air kecil dan lokasi-lokasi terpencil, PLTPh memiliki sifat portabel atau mudah dalam proses pemindahannya. Hal ini juga membuat PLTPh menjadi solusi yang berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan listrik di lokasi-lokasi terpencil.

Meskipun demikian, PLTPh yang ada saat ini belum memenuhi karakteristik portabel. Berdasarkan desain yang telah banyak dibuat sebelumnya, ukuran PLTPh masih terlalu besar dan berat untuk dibawa dan dipindahkan. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan lebih lanjut agar PLTPh dapat menjadi lebih portabel.

PLTPh yang memiliki portabilitas yang baik menjadi salah satu solusi untuk pemenuhan kebutuhan listrik di sekitar dengan lebih cepat, yakni dengan memanfaatkan energi dari aliran air yang ada di sekitarnya. Sebagai contoh, PLTPh dapat digunakan untuk memanfaatkan aliran air di sekitar jalan yang membutuhkan sistem penerangan. Dengan demikian, PLTPh dapat menghasilkan energi listrik atau *free energy* sebagai sumber daya untuk lampu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka didapatkan rumusan masalah yaitu bagaimana cara merancang desain sistem PLTPh yang lebih mudah dibawa, dipindahkan, dan dipasang ke berbagai tempat untuk sumber penerangan jalan.

1.3 Tujuan

Berdasarkan masalah yang diangkat, tujuan dari penelitian ini adalah merancang cara merancang desain sistem PLTPh yang lebih mudah dibawa, dipindahkan, dan dipasang ke berbagai tempat untuk sumber penerangan jalan.

1.4 Batasan Masalah

1. Sistem PLTPh tidak mengganggu debit aliran air irigasi/sungai yang digunakan karena dapat mempengaruhi keberlangsungan ekosistem dan ekonomi.
2. Sistem PLTPh harus dapat dimanfaatkan dalam jangka panjang. Sistem PLTPh diuji coba secara berkala di tempat yang memiliki potensi.
3. Sistem PLTPh tidak boleh terbawa arus/hanyut.

1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan

1. Biaya total Sistem PLTPh tidak melebihi Rp 2.500.000,00.
2. Berat total Sistem PLTPh tidak boleh melebihi 20 kg.
3. Sistem PLTPh menggunakan generator DC dengan beban minimal resistif berupa lampu DC 6 watt dan baterai 12V.
4. Perlu menggunakan generator minimal *output* tegangan 12 volt.
5. *Charge controller* perlu digunakan untuk kestabilan daya yang dihasilkan.

BAB 2. IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM

2.1 Studi Literatur dan Observasi

Tabel 2. 1 Hasil studi literatur solusi sejenis

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
<i>Portable pikohidro Power Plant with Archimedes Screw Turbine in Pelangi Reservoir of Universitas Islam Indonesia</i> [3]	Solusi yang ditawarkan peneliti berupa sistem portabel PLTPh dengan menggunakan turbin <i>Archimedes Screw</i> .	Hasil: Sistem generator PLTPh portabel ini menggunakan turbin Archimedes yang dirancang untuk dapat menghasilkan daya maksimum sebesar 8.544 watt di Reservoir Pelangi UII dengan debit rata-rata sebesar 7.1532 liter/detik. Daya ini dapat meningkat jika aliran air memiliki debit yang lebih besar. Jika aliran debit yang besar seimbang dengan kekokohan turbin dan sistem, pada kondisi rendah, sistem dapat mengisi baterai dengan kapasitas 12 volt 4 Ah dengan laju aliran air sebesar 4.807 liter/detik, yang menghasilkan tegangan antara 9.9 hingga 12.2 volt dalam waktu 36 menit. Jika laju aliran meningkat, tegangan yang dihasilkan dapat lebih besar, dan proses pengisian dapat berjalan lebih cepat. Sistem ini dapat beroperasi dengan efisiensi sebesar 16.67%

		<p>Kelebihan: Dapat menghidupkan Lampu DC 20W. Reliabel</p> <p>Kekurangan: Dimensinya masih terlalu besar</p>
<p>Design and implementation: Portable Floating pikohidro[4]</p>	<p>Solusi yang ditawarkan peneliti berupa Floating pikohidro yang tidak mengganggu ekosistem, murah, mudah digunakan, dan mudah untuk perawatannya</p>	<p>Hasil: Portable Floating pikohidro adalah perangkat yang efisien dibandingkan dengan perangkat konvensional. Sistem hemat biaya karena tidak memerlukan instalasi permanen pekerjaan sipil, mudah dioperasikan, dan tidak mengganggu ekologi sungai. Daya keluaran meningkat secara eksponensial dengan aliran air. Daya keluaran pada kecepatan air 4 m/s adalah 205 watt. Menggunakan Generator DC dengan tegangan 12-18V.</p> <p>Sistem menggunakan turbin <i>undershoot waterwheel</i> dengan bahan aluminum.</p> <p>Kelebihan: Tidak mengganggu ekosistem, lebih murah dan mudah digunakan serta mudah dalam perawatannya</p> <p>Kekurangan: Dimensi terlalu Besar, dengan diameter turbin 50 cm</p>

<p>Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Pico Hidro[5]</p>	<p>PLTPH adalah dengan sistem sirkulasi pada sistem pembangkit listrik mikrohidro, misalnya sumber daya alam yang kita butuhkan dalam membangkitkan listrik ini (AIR) tidak perlu harus dari sungai yang mengalir, kita biasa menggunakan air pada satu wadah yang dapat membangkitkan listrik dengan cara sirkulasi air. Dengan demikian pembangkit tersebut dapat diterapkan dimana saja sekalipun didaerah yang sangat kekurangan air dan dari sistem pembangkit ini kita bisa menghemat air.</p>	<p>Hasil: Pembangkit tersebut dapat diterapkan di mana saja sekalipun didaerah yang sangat kekurangan air dan dari sistem pembangkit ini kita bisa menghemat air.</p> <p>Kelebihan: Dapat diterapkan di mana saja</p> <p>Kekurangan: Terdapat penurunan tegangan ketika diberi beban dan belum portabel</p>
<p>Development Of A Portable Pico Hydroelectric Generator For Remote And Rural Electrification Using Innovative Methodology[6]</p>	<p>Solusi yang ditawarkan peneliti ialah menggunakan metodologi inovatif untuk pengembangan sosial ekonomi daerah terpencil dan pedesaan dengan menyediakan listrik bersih dan berkelanjutan.</p>	<p>Hasil: Hasil eksperimen menunjukkan bahwa generator mampu menghasilkan daya maksimum sebesar 500 W, yang cukup untuk memasok listrik peralatan rumah tangga dasar seperti lampu, radio, dan ponsel. Selain itu, generator ini terbukti sangat efisien, dengan efisiensi konversi hingga 70%.</p>

		<p>Secara keseluruhan, pengembangan generator PLTPh portable menggunakan metodologi inovatif memiliki potensi untuk secara signifikan meningkatkan akses listrik di daerah terpencil dan pedesaan. Generator ini ringan, portabel, dan mudah diinstal, sehingga sangat cocok digunakan di daerah di mana infrastruktur terbatas.</p> <p>Kelebihan: ringan, portabel, dan mudah diinstal, sehingga sangat cocok digunakan di daerah di mana infrastruktur terbatas.</p> <p>Kekurangan: Desainnya masih sulit untuk di pindah-pindahkan.</p>
<p>Rancang Bangun Turbin Air Tipe Cross Flow dan Pengaruh Ketinggian Air Terhadap Efisiensi Turbin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga PLTPh[7]</p>	<p>Solusi yang ditawarkan dalam penelitian adalah membuat plt PLTPh menggunakan turbin crossflow yang memanfaatkan pengaruh ketinggian air.</p>	<p>Hasil: Dari hasil pengujian yang telah dilakukan yaitu pengaruh ketinggian terhadap efisiensi dari turbin, didapatkan hasil dengan ketinggian pipa 50 cm nilai efisiensi sebesar 18%, sedangkan pada ketinggian pipa 150 cm nilai efisiensi sebesar 1,5%. Dan dari hasil pengujian tersebut diketahui bahwa ketinggian dan debit air dan generator yang digunakan sangat berpengaruh</p>

		<p>terhadap efisiensi dari turbin crossflow.</p> <p>Kelebihan:</p> <p>Dimensi cukup kecil dalam pemasangannya</p> <p>Kekurangan:</p> <p>Harus memanfaatkan ketinggian air untuk memaksimalkan putaran turbin.</p>
--	--	---

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Pembangkit Listrik Tenaga pikohidro

Pembangkit Listrik Tenaga *pikohidro* atau PLTPh merupakan bagian dari Pembangkit Listrik Tenaga Air yang telah diklasifikasikan berdasarkan kapasitas listrik yang dihasilkan. PLTPh dapat menghasilkan listrik di bawah 5 kW. Pada umumnya sistem PLTPh memerlukan dua komponen utama yaitu generator sebagai pembangkit listrik dan turbin sebagai penggerak generator.

PLTPh memanfaatkan aliran air sebagai sumber potensial air menjadi energi kinetik turbin. Turbin dihubungkan dengan generator sehingga generator mendapatkan sumber putaran dari turbin yang menyebabkan generator bekerja. Energi listrik yang dihasilkan dari pembangkitan ini dinamakan hidroelektrik.

2.2.2 Generator

Generator adalah suatu mesin listrik yang mampu menghasilkan energi listrik yang bersumber dari energi mekanik atau gerak. Generator bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik. Energi mekanik pada generator umumnya didapat dari turbin. Turbin tersebut dapat berupa turbin air, turbin angin ataupun sumber energi mekanik lainnya. Generator memiliki dua jenis yaitu generator AC dan generator DC[8].

2.2.3 Water Turbine

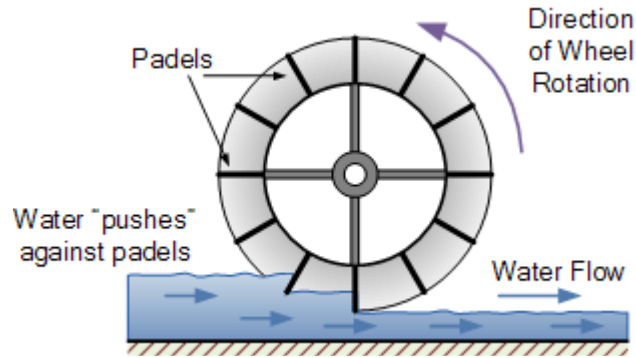
Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Aliran air dapat mendorong turbin sehingga dapat menyebabkan turbin berputar. Turbin dihubungkan dengan generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Pemilihan turbin berdasarkan pada debit air dan *head* atau tinggi air.

Tabel 2. 2 Spesifikasi turbin berdasarkan debit air[9]

Turbine	Head (m)	Debit Air (m³/s)
Pelton	50 *-1000	<50
Turgo	50 **-250	<10
Francis	40-600	0.2-1000
Kaplan	<50	0.5-1000
<i>Water Wheel</i>	<10	<5
<i>Archimedes Screw</i>	<10	<10

2.2.3.1 Water Wheel Turbine

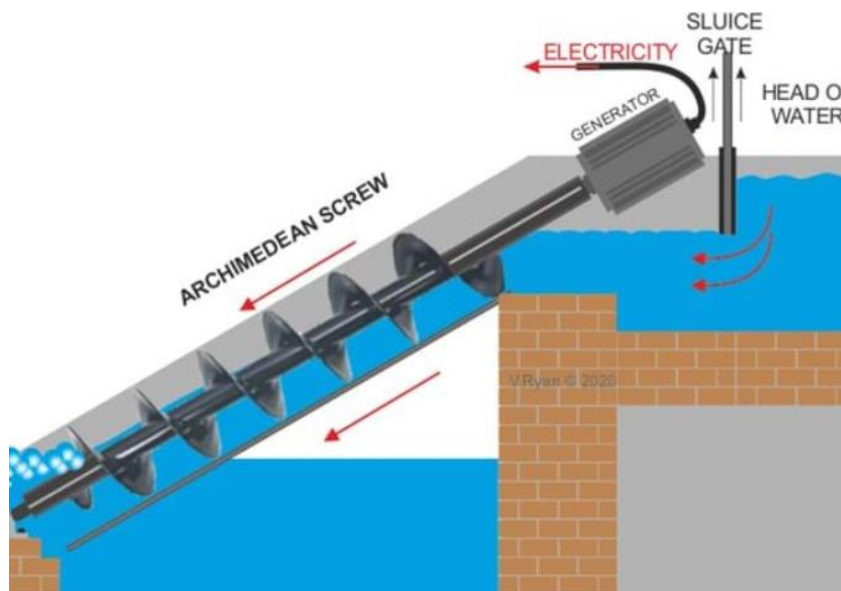
Water Wheel turbine, atau sering disebut hanya sebagai "*Water Wheel*" atau roda air, adalah suatu perangkat mekanis yang menggunakan energi air untuk menghasilkan energi mekanik. Prinsip dasar *Water Wheel* turbine melibatkan pemanfaatan energi kinetik air yang mengalir atau jatuh untuk membuat roda berputar. Gerakan putaran roda air ini kemudian dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan mekanis menggerakkan generator. Terdapat dua jenis tipe *Water Wheel turbine* ini yaitu *undershot* dan *overshot*. Tipe *undershot* memanfaatkan aliran air sebagai penggerak turbin sedangkan tipe *overshot* memanfaatkan aliran air yang jatuh untuk menggerakkan turbin. Gambar turbin *Water Wheel* dapat dilihat di Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Undershot water wheel

2.2.3.2 Archimedes Screw Turbine

Archimedes Screw Turbine adalah bentuk turbin air yang didasarkan pada prinsip sekrup Archimedes. Prinsip dasar turbin ini melibatkan penggunaan sekrup Archimedes untuk menggerakkan air dari suatu tingkat yang lebih rendah ke tingkat yang lebih tinggi, dan dalam prosesnya, energi dari pergerakan air ini diubah menjadi energi mekanik yang dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan, seperti menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik. Gambar *Archimedes Screw turbine* dapat dilihat di Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Archimedes screw turbin

2.2.4 Baterai

Baterai berperan sebagai penyimpan energi listrik yang sudah dibangkitkan oleh sistem PLTPh. Baterai menyimpan energi listrik dalam bentuk kimia. Kapasitas Baterai adalah *Ampere*

hour (Ah). Kapasitas baterai dapat ditambah dengan cara menghubungkan antar baterai secara seri untuk tegangan dan secara paralel untuk arus. Dengan mengkonfigurasi keduanya, kapasitas baterai dapat dirangkai sesuai dengan kebutuhan sistem.

2.2.5 Inverter

Inverter merupakan komponen elektronika daya yang digunakan untuk mengubah listrik *Direct Current (DC)* menjadi listrik *Alternating Current (AC)*. Inverter dibutuhkan karena listrik yang dihasilkan dari generator berupa listrik DC dan target beban sistem ini adalah lampu AC.

2.2.6 Solar Charge Controller

Solar Charge Controller (SCC) atau pengontrol pengisian surya, merupakan perangkat kunci dalam sistem tenaga surya yang berfungsi untuk mengatur arus pengisian dari panel surya atau pembangkit listrik ke baterai penyimpanan energi. Perangkat ini memiliki peran penting dalam melindungi baterai dari potensi *overcharge* atau pengisian berlebihan yang dapat merusak baterai. Sebaliknya, *Solar Charge Controller* juga mencegah *over-discharge* atau pengosongan berlebihan yang dapat merugikan kesehatan baterai Gambar SCC dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Solar charge controller

2.2.7 Multimeter

Multimeter adalah alat pengukuran listrik yang digunakan untuk mengukur berbagai parameter listrik seperti tegangan, arus, dan hambatan. Terdapat dua jenis multimeter yaitu multimeter digital dan multimeter analog. Perbedaan keduanya terdapat pada penampil dari hasil pengukuran yang dilakukan. Gambar multimeter dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2. 4 Multimeter digital

2.2.8 Tachometer

Tachometer adalah alat pengukuran yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi suatu objek dengan satuan rpm (*Revolutions per minute*). Penggunaan *tachometer* dapat ditancapkan secara langsung ke objek yang akan diukur atau menggunakan sinar yang diarahkan ke objek. Gambar alat dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Tachometer

2.2.9 Debit air

Faktor penting yang mempengaruhi performa sistem PLTPh ini adalah debit aliran air. Debit aliran air merupakan ukuran banyaknya air yang mengalir pada area dalam satuan waktu. Nilai debit aliran air dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.1 hingga 2.3 berikut.

$$Q = V \times A \quad 2.1$$

Keterangan:

Q = Debit aliran air (m³/s)

V = Kecepatan aliran air (m/s)

A = Luas Penampang (m²)

Kecepatan aliran air dan luas penampang dapat dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$V = \frac{d}{t} \quad 2.2$$

Keterangan:

V = Kecepatan aliran air (m/s)

d = Jarak (m)

t = Waktu (s)

Luas Penampang dapat dihitung menggunakan

$$A = l \times D \quad 2.3$$

Keterangan:

A = Luas Penampang (m²)

l = Lebar Saluran Air (m)

D = Kedalaman Air (m)

2.2.10 Kapasitas Daya

Kapasitas kilowatt (kW) berdasarkan debit air dalam pembangkit listrik tenaga air (hydro) bergantung pada beberapa faktor, termasuk *head* (ketinggian jatuh air) dan efisiensi dari sistem pembangkit listrik tersebut. Debit air juga merupakan faktor penting yang mempengaruhi kapasitas pembangkit listrik hidro. Perhitungan kapasitas daya air dapat dilihat pada persamaan 2.4 berikut. Potensi daya air dapat dihitung sebagai berikut[10]

$$P_{air} = \rho \times g \times Q \times h \quad 2.4$$

Keterangan :

P_{air} = Potensi daya air (Watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

Q = Debit air (m³/s)

h = Ketinggian air (m)

2.2.10.1 Kapasitas *Water Wheel*

Kapasitas daya yang dapat dihasilkan oleh PLTPH dengan *Water Wheel* turbine dapat diperoleh dengan Persamaan 2.5 hingga 2.7 berikut[11].

$$P_{wheel} = T \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot z}{60} \quad 2.5$$

Keterangan :

P_{wheel} = Kapasitas daya (Watt)

T = Torsi (Nm)

n = Putaran Turbin (rpm)

z = Jumlah *Blade*

Jumlah putaran dapat dihitung berdasarkan diameter turbin dan keliling turbin sebagai berikut[12].

$$Cv = \frac{v \cos \alpha}{2} \quad 2.6$$

Keterangan :

Cv = Kecepatan keliling turbin (m/s)

v = Kecepatan aliran air (m/s)

α = Sudut roda turbin ($^{\circ}$)

Sehingga jumlah putaran turbin dapat dihitung sebagai berikut[12].

$$n = \frac{60 \times C}{\pi \times D} \quad 2.7$$

Keterangan :

n = Putaran turbin (rpm)

Cv = Kecepatan keliling turbin (m/s)

D = Diameter turbin (m)

2.2.10.2 Kapasitas *Archimedes Screw Turbine*

Kapasitas daya yang dihasilkan dari PLTPH dengan turbin *Archimedes Screw Turbine* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.8 berikut[10].

$$P_{archimedes} = \eta \times \rho \times g \times Q \times h \quad 2.8$$

Keterangan :

Parchimedes = Kapasitas daya (Watt)

η = Efisiensi (%)

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = Debit air (m^3/s)

h = Ketinggian air (m)

2.3 Analisis Stakeholder

1. Anggota Kelompok

Anggota kelompok adalah penggerak utama proyek dan keberhasilan proyek bergantung pada kerja sama dan komunikasi yang efektif. Setiap anggota kelompok memiliki peran dan tanggung jawab masing-masing. Anggota kelompok harus memiliki kemampuan untuk bekerja sama, mendengarkan dan bertukar pendapat serta berkontribusi dengan ide dan usaha mereka sendiri. Hubungan yang baik di antara anggota kelompok adalah kunci untuk menghasilkan hasil terbaik.

2. Dosen Pembimbing

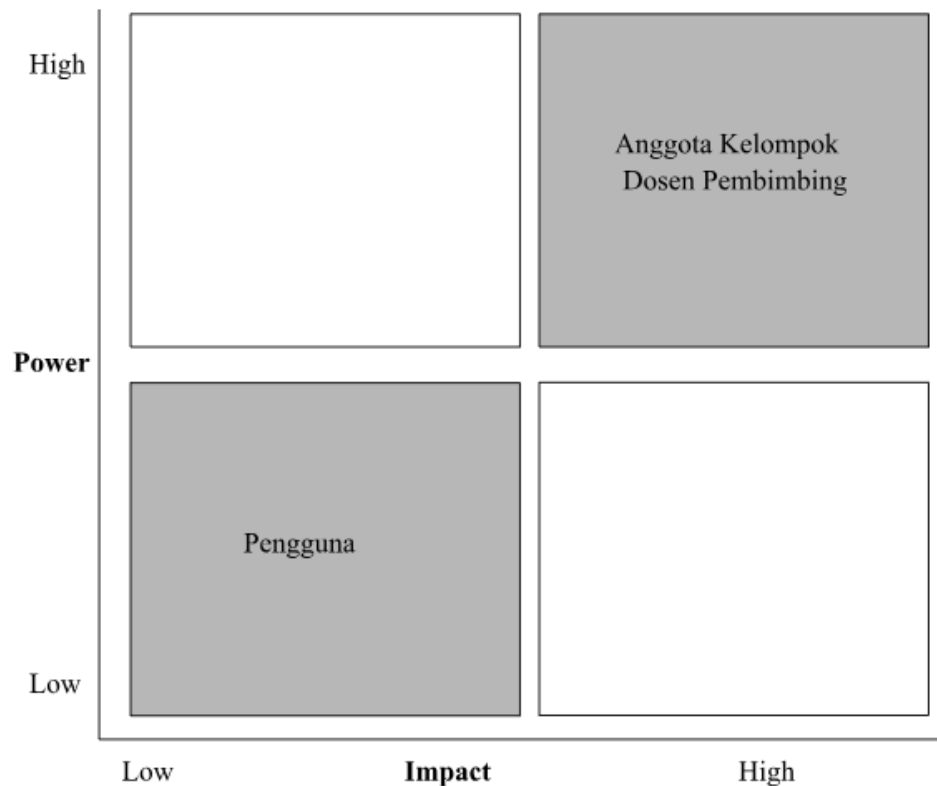
Dosen pembimbing bertanggung jawab untuk memberikan arahan, memberikan masukan, serta membantu anggota kelompok dalam menjalankan proyek mereka dengan baik. Dosen pembimbing juga membantu dalam mengatasi hambatan dan masalah yang mungkin muncul selama proses proyek. Dosen pembimbing adalah sumber inspirasi dan motivasi, serta berperan dalam membantu anggota kelompok mencapai potensi terbaik mereka.

