

**OPTIMALISASI DESAIN DAN EFISIENSI TURBIN ARCHIMEDES SCREW
UNTUK PEMANFAATAN ENERGI KINETIK SUNGAI CIASIHAN**Andi Saidah¹, Alvan Cania²,¹⁾²⁾ Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta**Abstract (English)**

This study evaluates the potential of electrical power from the Archimedes screw turbine applied in the Ciasihan River, Bogor. The results show that this turbine has a very high efficiency at an angle of inclination of 30 degrees and 35 degrees, with efficiencies reaching 96.8% and 98.8%, respectively. This high efficiency allows the turbine to produce significant electrical power, namely 27.036 kW at an angle of 30 degrees and 27.594 kW at an angle of 35 degrees. The simple yet efficient design of the Archimedes screw turbine also shows good flexibility and adaptability to variations in river water flow conditions. With various angles and adjustable design parameters, this turbine is able to achieve optimal performance. In addition, variations in the number of threads and turbine pitch allow further adjustments to optimize electricity production according to the characteristics of the Ciasihan River flow. This study shows that the Archimedes screw turbine can make a significant contribution to local electrical energy needs, making it a viable and efficient choice for applications in rivers with similar characteristics.

Article History*Submitted: 19 August 2024**Accepted: 28 August 2024**Published: 29 August 2024***Key Words**

Archimedes screw turbine, efficiency, electrical power potential, design flexibility

Abstrak (Indonesia)

Penelitian ini mengevaluasi potensi daya listrik dari turbin Archimedes screw yang diaplikasikan di Sungai Ciasihan, Bogor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin ini memiliki efisiensi yang sangat tinggi pada sudut kemiringan 30 derajat dan 35 derajat, dengan efisiensi masing-masing mencapai 96,8% dan 98,8%. Efisiensi yang tinggi ini memungkinkan turbin untuk menghasilkan daya listrik yang signifikan, yaitu 27,036 kW pada sudut 30 derajat dan 27,594 kW pada sudut 35 derajat. Desain turbin Archimedes screw yang sederhana namun efisien juga menunjukkan fleksibilitas dan adaptabilitas yang baik terhadap variasi kondisi aliran air di sungai. Dengan berbagai sudut kemiringan dan parameter desain yang dapat disesuaikan, turbin ini mampu mencapai performa optimal. Selain itu, variasi jumlah ulir dan pitch turbin memungkinkan penyesuaian lebih lanjut untuk mengoptimalkan produksi listrik sesuai dengan karakteristik aliran Sungai Ciasihan. Penelitian ini menunjukkan bahwa turbin Archimedes screw dapat memberikan kontribusi besar terhadap kebutuhan energi listrik setempat, menjadikannya pilihan yang layak dan efisien untuk aplikasi di sungai dengan karakteristik serupa.

Sejarah Artikel*Submitted: 19 August 2024**Accepted: 28 August 2024**Published: 29 August 2024***Kata Kunci**

Turbin Archimedes screw, efisiensi, potensi daya listrik, fleksibilitas desain

1. LATAR BELAKANG

Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan energi listrik dari tenaga air, atau yang dikenal sebagai hidroelektrik. Sebagai negara kepulauan dengan ribuan sungai dan sumber daya air yang melimpah, Indonesia memiliki peluang besar untuk memanfaatkan tenaga air sebagai sumber energi terbarukan. Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), potensi energi hidroelektrik di Indonesia mencapai sekitar 75 gigawatt (GW) (Kementerian ESDM).

Salah satu alasan utama mengapa tenaga air memiliki potensi besar di Indonesia adalah topografi negara ini yang terdiri dari pegunungan dan lembah-lembah yang dalam. Contohnya, di Pulau Sumatera, Sungai Musi dan Sungai Batanghari merupakan dua dari banyak sungai yang memiliki potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Selain itu, di Pulau Jawa, Sungai Citarum sudah lama dimanfaatkan untuk PLTA Jatiluhur dan Cirata,

yang telah memberikan kontribusi signifikan terhadap pasokan listrik di pulau terpadat di Indonesia ini (PLTA Jatiluhur).

