

**SIMULASI KEKERASAN MEKANIK ABS SEBAGAI MATERIAL SUDU
TURBIN TURGO SKALA PIKO MENGGUNAKAN SOLIDWORK**

SKRIPSI

Oleh :

Arissandy Farenza

NIM : 06121381823040

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2022

**SIMULASI KEKERASAN MEKANIK ABS SEBAGAI
MATERIAL SUDU TURBIN TURGO SKALA PIKO
MENGUNAKAN *SOLIDWORKS***

SKRIPSI

Oleh

Arissandy Farenza

NIM : 06121381823040

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin

Mengesahkan :

Pembimbing



Dewi Puspita sari, S.Pd.,M.Pd

NIP. 198707270150422002

Mengetahui,

Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin



Drs. Harlin, M.Pd

NIP. 196408011991021001



**SIMULASI KEKERASAN MEKANIK ABS SEBAGAI
MATERIAL SUDU TURBIN TURGO SKALA PIKO
MENGUNAKAN *SOLIDWORKS***

SKRIPSI

Oleh

Arissandy Farenza

06121381823040

Telah diujikan dan lulus pada :

Telah diujikan dan lulus pada :

Hari : Rabu

Tanggal : 18 Mei 2022

TIM PENGUJI

1. Ketua : Dewi Puspita Sari, S.Pd., M.Pd



2. Anggota : Imam Syofi'I, S.Pd., M.Eng



Palembang, Mei
2022 Mengetahui,
Ketua Program
Studi Pendidikan
Teknik Mesin



Drs. Harlin, M.Pd
NIP. 196408011991021001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Arissandy Farenza

Nim : 06121381823040

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Dengan ini saya menyatakan bahwa seluruh skripsi ini dengan judul **Simulasi kekerasan mekanik abs sebagai material sudu turbin turgo skala piko menggunakan solidworks** merupakan benar-benar karya saya dan tidak dilakukan penjiplakan atau pengutipan yang tidak sesuai dengan kaidah keilmuan yang berlaku sesuai peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia No. 17 tahun 2010 tentang pencegahan dan penanggulangan plagiat di perguruan tinggi.

Atas pernyataan ini apabila pada kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran dan pengaduan dari pihak lainnya terhadap keaslian karya ini, saya siap menanggung sanksi yang akan dijatuhkan kepada saya.

Indralaya, 18 Mei 2022 Pembuat

Pernyataan



Arissandy Farenza

NIM. 06121381823040

LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillahirrohmanirrohim

Subhannallah Walhamdulillah walaa Ilahailallah Wallahuakbar

Maha Suci Allah SWT Tuhan semesta alam yang senantiasa selalu mencurahkan anugerah, 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 :

- ❖ Alhamdulillah Syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, islam, sehat dan kesempatan sehingga saya mampu menyelesaikan skripsi ini. Semoga kita selalu bersyukur atas semua nikmat yang Allah berikan. Tak lupa juga saya haturkan kepada junjungan kita nabi Muhammad SAW dan pengikut beliau hingga akhir zaman.
- ❖ Kedua orang tua saya, Ayah Zainuddin Hamid dan Ibu saya Samsiah Terima kasih selalu membarikan doa-doa terbaiknya untuk saya, yang selalu berjuang agar anaknya baik-baik saja, yang selalu menyemangati dan memotivasi saya dan tidak lupa selalu mengingatkan saya selalu untuk sholat dimana pun dan kapan pun, terimakasih telah menjadi orang tua terbaik yang selalu mendukung saya dalam keadaan apapun, karena kalian saya bisa sampai sejauh ini sekarang.
- ❖ Kedua ayuk saya Chelvira dan Fety, terimakasih telah menjadi ayuk yang selalu baik dan memberikan apa yang saya inginkan,

tanpa kalian saya tidak bisa sampai saat ini, kalian saudari terbaik saya, terimakasih atas apa yang kalian berikan kepada saya.

