

**SIMULASI KEKUATAN MEKANIK PLAT BAJA ESER
SEBAGAI MATERIAL *UNDERSHOT WATERWHEEL*
MENGUNAKAN APLIKASI SOLIDWORKS**

SKRIPSI

Oleh :

Daffa Bagas Tama

NIM : 06121281823033

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin



FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2022

**SIMULASI KEKUATAN MEKANIK PLAT BAJA ESER
SEBAGAI MATERIAL *UNDERSHOT WATERWHEEL*
MENGUNAKAN APLIKASI SOLIDWORKS**

SKRIPSI

Oleh

Daffa Bagas Tama

NIM : 06121281823033

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Mengesahkan :

Pembimbing



Imam Syofii ,S.Pd M.ENG

NIP. 198305032009121006



Mengetahui,

Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin



Drs. Harlin, M.Pd

NIP. 196408011991021001

**SIMULASI KEKUATAN MEKANIK PLAT BAJA ESER
SEBAGAI MATERIAL *UNDERSHOT WATERWHEEL*
MENGUNAKAN APLIKASI SOLIDWORKS**

SKRIPSI

Oleh

Daffa Bagas Tama

06121281823033

Telah diujikan dan lulus pada :

Hari : Senin

Tanggal : 25 April 2022

TIM PENGUJI

1. Ketua : Imam Syofi'I, S.Pd., M.Eng



2. Anggota : Dewi Puspita Sari, S.Pd., M.Pd



Palembang, 25 April 2022

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Pendidikan Teknik Mesin



Drs. Harlin, M.Pd

NIP. 196408011991021001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Daffa Bagas Tama

Nim : 06121281823033

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul "**Simulasi Kekuatan Mekanik Plat Baja Eser Sebagai Material Undershot Waterwheel Menggunakan Aplikasi Solidworks**" merupakan benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi. Apabila di kemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan dalam skripsi ini dan / atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslian karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 25 April 2022

Vera Membuat Pernyataan



Daffa Bagas Tama

NIM. 06121281823033

LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Subhannallah Walhamdulillah walaa Ilahailallah Wallahuakbar

Maha Suci Allah SWT Tuhan semesta alam yang senantiasa selalu mencurahkan rahmat, dan nikmat-Nya kepada semua makhluk di muka bumi. Alhamdulillah berkat izin Allah SWT dan nikmat kekuatan dari Allah SWT sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini dengan penuh keikhlasan guna syarat menjemput gelar sarjana pendidikan di Program Studi S1 Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sriwijaya.

Skripsi ini saya persembahkan kepada :

- ❖ Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah memberikan nikmat iman, islam, kesehatan dan kesempatan sehingga saya mampu menyelesaikan skripsi ini. Semoga kita selalu bersyukur atas semua nikmat yang Allah berikan. Sholawat besertakan salam tak lupa juga saya ucapkan kepada junjungan kita nabi Muhammad SAW semoga kelak kita menjadi pengikut beliau hingga akhir zaman.
- ❖ Kedua orang tua saya, Bapak saya Sutejo dan Ibu saya Suprihatin, terima kasih selalu mendoakan yang terbaik untuk saya, yang selalu berjuang agar anaknya baik-baik saja, yang selalu menyemangati dan memotivasi saya serta senantiasa selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil yang sangat luar biasa kepada saya, yang tentunya kebaikan kedua orang tua saya kepada saya tidak mungkin dapat saya balas kecuali atas izin Allah SWT.
- ❖ Kakak saya Teo Bagus Pratama dan Adik saya Cahya Aulia yang

selalu menjadi penyemangat saya untuk menjadi pribadi yang lebih baik lagi dan memotivasi saya untuk selalu semangat untuk wisuda dan mengejar cita-cita saya. Atas izin Allah SWT semoga kita semua selalu diberi kesehatan serta kebahagiaan.