Kerja sama yang efektif di antara anggota kelompok dan dosen pembimbing sangat penting. Anggota kelompok perlu berkomunikasi dengan jujur dan terbuka dengan dosen pembimbing mereka dan menghargai saran serta arahan yang diberikan. Hubungan yang seimbang dan saling menghormati antara dua pihak ini adalah kunci kesuksesan dalam proyek.

3. Pengguna

Pengguna memegang peran krusial sebagai salah satu stakeholder utama dalam sebuah proyek. Mereka tidak hanya merupakan penerima langsung dari hasil proyek, tetapi juga memiliki

kepentingan besar dalam kualitas dan fungsionalitas akhir produk atau layanan. Partisipasi aktif pengguna dalam fase pengembangan dapat membantu memastikan bahwa kebutuhan mereka terpenuhi secara optimal. Dengan memberikan umpan balik yang berharga, pengguna membantu meningkatkan kesesuaian proyek dengan kebutuhan pasar dan memastikan keberhasilan implementasi proyek secara keseluruhan.



Gambar 2. 6 Diagram stakeholder

Pada Gambar 2.6, digambarkan bahwa anggota kelompok dan dosen pembimbing memiliki pengaruh yang tinggi dalam perancangan sistem PLTPH. Hal ini dikarenakan dosen pembimbing dan anggota kelompok bersinggungan secara langsung dalam proses perancangan sistem. Sedangkan pengguna hanya memberi pendapat terkait hasil perancangannya.

2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem

Ekonomi	Dana yang terbatas memungkinkan kurang maksimalnya perancangan sistem.
Lingkungan	<ol style="list-style-type: none">1. Debit aliran air sungai yang tidak menentu dapat mempengaruhi kinerja generator dalam menghasilkan listrik yang maksimal2. Ekosistem yang ada di dalam sungai mempengaruhi desain turbin guna menjaga kestabilan ekosistemnya.3. Kondisi cuaca ekstrim baik kemarau maupun hujan dapat berdampak pada keseluruhan sistem, sehingga diperlukan desain sistem yang dapat menahan hal tersebut.
Keamanan	Kekhawatiran mengenai oknum-oknum tidak bertanggung jawab yang dapat merusak sistem sehingga dapat membahayakan lingkungan sekitar.

2.5 Spesifikasi Sistem

Berdasarkan kajian literatur, dasar teori, dan informasi yang didapat, ditemukan spesifikasi yang akan dirancang. Rincian spesifikasi antara lain:

- PLTPh memiliki dimensi tinggi minimal 20 cm, lebar kurang dari 90 cm
- PLTPh Standar Teknis yang digunakan mengacu pada ISO 14001 (Dampak Lingkungan), IEEE 1547 (Sistem Kelistrikan), IEC 60364 (Instalasi Listrik), IEC 60068 (Uji Lapangan), dan SNI 04-6953:2003 (Pembangkit Listrik *Hydro* Skala Kecil) dan SNI (Standar Nasional Indonesia) untuk menjaga ketahanan sistem
- Turbin harus bisa bergerak pada debit air minimal 0.034 m³/detik
- Berat total Sistem PLTPh tidak boleh melebihi 20 kg.
- Sistem PLTPh menggunakan generator DC dengan beban minimal resistif berupa lampu DC 6 watt dan baterai 12 V.
- Perlu menggunakan generator dengan minimal *output* tegangan 12 volt guna mengisi daya pada baterai dengan tegangan 12 V.
- *Charge controller* perlu digunakan untuk kestabilan daya yang dihasilkan.

- Standar Teknis yang digunakan mengacu pada ISO 14001 (Dampak Lingkungan), IEEE 1547 (Sistem Kelistrikan), IEC 60364 (Instalasi Listrik), IEC 60068 (Uji Lapangan), IP 68 (Tahan Air), dan SNI 04-6953:2003 (Pembangkit Listrik *Hydro* Skala Kecil)

BAB 3. USULAN SOLUSI

3.1 Usulan Solusi 1

Usulan pertama untuk PLTPH ini adalah menggunakan turbin jenis *Water Wheel*. Turbin ini sering digunakan dalam proses pembangkit listrik tenaga air karena konsepnya yang sederhana, yaitu roda yang bergerak karena aliran air. Terdapat 2 usulan sistem elektronis dalam usulan pertama ini, yakni sistem elektronis yang menggunakan generator DC dan juga generator AC. Namun, baik DC maupun AC, sistem ini perlu menggunakan baterai. Meskipun beban utama yang dibutuhkan merupakan beban listrik AC, akan tetapi tidak stabilnya sumber air mengalir menjadi masalah dalam kestabilan daya yang dihasilkan. Maka dari itu, dibutuhkan baterai agar daya yang dihasilkan tetap stabil dan juga menjadi cadangan energi ketika generator atau turbin bermasalah. Desain turbin *water wheel* ditunjukkan oleh Gambar 3.1

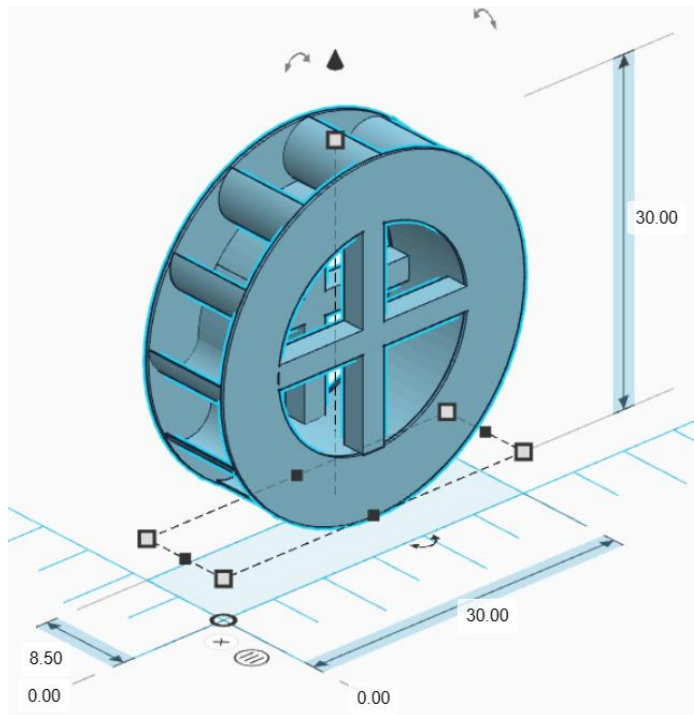
Material yang digunakan untuk turbin adalah galvanium, galvanium memiliki karakteristik tahan terhadap korosi karena bahan tersebut sudah dilapisi seng sebagai lapisan pelindung dan juga lebih kokoh daripada material PVC. Pemilihan galvanium sebagai material turbin diharapkan lebih kuat dan durabel terhadap lingkungan sehingga sistem dapat bertahan dalam jangka waktu yang lama. Untuk bagian *frame*, material yang digunakan adalah besi *hollow* karena kuat, kokoh, dan memiliki beban yang cukup ringan sehingga sistem dapat dengan mudah dibawa. Pada bagian *inlet* didesain gerbang air dengan harapan kecepatan air yang masuk ke dalam turbin akan semakin cepat sebagaimana hukum kontinuitas, dengan begitu putaran yang akan dihasilkan oleh turbin akan semakin cepat. Selain itu, bagian sisi turbin juga didesain tertutup agar aliran air dapat fokus ke turbin sehingga mengurangi rugi-rugi dari aliran air. Pada bagian *inlet* juga terdapat jaring untuk menahan sampah dan ekosistem yang ada di aliran air.

Sistem juga didesain agar dapat beradaptasi terhadap ketinggian air dengan desain inlet yang mengarahkan aliran air bagian atas turbin ke bagian bawah turbin, hal ini berfungsi agar turbin dapat bergerak dengan lancar meskipun ketinggian air berubah ketinggiannya. Selain itu, penambahan kaki-kaki yang *adjustable* dapat mengatasi ketinggian air yang sering mengalami fluktuasi dalam periode waktu tertentu.

Sistem elektronis ditempatkan di dalam kotak terpisah dari konstruksi turbin dan generator. Hal ini bertujuan untuk menjaga keamanan komponen elektronis dari cipratan air dan risiko tenggelamnya sistem PLTPH ketika aliran air naik secara tiba-tiba. Meskipun sistem elektronis

dibuat secara terpisah, namun kotak komponen elektronik dapat dirangkai menjadi satu ke konstruksi turbin guna mempermudah mobilitas ketika dibawa bepergian.

Dalam sistem ini, aliran air akan memutar turbin yang terhubung ke *pulley* diameter besar. Kemudian *pulley* besar akan memutar *pulley* kecil yang terhubung ke poros generator. Hal ini dimaksudkan agar generator memiliki putaran yang lebih banyak daripada turbin *Water Wheel*. perhitungan kapasitas air dengan menggunakan Persamaan 2.4 dengan debit $0.034\text{m}^3/\text{s}$ dan *head* 50cm didapatkan sebesar 183.26 watt dengan hasil perhitungan terlampir.



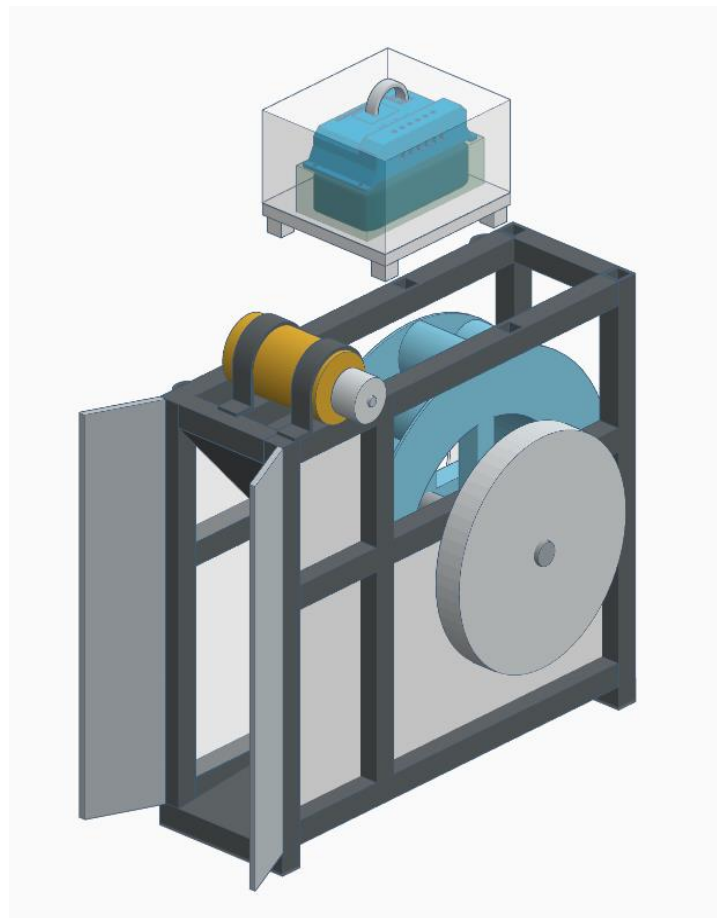
Gambar 3. 1 Desain turbin water wheel

Tabel 3. 1 Spesifikasi turbin water wheel

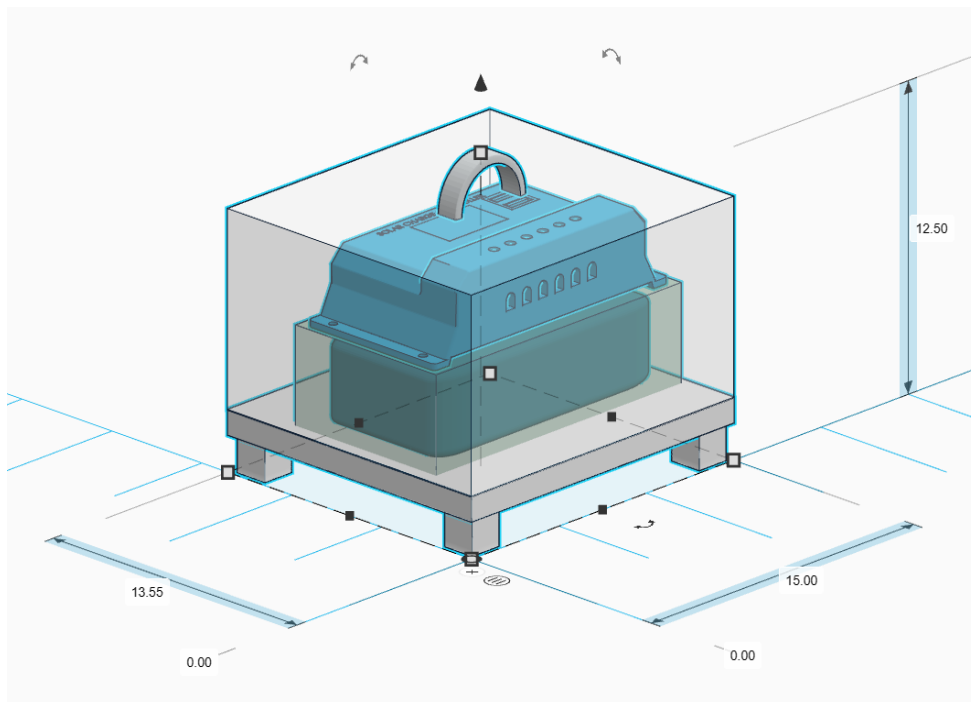
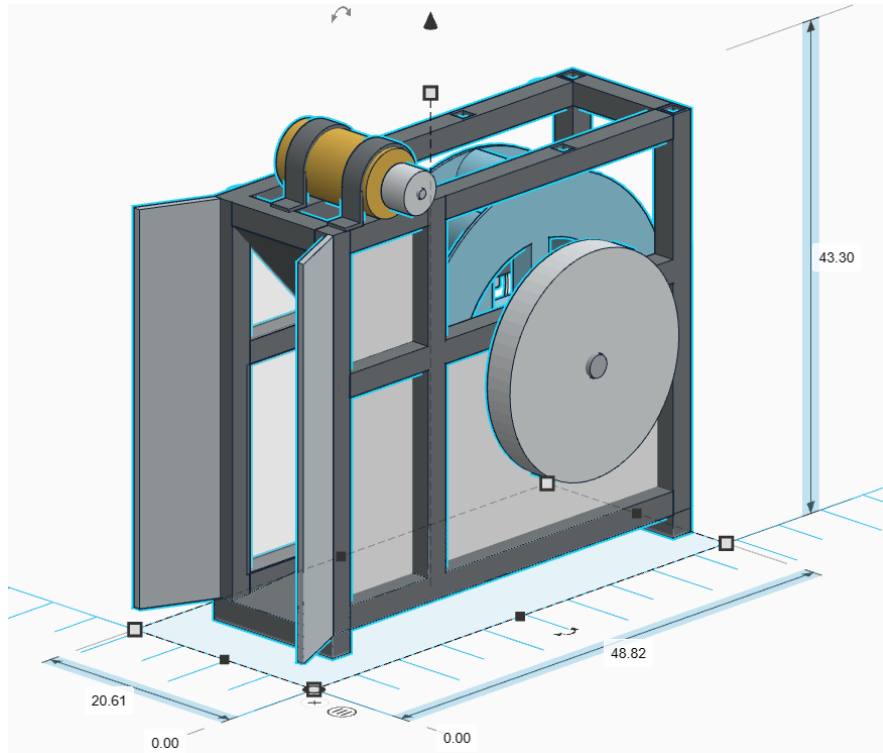
Diameter	30 cm
Jumlah <i>blade</i>	12
Lebar <i>blade</i>	8 cm + 2 cm (tiang <i>blade</i>)
Jarak antar <i>blade</i> luar	7.8 cm
Jumlah <i>blade</i> dalam air	1.6

Desain dan Spesifikasi Turbin *Water Wheel* pada Gambar 3.1 merupakan hasil perhitungan mekanis berdasarkan parameter debit air minimal yang ada di lokasi sebesar 0,034 m³/detik dengan perhitungan ditunjukkan pada Lampiran 1.

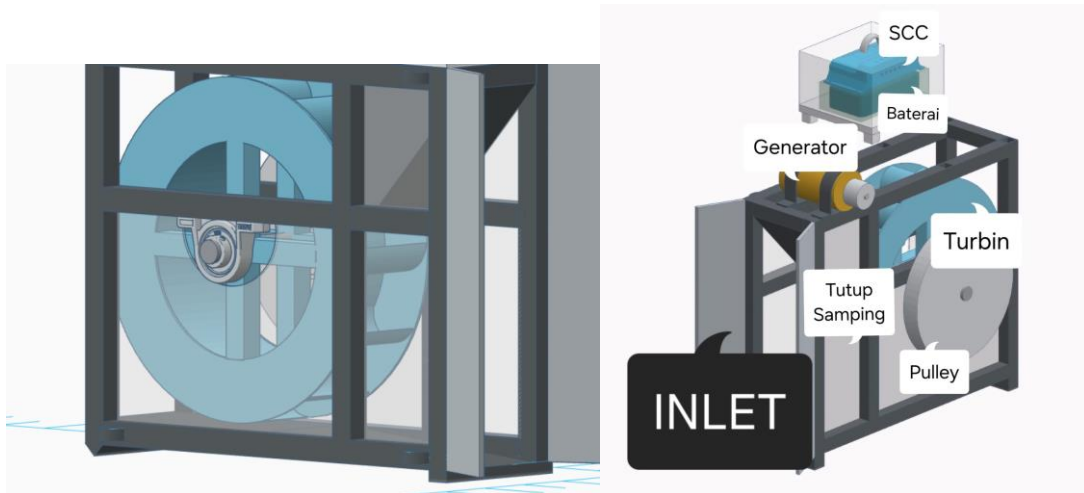
Desain 3D sistem PLTPh portabel desain 1 ditunjukkan oleh Gambar 3.2. secara keseluruhan, sistem terdiri dari 5 (lima) perangkat utama yaitu rangka, turbin, generator, *pulley*, dan panel kontrol elektronis, rangka didesain agar dapat dengan mudah dibawa dan diaplikasikan, bagian *input* memiliki dua pintu yang berfungsi untuk menahan air dan dapat menambah tekanan air berdasarkan prinsip Bernoulli. Turbin yang terhubung dengan *pulley* melalui as turbin dapat memutar generator yang kemudian energi yang telah dihasilkan akan masuk ke panel kontrol elektronis yang meliputi SCC dan baterai. Desain ini memiliki dimensi 48.82 cm x 20.61 cm x 43.30 cm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 2 Rancangan desain 1



Gambar 3. 3 Dimensi rancangan desain 1

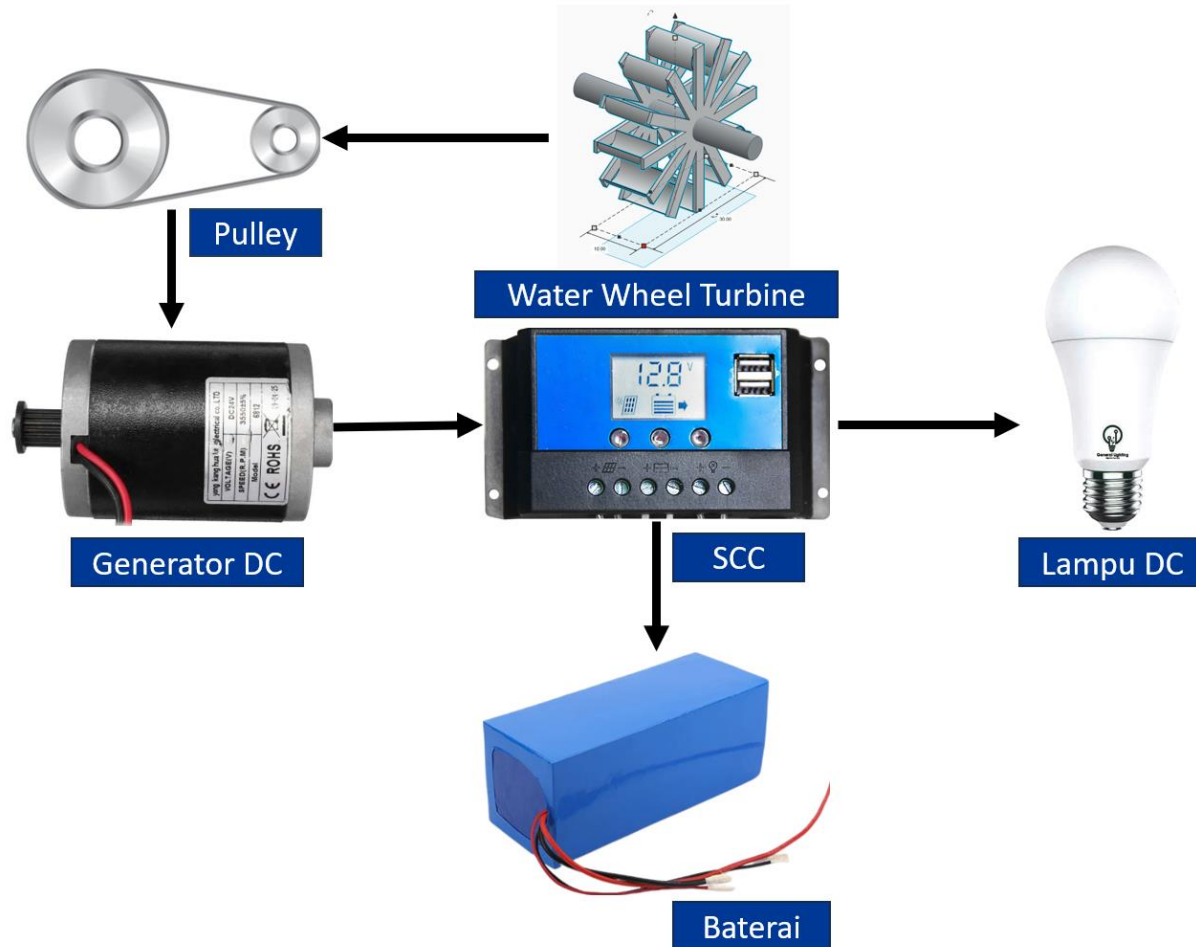


Gambar 3. 4 Keterangan peletakan komponen

3.1.1 Usulan Solusi 1.1

Pada usulan solusi pertama, sistem menggunakan turbin jenis *water wheel* dengan diameter 30 cm dan lebar 8 cm. Usulan solusi ini merupakan usulan solusi paling portabel dikarenakan ukurannya yang kecil dibandingkan dengan usulan solusi 2. Pada usulan solusi 1.1 ini generator yang digunakan adalah generator DC yang terhubung langsung dengan SCC. Pemilihan generator DC ini memiliki beberapa alasan antara lain adalah keterjangkauan alat, biaya yang murah, dan tidak memerlukan komponen tambahan untuk melakukan pengisian baterai. baterai yang digunakan adalah baterai dengan kapasitas 12V 12Ah dengan tujuan lampu dapat menyala selama 12 jam.