- ❖ Untuk pacar saya juga Putri Mayang, terimakasih telah membantu memberi semangat saya untuk mengerjakan skripsi saya
- ❖ Dosen pembimbing, Terima kasih Bapak Dendy Ananta, S.Pd., MT, IPP. dan Ibu Dewi Puspita Sari, S.Pd.,M.Pd. yang telah banyak membantu dan membimbing saya dengan baik, jasa kalian saya akan selalu saya ingat, dan terimakasih telah sabar untuk membimbing saya.
- ❖ 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.
- ❖ Sahabat saya sekaligus keluarga kedua saya, Terima Kasih (Iken, Anug, Kimau, Daffa, Widia, Darti) terimakasih atas hari-hari dan masa kuliah bersama kalian , yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada saya semoga kalian semua Sukses selalu.
- ❖ Teman-teman saya di Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, meliputi kawan satu angkatan 2018, terutama kelas palembang, Kakak tingkat, dan Adik tingkat, yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu. Terima kasih banyak atas kenangan selama saya

berkuliah, semoga selalu dalam kesuksesan, semoga kalian selalu
mengingat yang baik dari saya, sekali lagi terima kasih

❖ Almamater saya tercinta Universitas Sriwijaya, Terimakasih.

MOTTO

“Jangan pernah putus asa jika belum mampu untuk tepat pada waktunya, karena Allah hanya menguji kita sebentar untuk menunjukkan kesuksesan kita”

“Janganlah pernah menyerah untuk mencoba, jangan dengarankan apa yang orang katakan cukup buktikan bahwa diri kita mampu, karena kita bisa lebih dari orang yang meremehkan kita”

“Usaha tidak pernah mengkhianati Hasil”

PRAKATA

Puji Syukur Penulis Panjatkan Kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala Rahmat dan Karunianya Sehingga Penulis dapat menyelesaikan Penelitian dengan judul “simulasi kekuatan mekanik abs sebagai material sudu turbin turgo skala piko menggunakan solidworks” yang 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 Proposal Penelitian ini, penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak.

Oleh sebab itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dewi Puspita Sari, S.Pd., M.Pd. 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,

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
MOTTO	viii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Energi	4
2.2 Energi Air	5
2.3 Konsep Segitiga Kecepatan turbin Turgo	6
2.4 Analisis Segitiga Kecepatan di Inlet.....	7
2.5 Analisis Segitiga Outlet.....	8
2.6 Persamaan Euler	10
2.7 Efisiensi	10
2.8 Analisis geometri.....	11
2.9 Analisis kekuatan mekanik.....	12
2.9.1 Nilai tegangan	12
2.9.2 Tensile strenght	12
2.9.3 Modulus elasticity	13
2.9.4 Bulk modulus	13
2.9.5 Von Mises Stress.....	14
2.9.6 Flexural Strength.....	15
2.9.7 Yield Stength.....	15
2.9.8 Ultimate Tensile Stength.....	15
2.9.9 Fracture	16
2.9.10 Elastic Region	16

BAB III	17
METODOLOGI	17
3.1 Gambaran umum	17
3.2 Metode analitik	18
3.3 Metode komputasi	20
3.4 Langkah Kerja	22
BAB IV	30
HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Hasil Perhitungan Perfomansi	30
4.1.1 Persamaan C_1	30
4.1.2 Persamaan Cr_1	30
4.1.3 Persamaan Cx_1	30
4.1.4 Persamaan W_1	30
4.1.5 Persamaan U_1	31
4.1.6 Persamaan C_2	31
4.1.7 Persamaan Cr_2	31
4.1.8 Persamaan Cx_2	32
4.1.9 Persamaan W_2	32
4.1.10 Persamaan Looser	32
4.1.11 Menentukan Q	32
4.1.12 Menentukan P	32
4.1.13 Persamaan Euler	33
4.1.14 Persamaan n	33
Tabulasi Hasil Perhitungan	33
4.2 Hasil Perhitungan Geometri	34
4.3 Gambar proyeksi sudu turbin Turgo	36
4.4 Pembahasan	37
BAB V	41
KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
DAFTAR LAMPIRAN	44