Wilayah Indonesia timur juga memiliki potensi hidroelektrik yang signifikan. Di Papua, Sungai Mamberamo diperkirakan memiliki potensi energi listrik yang sangat besar, dengan estimasi mencapai 20 GW (Potensi Sungai Mamberamo). Pengembangan PLTA di wilayah ini tidak hanya dapat memenuhi kebutuhan listrik lokal tetapi juga berpotensi untuk mengeksport listrik ke negara tetangga.

Namun, meski memiliki potensi yang besar, pemanfaatan tenaga air di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah isu lingkungan dan sosial. Pembangunan bendungan besar untuk PLTA dapat menyebabkan perubahan ekosistem, merelokasi penduduk, dan merusak habitat alami. Oleh karena itu, penting untuk menerapkan praktik pembangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Misalnya, mikrohidro atau PLTA skala kecil bisa menjadi solusi yang lebih ramah lingkungan dan sosial, dengan dampak yang lebih kecil terhadap ekosistem dan masyarakat setempat (Mikrohidro dan PLTA Skala Kecil).

Selain itu, masalah teknis dan finansial juga menjadi kendala dalam pengembangan energi hidroelektrik. Investasi awal yang tinggi untuk pembangunan infrastruktur PLTA sering kali menjadi hambatan. Namun, dengan adanya dukungan dari pemerintah dan investor swasta, serta perkembangan teknologi yang membuat biaya konstruksi menjadi lebih terjangkau, tantangan ini dapat diatasi.

Untuk mengoptimalkan potensi tenaga air, pemerintah Indonesia telah mengimplementasikan berbagai kebijakan dan program untuk mendukung pengembangan energi terbarukan. Salah satunya adalah Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang menargetkan peningkatan kontribusi energi terbarukan dalam bauran energi nasional hingga 23% pada tahun 2025, di mana tenaga air diharapkan menjadi salah satu kontributor utama (RUEN).

Dengan potensi yang besar dan dukungan kebijakan yang kuat, pengembangan energi listrik dari tenaga air di Indonesia diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam memenuhi kebutuhan listrik nasional, sekaligus mendukung upaya global dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan memerangi perubahan iklim.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Salah satu keuntungan utama dari turbin air adalah keberlanjutannya. Berbeda dengan sumber energi fosil yang terbatas, energi air berasal dari siklus hidrologi alami yang terus berputar, menjadikannya sumber energi yang tidak akan habis. Selain itu, pembangkit listrik tenaga air (PLTA) memiliki efisiensi konversi energi yang sangat tinggi, dengan beberapa sistem mampu mencapai efisiensi hingga 90% (IEA, 2021). Ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi pembangkit listrik berbahan bakar fosil, yang biasanya hanya mencapai sekitar 35-40% (Smil, 2017). Keuntungan lainnya adalah kemampuan PLTA untuk berfungsi sebagai penyimpanan energi dalam bentuk pembangkit listrik tenaga air yang dipompa, di mana air dipompa ke reservoir yang lebih tinggi selama periode permintaan rendah dan dilepaskan untuk menghasilkan listrik selama puncak permintaan. Ini membantu dalam menyeimbangkan beban jaringan listrik dan mengurangi kebutuhan akan pembangkit listrik berbahan bakar fosil.

Namun, pembangunan PLTA juga menghadapi beberapa tantangan. Salah satunya adalah dampak lingkungan yang signifikan. Pembangunan bendungan besar seringkali mengakibatkan perubahan besar dalam ekosistem lokal, termasuk perubahan aliran sungai, hilangnya habitat bagi flora dan fauna, serta pengungsian penduduk lokal (Fearnside, 2016). Selain itu, bendungan besar dapat menyebabkan masalah sedimentasi, di mana sedimen yang terperangkap di belakang bendungan mengurangi kapasitas penyimpanan air dan efisiensi

pembangkit listrik. Tantangan lainnya adalah biaya investasi awal yang tinggi. Pembangunan PLTA memerlukan investasi besar dalam infrastruktur, termasuk bendungan, saluran air, turbin, dan generator. Meskipun biaya operasional dan pemeliharaan relatif rendah, pengembalian investasi awal bisa memakan waktu beberapa dekade (Kumar et al., 2011).