3.1.1.1 Desain Sistem 1.1



Gambar 3. 5 Skema usulan solusi 1,1

Alur kerja sistem usulan 1.1 pada Gambar 3.5 adalah turbin *water wheel* akan menghasilkan energi kinetik karena adanya dorongan yang disebabkan oleh air yang mengalir, kemudian energi kinetik tersebut ditransfer ke generator menggunakan *pulley*. generator akan menghasilkan listrik DC yang dapat melakukan pengisian baterai. proses pengisian baterai melalui SCC sebagai regulator dan kontroler sistem. perangkat yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Kebutuhan perangkat keras solusi 1.1

No	Nama Alat	Keterangan
1	<i>Water Wheel Turbine</i>	Turbin memanfaatkan energi kinetik air sebagai sumber energi mekanis atau energi gerak. Energi gerak tersebut terhubung dengan generator sebagai pembangkit listrik. Tipe turbin dipilih sesuai dengan kapasitas PLTPh. Turbin dibuat dari bahan baja ringan.
2	Generator DC 30 Watt	Generator yang digunakan adalah generator DC dikarenakan untuk mengurangi biaya dan jumlah komponen yang dapat mempengaruhi beban keseluruhan. Serta memudahkan proses pengisian baterai. Generator yang digunakan adalah generator DC 30Watt karena berdasarkan perhitungan kapasitas daya sesuai turbin. Hasil perhitungan terlampir
3	Baterai Li-Ion 12V 12Ah	Baterai dapat mengisi dengan generator atau pengisian dengan listrik perumahan. Baterai yang digunakan adalah <i>Li-ion cell</i> dengan tegangan kerja 12 V dan kapasitas 12 Ah. Ini dapat bertahan selama 24 jam untuk beban lampu AC 6 watt.
4	<i>Solar Charge Controller</i> 10A	<i>Solar Charge Controller</i> (SCC) dapat meregulasi arus dan tegangan yang masuk ke baterai dan dari baterai ke inverter. Dipilih SCC dengan rating 10A karena arus yang dihasilkan generator adalah 2.5A
5	Kabel 4 Meter	Panjang 4 meter berdasarkan pertimbangan karena sistem tertanam di aliran air dan dekat dengan beban. kabel yang akan digunakan adalah jenis NYY karena dilapisi oleh PVC

3.1.1.2 Rencana Anggaran Biaya Desain Sistem 1.1

Berikut adalah rencana anggaran biaya usulan 1.1 yang ditunjukkan oleh Tabel 3,3, Rencana anggaran biaya usulan 1.1 memiliki biaya yang paling kecil diantara usulan solusi lainnya dikarenakan banyak material yang digunakan dan pemilihan generator yang lebih sedikit dan murah.

Tabel 3. 3 Rencana anggaran biaya usulan 1,1

No	Nama	Harga	Jumlah	Harga Total
1	Generator DC 30 Watt	Rp100,000.00	1	Rp100,000.00
2	<i>Solar Charge Controller</i> 10A	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
3	Li-ion 12V 12Ah	Rp350,000.00	1	Rp350,000.00
4	<i>Pulley</i>	Rp150,000.00	1	Rp150,000.00
5	Jasa Las	Rp350,000.00	1	Rp350,000.00
6	Akrilik 20x30cm	Rp13,000.00	2	Rp26,000.00
7	Bearing KP004	Rp40,000.00	2	Rp80,000.00
8	As Drat 50cm	Rp15,500.00	1	Rp15,500.00
9	Voltmeter	Rp35,000.00	1	Rp35,000.00
10	Cover Stop Kontak	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
11	Besi Hollow 2x2cm 2m	Rp40,000.00	2	Rp80,000.00
12	Plat Galvanis 90cm x 200cm	Rp89,000.00	2	Rp178,000.00
13	Kabel NYY 1m	Rp15,000.00	4	Rp60,000.00
Total				Rp1,404,500.00

3.1.1.3 Analisis Resiko Desain 1.1

Pada desain 1.1 ini, desain turbin *Water Wheel* mempengaruhi desain alat secara keseluruhan. Dengan dimensi diameter turbin sebesar 30 cm ditambah dengan berbagai komponen elektroniknya, menjadi kurang cocok digunakan pada aliran air yang berada di bawah jembatan-jembatan kecil. Selain itu, dalam penempatannya juga kurang adaptif. Seperti ketika seluruh turbin tenggelam di air. Hal tersebut dapat mengganggu perputaran turbin sehingga kinerjanya kurang maksimal. Maka dari itu, dibuat kaki yang dapat diatur ketinggiannya, namun akan membutuhkan waktu untuk mengaturnya.

Penggunaan generator DC memiliki kekurangan dalam segi durabilitasnya apabila digunakan dalam jangka waktu yang panjang. Hal ini disebabkan oleh penggunaan komponen *brush* yang terus menerus bergesekkan dengan komutator sehingga memungkinkan terjadinya keausan pada *brush*. Tidak seperti generator AC, di mana magnet permanen diputar mengelilingi kumparan. Namun, karena arus listrik yang dihasilkan generator DC merupakan arus DC, maka generator DC lebih baik untuk sistem elektronis yang menggunakan sistem pengisian daya baterai. PLTPh memiliki risiko lingkungan ketika debit air berkurang dapat menyebabkan sistem PLTPh tidak dapat bekerja dengan baik sehingga beban tidak dapat teraliri listrik.

3.1.1.4 Pengukuran Performa 1.1

Desain yang dimiliki pada usulan 1.1 ini secara dimensi cukup ringkas sehingga mudah untuk dibawa, ringan, dan mudah diaplikasikan pada aliran sungai. Akan tetapi, perputaran turbin dapat terganggu apabila aliran air menenggelamkan seluruh bagian turbin *Water Wheel* dan cukup memakan waktu untuk mengatur tinggi kaki-kakinya. Melihat faktor lingkungan tersebut yang dapat mempengaruhi kinerja sistem PLTPh serta untukantisipasi, maka baterai didesain agar dapat melakukan pengisian di luar sistem.

Berdasarkan perhitungan secara teori menggunakan persamaan 2.5 hingga 2.7, dengan rata-rata kecepatan air 0.3 m/s dan diameter turbin 30 cm, perkiraan putaran turbin adalah 8 rpm. Kemudian perhitungan daya secara teori dengan Turbin *Water Wheel* ini menghasilkan daya sebesar 21,26 Watt dan dengan hasil perhitungan tersebut, ditentukan penggunaan generator dengan daya 30 watt. Perhitungan teoritis efisiensi dari PLTPh sekitar 16.3%.

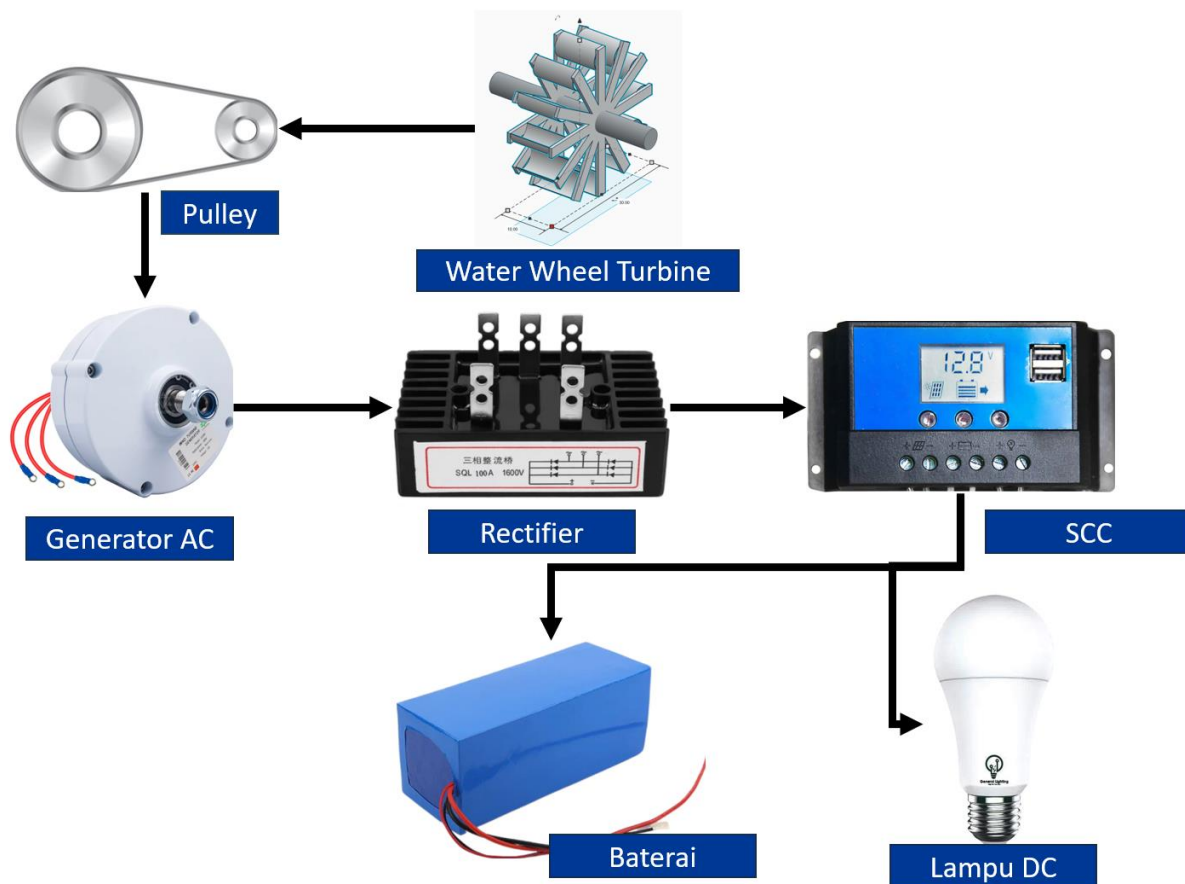
Dalam segi elektronis, penggunaan generator DC lebih ideal karena diperlukan untuk pengisian daya baterai yang berarus DC sehingga tidak mengalami banyak rugi-rugi daya. Namun, generator DC memiliki durabilitas yang tidak begitu baik dibandingkan dengan generator AC. Untuk kapasitas baterai yang digunakan adalah 12 Ah. Dengan kapasitas tersebut dan performa generator yang sesuai maka pengisian baterai 0-100% akan memakan waktu selama sekitar 3 jam.

3.1.2 Usulan Solusi 1.2

Pada usulan solusi 1.2, sistem menggunakan turbin jenis *water wheel* dengan diameter 30 cm dan lebar 8 cm. Usulan solusi ini merupakan usulan solusi paling portabel dikarenakan

ukurannya yang kecil dibandingkan dengan usulan solusi 2. Pada usulan solusi 1.2 ini generator yang digunakan adalah generator AC yang terhubung dengan perangkat *rectifier* untuk mengubah listrik AC menjadi DC agar dapat melakukan pengisian baterai dan terhubung dengan SCC. Pemilihan generator AC ini memiliki beberapa alasan antara lain adalah beban yang akan disuplai adalah beban AC dan proses *maintenance* yang lebih mudah karena tidak menggunakan *brush*. kemudian untuk penyimpanan daya menggunakan baterai dengan kapasitas 12V 12Ah dengan tujuan lampu dapat menyala selama 12 jam.

3.1.2.1 Desain Sistem 1.2



Gambar 3. 6 Skema usulan solusi 1.2

Alur kerja sistem usulan 1.2 pada Gambar 3.6 adalah turbin *water wheel* akan menghasilkan energi kinetik karena adanya dorongan yang disebabkan oleh air yang mengalir, kemudian energi kinetik tersebut ditransfer ke generator menggunakan *pulley*. generator akan menghasilkan listrik AC yang memerlukan penyearah untuk dapat melakukan proses pengisian

baterai. Proses pengisian baterai melalui SCC sebagai regulator dan kontroler sistem. perangkat yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 3.4

Tabel 3. 4 Kebutuhan perangkat keras usulan 1.2

No	Nama Alat	Keterangan
1	<i>Water Wheel</i> Turbine	Turbin memanfaatkan energi kinetik air sebagai sumber energi mekanis atau energi gerak. Energi gerak tersebut terhubung dengan generator sebagai pembangkit listrik. Tipe turbin dipilih sesuai dengan kapasitas PLTPh. Turbin dibuat dari bahan baja ringan.
2	Generator AC 30 Watt	Generator yang digunakan adalah generator DC dikarenakan untuk mengurangi biaya dan jumlah komponen yang dapat mempengaruhi beban keseluruhan. Serta memudahkan proses pengisian baterai. Generator 30Watt karena berdasarkan hasil perhitungan kapasitas daya sesuai turbin.
3	Rectifier 10A 12V	Rectifier digunakan untuk mengubah arus AC menjadi DC dengan tujuan pengisian baterai dapat terjadi, baterai tidak dapat bekerja dengan arus AC. Digunakan rating 10A 12V karena menyesuaikan dengan kapasitas baterai
4	Baterai Li-Ion 12V 12Ah	Baterai dapat mengisi dengan generator atau pengisian dengan listrik perumahan. Baterai yang digunakan adalah <i>Li-ion cell</i> dengan tegangan kerja 12 V dan kapasitas 12 Ah. Ini dapat bertahan selama 24 jam untuk beban lampu AC 6 watt.
5	<i>Solar Charge Controller</i> 10A	<i>Solar Charge Controller</i> (SCC) dapat meregulasi arus dan tegangan yang masuk ke baterai dan dari baterai ke inverter. Dipilih SCC dengan rating 10A karena arus yang dihasilkan generator adalah 2.5A
6	Kabel 4 Meter	Panjang 4 meter berdasarkan pertimbangan karena sistem tertanam di aliran air dan dekat dengan beban. kabel yang akan digunakan adalah jenis NYY karena dilapisi oleh PVC.

3.1.2.2 Rencana Anggaran Biaya Desain Sistem 1.2

Rencana anggaran biaya usulan 1.2 pada Tabel 3.5 ini cukup tinggi dikarenakan generator AC yang memiliki biaya mahal dikarenakan penambahan komponen rectifier dan harga generator, generator perlu dikirim dari luar negeri sehingga membutuhkan biaya tambahan.

Tabel 3. 5 Rencana anggaran biaya usulan 1.2

No	Nama	Harga	Jumlah	Harga Total
1	Generator AC 30 Watt	Rp1,000,000.00	1	Rp1,000,000.00
2	Solar Charge Controller 10A	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
3	Li-ion 12V 12Ah	Rp350,000.00	1	Rp350,000.00
4	Pulley	Rp150,000.00	1	Rp150,000.00
5	Rectifier 10A 12V	Rp60,000.00	1	Rp60,000.00
6	Jasa Las	Rp350,000.00	1	Rp350,000.00
7	Akrilik 20x30cm	Rp13,000.00	2	Rp26,000.00
8	Bearing KP004	Rp40,000.00	2	Rp80,000.00
9	As Drat 50cm	Rp15,500.00	1	Rp15,500.00
10	Voltmeter	Rp35,000.00	1	Rp35,000.00
11	Cover Stop Kontak	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
12	Besi Hollow 2x2cm 2m	Rp40,000.00	3	Rp80,000.00
13	Plat Galvanis 90cm x 200cm	Rp89,000.00	2	Rp178,000.00
14	Kabel NYY 1m	Rp15,000.00	4	Rp60,000.00
Total				Rp2,357,000.00

3.1.2.3 Analisis Resiko Desain 1.2

Pada desain 1.2 ini masih menggunakan desain turbin yang sama dengan desain 1.1, maka risikonya sama dengan desain 1.1. Hanya saja dengan penggunaan generator AC, dibutuhkan komponen elektronis tambahan sehingga dapat menambah biaya pembuatannya. Dimana generator memerlukan alat tambahan yang dapat digunakan untuk pengisian daya baterai yang berarus DC. Selain itu, harga untuk sebuah generator AC juga lebih besar dibandingkan dengan harga generator DC. Namun tidak dapat dipungkiri bahwa generator AC memiliki durabilitas yang lebih baik daripada generator DC karena generator AC tidak memiliki komponen yang bergesekkan secara langsung.

3.1.2.4 Pengukuran Performa 1.2

Desain yang dimiliki pada usulan 1.2 ini secara dimensi cukup ringkas sehingga mudah untuk dibawa, ringan, dan mudah diaplikasikan pada aliran sungai. Akan tetapi, perputaran turbin dapat terganggu apabila aliran air menenggelamkan seluruh bagian turbin *Water Wheel* dan cukup memakan waktu untuk mengatur tinggi kaki-kakinya. Melihat faktor lingkungan tersebut yang dapat mempengaruhi kinerja sistem PLTPh serta untukantisipasi, maka baterai didesain agar dapat melakukan pengisian di luar sistem.

Berdasarkan perhitungan secara teori menggunakan Persamaan 2.5 sampai 2.7, dengan rata-rata kecepatan air 0.3 m/s dan diameter turbin 30 cm, perkiraan putaran turbin adalah 8 rpm. Kemudian perhitungan daya secara teori dengan Turbin *Water Wheel* ini menghasilkan daya sebesar 21,26 watt dan dengan hasil perhitungan tersebut, ditentukan penggunaan generator dengan daya 30 watt. Perhitungan teoretis efisiensi dari PLTPh sekitar 16.3%.

Dalam segi elektronis, penggunaan generator AC kurang ideal karena diperlukan untuk pengisian daya baterai yang berarus DC sehingga sistem memiliki banyak rugi-rugi daya. Namun, generator AC memiliki durabilitas yang lebih tinggi daripada generator DC. Dengan kapasitas baterai 12Ah dan performa generator sesuai maka pengisian baterai 0-100% akan memakan waktu selama 3 jam.

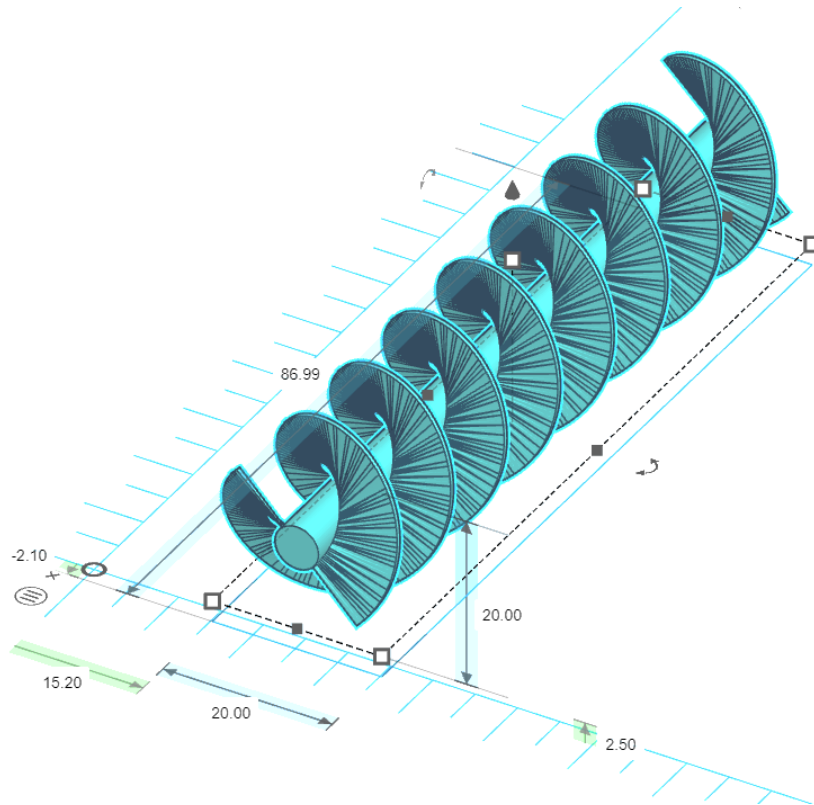
3.2 Usulan Solusi 2

Usulan kedua untuk PLTPH ini adalah menggunakan turbin jenis *Archimedes Screw*. Turbin jenis ini memiliki desain berbentuk spiral memanjang yang berputar tegak lurus dengan aliran air. Terdapat 2 usulan sistem elektronis dalam usulan kedua ini, yakni sistem elektronis yang menggunakan generator DC dan juga generator AC. Namun, baik DC maupun AC, sistem ini perlu menggunakan baterai. Tidak stabilnya sumber air mengalir menjadi masalah dalam kestabilan daya yang dihasilkan. Maka dari itu, dibutuhkan baterai agar daya yang dihasilkan tetap stabil dan juga menjadi cadangan energi ketika generator atau turbin bermasalah.

Material yang digunakan untuk pembuatan turbin *Archimedes screw* adalah material galvanis, hal ini dikarenakan galvanis memiliki beban yang ringan dan mudah didapatkan. Dan juga kerumitan pembuatan turbin menjadi salah satu pertimbangan. Turbin didesain dengan 2-*blade* karena debit air yang kecil sehingga dengan adanya *blade* tambahan ini turbin akan berputar lebih cepat. Bagian *frame* menggunakan material besi hollow karena kuat, kokoh dan ringan. *frame* pada bagian turbin dapat dibuka tutup sehingga dapat mempermudah pengguna untuk melakukan pemeliharaan jika turbin mengalami kerusakan atau tersumbat.

Sistem elektronis ditempatkan di dalam kotak terpisah dari konstruksi turbin dan generator. Hal ini bertujuan untuk menjaga keamanan komponen elektronis dari cipratan air dan resiko tenggelamnya sistem PLTPH ketika aliran air naik secara tiba-tiba. Meskipun sistem elektronis dibuat secara terpisah, namun kotak komponen elektronis dapat dirangkai menjadi satu ke konstruksi turbin guna mempermudah mobilitas ketika dibawa bepergian.