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil perhitungan performansi.....	34
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Geometri.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. <i>Skematik hukum Bernouli</i>	5
Gambar 2. 2 Proyeksi arah air dan <i>runner</i>	7
Gambar 2. 3 Posisi Inlet	7
Gambar 2. 4 Menentukan U1	8
Gambar 2. 5 Menentukan <i>Outlet</i>	9
Gambar 2. 6 Grafik Stress and Strain.....	16
Gambar 3. 1 Tumpuan sudu turbin turgo.....	20
Gambar 3. 2 daerah tes impact sudu turbin.....	21
Gambar 3. 3 Daerah roda sudu turbin	21
Gambar 3. 4 Hasil Simulasi Course Solidworks.....	22
Gambar 3. 5 Hasil simulasi Mesh Medium Solidworks	24
Gambar 3. 6 Hasil Simulasi fine Solidworks	28
Gambar 4. 1 Roda Turbin Turgo.....	36
Gambar 4. 2 Roda Turbin Turgo.....	37
Gambar 4. 3 Visualisasi Von Misses Stress Mesh Coarse.....	38
Gambar 4. 4 Visualisasi Simulasi Mesh Medium.....	38
Gambar 4. 5 Visualisasi Gambar Simulasi Mesh Fine	39
Gambar 4. 6 Grafik Hasil simulasi Solidworks	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Usul Judul Skripsi.....	44
Lampiran 2 Surat Keterangan Verifikasi Pengajuan Judul Skripsi.....	45
Lampiran 3 Kesiadaan Membimbing Skripsi	46
Lampiran 4 Surat Pengantar Pembuatan SK Pembimbing Dari Kaprodi	47
Lampiran 5 Sk Pembimbing	48
Lampiran 6 Surat Pengantar Pembuatan SK Penelitian dari Kaprodi.....	50
Lampiran 7 Surat Izin Penelitian dari Dekan Fkip Unsri.....	51

SIMULASI KEKERASAN MEKANIK ABS SEBAGAI MATERIAL SUDU TURBIN TURGO SKALA PIKO MENGUNAKAN *SOLIDWORKS*

Arissandy Farenza¹, Dewi Puspita Sari²

¹ Mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya

² Dosen Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya

e-mail : arissandyfarenza@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan mekanik material ABS untuk aplikasi sudu turbin Turgo skala piko menggunakan metode simulasi. Simulasi kekuatan mekanik menggunakan *software* SOLIDWORKS. Selain itu, metode analitik digunakan untuk menentukan geometri turbin Turgo skala piko. Dari hasil Analitik, sudu turbin Turgo skala piko memiliki laju aliran 100 Newton (10 kg/s) dengan 18 jumlah sudu. Sedangkan dari hasil simulasi menggunakan solidworks. Semakin besar gaya yang diterima sudu turbin turgo, Von mises stress (MPa) material semakin naik, dimana nilai Von mises stress material sudu melebihi nilai maksimum yield strengthnya yaitu 31 Mpa. Dengan demikian, material ABS untuk menjadi bahan dasar sudu turbin turgo skala piko terindikasi tidak aman untuk gaya 100 Nm. Karenanya, pemanfaatan ABS sebagai sudu turbin turgo harus diaplikasikan di bawah 100 Nm.

Kata Kunci : ABS, Solidwork, Turbin Turgo, Von misses Stress

SIMULATION OF ABS MECHANICAL POWER AS PIKO SCALE TURBINE MATERIAL USING SOLIDWORKS

Arissandy Farenza¹, Dewi Puspita Sari²

¹ Student of Mechanical Engineering Education, Sriwijaya University

² Lecturers of Mechanical Engineering Education, Sriwijaya University

e-mail : arissandyfarenza@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to determine the mechanical strength of ABS material for the Piko scale Turgo turbine blade application using the simulation method. Simulation of mechanical strength using SOLIDWORKS software. In addition, analytical methods were used to determine the geometry of the Turgo Pico scale turbine. From the analytical results, the Turgo Piko scale turbine blade has a flow rate of 100 Newton (10 kg/s) with 18 blades. Meanwhile, from the simulation results using solidworks. The greater the force received by the turgo turbine blades, the higher the Von mises stress (MPa) of the material, where the value of the Von mises stress of the blade material exceeds the maximum yield strength value of 31 Mpa. Thus, the ABS material to be the base material for the pico scale turgo turbine blades is indicated to be unsafe for 100 Nm force. Therefore, the use of ABS as turgo turbine blades must be applied below 100 Nm.