Inovasi dalam teknologi turbin air terus berlanjut, dengan tujuan meningkatkan efisiensi, mengurangi dampak lingkungan, dan membuat teknologi ini lebih terjangkau. Salah satu inovasi terbaru adalah pengembangan turbin Archimedes screw, yang dirancang untuk bekerja pada aliran air dengan kecepatan rendah dan volume tinggi. Turbin ini sangat efisien dalam kondisi tersebut dan memiliki dampak lingkungan yang minimal karena pergerakan air yang lebih alami dan tidak memerlukan bendungan besar (Blažej et al., 2018). Selain itu, turbin ini dapat digunakan di sungai-sungai kecil dan kanal, menjadikannya ideal untuk pembangkit listrik skala kecil di daerah terpencil atau pedesaan. Inovasi lainnya termasuk pengembangan turbin yang dirancang untuk bekerja di lingkungan laut, seperti turbin arus laut dan gelombang, yang memanfaatkan energi kinetik dari arus laut dan gelombang untuk menghasilkan listrik (Bahaj, 2013).

Selain pengembangan teknologi baru, ada juga upaya untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan turbin air yang ada. Misalnya, penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan bahan komposit dan desain bilah turbin yang lebih aerodinamis dapat meningkatkan efisiensi turbin dan mengurangi biaya pemeliharaan (Kumar et al., 2011). Selain itu, pengembangan sistem kontrol pintar memungkinkan optimalisasi operasi turbin berdasarkan kondisi aliran air yang dinamis, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan pembangkit listrik (Yildiz et al., 2020). Inovasi ini tidak hanya membantu meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan turbin air tetapi juga membuat teknologi ini lebih kompetitif di pasar energi terbarukan global.

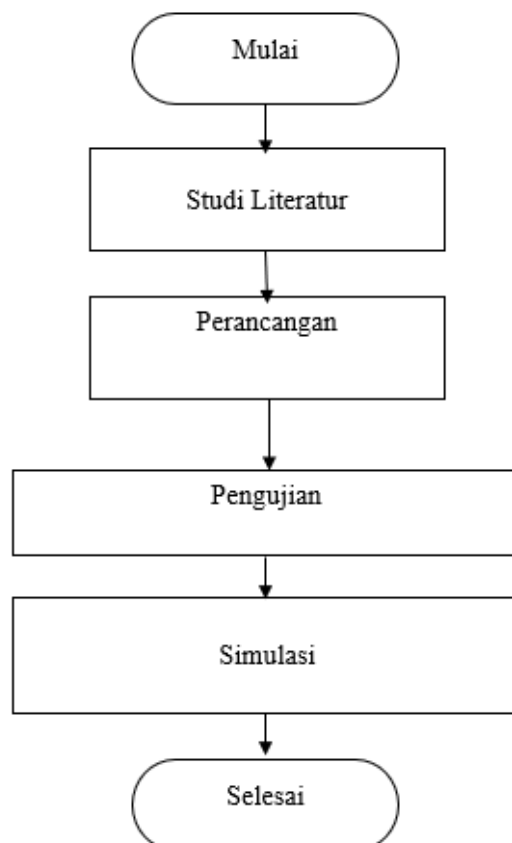
Turbin air telah diimplementasikan di berbagai negara dengan keberhasilan yang bervariasi. Di negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Kanada, dan Norwegia, pembangkit listrik tenaga air telah menjadi bagian integral dari infrastruktur energi nasional. Misalnya, di Norwegia, hampir 99% dari total produksi listrik berasal dari energi air, berkat kondisi geografis yang menguntungkan dengan banyaknya sungai dan pegunungan yang cocok untuk pembangunan PLTA (IEA, 2021). Di Amerika Serikat, proyek-proyek besar seperti Bendungan Hoover dan Grand Coulee telah menyediakan listrik yang stabil dan andal selama beberapa dekade (DOE, 2020). Keberhasilan ini sebagian besar didukung oleh investasi besar dalam penelitian dan pengembangan, serta kebijakan pemerintah yang mendukung energi terbarukan.