Dalam sistem ini, aliran air akan memutar turbin yang terhubung ke *pulley* diameter besar. Kemudian *pulley* besar akan memutar *pulley* kecil yang terhubung ke poros generator. Hal ini dimaksudkan agar generator memiliki putaran yang lebih banyak daripada turbin *archimedes* itu sendiri. Perhitungan kapasitas air menggunakan Persamaan 2.4 pada dengan debit $0.034\text{m}^3/\text{s}$ dan *head* 50cm didapatkan sebesar 183.26 watt.

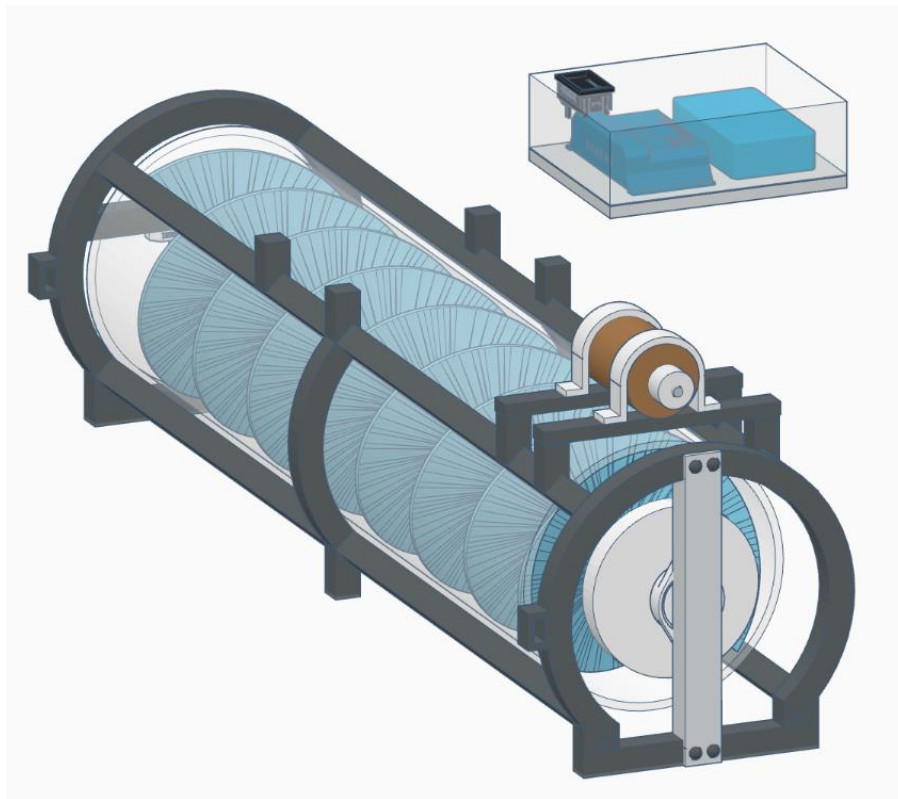


Gambar 3. 7 Desain turbin archimedes screw

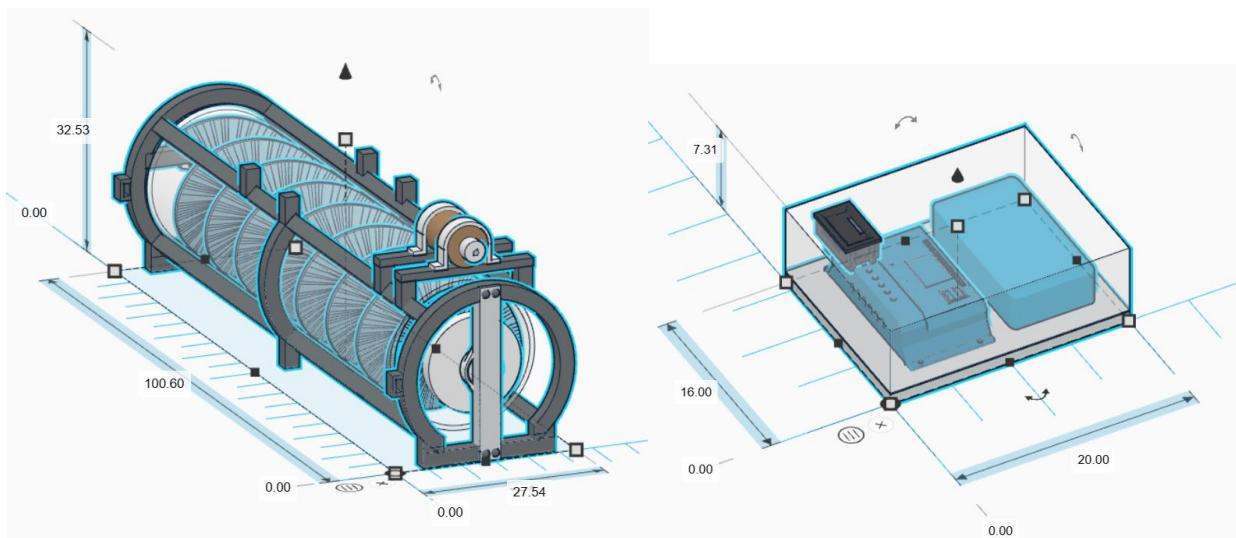
Tabel 3. 6 Spesifikasi turbin archimedes screw

Panjang Turbin	87 cm
Jumlah <i>Blade</i>	2
Diameter Turbin	20 cm
Diameter Poros	5 cm
Jarak 1 spiral/ <i>blade</i>	22 cm

Desain dan Spesifikasi Turbin *Archimedes Screw* pada Gambar 3.7 dan Tabel 3.5 merupakan hasil perhitungan mekanis berdasarkan parameter debit air minimal yang ada di lokasi sebesar 0,034 m³/detik.



Gambar 3. 8 Rancangan desain 2



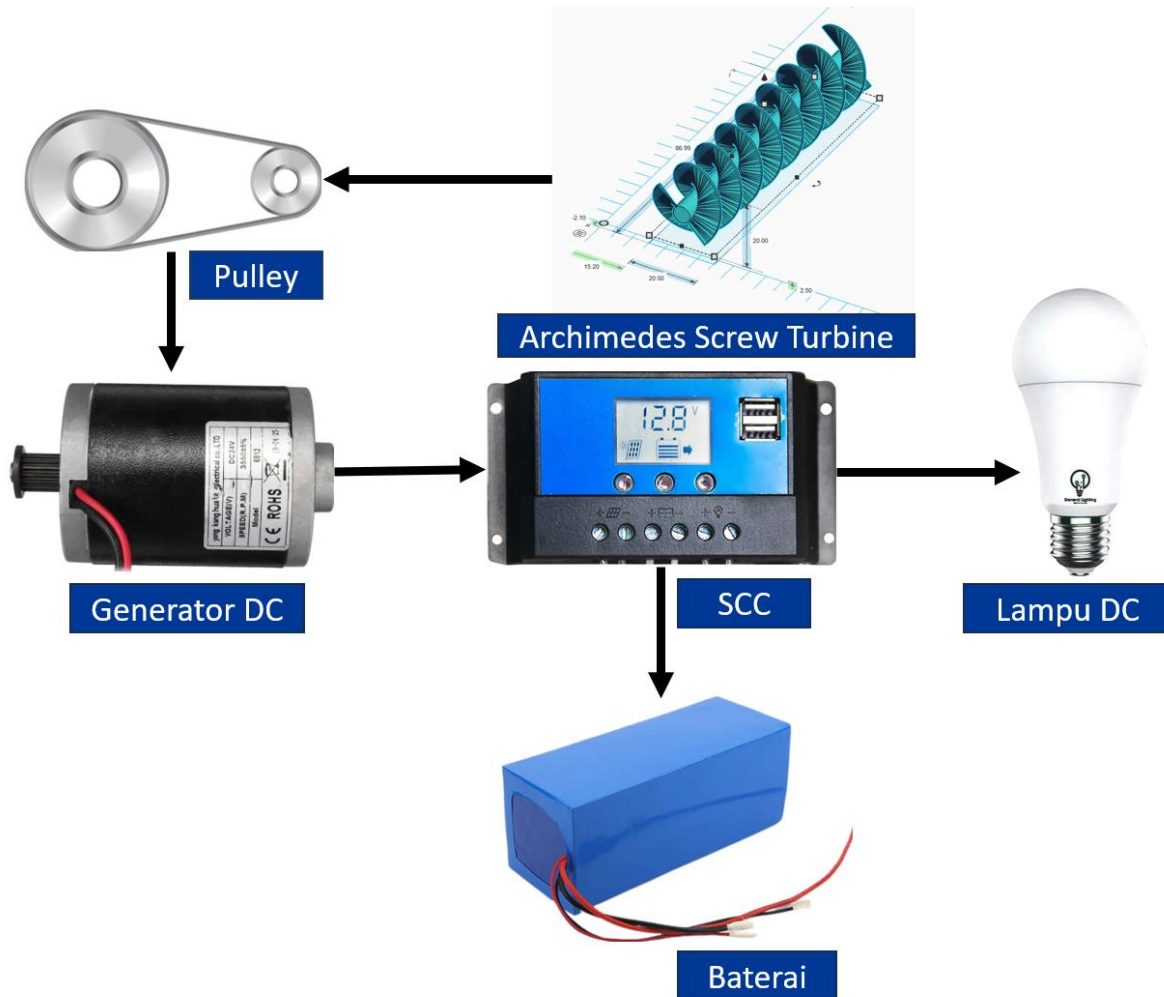
Gambar 3. 9 Dimensi desain 2

Pada Gambar 3.8 merupakan desain usulan 2 secara keseluruhan. Gambar 3.9 bagian kiri adalah desain rangka yang masuk ke air sedangkan bagian kanan adalah desain sistem elektronis yang di dalamnya terdapat SCC, baterai, dan voltmeter & amperemeter digital. Sistem elektronis dibuat terpisah dari rangka untuk mencegah kerusakan elektronis yang diakibatkan oleh air.

3.2.1 Usulan Solusi 2.1

Usulan solusi 2.1 ini sistem menggunakan turbin jenis *archimedes screw*, dengan menggunakan turbin ini, pengaplikasian sistem di lapangan dilakukan dengan memanfaatkan *head* dan posisi sistem dimiringkan. turbin terhubung dengan *pulley* untuk mentransfer energi yang dihasilkan ke generator. generator yang digunakan adalah generator DC dengan alasan biaya dan kemudahan pengisian baterai. baterai yang digunakan berkapasitas 12V 12Ah.

3.2.1.1 Desain Sistem 2.1



Gambar 3. 10 Skema usulan solusi 2.1

Skema usulan solusi 2.1 secara berurutan seperti pada Gambar 3.10 adalah air akan memutar turbin *archimedes screw* kemudian mentransfer energi yang dihasilkan menggunakan *pulley* ke generator, lalu generator akan menghasilkan energi listrik yang kemudian akan disimpan di baterai melewati SCC sebagai regulator tegangan yang masuk ke baterai. Jika beban akan

digunakan atau dinyalakan maka baterai akan memberikan sumber tegangan melalui SCC. Perangkat yang diperlukan untuk usulan solusi 2,1 ditunjukkan oleh Tabel 3.7

Tabel 3. 7 Kebutuhan perangkat keras usulan 2.1

No	Nama Alat	Keterangan
1	<i>Archimedes Screw Turbine</i>	Turbin memanfaatkan energi kinetik air sebagai sumber energi mekanis atau energi gerak. Energi gerak tersebut terhubung dengan generator sebagai pembangkit listrik. Tipe turbin dipilih sesuai dengan kapasitas PLTPH. Turbin dibuat dari bahan baja ringan.
2	Generator DC 50 Watt	Generator yang digunakan adalah generator DC dikarenakan untuk mengurangi biaya dan jumlah komponen yang dapat mempengaruhi beban keseluruhan. Serta memudahkan proses pengisian baterai. Generator DC 50Watt karena berdasarkan hasil perhitungan kapasitas daya sesuai turbin.
3	Baterai Li-Ion 12V 12Ah	Baterai dapat mengisi dengan generator atau pengisian dengan listrik perumahan. Baterai yang digunakan adalah <i>Li-ion cell</i> dengan tegangan kerja 12 V dan kapasitas 12 Ah. Ini dapat bertahan selama 24 jam untuk beban lampu AC 6 watt.
4	<i>Solar Charge Controller</i> 10A	<i>Solar Charge Controller</i> (SCC) dapat meregulasi arus dan tegangan yang masuk ke baterai dan dari baterai ke inverter. Dipilih SCC dengan rating 10A karena arus yang dihasilkan generator adalah 4A
5	Kabel 5 Meter	Panjang 5 meter berdasarkan pertimbangan karena sistem berjauhan dengan beban. Selain itu, kabel juga harus memiliki sifat fleksibilitas tinggi agar mudah digulung, disimpan, dan dapat menjangkau berbagai kondisi lingkungan. kabel yang akan digunakan adalah jenis NYY karena dilapisi oleh PVC.

3.2.1.2 Rencana Anggaran Biaya Desain Sistem 2.1

Pada Tabel 3.8 adalah rencana anggaran biaya usulan 2.1. biaya yang diperlukan oleh usulan 2.1 memiliki biaya yang sedikit lebih banyak dibandingkan dengan usulan 1.1 karena jumlah material yang digunakan lebih banyak karena ukuran turbin dan rangka lebih besar. tidak ada komponen tambahan pada usulan ini.

Tabel 3. 8 Rencana anggaran biaya usulan 2.1

No	Item/Pengeluaran	Harga	Jumlah	Harga Total
1	Generator DC 50 Watt	Rp182,000.00	1	Rp182,000.00
2	<i>Solar Charge Controller</i> 10A	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
3	Li-ion 12V 12Ah	Rp350,000.00	1	Rp350,000.00
4	<i>Pulley</i>	Rp150,000.00	1	Rp150,000.00
5	Jasa Las	Rp150,000.00	1	Rp150,000.00
6	Plat Galvanis 90cm x 200cm	Rp89,000.00	3	Rp267,000.00
7	Besi Hollow 2x2 2m	Rp40,000.00	3	Rp120,000.00
8	Akrilik 20x30cm	Rp13,000.00	3	Rp39,000.00
9	Cover Stop Kontak	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
10	Bearing KFL004	Rp35,000.00	1	Rp35,000.00
11	Bearing KP004	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
12	As Drat 1 m	Rp8,000.00	1	Rp8,000.00
13	Voltmeter	Rp35,000.00	1	Rp35,000.00
14	Kabel NYY 1m	Rp15,000.00	5	Rp75,000.00
Total				Rp1,531,000.00

3.2.1.3 Analisis Resiko Desain 2.1

Pada desain 2.1 ini, desain turbin *archimedes* dengan diameter 20 cm mempengaruhi ukuran *pulley* yang berada di poros turbin. Ukuran *pulley* menjadi lebih kecil dibandingkan *pulley* pada *Water Wheel*, sehingga putaran generator tidak begitu banyak. Putaran yang tidak banyak ini dapat mempengaruhi kurangnya daya yang dihasilkan generator, di mana semakin banyak dan cepat perputarannya maka daya yang dihasilkan oleh generator juga semakin besar. Akan tetapi, turbin

archimedes lebih unggul ketika aliran air memiliki ketinggian yang sama dengan turbin, karena tidak perlu banyak penyesuaian agar putaran turbinnya efektif.

Penggunaan generator DC memiliki kekurangan dalam segi durabilitasnya apabila digunakan dalam jangka waktu yang panjang. Hal ini disebabkan oleh penggunaan komponen brush yang terus menerus bergesekan dengan komutator sehingga memungkinkan terjadinya keausan pada brush. Tidak seperti generator AC, dimana magnet permanen diputar mengelilingi kumparan. Namun, karena arus listrik yang dihasilkan generator DC merupakan arus DC, maka generator DC lebih baik untuk sistem elektronis yang menggunakan sistem pengisian daya baterai.

Dengan sistem elektronis yang berada di dekat air, maka diperlukan material dan sistem tambahan untuk menjaga keamanan dan ketahanan sistem elektronis terhadap air. Sistem tambahan ini dapat berupa *seal*/segel karet yang mengelilingi kotak komponen elektronis.

3.2.1.4 Pengukuran Performa 2.1

Desain pada usulan 2.1 ini memiliki dimensi yang sedikit lebih besar dari pada usulan 1. Meski demikian, secara dimensi masih tergolong ringkas walaupun memanjang sehingga masih relatif mudah untuk dibawa, ringan, dan mudah diaplikasikan pada aliran sungai. Akan tetapi, dengan desain yang memanjang menjadikannya cukup sulit untuk disimpan. Untuk komponen elektronis diletakkan di tempat yang tidak berpotensi terkena air agar sistem dapat bekerja dengan baik dan berkelanjutan.

Berdasarkan perhitungan secara teori pada Persamaan 2.8, dengan rata-rata kecepatan air 0.3 m/s dan diameter turbin 20 cm, perkiraan putaran turbin adalah 26,738 rpm. Kemudian perhitungan teoretis efisiensi dari PLTPH ini mencapai sekitar 27.28%.

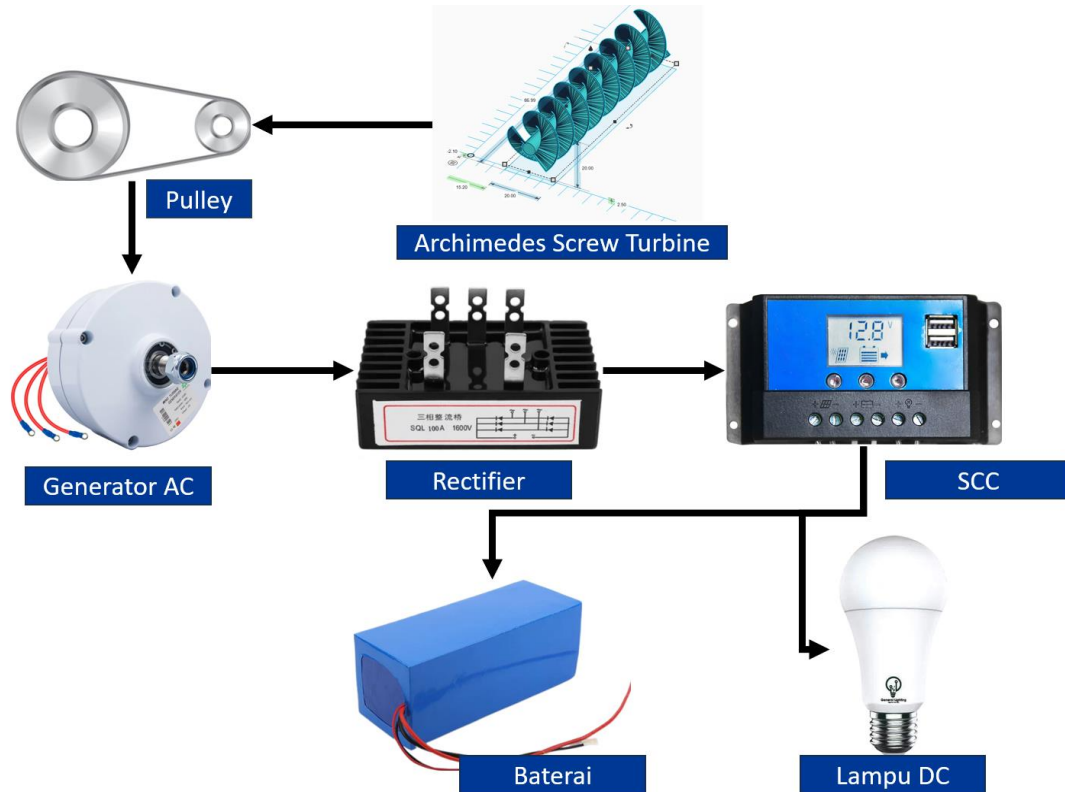
Dalam segi elektronis, penggunaan generator DC lebih ideal karena diperlukan untuk pengisian daya baterai yang berarus DC sehingga tidak mengalami banyak rugi-rugi daya. Namun, generator DC memiliki durabilitas yang tidak begitu baik dibandingkan dengan generator AC. Dengan kapasitas baterai 12 Ah dan arus yang dihasilkan generator adalah 4A maka pengisian baterai 0-100% akan memakan waktu selama 3 jam.

3.2.2 Usulan Solusi 2.2

Usulan solusi 2,2 menggunakan turbin *archimedes screw* sebagai sumber energi untuk memutar generator agar dapat menghasilkan listrik. generator yang digunakan adalah generator

AC sehingga memerlukan penyearah untuk mengubah listrik AC menjadi listrik DC sehingga dapat melakukan pengisian baterai dengan kapasitas 12V 12Ah.

3.2.2.1 Desain Sistem 2.2



Gambar 3. 11 Skema usulan solusi 2.1

skema usulan 2.1 yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11 ini yaitu generator AC akan berputar karena energi kinetik yang dihasilkan oleh turbin *archimedes screw* kemudian energi listrik yang dihasilkan oleh generator akan diubah menggunakan penyearah AC menjadi DC. listrik DC tersebut dapat mengisi baterai yang berguna untuk menyimpan energi listrik dan dapat digunakan saat beban dinyalakan. Kebutuhan perangkat yang diperlukan ditunjukkan oleh Tabel 3.9.

Tabel 3. 9 Kebutuhan perangkat keras usulan 2.2

No	Nama Alat	Keterangan
1	<i>Archimedes Screw</i> Turbine	Turbin memanfaatkan energi kinetik air sebagai sumber energi mekanis atau energi gerak. Energi gerak tersebut terhubung dengan generator sebagai pembangkit listrik. Tipe turbin dipilih sesuai dengan kapasitas PLTPH. Turbin dibuat dari bahan baja ringan.
2	Generator AC 50 Watt	Generator yang digunakan adalah generator DC dikarenakan untuk mengurangi biaya dan jumlah komponen yang dapat mempengaruhi beban keseluruhan. Serta memudahkan proses pengisian baterai. Generator AC 50Watt karena berdasarkan perhitungan kapasitas daya sesuai turbin.
3	Rectifier 10A 12V	Rectifier digunakan untuk mengubah arus AC menjadi DC dengan tujuan pengisian baterai dapat terjadi, baterai tidak dapat bekerja dengan arus AC.
4	Baterai Li-Ion 12V 12Ah	Baterai dapat mengisi dengan generator atau pengisian dengan listrik perumahan. Baterai yang digunakan adalah <i>Li-ion cell</i> dengan tegangan kerja 12 V dan kapasitas 12 Ah. Ini dapat bertahan selama 24 jam untuk beban lampu AC 6 watt.
5	<i>Solar Charge Controller</i> 10A	<i>Solar Charge Controller (SCC)</i> dapat meregulasi arus dan tegangan yang masuk ke baterai dan dari baterai ke inverter. Dipilih SCC dengan rating 10A karena arus yang dihasilkan generator adalah 4A
6	Kabel 5 Meter	Panjang 5 meter berdasarkan pertimbangan karena sistem berjauhan dengan beban. Selain itu, kabel juga harus memiliki sifat fleksibilitas tinggi agar mudah digulung, disimpan, dan dapat menjangkau berbagai kondisi lingkungan. kabel yang akan digunakan adalah jenis NYY karena dilapisi oleh PVC.