- ❖ Dosen pembimbing, Terima kasih Bapak Imam Syofi'I, S.Pd., M.Eng dan Bapak Dendy Ananta, S.Pd., MT, IPP. dan yang telah banyak membantu dan membimbing saya dengan sabar selama masa skripsian juga masa perkuliahan.
- ❖ Kepala Prodi Pendidikan Teknik Mesin, Terima Kasih Bapak Drs. Harlin, M.Pd yang selalu mendukung dan memotivasi saya selama masa perkuliahan sampai akhir pendidikan saya.
- ❖ Dosen pengajar, Terima kasih Bapak H. Imam Syofii, S.Pd., M.Eng, Ibu Nopriyanti, S.Pd., M.Pd, Ibu Nyimas Aisyah, M.Pd., Ph.D, Bapak Handi Arsap, S.Pd., M.Pd, Bapak Wadirin, S.Pd., M.Pd, Bapak Edy Setiyo, S.Pd., M.Pd.T, dan Bapak Elfahmi Dwi Kurniawan, S.Pd., M.Pd.T, yang telah banyak membagikan pengetahuan dan pengalaman kepada saya, serta memberikan semangat dan dukungannya selama masa perkuliahan sampai akhir pendidikan saya.
- ❖ Admin Pendidikan Teknik Mesin, Terima kasih kak Andi yang sudah membantu mengurus administrasi dan sebagainya selama masa skripsian ini.
- ❖ Sahabat-Sahabat saya, Terima Kasih (Farhan, Zaki, Riki, Rafik, Iken, Sandy, Kimau) Sedikit banyaknya sudah membantu saya dalam masa skripsi ini, yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada saya semoga kalian semua Sukses selalu.
- ❖ Pacar saya, Terima kasih Wilda Elia yang selalu memberikan

semangat dan selalu mengingatkan saya untuk mengerjakan skripsi sampai skripsi ini selesai.

- ❖ Teman-Teman Bengkel Yogi Motor, Terima kasih (kak Yogi, Bang Ade, Kak reno, Aldi, Ivan, Wildan, Aziz, Waci) yang selalu meluangkan waktunya untuk bersedia mendengarkan keluh kesah saya.
- ❖ Sahabat-sahabat dan teman seperjuangan saya di Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, meliputi kawan satu angkatan 2018, Kakak tingkat, dan Adik tingkat, yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Terima kasih banyak atas kenangan selama saya berkuliah, semoga selalu dalam kesuksesan.
- ❖ Almamater saya tercinta Universitas Sriwijaya, Terimakasih.

MOTTO

“Tetap berusaha, sabar, berdoa ,dan bersyukur agar senantiasa dipermudah segala urusan oleh Allah SWT ”

"Jangan selalu memandang ke atas tapi memandanglah kebawah, agar senantiasa bersyukur atas pemberian Allah SWT"

“Dan bersabarlah, karena sesungguhnya Allah tidak menyia-nyiakan pahala orang yang berbuat kebaikan.”

(QS Huud: 115)

PRAKATA

Skripsi dengan judul “Simulasi Kekuatan Mekanik Plat Baja Eser Sebagai Material *Undershot Waterwheel* Menggunakan Aplikasi Solidworks” disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd) pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya. Dalam mewujudkan skripsi ini, penulis telah mendapat bantuan dari berbagai pihak.

Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Imam Syofii, S.Pd, M.ENG sebagai pembimbing atas segala bimbingan yang telah diberikan dalam penulisan skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dr. Hartono, M.A., Dekan FKIP Unsri, Dr. Ismet., M.Si., Wakil Dekan Bidang Akademik, dan Drs. Harlin, M.Pd., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin yang telah memberikan kemudahan dalam pengurusan administrasi selama penulisan skripsi ini.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembelajaran bidang studi matematika dan pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni.

Indralaya, 25 April 2022

Penulis



Daffa Bagas Tama

06121281823033

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
MOTTO	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Energi	5
2.2 Energi Air	6
2.3 Konsep Gaya Hidrostatik	7
2.4 Torsi Dan Kecepatan Putaran kincir Air	7
2.5 Analisis Geometri.....	10
2.6 Efisiensi	11