Di negara-negara berkembang, implementasi turbin air menghadapi lebih banyak tantangan tetapi juga menunjukkan potensi besar. Misalnya, di negara-negara seperti India dan Brazil, pembangkit listrik tenaga air menjadi semakin penting dalam memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Di India, pemerintah telah meluncurkan berbagai inisiatif untuk meningkatkan kapasitas pembangkit listrik tenaga air, termasuk proyek-proyek mikrohidro di daerah pedesaan yang terpencil (Kumar et al., 2019). Sementara itu, di Brazil, Bendungan Itaipu, salah satu PLTA terbesar di dunia, telah menjadi simbol keberhasilan dalam memanfaatkan sumber daya air untuk energi terbarukan (Fearnside, 2016). Implementasi turbin air di negara-negara berkembang seringkali melibatkan kerjasama internasional dan bantuan teknis dari negara-negara maju, serta dukungan dari organisasi internasional seperti World Bank dan UNDP.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bersifat kuantitatif dan dilakukan melalui beberapa tahapan yang tersusun secara sistematis untuk mendapatkan hasil yang valid dan reliabel. Adapun tahapan-tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. **Studi Literatur:** Tahap pertama penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur yang mendalam. Pada tahap ini, berbagai sumber literatur yang relevan dengan topik penelitian dikaji secara komprehensif untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam mengenai turbin Archimedes screw dan aplikasinya dalam pembangkit listrik di sungai. Literatur yang dikaji mencakup jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian sebelumnya, dan sumber-sumber lain yang terkait.
2. **Perancangan:** Setelah memahami konsep dasar dari literatur, tahap berikutnya adalah perancangan turbin Archimedes screw. Pada tahap ini, parameter-parameter desain seperti sudut kemiringan, jumlah ulir, dan pitch turbin ditentukan berdasarkan hasil studi literatur dan analisis awal. Perancangan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak desain teknik untuk memastikan akurasi dan efisiensi dari desain yang dibuat.
3. **Pengujian:** Tahap pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja turbin yang telah dirancang. Pengujian melibatkan pengukuran efisiensi turbin pada berbagai sudut kemiringan dan variasi parameter lainnya. Data yang diperoleh dari pengujian ini akan dianalisis untuk menentukan efisiensi dan potensi daya listrik yang dihasilkan oleh turbin.
4. **Simulasi:** Setelah melakukan pengujian fisik, simulasi komputer dilakukan untuk memvalidasi hasil pengujian dan mengeksplorasi berbagai skenario operasi turbin. Simulasi ini menggunakan model matematis dan perangkat lunak simulasi untuk mensimulasikan aliran air melalui turbin dan menghitung potensi daya listrik yang dihasilkan.
5. **Selesai:** Tahap akhir penelitian adalah analisis data dan penarikan kesimpulan. Data dari pengujian dan simulasi dianalisis secara statistik untuk memastikan validitas dan reliabilitas hasil.



Gambar 1. Flowchart penelitian

4. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pengukuran debit air sungai dilakukan dengan metode penampang lintang dan kecepatan aliran di beberapa titik sepanjang penampang. Dalam tabel, ditampilkan empat titik pengukuran dengan luas penampang bervariasi antara 0,29 m² hingga 0,33 m² dan kecepatan aliran yang berkisar antara 0,70 m/s hingga 0,80 m/s. Debit air sungai pada setiap titik dihitung dengan mengalikan luas penampang dengan kecepatan aliran. Dari hasil tersebut, debit total sungai Ciasihan diperoleh sebesar 0,95 m³/s.

Analisis Data

1. Titik 1:

- **Luas Penampang:** 0,31 m²
- **Kecepatan Rata-rata:** 0,70 m/s
- **Debit Air Sungai:** 0,31 m² * 0,70 m/s = 0,22 m³/s

2. Titik 2:

- **Luas Penampang:** 0,32 m²
- **Kecepatan Rata-rata:** 0,76 m/s
- **Debit Air Sungai:** 0,32 m² * 0,76 m/s = 0,24 m³/s

3. Titik 3:

- **Luas Penampang:** 0,29 m²
- **Kecepatan Rata-rata:** 0,78 m/s
- **Debit Air Sungai:** 0,29 m² * 0,78 m/s = 0,23 m³/s
-

4. Titik 4:

- **Luas Penampang:** 0,33 m²
- **Kecepatan Rata-rata:** 0,80 m/s
- **Debit Air Sungai:** 0,33 m² * 0,80 m/s = 0,26 m³/s

Total Debit:

- **Debit Total:** 0,22 m³/s + 0,24 m³/s + 0,23 m³/s + 0,26 m³/s = 0,95 m³/s

4.1 Efisiensi dan Daya Archimedes Screw Sudut 30°

$$\eta = \frac{2. \alpha + 1}{2. \alpha + 2} x \left(1 - \frac{0,01125. D^2}{Q}\right)$$

$$\eta = \frac{2.60 + 1}{2.60 + 2} x \left(1 - \frac{0,01125. 0,52^2}{0,95}\right)$$

$$\eta = 96,8\%$$

$$P = \rho. g. Q. H. \eta$$

$$P = 1000 x 9,8 x 0,95 x 3 x 96,8\%$$

$$P = 27036,24 \text{ W}$$

$$P = 27,036 \text{ kW}$$

4.2 Efisiensi dan Daya Archimedes Screw Sudut 35°

$$\eta = \frac{2.35 + 1}{2.35 + 2} x \left(1 - \frac{0,01125. D^2}{Q}\right)$$

$$\eta = \frac{2.35 + 1}{2.35 + 2} x \left(1 - \frac{0,01125. 0,52^2}{0,95}\right)$$

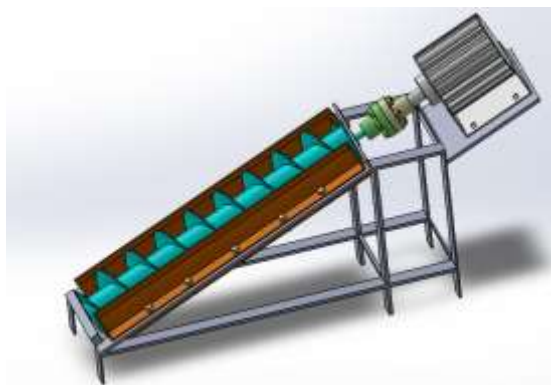
$$\eta = 98,8\%$$

$$P = \rho. g. Q. H. \eta$$

$$P = 1000 x 9,8 x 0,95 x 3 x 98,8\%$$

$$P = 27594,84 W$$

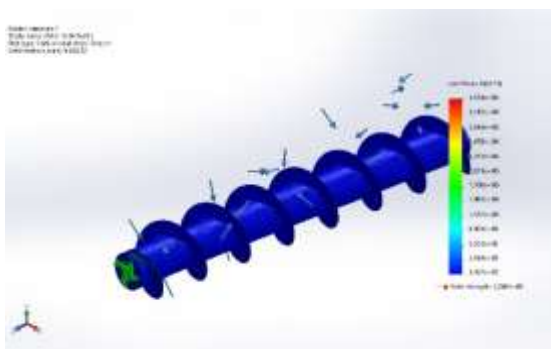
$$P = 27,594 kW$$



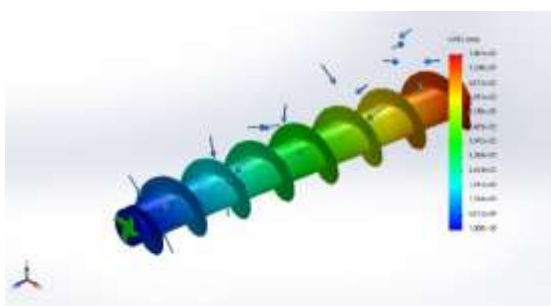
Gambar 1. Rancangan Archimedes

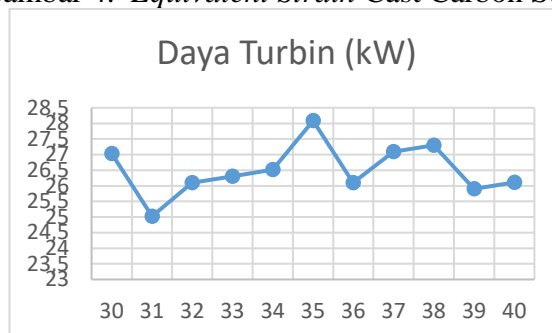


Gambar 2. Applied geometri



Gambar 3. Von mistress



Gambar 4. *Equivalent Strain Cast Carbon Steel*

Gambar 5. Variasi sudut terhadap daya

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Efisiensi yang Tinggi pada Berbagai Sudut Kemiringan

Turbin Archimedes screw menunjukkan efisiensi yang tinggi pada sudut kemiringan 30 derajat dan 35 derajat. Pada sudut 30 derajat, efisiensi mencapai 96,8%, sedangkan pada sudut 35 derajat, efisiensi bahkan lebih tinggi yaitu 98,8%. Hal ini menunjukkan bahwa turbin ini sangat efektif dalam mengonversi energi kinetik aliran air menjadi energi mekanik, yang kemudian diubah menjadi energi listrik.