3.2.2.2 Rencana Anggaran Biaya Desain Sistem 2.2

Rencana anggaran biaya usulan 2.2 ini memiliki biaya yang paling tinggi di antara usulan solusi lainnya karena memerlukan jumlah material yang banyak dan pemilihan generator AC yang memiliki harga tinggi. Rencana anggaran biaya ditunjukkan oleh Tabel 3.10.

Tabel 3. 10 Rencana anggaran biaya usulan 2.2

No	Item/Pengeluaran	Harga	Jumlah	Harga Total
1	Generator AC 50 Watt	Rp1,000,000.00	1	Rp1,000,000.00
2	<i>Solar Charge Controller</i> 10A	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
3	Rectifier 10A 12V	Rp60,000.00	1	Rp60,000.00
4	Li-ion 12V 12Ah	Rp350,000.00	1	Rp350,000.00
5	<i>Pulley</i>	Rp150,000.00	1	Rp150,000.00
6	Jasa Las	Rp150,000.00	1	Rp150,000.00
7	Plat Galvanis 90cm x 200cm	Rp89,000.00	3	Rp267,000.00
8	Besi Hollow 2x2 2m	Rp40,000.00	3	Rp120,000.00
9	Akrilik 20x30cm	Rp13,000.00	3	Rp39,000.00
10	Cover Stop Kontak	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
11	Bearing KFL004	Rp35,000.00	1	Rp35,000.00
12	Bearing KP004	Rp40,000.00	1	Rp40,000.00
13	As Drat 1 m	Rp8,000.00	1	Rp8,000.00
14	Voltmeter	Rp35,000.00	1	Rp35,000.00
15	Kabel NYY 1m	Rp15,000.00	5	Rp75,000.00
Total				Rp2,409,000.00

3.2.2.3 Analisis Resiko Desain 2.2

Pada desain 2.2 ini masih menggunakan desain turbin yang sama dengan desain 2.1, maka risikonya sama dengan desain 2.1. Hanya saja dengan penggunaan generator AC, dibutuhkan komponen elektronis tambahan sehingga dapat menambah biaya pembuatannya. Dimana generator memerlukan alat tambahan yang dapat digunakan untuk pengisian daya baterai yang berarus DC. Selain itu, harga untuk sebuah generator AC juga lebih besar dibandingkan dengan harga generator DC. Namun tidak dapat dipungkiri bahwa generator AC memiliki durabilitas yang lebih baik daripada generator DC karena generator AC tidak memiliki komponen yang bergesekan secara langsung.

3.2.2.4 Pengukuran Performa 2.2

Desain pada usulan 2.1 ini memiliki dimensi yang sedikit lebih besar dari pada usulan 1. Meski demikian, secara dimensi masih tergolong ringkas walaupun memanjang sehingga masih relatif mudah untuk dibawa, ringan, dan mudah diaplikasikan pada aliran sungai. Akan tetapi, dengan desain yang memanjang menjadikannya cukup sulit untuk disimpan. Untuk komponen elektronis diletakkan di tempat yang tidak berpotensi terkena air agar sistem dapat bekerja dengan baik dan berkelanjutan.

Berdasarkan perhitungan secara teori, dengan rata-rata kecepatan air 0.3 m/s dan diameter turbin 20 cm, perkiraan putaran turbin adalah 26,738 rpm. Kemudian perhitungan teoritis efisiensi dari PLTPH ini mencapai sekitar 27.28%.

Dalam segi elektronis, penggunaan generator AC kurang ideal karena diperlukan untuk pengisian daya baterai yang berarus DC sehingga sistem memiliki banyak rugi-rugi daya. Namun, generator AC memiliki durabilitas yang lebih tinggi daripada generator DC. Dengan kapasitas baterai 12 Ah dan apabila arus yang dihasilkan generator mencapai 4A maka pengisian baterai 0-100% akan memakan waktu selama kurang lebih 3 jam.

3.3 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik

Berdasarkan pertimbangan dari segala aspek, maka usulan yang terbaik adalah usulan 1.1, yakni **PLTPH Turbin Water Wheel dengan Generator DC**. Dalam segi biaya pembuatan, desain turbin *Water Wheel* dengan generator DC paling murah daripada usulan lain. Dimana berdasarkan rencana anggaran biaya pada Tabel 3.2, usulan 1.1 memiliki biaya Rp1,404,500.00. Lebih

rendahnya anggaran ini juga dipengaruhi oleh pemilihan generator DC yang tidak perlu komponen tambahan untuk mengubah jenis arus listrik agar bisa digunakan untuk pengisian daya baterai.

Aspek lain yang tak kalah penting ialah bobot atau berat sistem PLTPH. Sesuai dengan tujuan awal perancangan alat yang berkaitan dengan portabilitas. Bobot yang ringan dapat mempermudah pengguna dalam membawa, memindahkan alat, serta pemasangan di lokasi. Secara dimensi, turbin *Water Wheel* memiliki dimensi 48 x 46 cm dengan lebar alat sebesar 13-20 cm, sedangkan turbin *Archimedes* panjangnya menyentuh angka 1 meter dan lebar alatnya pun lebih dari 20 cm sehingga masih kurang memiliki sifat portabilitas. Didapatkan dimensi tersebut berdasarkan perhitungan diameter turbin dan posisi peletakannya pada saat diaplikasikan.

Tingkat kerumitan dalam pembuatannya dapat dipengaruhi pula oleh konstruksi turbin dan pemilihan generator. Dengan konstruksi turbin *Archimedes* yang memiliki bahan besi, dapat menambah kerumitan dalam proses pembuatannya dan memungkinkan adanya tambahan biaya untuk jasa las turbin. Sedangkan dengan turbin *Water Wheel*, penggunaan jasa las dalam proses pembuatannya hanya sedikit sehingga biaya jasa las dapat ditekan. Dari segi pemilihan generator, generator AC juga dapat menambah kerumitan dalam sistem elektronis karena adanya penambahan komponen penyearah. Tidak seperti generator DC. Selain itu generator AC juga sulit dicari di pasaran.

Dalam aspek sistem elektronis, untuk menambah efisiensi daya yang dihasilkan, dibutuhkan sistem elektronis yang memiliki sedikit rugi-rugi daya. Maka dari itu, penggunaan generator DC lebih tepat karena generator DC tidak membutuhkan tambahan komponen untuk proses pengisian baterai. Tidak seperti generator AC yang membutuhkan penyearah yang dapat menambah rugi-rugi daya hanya untuk pengisian daya baterai.

Untuk proses pemeliharaan alat seperti mengecek kondisi turbin, akan lebih mudah dilakukan dengan desain sistem turbin *Water Wheel* usulan pertama. Dengan desain tersebut, pengguna dapat lebih mudah melakukan bongkar pasang turbin apabila diperlukan. Hanya perlu melepas beberapa baut saja dan menarik turbin keluar serta tidak perlu membongkar rangka seperti desain turbin *Archimedes*.

3.4 Gantt Chart

No.	Kegiatan/Capaian	Bulan ke -											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Survei dan identifikasi permasalahan	G,R	G,R										
2	Mencari literatur dan informasi untuk kebutuhan dan spesifikasi sistem	G,R	G,R	G,R									
3	Mengumpulkan seluruh ide solusi dan finalisasi usulan perancangan sistem beserta manajemen dan rancangan belanja			G,R	G,R								
4	Pengumpulan proposal Tugas Akhir 1/ <i>Capstone Project</i> dan seminar				G,R								
5	Pembelian alat dan bahan					G	R	G,R					
6	Pembuatan rangka dan turbin								G,R	G,R			
7	Pengujian laboratorium									G,R	G,R		
8	Pengujian Lapangan											G,R	G,R
9	Expo dan pengumpulan laporan akhir												G,R

Ket.: PIC – *Person in Charge* G : Galang Ismu Kurniawan, R : Muhammad Rifan Ghifari

3.5 Realisasi Pelaksanaan TA1

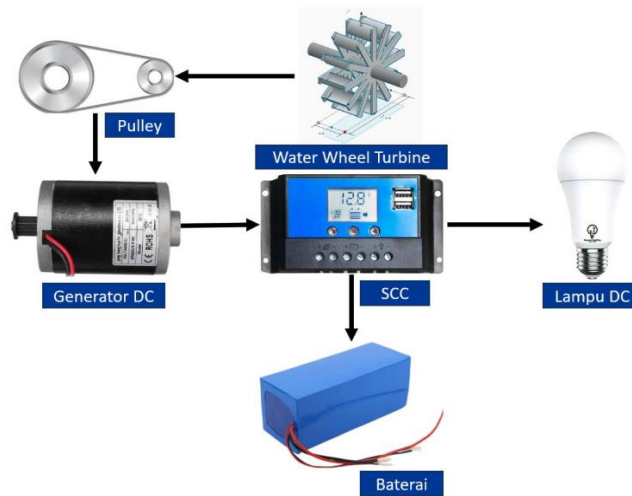
No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	25 September 2023, 2 Jam	Survei lokasi	Rifan Galang
3	1 Oktober 2023, 1 Jam	Survei debit air dan head	Rifan Galang
3	6 November 2023, 3 Jam	Studi literatur	Rifan Galang
4	17 November 2023, 2 Jam	Perhitungan dimensi Undershot <i>Water Wheel</i> Turbine, 3D design sistem dengan <i>Water Wheel</i> Turbine.	Rifan Galang
5	27 November 2023, 3 jam	Perhitungan dimensi <i>Archimedes Screw</i> Turbine, 3D desain sistem dengan <i>Archimedes Screw</i> Turbine, Rencana Anggaran Biaya	Rifan Galang
6	23 November 2023, 1 Jam	Rencana Anggaran Biaya	Rifan Galang

BAB 4. HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN

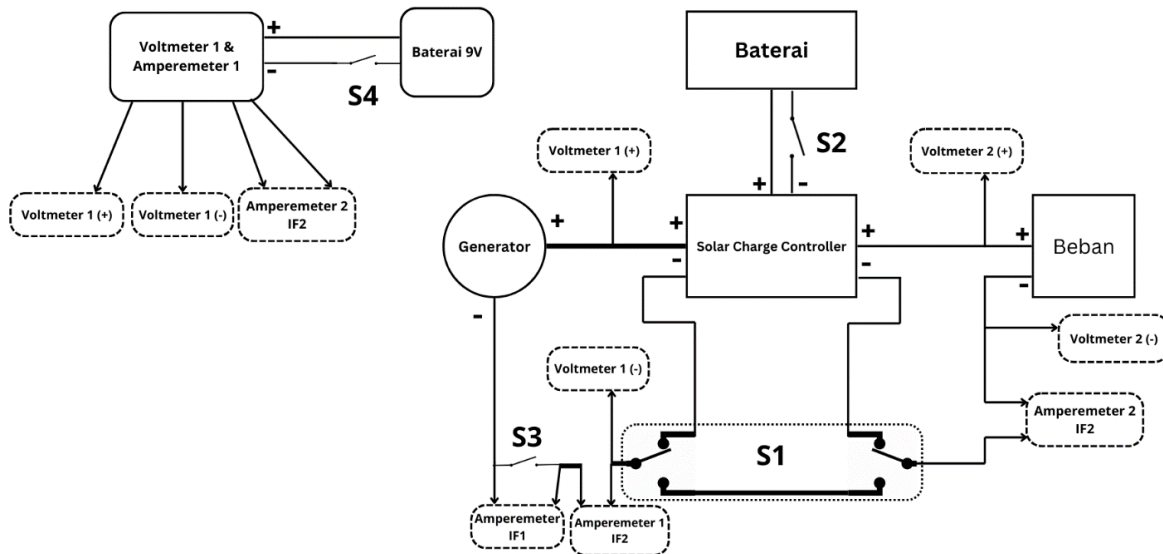
4.1 Hasil Rancangan Sistem

1. Rangkaian elektronik

Rangkaian elektronik rancangan PLTPh portabel terdiri dari 4 (empat) komponen utama yaitu generator, *solar charge controller* (SCC), baterai, dan beban. Gambar rangkaian elektronik ditunjukkan oleh Gambar 4.1 di bawah ini. Rangkaian ini sesuai dengan rancangan usulan solusi yang dipilih. Dan untuk *wiring diagram* panel kontrol elektronis ditunjukkan oleh Gambar 4.2



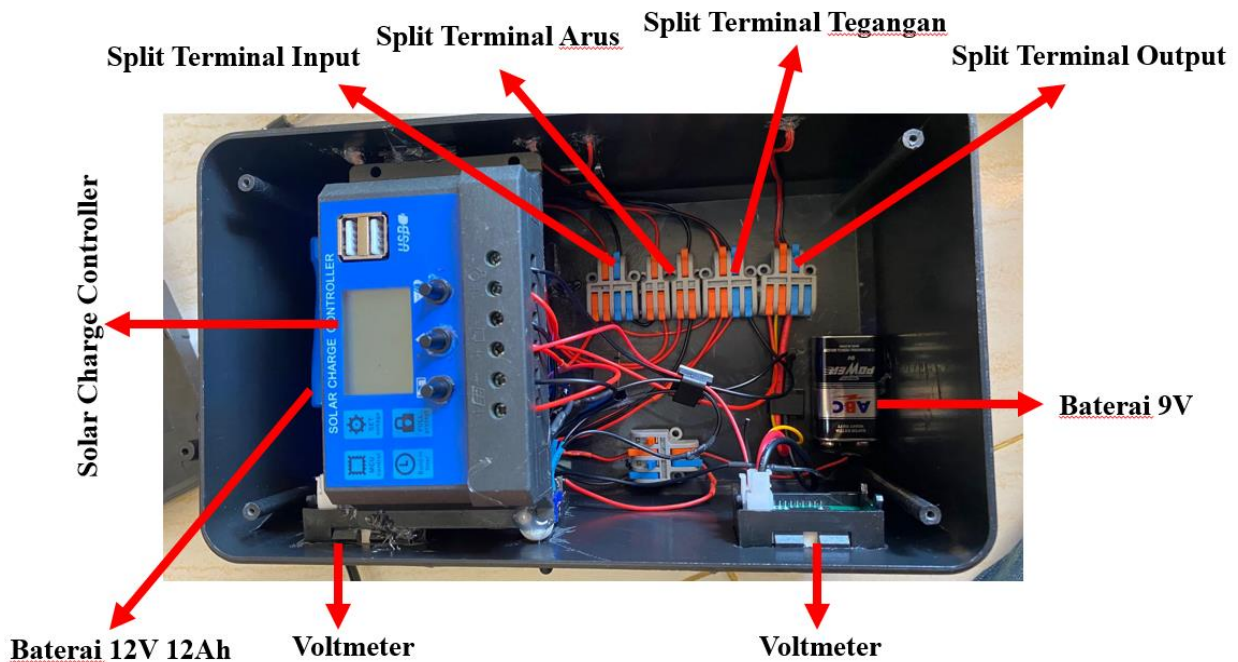
Gambar 4. 1 Rangkaian elektronik PLTPh portabel



Gambar 4. 2 Wiring diagram panel kontrol

Box atau panel kontrol/sistem elektris pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4 memiliki dimensi 24cm x 14 cm 12 cm dengan bahan plastik, panel kontrol didesain agar mudah dibawa, informatif serta aman secara elektris. Panel kontrol memiliki 2 voltmeter dan amperemeter untuk mengukur tegangan dan arus *input* maupun *output*. Memiliki 4 saklar dengan fungsi yang berbeda-beda. Tutup panel kontrol didesain untuk melakukan pengoperasian SCC dari luar agar tetap aman dari air. Terdapat juga 4 socket untuk *input*, *output* dan pengukuran tegangan dan arus menggunakan IoT.

Bagian dalam kontrol panel dirancang agar tertata dan tidak bergerak ketika digunakan, sehingga baterai memiliki *fitting* untuk baterai 18650 3s 4p. Baterai 9V digunakan untuk mengoperasikan satu voltmeter untuk pengukuran tegangan dan arus generator. Foto bagian dalam panel kontrol dapat dilihat pada Gambar 4.3.



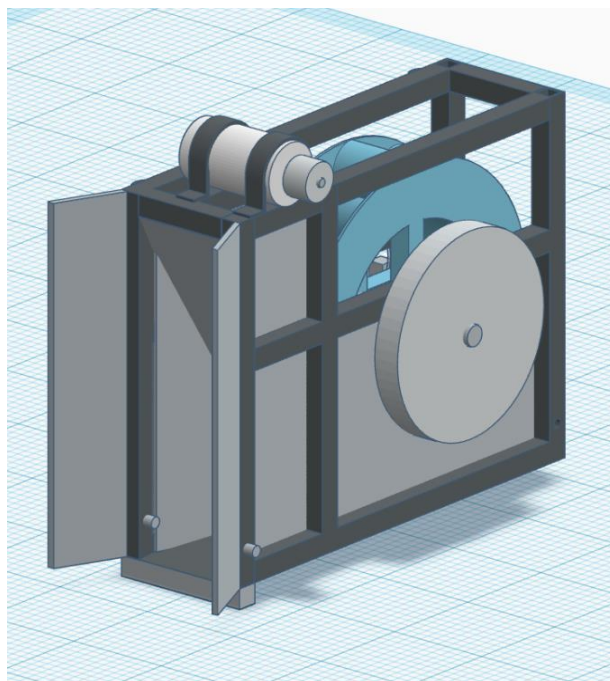
Gambar 4. 3 Tampak dalam panel kontrol elektronis



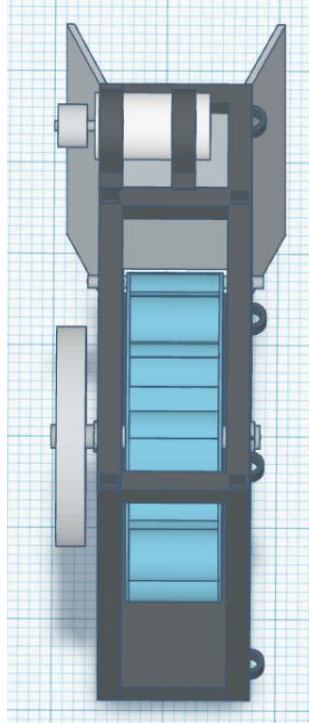
Gambar 4. 4 Tampak luar panel kontrol elektronis

2. Gambar desain tiga dimensi (3D)

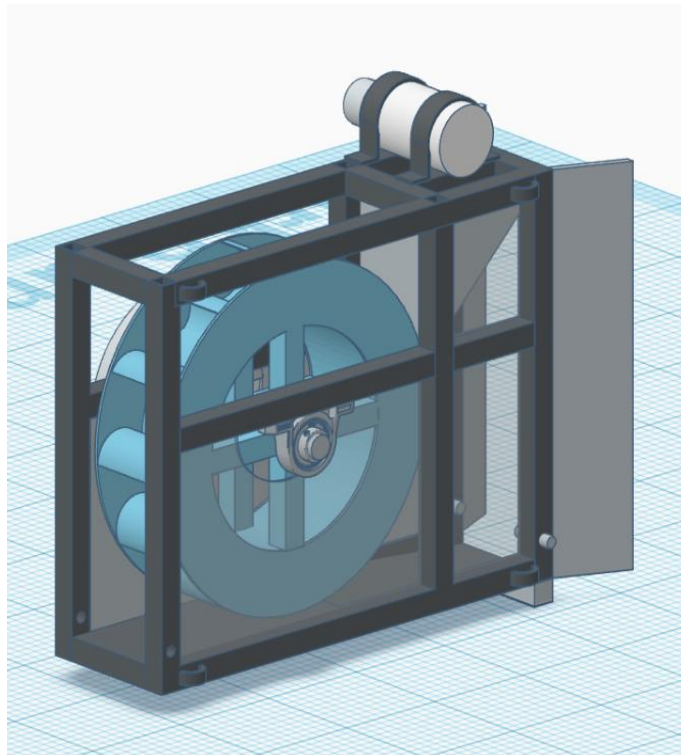
Pada Gambar 4.5 hingga 4.7 adalah gambar desain 3D dari sistem turbin dan generator pada sistem PLTPh Portabel.



Gambar 4. 5 Desain 3D PLTPh portabel



Gambar 4. 6 Tampak atas desain 3D PLTPh portabel



Gambar 4. 7 Tampak samping desain 3D PLTPh portabel

4. Foto hasil akhir perancangan

Pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10, turbin dirancang dengan jumlah *blade* 12 buah berdasarkan hasil perhitungan, turbin merupakan jenis *undershot water wheel*, turbin dihubungkan dengan *pulley* agar dapat mentransfer energi kinetik yang dihasilkan ke *pulley* yang terhubung dengan generator. *Frame* dirancang agar dapat divariasikan ketinggian *input* airnya.



Gambar 4. 8 Desain akhir perancangan Sistem PLTPh



Gambar 4. 9 Tampak atas hasil perancangan Sistem PLTPh



Gambar 4. 10 Tampak samping hasil perancangan Sistem PLTPH

4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan

Pada pengukuran kinerja *portable pikohidro* akan dilakukan beberapa metode untuk mengukur kinerja dan performa alat. Beberapa di antaranya adalah pengukuran performa generator dengan beban dan tanpa beban. Pengukuran ini dilakukan dengan alasan agar mengetahui performa generator secara riil tanpa beban dan setelah dihubungkan dengan beban. Yang menjadi parameter dalam pengukuran ini adalah debit air, putaran turbin (rpm), putaran generator (rpm), tegangan generator (volt), arus generator (ampere), dan daya (watt). Pengukuran performa alat dilakukan di beberapa lokasi berbeda dengan debit yang bervariasi, tujuan dilakukannya percobaan di beberapa lokasi yaitu untuk menguji portabilitas alat. Aspek lain yang akan diukur adalah ketahanan alat, metode yang akan digunakan adalah alat akan dibiarkan bekerja dalam periode tertentu lalu kondisi alat akan diamati. Berikut adalah langkah pengukuran pada setiap parameteranya.