2.7	Analisis Kekuatan Mekanik	11
2.7.1	Nilai Tegangan	11
2.7.2	<i>Tensile Strenght</i>	12
2.7.3	<i>Modulus Elastisity</i>	12
2.7.4	Bulk modulus	13
2.7.5	Von mises stress	13
2.7.6	Flexural Strength.....	14
2.7.7	Yield Strength	14
2.7.8	Ultimate Tensile strenght	15
2.7.9	Fracture	15
2.7.10	Elastic Region	15
BAB III.....		16
METODOLOGI.....		17
3.1	Deskripsi umum	17
3.2	Diagram Alur.....	17
3.3	Metode analitik.....	17
3.4	Metode Komputasi <i>Solidworks</i>	20
3.5	Langkah Kerja	22
BAB IV		31
HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Hasil Analitikal.....	31
4.1.1	Perancangan Kincir Air <i>Undershot</i>	31
4.1.2	Potensi Daya Terbangkitkan	32
4.1.3	Putaran Dan Efisiensi Kincir Air <i>Undershot</i>	34
4.1.4	Dimensi Kincir Air Langkah Bawah.....	35

4.2	Gambar Proyeksi Sudu Kincir Air <i>Undershot</i>	35
4.3	Pembahasan Hasil Simulasi Solidworks	36
BAB V	39
KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1	Kesimpulan.....	40
5.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Analitik..... 35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Rasio Elektrifikasi Indonesia	1
Gambar 2.1 Skematik Hukum Bernouli.....	6
Gambar 2.2 Perancangan Kincir Air <i>Undershot</i>	7
Gambar 2.3 Gaya Hidrostatik Pada Sudu Kincir Air <i>Undershot</i>	8
Gambar 2.4 Skematik Jari-Jari Pada Gaya Hidrostatik.....	9
Gambar 2.5 Grafik Stress end Strain.....	15
Gambar 3.1 diagram alur penelitian.....	16
Gambar 3.2 Diagram Alur Perancangan Kincir Air <i>Undershot</i>	19
Gambar 3.3 Tumpuan sudu kincir air <i>undershot</i>	20
Gambar 3.4 Daerah Tes Impact Sudu kincir air <i>undershot</i>	20
Gambar 3.5 Desain Roda Sudu kincir air <i>undershot</i>	21
Gambar 4.1 sudu kincir air <i>undershot</i>	34
Gambar 4.2 Kincir Air <i>Undershot</i>	35
Gambar 4.3 Visualisasi Von Misses Stress Mesh Course.....	36
Gambar 4.4 Visualisasi Von Misses Stress Mesh Medium	36
Gambar 4.5 Visualisasi Von Misses Stress Mesh Fine.....	37
Gambar 4.6 Grafik Hasil Simulasi Solidworks.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Usul Judul Skripsi.....	45
Lampiran 2 Surat Keterangan Verifikasi Pengajuan Judul Skripsi.....	46
Lampiran 3 Kesiediaan Membimbing Skripsi	47
Lampiran 4 Surat Pengantar Pembuatan SK Pembimbing Dari Kaprodi	48
Lampiran 5 Sk Pembimbing	49
Lampiran 6 Surat Pengantar Pembuatan SK Penelitian dari Kaprodi.....	51
Lampiran 7 Surat Izin Penelitian dari Dekan Fkip Unsri.....	52
Lampiran 8 Kartu Bimbingan Skripsi	53
Lampiran 9 Surat Persetujuan Sidang Skripsi.....	54
Lampiran 10 Surat Persetujuan Ujian Akhir	56
Lampiran 11 Lampiran 11 Surat Keterangan Uji Plagiarisme.....	57
Lampiran 12 Surat Keterangan Perbaikan dan izin menjilid	58
Lampiran 13 RPS Fisika Teknik	58
Lampiran 14 RPS Mekanika Teknik.....	72
Lampiran 15 RPS Pengujian Bahan.....	80

**SIMULASI KEKUATAN MEKANIK PLAT BAJA ESER
SEBAGAI MATERIAL *UNDERSHOT WATERWHEEL*
MENGUNAKAN APLIKASI SOLIDWORKS**

Daffa Bagas Tama¹, Imam Syofii²

¹ Mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya

² Dosen Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya

e-mail : daffabagastama@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan material plat baja eser sebagai material sudu kincir air *undershot* menggunakan simulasi Solidworks berdasarkan hasil kekuatan mekanik. Ada dua metode yang digunakan dalam studi ini: metode analitik untuk menentukan geometri sudu kincir air *undershot*, dan metode simulasi digunakan untuk memprediksi kekuatan mekaniknya. Dari hasil analitik, kincir air *undershot* memiliki 12 jumlah sudu dengan laju aliran 16 kg/s (160 Newton). Dari hasil simulasi, kekuatan mekanik plat baja eser sebagai material kincir air *undershot* menggunakan Solidworks tidak direkomendasikan untuk digunakan. Ini karena nilai Von mises stress material sudu melebihi nilai maksimum yield strength plat baja eser yaitu 250 MPa. Artinya, material plat baja eser untuk menjadi bahan dasar sudu kincir air *undershot* terindikasi kurang aman dan kurang kuat sehingga tidak bisa untuk digunakan menjadi material sudu kincir air *undershot*.