2. Potensi Daya Listrik yang Signifikan

Dengan efisiensi yang tinggi, potensi daya listrik yang dapat dihasilkan oleh turbin Archimedes screw di Sungai Ciasihan cukup signifikan. Pada sudut 30 derajat, daya listrik yang dihasilkan mencapai 27,036 kW, sedangkan pada sudut 35 derajat, daya listrik yang dihasilkan sedikit lebih tinggi, yaitu 27,594 kW. Ini menunjukkan bahwa penggunaan turbin ini dapat memberikan kontribusi yang besar terhadap kebutuhan energi listrik setempat.

3. Fleksibilitas dan Adaptabilitas Desain

Desain turbin Archimedes screw yang sederhana namun efisien memungkinkan adaptasi yang baik terhadap variasi kondisi aliran air di Sungai Ciasihan. Dengan berbagai sudut kemiringan dan parameter desain lainnya, turbin ini dapat disesuaikan untuk mencapai performa optimal.

1. Optimalisasi Sudut Kemiringan dan Desain Turbin

Meskipun penelitian menunjukkan bahwa sudut kemiringan 35 derajat memberikan efisiensi yang sedikit lebih tinggi daripada 30 derajat, disarankan untuk melakukan optimalisasi lebih lanjut pada sudut kemiringan dan desain turbin. Uji coba lapangan dengan variasi sudut kemiringan yang lebih banyak dapat memberikan data yang lebih komprehensif untuk menentukan sudut kemiringan optimal yang dapat menghasilkan daya listrik maksimum dengan mempertimbangkan berbagai kondisi aliran air di Sungai Ciasihan.

2. Monitoring dan Pemeliharaan Berkala

Untuk memastikan kinerja turbin Archimedes screw tetap optimal dalam jangka panjang, disarankan untuk menerapkan sistem monitoring dan pemeliharaan berkala. Hal ini mencakup pemeriksaan rutin terhadap kondisi screw, cover screw, rangka, generator, shaft coupling, dan bearing. Dengan melakukan pemeliharaan yang terjadwal, kerusakan dapat dideteksi lebih dini dan diatasi sebelum mengganggu operasi turbin, sehingga efisiensi dan daya listrik yang dihasilkan dapat dipertahankan atau bahkan ditingkatkan. Pitch turbin yang bervariasi

memungkinkan penyesuaian lebih lanjut untuk mengoptimalkan produksi listrik sesuai dengan karakteristik aliran sungai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Saefudin, E., Kristyadi, T., Rifki, M., & Arifin, S. (2017). Turbin screw untuk pembangkit listrik skala mikrohidro ramah lingkungan. *Rekayasa Hijau: Jurnal Teknologi Ramah Lingkungan*, 1(3).
2. Berlian Mahendra (2013). “ PERANCANGAN PIPA PESAT, DAN DAYA KELUARAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR KOKOK PUTIH DESA BILOK PETUNG KECAMATAN SEMBALUN KABUPATEN LOMBOK TIMUR”. *Dinamika Teknik Mesin*, vol.3 No.2 Juli 2013
3. Eko sulistio, 2018." analisis head losses pada pen stock unit III di perum jasa tirta II unit jasa pembangkitan PLTA IR. H. DJUANDA"
4. Agus Indarto, dkk (2012), “Kajian Potensi Sungai Srinjing Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Brumbung di Kabupaten Kediri”, <http://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/viewFile/162/158>
5. Ariesta Adhitama (2019). “ Analisa potensi pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) di air terjun kalipancur Kabupaten Semarang.
6. Soim Mujaim, (2017). “KAJIAN HIDROLOGI, MEKANIKAL DAN ELEKTRIKAL UNTUK PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DI AIR TERJUN KEDUNG KAYANG KABUPATEN MAGELANG”.
7. <https://static.sdcpublishations.com/pdfsample/978-1-63057-325-6-2-r7zfaxkdx7.pdf>.