1. Perbandingan Debit dengan kecepatan Turbin dan Generator serta Tegangan dan Arus Listrik Generator.
 - a. Menghitung debit air mengalir yang akan digunakan untuk memutar turbin menggunakan perhitungan
 - b. Mengukur kecepatan putaran pada Turbin dan Generator dalam rpm menggunakan *tachometer*
 - c. Mengukur Tegangan dan Arus listrik Generator menggunakan multimeter digital
2. Perbandingan rpm dengan Tegangan dan Arus Listrik Generator
 - a. Mengukur kecepatan putaran pada Turbin dan Generator dalam rpm menggunakan *tachometer*
 - b. Mengukur Tegangan dan Arus listrik Generator menggunakan multimeter digital

3. Ketahanan/Durabilitas

- a. Mengamati kondisi alat saat digunakan

4. Portabilitas

- a. Mengukur dimensi alat
- b. Mengukur massa alat

BAB 5. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

Bab ini menyajikan hasil pengukuran dan analisis yang diperoleh dari pengujian PLTPh Portabel yang berguna untuk memahami dan mengevaluasi sistem PLTPh Portabel yang telah dirancang. Melalui pengumpulan data yang sistematis dan proses analisis yang teliti, pengujian ini bertujuan untuk menggali hubungan antara debit air, putaran turbin, generator dengan tegangan atau daya yang dihasilkan. Hasil-hasil yang dihadirkan dalam bab ini diharapkan dapat memberikan wawasan mendalam dan pemahaman yang lebih baik terhadap PLTPh Portabel secara umum.

5.1. Analisis Hasil

Setelah melakukan perancangan dan pengujian, perlu dilakukan analisis guna mengetahui hubungan antara parameter, performa, pengalaman pengguna, dan perbandingan usulan dan realisasinya.

5.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Indikator

Pada tahap pengujian sistem, beberapa parameter yang menjadi parameter perhitungan antara lain adalah:

1. Debit aliran air
2. Putaran pada turbin dan generator
3. Tegangan dan arus yang dibangkitkan oleh generator
4. Daya generator
5. Kondisi fisik kotak elektris dan turbin secara keseluruhan
6. Posisi turbin terbaik
7. Portabilitas sistem

Dari parameter yang sudah disebutkan, proses pengambilan data dilakukan sebanyak dua kali yakni di Laboratorium dan di sebuah aliran air di Desa Pakembinangun dan Desa Hargobinangun, Kecamatan Pakem. Pada pengambilan data di Laboratorium, data-data yang diambil adalah putaran pada turbin dan generator, tegangan, arus dan daya. Turbin diputar menggunakan air kran. Kemudian proses pengambilan data di lapangan dilakukan dengan turbin dibawa menggunakan kendaraan sepeda motor yang tersedia ruang kosong di bagian depan, turbin diletakkan pada jatuhnya air setinggi 15 cm dan kotak elektris diletakkan di atas aliran air atau tidak terkena air sama sekali. Posisi sistem saat melakukan percobaan menjadi faktor yang dapat

mempengaruhi putaran turbin. perbandingan *pulley* turbin dan generator adalah 1:3-4 sehingga dapat menyebabkan satu putaran *pulley* sama dengan tiga atau empat putaran pada generator. Kedua percobaan ini menggunakan alat ukur multimeter untuk arus dan *tachometer* untuk putaran turbin dan generator.

Berikut adalah hasil pengujian Laboratorium menggunakan bor dan air keran sebagai sumber energi untuk memutar turbin dengan debit air 0.000167 m³/detik.

Tabel 5. 1 Pengujian menggunakan mesin bor tanpa beban pada generator

No	Putaran (rpm)	Tegangan (Volt)
	Generator	
1	300	10.3
2	500	15.7
3	800	30.4
4	1000	36.7
5	1400	48.8

Pengujian menggunakan mesin bor dilakukan untuk memastikan kualitas generator. Pada pengujian ini kecepatan putar diatur dalam lima kecepatan, antara lain 300 rpm, 500 rpm, 800 rpm, 1000 rpm, dan 1400 rpm. Mesin bor dihubungkan langsung ke poros generator. Dalam pengujian ini didapatkan peningkatan kecepatan berbanding lurus dengan peningkatan tegangan. Selain itu, dengan data tersebut generator masih dalam kondisi yang baik untuk digunakan.

Tabel 5. 2 Pengujian menggunakan air keran tanpa beban pada generator

No	Debit Air (cm ³ /detik)	Putaran (rpm)		Tegangan (Volt)
		Turbin	Generator	
1	167	40	169	5.2
2	167	220	720	24.2
3	167	224	738	25.2
4	167	73	480	16.2
5	167	66	430	14

Pada Tabel 5.2, dapat dilihat bahwa nilai rpm berubah-ubah meskipun debit air keran sama. Hal ini disebabkan oleh pengaturan tekanan air dan posisi air saat mengenai turbin berbeda-beda. Pengaturan tekanan air dilakukan dengan cara mengatur luas lubang selang pada kran. Dengan pengaturan tersebut tekanan air akan bertambah namun debitnya tetap sama. Berdasarkan proses percobaan tersebut dapat disimpulkan bahwa bukan hanya debit air yang mempengaruhi kecepatan

putar turbin, melainkan juga tekanan dan posisi air saat mengenai turbin. Dengan pengaturan posisi air dari atas dengan tekanan yang tinggi, didapatkan kecepatan putaran turbin paling tinggi yakni 224 rpm pada turbin dan 738 rpm pada generator. Perbedaan rpm turbin dengan generator karena perbedaan diameter *pulley*. Putaran ini menghasilkan tegangan 25.2 volt. Proses pengambilan data menggunakan air keran dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5. 1 Pengaturan Posisi Selang



Gambar 5. 2 Pengukuran rpm pada generator

Tabel 5. 3 Pengujian menggunakan air keran dengan beban lampu DC 12W pada generator

No	Debit Air (cm ³ /detik)	Putaran (rpm)		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
		Turbin	Generator			
1	167	75	300	10	0.2	2
2	167	128	500	12	0.5	6
3	167	130	522	12.8	0.52	6.656
4	167	105	420	10.8	0.45	4.86
5	167	123	480	11.2	0.48	5.376

Pada tabel 5.3 di tersebut, kecepatan putar tertinggi yang bisa didapatkan adalah 522 rpm pada generator dengan tegangan sebesar 12.8 volt dan arus 0.52 ampere, sehingga daya yang dikeluarkan generator untuk menghidupkan lampu 12 watt adalah 6.656 watt menggunakan persamaan Hukum Ohm yaitu $P = V \times I$. Dalam pengujian ini, rpm tidak dapat lebih tinggi dari 522 dikarenakan putaran pada generator menjadi berat.

Tabel 5. 4 Pengujian menggunakan air keran dengan beban full sistem pada generator

No	Debit Air (cm ³ /detik)	Putaran (rpm)		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
		Turbin	Generator			
1	167	100	400	12.3	0.03	0.369
2	167	98	350	12.2	0.05	0.61
3	167	110	386	12.3	0.04	0.492
4	167	150	513	12.3	0.5	6.15

Tabel 5.4 menunjukkan hasil daya generator ketika dihubungkan dengan sistem elektronis berupa SCC, Baterai 12 volt, dan lampu DC 12 watt. Data tersebut menunjukkan keanehan pada kecepatan 400 rpm dan 350 rpm, di mana 400 rpm pada generator menghasilkan arus yang lebih kecil daripada 350 rpm. Keanehan ini terjadi karena proses pengisian daya baterai. Dalam

pengisian daya baterai, ketika tegangan baterai semakin tinggi dan mendekati kapasitas penuh, maka arus listrik yang masuk ke baterai akan perlahan berkurang hingga mencapai 0.

Keterangan:

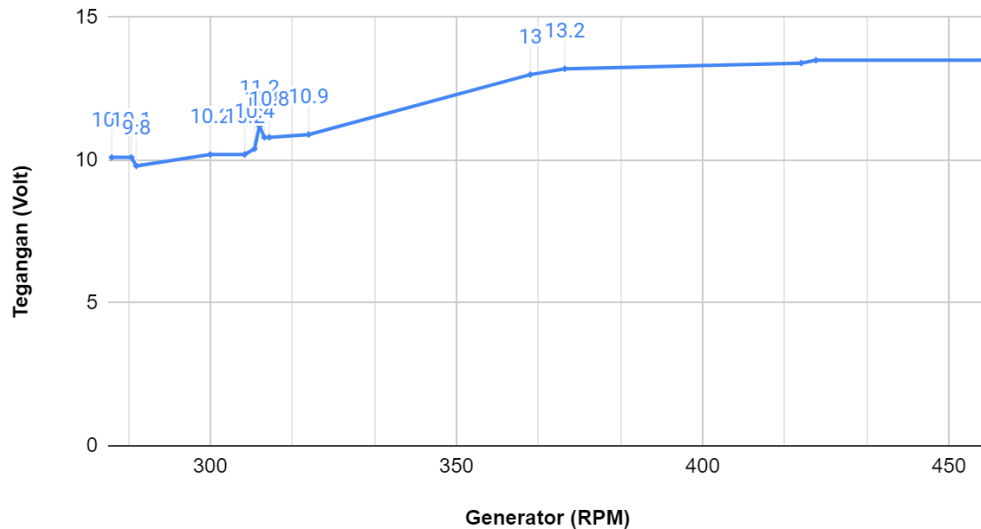
PB = Pakembinangun

HB = Hargobinangun

Tabel 5. 5 Hasil pengujian lapangan tanpa beban pada generator

No	Debit Air (m ³ /detik)	Tanggal dan Waktu	Kemiringan (Derajat)	Putaran (rpm)		Tegangan (Volt)	Lokasi
				Turbin	Generator		
1	0.015	3/07/24 15:00	26	98	423	13.5	PB
2	0.015	3/07/24 15:10	26	109	372	13.2	PB
3	0.015	3/07/24 15:20	26	89	365	13	PB
4	0.015	3/07/24 15:30	26	110	420	13.4	PB
5	0.015	3/07/24 15:55	26	115	457	13.5	PB
6	0.014	5/07/24 13:00	24	107	310	11.2	PB
7	0.014	5/07/24 13:15	24	96	280	10.1	PB
8	0.014	5/07/24 13:20	24	100	285	9.8	PB
9	0.014	5/07/24 13:30	24	110	300	10.2	PB
10	0.014	5/07/24 13:45	24	99	284	10.1	PB
11	0.015	7/07/24 14:00	28	87	312	10.8	HB
12	0.015	7/07/24 14:15	28	91	307	10.2	HB
13	0.015	7/07/24 14:25	28	94	320	10.9	HB
14	0.015	7/07/24 14:40	28	92	311	10.8	HB

15	0.015	7/07/24 14:55	28	97	309	10.4	HB
----	-------	------------------	----	----	-----	------	----



Gambar 5. 3 Grafik Hubungan rpm dan Tegangan dalam keadaan tanpa beban

Pengujian dilakukan dengan mencari posisi peletakan alat yang tepat hingga mendapatkan putaran turbin yang stabil. Percobaan tanpa beban dilakukan dengan alasan untuk memastikan besar tegangan dan kestabilan tegangan yang dikeluarkan generator sebelum masuk ke sistem listrik (panel kontrol).

Pada Tabel 5.5 didapatkan data pengujian tanpa beban dari dua tempat yakni Desa Pakembinangun dan Desa Hargobinangun. Secara keseluruhan, terlihat bahwa peningkatan putaran generator cenderung meningkatkan tegangan yang dihasilkan. Namun, penurunan debit air dan perubahan kemiringan juga mempengaruhi penurunan tegangan. Perbedaan lokasi (PB dan HB) menunjukkan variasi tegangan pada kondisi serupa, Hal ini dipengaruhi oleh posisi peletakan alat dan posisi air yang mengenai turbin. Posisi peletakan alat mempengaruhi posisi air yang mengenai turbin. Kondisi yang dimaksud adalah seperti pada Gambar 5.4 posisi air mengenai turbin dan Gambar 5.5 posisi kemiringan peletakan alat serta proses pengukuran rpm pada gambar 5.6 berikut.



Gambar 5. 4 Kondisi turbin di lapangan



Gambar 5. 5 Kondisi alat di lapangan

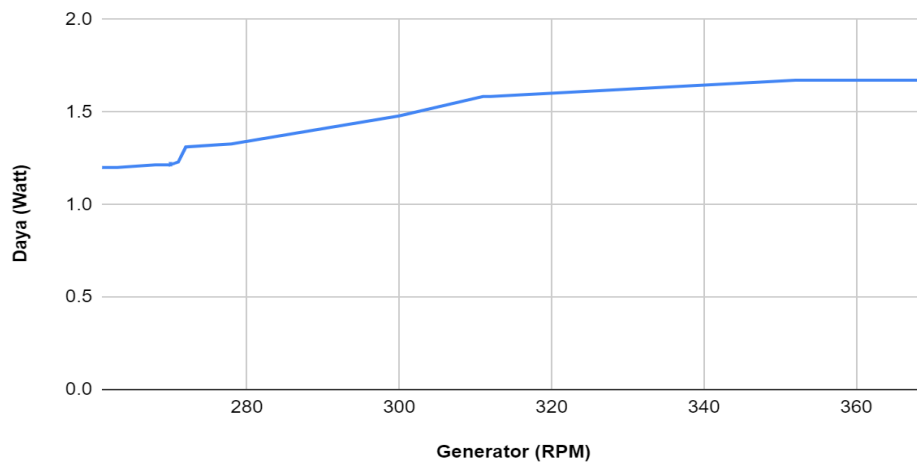


Gambar 5. 6 Pengambilan data kecepatan putaran generator di Lapangan

Tabel 5. 6 Hasil pengujian lapangan dengan beban lampu 12 watt

No	Debit Air (m ³ /detik)	Tanggal dan Waktu	Kemiringan (Derajat)	Putaran (rpm)		Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)	Lokasi
				Turbin	Generator				
1	0.015	3/07/24 16:00	26	95	352	8.8	0.19	1.672	PB
2	0.015	3/07/24 16:15	26	87	300	8.7	0.17	1.479	PB
3	0.015	3/07/24 16:20	26	93	311	8.8	0.18	1.584	PB
4	0.015	3/07/24 16:30	26	83	312	8.8	0.18	1.584	PB
5	0.015	3/07/24 16:40	26	85	369	8.8	0.19	1.672	PB
6	0.014	5/07/24 14:00	24	97	270	8.1	0.15	1.215	PB
7	0.014	5/07/24 14:20	24	96	270	8.2	0.15	1.23	PB

8	0.014	5/07/24 14:35	24	102	278	8.3	0.16	1.328	PB
9	0.014	5/07/24 14:45	24	100	272	8.2	0.16	1.312	PB
10	0.014	5/07/24 15:00	24	104	271	8.2	0.15	1.23	PB
11	0.015	7/07/24 15:00	28	84	261	8	0.15	1.2	HB
12	0.015	7/07/24 15:10	28	85	263	8	0.15	1.2	HB
13	0.015	7/07/24 15:20	28	88	270	8.1	0.15	1.215	HB
14	0.015	7/07/24 15:40	28	87	268	8.1	0.15	1.215	HB
15	0.015	7/07/24 15:55	28	88	270	8.1	0.15	1.215	HB



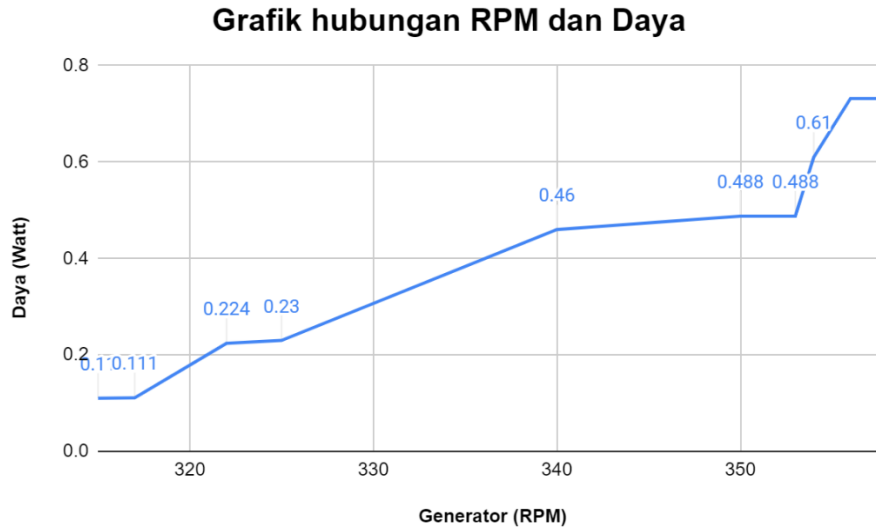
Gambar 5. 7 Grafik Hubungan rpm dan daya

Percobaan ini dilakukan dengan menghubungkan generator langsung ke beban, beban yang digunakan adalah lampu 12 watt. Pemilihan lampu 12 watt dalam pengujian di lapangan berdasar pada nilai yang mendekati daya air di lapangan yakni sekitar 14.7 watt dengan menggunakan Persamaan 2.4. Saat proses pengujian, kondisi lampu menyala terang dan stabil, lampu paling terang ketika percobaan pada tanggal 3 Juli di Pakembinangun. Dengan debit rata-rata 0.015 m³/detik dapat menghasilkan rata-rata putaran 290 rpm, dan rata-rata daya yang dihasilkan adalah 1.3 watt. Saat melakukan percobaan menggunakan belt yang tidak rata, maka kondisi lampu akan

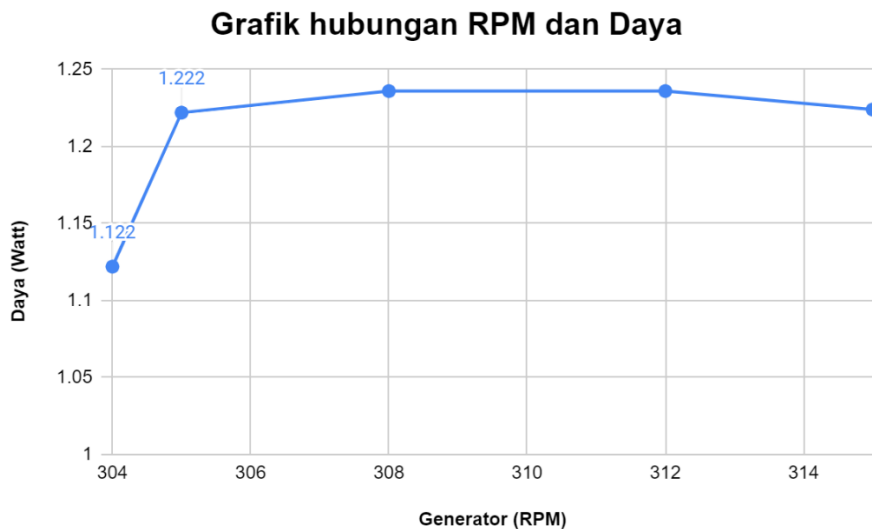
redup ketika bagian belt yang tidak rata berada pada *pulley* generator. Maka dari itu, kondisi belt dapat berpengaruh terhadap kondisi lampu/beban.

Tabel 5. 7 Hasil pengujian lapangan dengan sistem keseluruhan

No	Debit Air (m ³ /detik)	Tanggal dan Waktu	Kemiringan (Derajat)	Putaran (rpm)		Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Daya (Watt)	Lokasi
				Turbin	Generator				
1	0.015	3/07/24 17:00	26	98	356	12.2	0.06	0.732	PB
2	0.015	3/07/24 17:15	26	100	358	12.2	0.04	0.732	PB
3	0.015	3/07/24 17:25	26	98	350	12.2	0.05	0.488	PB
4	0.015	3/07/24 17:30	26	98	353	12.2	0.04	0.488	PB
5	0.015	3/07/24 17:40	26	102	354	12.2	0.06	0.61	PB
6	0.014	5/07/24 15:10	24	110	315	11.1	0.01	0.11	PB
7	0.014	5/07/24 15:20	24	121	340	11.5	0.02	0.46	PB
8	0.014	5/07/24 15:30	24	112	317	11.0	0.01	0.111	PB
9	0.014	5/07/24 15:40	24	116	322	11.5	0.04	0.224	PB
10	0.014	5/07/24 15:55	24	119	325	11.2	0.02	0.23	PB
11	0.015	7/07/24 16:00	28	88	312	10.3	0.12	1.236	HB
12	0.015	7/07/24 16:15	28	82	305	10.2	0.11	1.222	HB
13	0.015	7/07/24 16:25	28	86	308	10.3	0.12	1.236	HB
14	0.015	7/07/24 16:35	28	91	315	10.2	0.11	1.224	HB
15	0.015	7/07/24 14:25	28	83	304	10.2	0.11	1.122	HB



Gambar 5. 8 Grafik hubungan rpm dan daya di Desa Pakembinangun



Gambar 5. 9 Grafik hubungan rpm dan daya di Desa Hargobinangun

Percobaan sistem bekerja secara keseluruhan meliputi generator, scc, baterai, dan beban. Tegangan yang masuk ke SCC akan terbatas oleh sistem proteksi SCC pada 12.2V dan baterai akan terisi oleh generator dengan rata-rata arus 0.06A. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan seperti pada Gambar 5.9 (sebelum) dan Gambar 5.10 (sesudah), dengan arus 0.074 A dapat mengisi baterai sebanyak 0.1V selama 7 menit 31 detik. Maka dengan nilai tersebut dapat diasumsikan pengisian baterai dari 8.25V ke 12.6V selama 5 jam 8 menit 11 detik. Kondisi baterai menyala terang dan stabil karena bersumber dari baterai.