Kata Kunci : Kincir Air *Undershot*, Plat Baja Eser, Solidworks, , Von Mises Stress.

SIMULATION OF ESER STEEL PLATE MECHANICAL POWER AS UNDERSHOT WATERWHEEL MATERIAL USING SOLIDWORKS

Daffa Bagas Tama¹, Imam Syofii²

¹ Student of Mechanical Engineering Education, Sriwijaya University

² Lecturers of Mechanical Engineering Education, Sriwijaya University

e-mail : daffabagastama@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to determine the eser steel plate material as the undershot waterwheel blade material using Solidworks simulation based on the results of mechanical strength. There are two methods used in this study: an analytical method to determine the geometry of the undershot waterwheel blade, and a simulation method used to predict its mechanical strength. From the analytical results, the undershot waterwheel has 12 blades with a flow rate of 16 kg/s (160 Newton). From the simulation results, the mechanical strength of eser steel plate as an undershot waterwheel material using Solidworks is not recommended for use. This is because the value of the Von mises stress of the blade material exceeds the maximum yield strength of the eser steel plate, which is 250 MPa. This means that the Eser steel plate material to be the basic material for the undershot waterwheel blade is indicated to be less safe and less strong so that it cannot be used as an undershot waterwheel blade material.

Keywords : Undershot Water Wheel, Eser Steel Plate, Solidworks, Von Mises Stress.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi mendorong pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan. Hal ini merupakan bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Berkurangnya energi fosil diakibatkan oleh penggunaan yang terus menerus, dan jika tidak digantikan dengan energi terbarukan maka energi tersebut akan habis (Praditya Tampubolon, 2019). Mengelektifikasi suatu desa di Indonesia merupakan pekerjaan yang tidak mudah. kondisi jalan menuju pedesaan yang sulit dijangkau kendaraan besar merupakan tantangan untuk membangun transmisi listrik dan distribusi listrik hingga ke pelosok (Kikugawa et al., 2021). Maka dari itu, perlu adanya upaya pembangunan instalasi pembangkit tenaga listrik mandiri dengan konstruktabilitas yang baik.



Gambar 1.1 Rasio Elektrifikasi Indonesia

Rasio elektrifikasi di Indonesia dari 2010 sampai 2016 menunjukkan kenaikan yang signifikan. Pada awal tahun 2010, rasio elektrifikasi nasional

sebesar 67,15%, pada akhir tahun 2016 mencapai 91,16%. Rata-rata kenaikan 4,75% per tahun ini merupakan kenaikan tertinggi selama ini. Sebelum tahun 2010 rata-rata kenaikan rasio elektrifikasi hanya sekitar 0,7 – 0,8 % per tahun. Rasio elektrifikasi nasional menyatakan bahwa 98% daerah Sumatera Selatan sudah dialiri listrik, dimana masih terdapat 2% daerah yg belum dialiri listrik (Kementrian ESDM, 2019).

Sumatera selatan memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar. Oleh karenanya daerah Sumatera Selatan harus memiliki RE 100% (Cleynen et al., 2018). Penyediaan listrik di Sumatera Selatan seharusnya direncanakan dengan baik dan dapat memanfaatkan energi terbarukan. Potensi energi terbarukan Sumatera Selatan yaitu 21.866 MW dan kapasitas terpasang pada tahun 2018 yaitu 18 MW. Untuk pembangunan PLTA Sumatera Selatan memiliki potensi 776 MW dan kapasitas terpasang 12 MW (Kementrian ESDM, 2019). Perencanaan pembangunan PLTA pada tahun 2019-2028 yaitu 921 MW (Thayib et al., 2017). Dengan demikian, energi air merupakan usulan tepat sebagai suplay tambahan energi listrik untuk Sumatera Selatan.

Dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada di Sumatera Selatan, aliran sungai merupakan salah satu sumber yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber tenaga mekanik kincir air *undershot*. Dengan demikian kincir air *undershot* dapat digunakan masyarakat untuk mendistribusikan air ke dasar yang lebih tinggi dari sumber air. Kincir air *undershot* tradisional terdiri dari serangkaian bilah lurus yang biasanya dipasang sehingga menghadap lurus di sepanjang jari-jari roda (Sari et al., 2020). Ketika air dari aliran sungai melewati roda yang kemudian mengenai bilahnya, dan sebagian momentumnya dipindahkan ke roda, maka terjadilah gerakan memutar dari kincir air *undershot* dan dari gerakan tersebut yang kemudian diubah menjadi energi listrik (Quaranta & Müller, 2020). Kincir air *undershot* memiliki bentuk yang sederhana, dan menghasilkan efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin lainnya. Kincir air *undershot* lebih efektif saat beroperasi dengan head rendah. Karena bentuknya yang sederhana, perbaikan kincir air *undershot* lebih ekonomis (Wariito et al., 2018). Kincir air

undershot dapat ditempatkan di sungai kecil di daerah datar, dekat dengan pusat populasi. Kincir air *undershot* dirancang untuk meminimalkan kehilangan daya keluar di bagian hilir roda. Kincir air *undershot* cocok digunakan di daerah Sumatera Selatan.

Pada umumnya material yang digunakan dalam pembuatan kincir air *undershot* adalah baja. Baja memiliki keuntungan inersia yang besar, inersia merupakan kemampuan suatu benda untuk menolak suatu perubahan dalam keadaan gerak, kecuali dipaksa bergerak oleh gaya eksternal (Rasyad & Budiarto, 2018). Dengan demikian kincir air *undershot* dapat bergerak jika terdapat aliran air yang melawati kincir air *undershot* dan tidak dapat berhenti bergerak kecuali terdapat gaya eksternal yang memaksa untuk berhenti bergerak, namun aliran air disungai tidak selalu tenang, terkadang aliran air disungai cukup deras (Sipahutar & Hadi, n.d.). Jika material yang digunakan tidak tepat maka material tersebut tidak dapat menahan derasnya aliran sungai sehingga dapat terjadi kerusakan pada kincir air *undershot* (Sritram & Suntivarakorn, 2017).

Dari studi literatur diatas dan hipotesa sub bab 1.1 kajian kelayakan plat baja eser sebagai material kincir air *undershot* penting untuk dikaji. Dengan demikian studi ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan mekanik kincir air *undershot* menggunakan bahan plat baja eser.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diungkapkan peneliti, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu : Apakah plat baja eser dapat digunakan sebagai material sudu kincir air *undershot* berdasarkan uji kekuatan mekanik menggunakan aplikasi Solidworks 2018.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah maka tujuan penelitian ini adalah: untuk membuktikan kekuatan mekanik dari plat baja eser sebagai

material sudu kincir air *undershot*, dan untuk membuktikan apakah plat baja eser dapat diaplikasikan sebagai material sudu kincir air *undershot*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu dapat menjadikan penelitian ini sebagai alternatif dalam memperbaiki serta meningkatkan kewaspadaan terhadap bahan yang digunakan dalam pembuatan kincir air *undershot*, sehingga dapat meminimalisir terjadinya masalah atau kerusakan dalam pengoperasian kincir air *undershot*.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Hakim, R. R. (2020). Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energi Terbarukan untuk Ketahanan Energi di Indonesia: Sebuah Ulasan. *ANDASIH Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 11–21.
<http://www.jurnal.umitra.ac.id/index.php/ANDASIH/article/view/374>
- Ceran, B., Jurasz, J., Wróblewski, R., Guderski, A., Złotecka, D., & Kazmierczak, Ł. (2020). Impact of the minimum head on low-head hydropower plants energy production and profitability. *Energies*, 13(24).
<https://doi.org/10.3390/en13246728>
- Cleynen, O., Kerikous, E., Hoerner, S., & Thévenin, D. (2018). Characterization of the performance of a free-stream water wheel using computational fluid dynamics. *Energy*, 165, 1392–1400.
<https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2018.10.003>
- Indonesia, U., Arifianto, S. A. D. I., Teknik, F., Studi, P., & Mesin, T. (2018). *Analisis jumlah sudu dan kecepatan aliran masuk pada turbin pikohidro roda air langkah bawah skripsi*.
- Kementrian ESDM. (2019). Kebijakan Nasional Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. *Kementerian ESDM*, 1–32. <http://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/11/191216-IESR-Clean-Energy-Outlook.pdf>
- Kikugawa, H., Kawano, Y., Shuto, M., & Furukawa, A. (2021). Improvement of compact Darrieus-type hydraulic turbine for extra low head by changing inlet shape. *Journal of Physics: Conference Series*, 1909(1), 0–8.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1909/1/012046>
- Muhammad Mu'izzul As'ad1, Ahmad Janan Febrianto1, D. M. P. (2021). *ANALISA PERFORMA HIDRO-TURBIN CROSS-FLOW DENGAN*. 5(1), 21–26.
- Nurdin, A., & Himawanto, D. A. (2018). Kajian Teoritis Uji Kerja Turbin