Gambar 5. 10 Kondisi baterai sebelum charging



Gambar 5. 11 Kondisi baterai setelah charging

Dari hasil pengambilan data di Desa Pakembinangun dan Desa Hargobinangun dapat diambil kesimpulan bahwa dengan debit 0.015 cm³/detik, generator dapat berputar dengan rata-rata sebanyak 360 rpm dan tegangan 11.5V dengan kemiringan sistem 26 derajat. Dengan debit 0.015 cm³/detik, tegangan dan arus yang dihasilkan sangat stabil karena tidak ada perubahan debit atau aliran dan lainnya yang mempengaruhi putaran turbin ataupun generator. Dari hasil percobaan di lapangan tidak ada dampak atau pengaruh akibat pengoperasian sistem pada aliran air. Apabila dilihat lebih detail, debit air yang telah dihitung tidak jauh berbeda satu sama lain, namun hasil output generator berbeda. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hal tersebut. Faktor yang mempengaruhi antara lain posisi peletakan dan posisi air yang mengenai turbin, kecepatan aliran air, serta torsi turbin. Di mana dalam Persamaan dasarnya ialah $P = \tau \times \omega$, P adalah daya, τ adalah torsi, ω adalah kecepatan putarnya. Berikut contoh perhitungannya dengan mengambil dua data

dengan rpm dan beban (lampu 12 watt) yang sama namun daya dan tempat yang berbeda. Dengan kecepatan putar 270 rpm, di Pakembinangun menghasilkan daya 1,23 watt, sedangkan di Hargobinangun menghasilkan daya 1,21 watt.

P : Daya (watt)

τ : Torsi (Nm)

ω : Kecepatan sudut (rad/s)

$$P = V \times I$$

$$P = \tau \times \omega$$

$$\omega = \frac{rpm \times 2\pi}{60}$$

$$\omega = \frac{270 \times 2\pi}{60}$$

$$\omega = 28.27 \text{ rad/s}$$

$$P = \tau \times \omega$$

$$1,23 = \tau \times 28.27$$

$$\tau = 0.0435 \text{ Nm (Pakembinangun)}$$

$$P = \tau \times \omega$$

$$1,21 = \tau \times 28.27$$

$$\tau = 0.0428 \text{ Nm (Hargobinangun)}$$

Dalam pengujian dengan sistem keseluruhan, kondisi alat pada dua tempat yang berbeda memiliki perbedaan. Di Desa Pakembinangun, tegangan baterai berada pada kisaran 11-12 volt, sedangkan kondisi baterai di Desa Hargobinangun berada di kisaran 10 volt. Pengujian ini akan lebih baik apabila kondisi baterai sama agar perbandingan performa antara 2 tempat tersebut menjadi lebih adil. Namun karena keterbatasan waktu dan kondisi sungai yang kering, pengujian hanya dilakukan dengan kondisi tersebut.

Berdasarkan data-data pengujian di atas, berikut adalah perhitungan efisiensi Sistem PLTPh .

$P_g = \text{Daya Generator}$

$$P_h = 0.015 \times 1000 \times 9.8 \times 0.1 = 14.7$$

$$\text{Efisiensi PLTPh} = \left(\frac{P_g}{P_h} \right) \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi PLTPh} = \left(\frac{1.672}{14.7} \right) \times 100\% = 11.38\%$$

Efisiensi sistem PLTPh berdasarkan data pengujian dan perhitungan yang diberikan adalah 11.38%. Ini berarti bahwa dari total daya hidrolik sebesar 14.7 W yang dihasilkan, hanya 11.38% yang berhasil diubah menjadi daya listrik oleh generator, yaitu sebesar 1.672 W. Untuk efisiensi rata-rata daya yang dihasilkan dari semua pengujian diperoleh nilai efisiensi sebesar 6.93%. Berikut pada Tabel 5.8 merupakan hasil efisiensi dari beberapa kondisi yang berbeda dan rata-rata efisiensinya.

Tabel 5. 8 Nilai Efisiensi dalam Beberapa Kondisi

No	Debit Air (m3/detik)	Daya Air (Watt)	Putaran (rpm)		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Efisiensi (%)
			Turbin	Generator				
1	0.015	14.7	98	356	12.2	0.06	0.732	4.97959
2	0.015	14.7	100	358	12.2	0.04	0.732	4.97959
3	0.015	14.7	98	350	12.2	0.05	0.488	3.31973
4	0.015	14.7	98	353	12.2	0.04	0.488	3.31973
5	0.015	14.7	102	354	12.2	0.06	0.61	4.14966
6	0.014	14.7	110	315	11.1	0.01	0.11	0.7483
7	0.014	14.7	121	340	11.5	0.02	0.46	3.12925
8	0.014	14.7	112	317	11	0.01	0.111	0.7551
9	0.014	14.7	116	322	11.5	0.04	0.224	1.52381
10	0.014	14.7	119	325	11.2	0.02	0.23	1.56463
11	0.015	14.7	88	312	10.3	0.12	1.236	8.40816
12	0.015	14.7	82	305	10.2	0.11	1.222	8.31293
13	0.015	14.7	86	308	10.3	0.12	1.236	8.40816
14	0.015	14.7	91	315	10.2	0.11	1.224	8.32653
15	0.015	14.7	83	304	10.2	0.11	1.122	7.63265

16	0.015	14.7	95	352	8.8	0.19	1.672	11.3741
17	0.015	14.7	87	300	8.7	0.17	1.479	10.0612
18	0.015	14.7	93	311	8.8	0.18	1.584	10.7755
19	0.015	14.7	83	312	8.8	0.18	1.584	10.7755
20	0.015	14.7	85	369	8.8	0.19	1.672	11.3741
21	0.014	14.7	97	270	8.1	0.15	1.215	8.26531
22	0.014	14.7	96	270	8.2	0.15	1.23	8.36735
23	0.014	14.7	102	278	8.3	0.16	1.328	9.03401
24	0.014	14.7	100	272	8.2	0.16	1.312	8.92517
25	0.014	14.7	104	271	8.2	0.15	1.23	8.36735
26	0.015	14.7	84	261	8	0.15	1.2	8.16327
27	0.015	14.7	85	263	8	0.15	1.2	8.16327
28	0.015	14.7	88	270	8.1	0.15	1.215	8.26531
29	0.015	14.7	87	268	8.1	0.15	1.215	8.26531
30	0.015	14.7	88	270	8.1	0.15	1.215	8.26531
Rata-Rata dalam beberpa kondisi								6.933333

Tabel 5. 9 Durabilitas

No	Hari/Tanggal	Lokasi	Rangka	Turbin	Generator	Sistem Listrik	Keterangan
1	3/07/24	Desa Pakembinangun	Aman	Aman	Aman	Aman	Seluruh sistem dalam keadaan baik dan sistem listrik tidak terkena air.
2	5/07/24	Desa Pakembinangun	Aman	Kendala	aman	aman	Ring pada turbin tidak pada posisinya
3	7/07/24	Desa Hargobinangun	Cukup aman	aman	aman	aman	Retak kecil pada rangka di bagian sambungan antar besi (dempul)

Pengujian durabilitas dilakukan dengan cara mengamati kondisi fisik dari alat PLTPH Portabel. Dalam tabel dapat dilihat bahwa setelah beberapa kali pengujian terdapat sedikit retakan, namun retakan hanya terjadi di bagian dempul rangka sehingga rangka masih terbilang cukup aman.

Tabel 5. 10 Perbandingan performa antara sistem yang dibuat dengan sistem lain

No	Fitur/Komponen	Sistem yang dibuat	Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro di Embung Pelangi UII	Analisis Penerapan Pembangkit Listrik Pikohidro Dengan Memanfaatkan Instalasi Air Rumah Tangga	Design and implementat ion: Portable Floating pikohidro
1	Putaran turbin	100	Tidak dicantumkan	Tidak dicantumkan	40 rpm
2	Putaran Generator	457	299	Tidak dicantumkan	400 rpm
3	Jenis Turbin	<i>Undershot waterwheel</i>	<i>Archimedes Screw</i>	<i>Crossflow</i>	<i>Undershot waterwheel</i>
4	Harga	Rp 1.752.945	Rp 2.372.000	Tidak dicantumkan	Tidak dicantumkan
5	Jenis Arus yang dibangkitkan	DC	DC	DC	DC
6	Daya	1.672 watt	8.544 watt	1,21 watt	205 watt pada kecepatan air 4 m/s
7	Dimensi	50 x 17 x 38 cm	120 x 35 x 35 cm	5,8 x 8,8 x 1,7 cm	120 x 100 x 50 cm
8	Massa	12 kg	15.35 kg	Tidak dicantumkan	Tidak dicantumkan
9	Lokasi Implementasi	Aliran air	Jatuhan air	Saluran Air Pipa	Aliran Air
10	Efisiensi	11.38%	16.71%	Tidak dicantumkan	Tidak dicantumkan

Berdasarkan Tabel 5.10, sistem yang dibuat menggunakan turbin jenis *undershot water wheel* dengan performa yang mencakup putaran turbin 100 rpm dan generator 457 rpm, serta menghasilkan daya 1.672 watt. Sistem ini sebanding dengan sistem "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro di Embung Pelangi UII" yang menggunakan turbin *Archimedes Screw*, menghasilkan daya lebih besar yaitu 8.544 watt dengan efisiensi lebih tinggi sebesar 16,71%, namun dengan biaya dan dimensi yang lebih besar.

Sistem "Analisis Penerapan Pembangkit Listrik Pikohidro dengan Memanfaatkan Instalasi Air Rumah Tangga" menggunakan turbin Crossflow, meskipun data putaran turbin dan generator tidak dicantumkan, menghasilkan daya jauh lebih kecil yaitu 1,21 watt. Sistem ini diimplementasikan pada saluran air pipa, berbeda dengan dua sistem lainnya yang menggunakan aliran air atau jatuhnya air.

Sistem "Design and Implementation: Portable Floating pikohidro" juga menggunakan turbin *undershot water wheel* namun dengan putaran turbin lebih rendah yaitu 40 rpm dan putaran generator 400 rpm, menghasilkan daya 205 watt pada kecepatan air 4 m/s. Sistem ini memiliki dimensi yang lebih besar dan dirancang untuk diaplikasikan pada aliran air, serupa dengan sistem yang dibuat namun diaplikasikan secara mengapung.

5.1.2 Pemenuhan Spesifikasi Sistem

Setelah melakukan perancangan dan pengujian sistem, terdapat beberapa modifikasi dan revisi desain guna mengoptimalkan performa sistem. Untuk ukuran terdapat perubahan pada lebar menjadi 17 cm yang awalnya 14 cm. Untuk berat massa terealisasi 15 kg, masih di bawah batas berat yang sudah ditentukan sebelumnya. Perbandingan usulan dan realisasinya dapat dilihat di Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Perbandingan usulan dan hasil perancangan sistem

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
1	Dimensi (panjang x lebar x tinggi)	49 x 14 x 38 cm	50 x 17 x 38 cm
2	Berat (gram)	< 20kg	15kg
3	Kapasitas Generator	30 W	200 W
4	Daya <i>input</i> untuk Voltmeter & Amperemeter untuk Generator	Baterai 12V pada sistem	Baterai 9V terpisah dari sistem
5	Jumlah <i>blade</i> turbin	12	16

6	Desain <i>blade</i> turbin	Setengah lingkaran	Datar dengan kemiringan 70
7	Voltmeter & Ampere Meter Digital	1 buah	2 buah

Alasan kapasitas generator yang digunakan adalah 200 watt karena hasil pengujian laboratorium 30 Watt tidak dapat melakukan charging baterai 12V 12Ah dan dengan efisiensi generator 50% maka daya maksimal yang dapat dihasilkan adalah 15Watt saja sehingga saat dibandingkan, hasil pengujian laboratorium generator 30 Watt dan generator 200 Watt, generator 200 Watt memiliki hasil yang lebih baik. Data perbandingan generator dapat dilihat di Lampiran. Kapasitas ini juga menentukan klasifikasi apakah telah sesuai dengan istilah Piko hidro. Penentuan dapat dilihat pada Tabel 5.12[13].

Tabel 5. 12 Tabel Klasifikasi hydropower

Jenis Hydropower	Kapasitas Daya
Pico	Kurang dari 5 kW
Small	6 - 100 kW
Mini	Lebih dari 1 MW
Mikro	Hingga 25 MW
Besar	Lebih dari 100 MW

Daya *input* untuk menyalakan voltmeter pada generator menggunakan *input* terpisah dari sistem 12 volt disebabkan karena voltmeter & amperemeter tidak dapat membaca tegangan dan arus generator apabila terhubung dengan daya baterai 12 volt pada sistem. Selain itu, tegangan baterai justru masuk kembali melalui jalur *input* SCC dengan tanda indikator *input* yang menyala.

Penambahan jumlah voltmeter dan amperemeter digital diperlukan untuk mengetahui informasi tegangan dan arus yang keluar dari generator dan SCC. Hal ini diperlukan karena arus dan tegangan dari generator dan SCC berbeda. Selain itu, di layar SCC di ada fitur pengukur arus listrik.

Desain *blade* turbin diubah menjadi datar dengan kemiringan 70° berdasarkan teori yang cukup berbeda dari sebelumnya. Perubahan ini dilakukan karena dari hasil pengamatan awal saat melakukan uji coba rangka dan turbin tanpa sistem elektronis, saat turbin berputar, air yang

melewati turbin menggenangi *blade* pada bagian *output* aliran air sehingga putaran turbin menjadi lebih berat. Selain itu, kecepatan putaran turbin Water Wheel bukan hanya dipengaruhi oleh debit air, melainkan sebagian besar dipengaruhi oleh kecepatan air atau V (*velocity*) aliran air. Debit air memang berpengaruh pada turbin namun debit air yang semakin besar belum tentu kecepatan airnya semakin besar karena Debit air juga dihitung menggunakan volume air. Jadi, meskipun debitnya sama, kecepatan air dan volume air dapat berbeda. Contoh kasusnya seperti 2 sungai yang memiliki debit yang sama, namun sungai pertama memiliki volume yang lebih besar sedangkan sungai kedua memiliki *velocity* air yang lebih besar meskipun sungainya lebih kecil. Dengan dasar teori tersebut berikut adalah penentuan kemiringan turbin didasarkan pada teori dan Gambar 5.10 berikut.

1. Target 200 rpm diubah ke m/s. Pada teori ini kecepatan turbin lah yang di target.

$$d = 30 \text{ cm}$$

$$k = \pi \times d$$

$$k = \pi \times 30 \text{ cm}$$

$$k = 94,2 \text{ cm}$$

$$U = 94,2 \times 200 \text{ rpm}$$

$$U = 18,84 \text{ cm/menit}$$

$$U = 0,052 \text{ m/s}$$

Keterangan :

d : diameter turbin

k : keliling turbin

U : Kecepatan keliling roda Turbin (m/s)

α : Sudut kemiringan *blade*

2. Perhitungan Sudut kemiringan *blade* turbin dengan target kecepatan 200 rpm pada turbin apabila aliran air memiliki kecepatan 0,28 m/s (pada pengujian awal)[14].

$$U = \frac{1}{2} \times V \times \cos \alpha$$

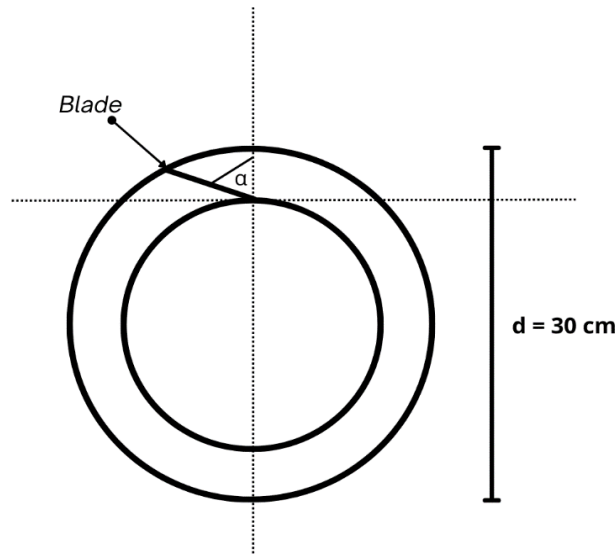
5.1

$$0,052 = \frac{1}{2} \times 0,28 \times \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{0,052}{0,17}$$

$$\cos \alpha = 0,30$$

$$\alpha = \pm 72^\circ$$



Gambar 5. 12 Letak pengukuran sudut kemiringan blade

Jumlah *blade* pada turbin juga ditambah menjadi 16 buah untuk menambah jumlah *blade* yang terdorong air, untuk memaksimalkan ruang kosong saat melakukan revisi desain *blade* sehingga saat terkena air, tidak ada perbedaan putaran jika turbin memiliki bagian *blade* yang kosong. Belum ada referensi penelitian mengenai perhitungan pasti dalam menentukan jumlah blade Turbin *Undershot Water Wheel*. Namun hanya ada penelitian mengenai analisis perbedaan jumlah blade pada turbin. Penelitian tersebut mengungkapkan bahwa memperbanyak jumlah blade dapat menambah kecepatan putaran turbin[15]. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa penentuan jumlah blade turbin *Undershot Water Wheel* adalah percobaan *trial and error*.

5.1.3 Pengalaman Pengguna

Pada saat proses uji coba dan perancangan, dilakukan pengklasifikasian pada beberapa bagian tentang fitur/komponen yang dilakukan perbaikan untuk mengoptimalkan sistem. Fitur/komponen yang diklasifikasikan antara lain adalah fungsi, kemudahan, ketahanan, kelistrikan, kepraktisan, dan kenyamanan.

Tabel 5. 13 Pengalaman pengguna

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
1	Fungsi	Membangkitkan listrik DC di aliran sungai kecil	Dipertahankan

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
2	Kemudahan	Mudah diaplikasikan pada sungai-sungai kecil namun dengan arus air yang deras dan konstan serta pengaturan peletakan yang berbeda-beda tergantung kondisi alirannya.	Dipertahankan
3	Ketahanan	Rangka dan Turbin tahan terhadap guncangan ringan maupun berat dan tidak mudah berkarat, namun poros turbin terkadang mengganggu putaran turbin Panel Kontrol mampu menahan guncangan ringan	Poros turbin perlu diberi pelumas untuk menjaga kestabilan putaran turbin
4	Kelistrikan	Voltmeter dan Amperemeter tidak dapat membaca nilai <i>output</i> generator apabila menggunakan suplai daya dari baterai 12V pada sistem listrik utama	Khusus Voltmeter dan Amperemeter untuk generator, digunakan suplai daya terpisah dari sistem listrik utama, yakni dengan menggunakan baterai 9V
5	Keamanan	Sistem Elektrik (Panel Kontrol) terpisah dengan turbin dan generator untuk menghindari kerusakan akibat air.	Dipertahankan
6	Kepraktisan	Mudah dibawa dan dipindahkan dengan digendong seperti tas ransel ataupun diletakkan di motor Namun, dengan panel kontrol yang terpisah dari sistem, pemindahan alat menjadi cukup merepotkan.	Menggunakan pengait untuk mengaitkan panel kontrol ke rangka turbin
7	Kenyamanan	Strap untuk menggendong kurang nyaman digunakan karena keras dan melebihi lebar bahu	Menambahkan <i>padding</i> dan pengikat antara strap kanan dan kiri untuk menyesuaikan lebar bahu.

Sistem ini dirancang untuk membangkitkan listrik DC dari aliran sungai kecil dan telah berfungsi dengan baik. Dengan memanfaatkan energi kinetik dari air yang mengalir untuk menggerakkan turbin, sistem ini mampu menghasilkan listrik yang dibutuhkan. Keberhasilan ini menunjukkan bahwa desain dan implementasi awal sudah tepat. Fungsi utama sistem ini sudah mencapai tujuan, sehingga perlu dipertahankan dan dioptimalkan secara berkala untuk memastikan kinerja yang optimal. Sistem ini mudah diaplikasikan pada sungai-sungai kecil dengan arus air yang deras dan konstan serta pengaturan peletakan yang berbeda-beda tergantung kondisi alirannya.

Untuk durabilitas sistem, bagian rangka, turbin, dan panel kontrol elektronis tahan terhadap guncangan ringan maupun berat dan tidak mudah berkarat, namun poros dan ring turbin terkadang mengganggu putaran turbin. Untuk mengatasi hal ini, pelumasan poros turbin secara berkala diperlukan. Menggunakan pelumas tahan air yang sesuai dengan bahan poros akan membantu menjaga kelancaran putaran dan kinerja sistem secara keseluruhan.

Voltmeter dan amperemeter sangat memudahkan pemantauan daya *input* dan *output* secara *real-time*. Dengan alat pengukur yang terpasang permanen, pengguna dapat dengan cepat memeriksa kondisi sistem, memastikan listrik yang dihasilkan sesuai kebutuhan dan mendeteksi masalah kelistrikan. Namun, voltmeter dan amperemeter harus memiliki suplai daya terpisah dari sistem utama. Hal ini disebabkan oleh tidak terbacanya voltmeter dan amperemeter serta apabila terhubung ke baterai pada sistem utama, arus dari baterai justru masuk kembali ke baterai dan menyalakan indikator *input* pada SCC.

Sistem ini dirancang dengan memisahkan panel kontrol dari turbin dan generator untuk menghindari kerusakan akibat air. Pemisahan ini penting untuk mencegah air masuk ke komponen listrik, yang bisa menyebabkan kerusakan. Mempertahankan desain ini sangat penting untuk keamanan sistem. Namun, pemisahan ini perlu terus dipantau dan diuji secara berkala untuk memastikan efektivitasnya.

Sistem ini dirancang agar mudah dibawa dan dipindahkan, baik digendong seperti tas ransel maupun diletakkan di motor, yang membuatnya sangat praktis. Penambahan pengait untuk mengaitkan panel kontrol ke rangka turbin mempermudah pemindahan. Pengait yang mudah dipasang dan dilepas akan meningkatkan kepraktisan dan memudahkan penggunaan sistem di lapangan.

Strap untuk menggendong sistem ini kurang nyaman karena tidak adanya *padding* untuk menahan strap dan melebihi lebar bahu pengguna sehingga menyebabkan ketidaknyamanan dan kelelahan saat digunakan dalam waktu lama. Menambahkan *padding* pada strap kanan dan kiri serta tali pada dada akan meningkatkan kenyamanan dan mendistribusikan beban secara merata, serta meningkatkan stabilitas saat membawa sistem. Dengan perbaikan ini, pengguna akan merasa lebih nyaman dan aman, bahkan di medan yang sulit.

5.1.4 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Pelaksanaan tugas akhir 2 memerlukan perencanaan yang matang karena perencanaan yang baik membantu dalam mengatur tujuan yang jelas dan terukur sebelum memulai pelaksanaan. Dengan merumuskan tujuan yang spesifik, tim dapat mengarahkan upaya mereka secara efektif untuk mencapai hasil yang diinginkan. Selain itu, perencanaan yang baik juga memungkinkan identifikasi dan pengelolaan risiko dengan lebih baik. Beberapa kegiatan dapat dilaksanakan lebih cepat dari yang telah diusulkan seperti pembelian alat dan bahan, pengujian laboratorium. Sedangkan proses pembuatan rangka dan turbin mengalami kemunduran beberapa minggu dikarenakan vendor mengalami hambatan. Sehingga hal tersebut dan faktor cuaca yang tidak mendukung membuat pengujian di lapangan mengalami kemunduran waktu. Penambahan beberapa komponen demi optimalnya performa sistem mengakibatkan naiknya rencana anggaran biaya yang terealisasi.

Tabel 5. 14 Kesesuaian antara usulan dan realisasi timeline pengerjaan tugas akhir 2

No	Kegiatan	Usulan waktu	Realisasi Pelaksanaan
1	Pembelian alat dan bahan	Maret – April	Maret
2	Pengujian laboratorium	April – Mei	Maret - April
3	Pembuatan rangka dan turbin	April	April - Mei
4	Pembuatan panel elektronik	Juni	Juni - Juli
5	Pengujian lapangan	Juni - Juli	Juli

Tabel 5. 15 Kesesuaian RAB tugas akhir antara usulan dan realisasi

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Jenis Pengeluaran	Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga		Kuantitas	Total Harga
1	Generator	1 pcs	Rp 300.000,00	Generator	1 pcs	Rp 350.000,00
2	Solar Charge Controller 10 A	1 pc	Rp 40.000,00	Solar Charge Controller 10 A	1 pc	Rp 37.000,00
3	Li-ion 12V 12Ah	11 pcs	Rp 350.000,00	Baterai 18650 3.7V 3.2Ah	11 pcs	Rp 222.645,00
4	Besi hollow dan plat galvanis	4 pcs	Rp 258.000,00	Besi hollow	2 pcs	Rp 121.000,00
5	Jasa las	1 pc	Rp 350.000,00	Jasa las	1 pc	Rp 650.000,00
6	Akrilik	1 pc	Rp 13.000,00	Box plastik	1 pc	Rp 35.000,00
7	<i>Pulley</i>	2 pcs	Rp 150.000,00	<i>Pulley</i>	2 pcs	Rp 100.000,00
8	Voltmeter	1 pc	Rp 35.000,00	Voltmeter	2 pcs	Rp 50.000,00
9	Kabel NYNY 1m	4 pcs	Rp 15.000,00	Tali	2 pcs	Rp 34.000,00
10	Bearing	2 pcs	Rp 40.000,00	Belt	1 pc	Rp 20.000,00
11	Cover stop kontak	1 pc	Rp 40.000,00	Klip	4 pcs	Rp 20.000,00
12	As drat	1 pc	Rp 15.500,00	Kabel AWG 22 5 meter	2 pcs	Rp 25.500,00
13				Split terminal	4 pcs	Rp 10.400,00
14				Switch	3 pcs	Rp 7.500,00

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Jenis Pengeluaran	Realisasi Biaya	
		Kuantitas	Total Harga		Kuantitas	Total Harga
15				Toggle switch	1 pc	Rp 2.500,00
16				Bungkus baterai	2 pcs	Rp 12.000,00
17				BMS 3s 40A	1 pc	Rp 16.900,00
18				Socket	5 pcs	Rp 38.500,00
Total		Rp 1.404.500,00		Total	Rp 1.752.945,00	

Tabel 5. 16 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 2

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	16 Maret 2024, 2 jam	Pembelian material rangka dan turbin	Rifan
2	9 Maret 2024, 2 jam	Pembelian baterai	Galang
3	18 Maret 2024, 3 jam	Survey ke lokasi bengkel las	Galang Rifan
4	25 Maret 2024, 3 jam	Kunjungan ke bengkel las	Galang Rifan
5	15 Maret 2024, 4 jam	Pengujian laboratorium	Galang Rifan
6	26 Maret 2024, 6 jam	Welding baterai dan pengujian laboratorium	Galang Rifan
7	5 Mei 2024, 2 jam	Pengambilan rangka dan turbin dari bengkel las	Galang Rifan
8	5 Mei 2024, 3 jam	Pengujian rangka dan turbin tanpa sistem elektronis	Galang Rifan
9	6 Mei 2024, 3 jam	Pengujian rangka dan turbin tanpa sistem elektronis	Galang Rifan

10	19 Mei 2024, 4 jam	Pengujian sistem elektronis	Galang Rifan
11	30 Mei 2024, 4 jam	Pengujian sistem elektronis	Galang Rifan
12	15 Juni 2024, 4 jam	Pengujian sistem keseluruhan	Galang Rifan
13	25 Juni 2024, 4 jam	Pengujian sistem keseluruhan menggunakan kran	Galang Rifan
14	27 Juni 2024, 4 jam	Pengujian sistem keseluruhan menggunakan kran	Galang Rifan
15	2 Juli 2024, 8 jam	Perancangan panel elektronis	Galang Rifan
16	3 Juli 2024, 3 jam	<i>Finishing</i> panel elektronis	Galang Rifan
17	3 Juli 2024, 5 jam	Pengujian sistem keseluruhan di Lapangan	Galang Rifan
18	5 Juli 2024, 6 jam	Pengujian sistem keseluruhan di Lapangan	Galang Rifan
19	7 Juli 2024, 5 jam	Pengujian sistem keseluruhan di Lapangan	Galang Rifan

Kendala yang dialami selama pengerjaan tugas akhir 2 ini adalah pemilihan komponen generator yang kurang sesuai sehingga tidak dapat melakukan *charging* baterai. Maka dari itu dilakukan perbandingan laboratorium antara generator 30 watt dan 200 watt. Selain itu, kendala yang dialami adalah mundurnya waktu penyelesaian turbin oleh vendor yang mengakibatkan tim tidak dapat melakukan uji coba di lapangan sesuai dengan jadwal yang sudah direncanakan. Desain *blade* yang menghambat putaran memerlukan revisi desain untuk memaksimalkan putaran turbin. Faktor cuaca juga mempengaruhi jadwal pengujian lapangan, karena hujan dan air surut dapat menjadi tantangan besar yang mempengaruhi ketersediaan dan konsistensi aliran air. Pikohidro memanfaatkan aliran air yang dapat bervariasi secara signifikan tergantung pada kondisi cuaca, seperti curah hujan yang tidak terduga atau periode air surut yang dapat mengurangi volume aliran

sungai. Kedua faktor ini dapat mengganggu pelaksanaan uji coba untuk mengoperasikan turbin. Akibatnya, tidak dapatnya melakukan uji coba ini dapat menghambat evaluasi kinerja.

5.2 Dampak Implementasi Sistem

Masyarakat dapat mendapatkan sumber energi listrik dengan memanfaatkan aliran air yang ada tanpa bergantung kepada listrik PLN. sehingga meningkatkan kenyamanan dan keselamatan lingkungan masyarakat dengan adanya lampu dengan sumber listrik pikohidro.

Implementasi sistem Portabel Picohydro, yang merupakan teknologi pembangkit listrik tenaga air skala kecil, memiliki berbagai dampak dan manfaat yang meluas ke berbagai bidang antara lain adalah:

1. Teknologi

Sistem ini mendorong pengembangan teknologi baru di bidang energi terbarukan, khususnya di sektor pembangkit listrik tenaga air. Dengan desain portabel, teknologi ini lebih mudah diaplikasikan dan dipindahkan dibandingkan sistem hidropower konvensional yang lebih besar dan kompleks yang membutuhkan infrastruktur secara khusus. Dengan adanya PLTPh portable ini juga dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil dan mendorong penggunaan energi terbarukan.

2. Sosial

PLTPh dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan memberikan akses ke listrik yang lebih murah dan terjangkau dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat pedesaan. Melalui implementasi sistem ini, masyarakat diharapkan mampu mengelola sumber daya energi mereka sendiri. Mengurangi kesenjangan sosial antara daerah perkotaan dan pedesaan dalam hal akses listrik.

3. Ekonomi

Dengan rencana anggaran biaya yang tidak terlalu tinggi untuk sebuah pembangkit listrik, PLTPh portabel dapat mengurangi biaya operasional terkait dengan penyediaan listrik di daerah terpencil. Sehingga masyarakat dapat menggunakan listrik yang dihasilkan untuk menjalankan usaha sehari-hari. Maka dengan melihat dampak yang dirasakan oleh masyarakat dapat mendorong pemerintah untuk menciptakan kebijakan yang mendukung pengembangan energi terbarukan.

4. Budaya

Masyarakat mulai mengadopsi gaya hidup yang lebih berkelanjutan dengan menggunakan *free energy* dan energi bersih. Maka masyarakat dapat lebih menerima dan mengadaptasi teknologi baru dalam kehidupan sehari-hari.

5. Lingkungan

PLTPh portabel dapat mengurangi emisi karbon dengan menggantikan penggunaan bahan bakar fosil dengan energi terbarukan. PLTPh portabel menggunakan sumber daya air dengan bijak untuk energi tanpa merusak lingkungan.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada PLTPH Portabel yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Hasil dari sistem yang telah dirancang menunjukkan bahwa dengan debit 0.015m³/detik dapat memutar turbin 100 rpm dan dengan rasio *pulley* 1:4 sehingga putaran generator adalah 457 rpm dan daya yang dihasilkan dapat menyentuh angka 1.672 Watt. Untuk hasil tanpa beban dapat menghasilkan tegangan 13.5V. Dengan hasil perhitungan daya air adalah 29.4 Watt maka efisiensi sistem adalah 11.38%
- Terdapat beberapa perubahan spesifikasi guna mengoptimalkan sistem PLTPH Portabel, perubahan yang dilakukan antara lain Dimensi seluruh sistem (panjang x lebar x tinggi), penggantian kapasitas generator, pemisahan daya *input* untuk Voltmeter & Amperemeter pada Generator, penambahan jumlah *blade* pada turbin, perubahan desain *blade* pada turbin, penambahan jumlah Voltmeter & Ampere Meter Digital, serta Panel kontrol yang rigid menambahkan ketahanan sistem elektronis di lapangan.
- Tujuan proyek untuk menyalakan penerangan jalan dengan *free energy* dapat tercapai dengan menggunakan sistem yang telah dirancang, penerangan jalan dapat beroperasi secara stabil dan terang.
- Kemampuan generator untuk charging baterai kurang maksimal dikarenakan kapasitas daya generator yang dikeluarkan saat pengujian tidak dapat memenuhi arus minimal untuk charging baterai dengan cepat. Hal ini juga dipengaruhi oleh besar beban yang digunakan.

6.2 Saran

Berdasarkan proses pengujian, pemilihan generator dengan kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan daya merupakan hal penting. Kapasitas generator yang tepat harus cukup untuk memenuhi kebutuhan daya peralatan atau perangkat yang digunakan, tetapi tidak terlalu besar sehingga tetap efisien. Selain itu, kapasitas baterai yang tidak terlalu besar dapat mengurangi beban daya generator serta menjaga bobot keseluruhan peralatan tetap ringan dan mudah diangkut. Perlu adanya pertimbangan untuk pemilihan material yang lebih ringan agar memudahkan mobilitas dan penggunaan portabel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Mulyana, “Modal Utama Jalankan Transisi Energi Indonesia,” A. Pribadi, 060.Pers/04/SJI/2023. Feb. 04, 2023.
- [2] “Sektor Aneka ET | Lintas EBTKE,” *ebtke.esdm.go.id*. <https://ebtke.esdm.go.id/lintas/id/investasi-ebtke/sektor-aneka-et> (accessed Dec. 05, 2023).
- [3] I. Imawati, M. Febiansyah, E. K. G. Novrianda, and H. Mubarak, “Portable pikohidro Power Plant with *Archimedes Screw* Turbine in Pelangi Reservoir of Universitas Islam Indonesia,” Oct. 2022.
- [4] D. Dewatama, M. Fauziah, H. K. Safitri, and S. Adhisuwignjo, “Design and Implementation: Portable Floating pikohidro,” 2020.
- [5] F. Rua, “Rancang Bangun Prototype Pembangkit Listrik Pico Hidro,” 2018.
- [6] R. A. Sanjeevkumar, S. Bali, and S. Devarasi, “Development of a Portable Pico Hydroelectric Generator for Remote and Rural Electrification using Innovative Methodology,” 2023.
- [7] Y. Permana, A. Jaya, M. Hidayatullah, and N. Aryanto, “DESIGN OF A CROSS FLOW TYPE WATER TURBINE AND THE EFFECT OF WATER LEVEL ON TURBINE EFFICIENCY FOR PICOHYDRO POWER PLANT,” Feb. 2023.
- [8] Z. Anthony, “Mesin Listrik Dasar,” 2018.
- [9] A. YoosefDoost and W. D. Lubitz, “*Archimedes Screw* Turbines: A Sustainable Development Solution for Green and Renewable Energy Generation—A Review of Potential and Design Procedures,” Oct. 2020.
- [10] M. Febiansyah and E. K. G. Novrianda, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro di Embung Pelangi UII,” 2022.

[11] A. Buku, B. Tangaran, and C. P. Tiwouy, “PERFORMANCE OF UNDERSHOT *WATER WHEEL* AS MINI HYDRO POWER PLANT FOR AGRICULTURAL ROAD,” 2021.

[12] A. D. Suprayogo, “PEMBUATAN TURBIN AIR TIPE UNDERSHOT UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO (PLTPH) DENGAN MEMANFAATKAN ALIRAN AIR CURUG GONDORIYO NGALIYAN SEMARANG BARAT,” 2021.

[13] Ibnu A. R., Wahyu W., “ANALISIS PENERAPAN PEMBANGKIT LISTRIK PIKOHIDRO DENGAN MEMANFAATKAN INSTALASI AIR RUMAH TANGGA,” 2022

[14] Firmansyah A., Asep D., Wilarso, “Perhitungan Turbin Air Mikrohidro Tipe Cross-Flow Kapasitas 2.500 WATT,” 2020

[15] Yudhistira A. D., Nur Kholis, Farid Baskoro, Subuh I. H., “Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Air Terhadap Kinerja Generator Pembangkit Listrik Tenaga Air,” 2022

LAMPIRAN – LAMPIRAN

$Q = 0.029 \text{ m}^3/\text{s}$
 $V = 0.28 \text{ m/s}$
 $A = 0.18 \text{ m}^2$

• Perancangan Turbin Water Wheel

$D_1 = \text{diameter luar turbin (cm)} = 30 \text{ cm}$
 $D_2 = \text{diameter dalam turbin (cm)}$

$D_2 = \frac{2}{3} \cdot D_1$ $D_{avg} = \frac{D_1 + D_2}{2}$
 $D_2 = \frac{2}{3} \cdot 30$ $D_{avg} = \frac{30 + 20}{2}$
 $D_2 = 20 \text{ cm}$ $D_{avg} = 25 \text{ cm}$

Jumlah Sudu (z): 12 buah $T = F \cdot r = 14.1 \times 0.15 = 2.115 \text{ Nm}$

- Jarak Antar Sudu - Kapasitas Daya
 Luar dalam Putar wheel = $\tau \cdot \frac{2\pi n z}{60}$

$t_1 = \frac{D_1 \times \pi}{z}$ $t_2 = \frac{D_2 \times \pi}{z}$
 $t_1 = \frac{30 \times \pi}{12}$ $t_2 = \frac{20 \times \pi}{12}$
 $t_1 = 7.8 \text{ cm}$ $t_2 = 5 \text{ cm}$

$= 2.115 \cdot \frac{2\pi \cdot 8 \cdot 12}{60}$
 $= 21.26 \text{ watt}$

- Kecepatan keliling turbin
 $U_1 = \frac{V \cos \alpha}{2}$
 $U_1 = \frac{0.28 \cos 30}{2}$
 $U_1 = 0.12 \text{ m/s}$

- Putaran turbin (N) (rpm)
 $N = \frac{60 \times U_1}{\pi \times D_1}$
 $N = \frac{60 \times 0.12}{\pi \times 30}$
 $N = 7.8 \approx 8 \text{ rpm}$

Perancangan Turbin Archimedes Screw 2 Blade

$$H = 0.5 \text{ m}, Q = 0.039 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Panjang turbin

$$L = \frac{H}{K \sin 35}, 0.5, 0.87 \text{ m} = 87 \text{ cm}$$

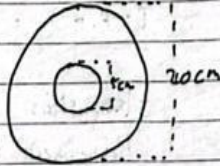
Diameter turbin luar

$$D_o = \left(\frac{Q \tan \theta}{K_i \gamma V} \right)^{\frac{3}{2}}$$

$$= \left(\frac{0.022 \times \tan(35)}{10.362 \times 0.012} \right)^{\frac{3}{2}} = 0.21 \text{ m} \approx 20 \text{ cm}$$

$$R_o = 10 \text{ cm}$$

$$R_i = 2.5 \text{ cm}$$



$$\text{Pitch Ratio} = \frac{R_i}{R_o} = \frac{2.5}{10} = 0.25$$

Λ = Jarak 1 putaran spiral

$$\Lambda = \frac{2 \pi \cdot R_o \cdot \text{Pitch Ratio}}{K}$$

$$\Lambda = \frac{2 \pi \cdot 0.1 \cdot 0.25}{\tan 35}$$

$$\Lambda = 0.22 \text{ m} = 22 \text{ cm}$$



Jumlah Spiral

$$m = \frac{L}{\Lambda} = \frac{0.87 \text{ m}}{0.22 \text{ m}} = 3.9 \approx 4$$

m = 4 Spiral untuk 1 blade

KULIAH KERJA NYATA UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

$$U = \frac{1}{2} \cdot V \cdot \cos \alpha$$

$$0,052 = \frac{1}{2} \cdot 0,17 \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{0,052}{0,17}$$

$$\cos \alpha = 0,30$$

$$\alpha = 72^\circ //$$

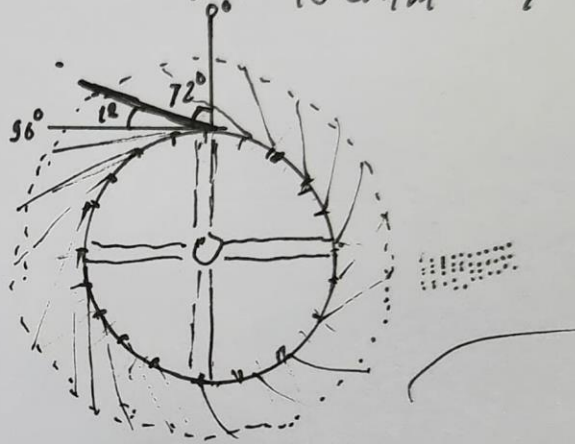
target 200 rpm

$$d = 30 \text{ cm}$$

$$k = \pi \times 30 = 94,2 \text{ cm}$$

$$94,2 \times 200 = 18.840 \text{ cm/m}$$

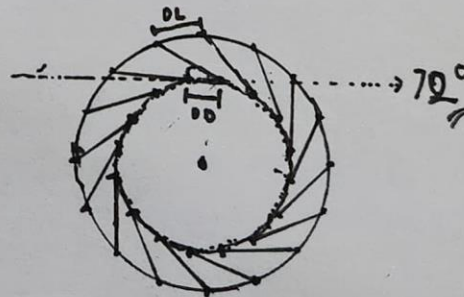
$$U = 18.840 \text{ cm/m} = 0,052 \text{ m/s}$$



Jumlah sudu 16

$$/ 5,9 \text{ cm} = DL$$

$$/ 3,9 \text{ cm} = DO$$





No load

No	Debit Air (cm ³ /detik)	Generator 30 Watt	Tegangan (Volt)	Generator 200 Watt	Tegangan (Volt)
		Putaran (rpm)		Putaran (rpm)	
		Generator		Generator	
1	167	172	14	169	5.2
2	167	109	8	720	24.2
3	167	139	11	738	25.2
4	167	453	35.8	480	16.2
5	167	600	28	430	14

Full Sistem

No	Debit Air (cm ³ /detik)	Generator 30 Watt	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)	Generator 200 Watt	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)
		Putaran (rpm)			Putaran (rpm)		
		Generator			Generator		
1	167	450	12.4	0.03	400	12.3	0.03
2	167	369	12.4	0.02	350	12.2	0.05
3	167	650	12.4	0.02	513	12.3	0.5
4	167	400	12.4	0.02	700	12.3	1
5	167	500	12.4	0.02	1024	12.4	2

Generator + Lampu

No	Debit Air (cm ³ /detik)	Generator 30 Watt	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)	Generator 200 Watt	Tegangan (Volt)	Arus (ampere)
		Putaran (rpm)			Putaran (rpm)		
		Generator			Generator		
1	167	512	8	0.04	300	10	0.2
2	167	587	8.2	0.03	500	12.8	0.5
3	167	552	8	0.03	522	12	0.52
4	167	498	7.9	0.02	420	10.8	0.45
5	167	600	8.4	0.04	480	11.2	0.48

TABEL PERBAIKAN LAPORAN AKHIR CAPSTONE

MAHASISWA #1 : 20524117 Galang Ismu Kurniawan
MAHASISWA #2 : 20524121 Muhammad Rifan Ghifari
JUDUL/TOPIK : Pembangkit Listrik Tenaga Pihidro Portabel dengan Turbin Undershot Waterwheel

No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
1	Usahakan menampilkan dasar penentuan jumlah blade turbin	Menjelaskan bahwa penentuan jumlah turbin yang tepat adalah percobaan <i>trial and error</i> .	82	Approved
2	Perhitungan efisiensi diperbaiki dengan menghitung beberapa hasil eksperimen	Menambahkan Hasil perhitungan efisiensi dalam beberapa kondisi.	75	Approved
3	Perlu dijelaskan hubungan antara debit air dan kecepatan air	Menambahkan penjelasan pengaruh dan hubungan debit air, kecepatan air, dan volume air.	80	Approved
4	Pada pengujian alat di dua tempat berbeda, sebaiknya kondisi alat harus sama persis	Menambahkan penjelasan mengapa kondisi alat berbeda ketika pengujian.	74	Approved
5				Not started
6				Not started
7				Not started
8				Not started
9				Not started
10				Not started

Yogyakarta, 6 Agustus 2024

Menyetujui,
Penguji



Firmansyah N. B., S.T., M.Sc., Ph.D.