Archimedes Screw Pada Head Rendah. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 9(2), 783–796.
<https://doi.org/10.24176/simet.v9i2.2340>

Praditya Tampubolon, A. C. A. (2019). Laporan Status Energi Bersih Indonesia. *Iesr*, 1–23. www.iesr.or.id

Quaranta, E., & Müller, G. (2020). Optimization of undershot water wheels in very low and variable flow rate applications. *Journal of Hydraulic Research*, 58(5), 845–849. <https://doi.org/10.1080/00221686.2019.1671508>

Rasyad, A., & Budiarto, B. (2018). Analisis Pengaruh Temperatur, Waktu, dan Kuat Arus Proses Elektroplating terhadap Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk dan Kekerasan pada Baja Karbon Rendah. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 173–182. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2018.009.03.4>

Sari, D. P., Helmizar, Syofii, I., Darlius, & Adanta, D. (2020). The effect of the ratio of wheel tangential velocity and upstream water velocity on the performance of undershot waterwheels. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 65(2), 170–177.

Sipahutar, R., & Hadi, Q. (n.d.). *Tinjauan Teoritis Modifikasi Sudu Turbin Pelton dengan Material Polyester Matrix Composite untuk Pemakaian Pada Kincir Air ' Undershot ' Arus Lemah*. 149–154.

Sritram, P., & Suntivarakorn, R. (2017). Comparative Study of Small Hydropower Turbine Efficiency at Low Head Water. *Energy Procedia*, 138, 646–650. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.181>

Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., Udayana, U., & Air, T. (2020). Pengaruh Sudut Buka Guide Vane Dan Tekanan Air Terhadap Kecepatan Putar Dan Daya Output Pada Prototype Pembangkit. *Jurnal SPEKTRUM Vol*, 7(4), 144–150. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/download/67343/37414>

Suravut, S., Hirunlabh, J., Khedari, J., & Kiddee, K. (2017). Stand Alone Water

Wheel Low Speed Surface Aerator Chaipattana RX-2-3, Controller System. *Energy Procedia*, 138, 751–755.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.214>

Thayib, R., Nalendra, S., & D. Mayasari, E. (2017). Estimasi Sumberdaya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Dalam Pemenuhan Kebutuhan Listrik Dusun Pulau Timun, Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Geomine*, 5(3), 135–142.
<https://doi.org/10.33536/jg.v5i3.145>

Viollet, P. L. (2017). From the water wheel to turbines and hydroelectricity. Technological evolution and revolutions. *Comptes Rendus - Mecanique*, 345(8), 570–580. <https://doi.org/10.1016/j.crme.2017.05.016>

Wariito, Adanta, D., Arifianto, S. A., Nasution, S. B., & Budiarmo. (2018). Effect of Blades Number on Undershot Waterwheel Performance with Variable Inlet Velocity. *Proceedings - 2018 4th International Conference on Science and Technology, ICST 2018, November*.
<https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528714>

Warjito, Adanta, D., Budiarmo, Nasution, S. B. S., & Kurnianto, M. A. F. (2019). The effect of blade height and inlet height in a straight-blade undershot waterwheel turbine by computational method. *CFD Letters*, 11(12), 66–73.