Kata Kunci : ABS, Solidwork, Turgo Turbine, Von misses Stress

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan pasokan listrik penduduk di Indonesia untuk disaat ini sangatlah besar jumlahnya, sejak banyaknya pembangkit listrik yang baru beroperasi dari 2017, dimana cadangan daya sampai saat ini sampai 30%, dengan kata lain pasokan daya PLN berkapasitas 130% kebutuhan (Structures 2018). Sumber energi utama Indonesia adalah bahan bakar fosil (A Nurdin, D A Himawanto 2020). Hingga saat ini, rasio elektrifikasi adalah 98%.

Pemerintah Indonesia berupaya meningkatkan rasio elektrifitas (RE) menjadi 100% karena energi listrik menjadi kebutuhan primer masyarakat (Kementerian energi dan sumber daya mineral 2019). Terkhusus provinsi Sumatera Selatan masih banyak daerah dikategorikan daerah terpencil dan atau tertinggal. Ditahun 2018, rasio elektrifitas Sumatera Selatan adalah sebesar 98% (sitasi). Dari data tersebut, masih ada 2% daerah yang belum dialiri listrik. Padahal Sumatera Selatan memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar. Potensi energi terbarukan yang ada di Sumatera Selatan yaitu 21.866 MW. Pada tahun 2018, kapasitas terpasang sebesar 18 MW. Untuk PLTA, Sumatera Selatan memiliki potensi 776 MW dan kapasitas terpasang 12 MW. Pada tahun 2019-2028, perencanaan pembangunan PLTA sebesar 921 MW (Arinaldo, Adiatma, and Simamora 2018). Harapannya, penyediaan listrik di Sumatera Selatan dapat terpenuhi. Ini menunjukkan pembangkit listrik berbasis energi air adalah alternatif tepat sebagai penambah suplay energi listrik di Sumatera Selatan.

Energi air dapat dimanfaatkan menggunakan turbin air (Prayoga 2019). Turbin air bisa dimanfaatkan selaku penggerak mula. Turbin Turgo ialah salah satu tipe turbin yang tepat sebagai pembangkit listrik karena bentuknya sederhana. Turbin Turgo dipertama dikembangkan yaitu pada tahun 1919 oleh Gilkes yang dimodifikasi dari turbin Pelton. Turbin Turgo bertipe turbin impuls yang juga bisa digunakan dalam head 15 m sampai 300 m. Semburan

air dari nosel diatur dengan sudut 20° sampai 30° dari sudu turbin. Perbandingan utama antara turbin Pelton dengan Turbin Turgo pada bentuknya sudunya. Bentuk sudu turbin Turgo seperti separuh dari bentuk sudu turbin Pelton dengan jumlah serta dimensi sudu yang sama.

Keunggulan turbin Turgo dibanding dengan turbin Pelton yaitu mempunyai kecepatan putar yang lebih besar. Kecepatan putar yang besar bisa diperoleh dari jumlah sudu yang tersusun banyak. Oleh sebab itu, studi ini akan merancang turbin Turgo skala laboratorium (skala piko atau < 5 Kw).

Turbin turgo adalah turbin bertipe impuls, sistem kerjanya sama seperti turbin pelton. Turbin turgo sangat cocok untuk menggantikan pelton pada *head* sedang berkisar 15 m hingga 300 m.

Studi kelayakan turbin Turgo pada kondisi *head* rendah (< 5 m) terus dilakukan. Dari hasil kajian, sudut serang optimum turbin Turgo skala piko adalah $10^\circ - 20^\circ$ (Prayoga 2019). Pengembangan persamaan desain empiris diusulkan sebagai metode optimasi geometri turbin Turgo skala piko (Gaiser et al. 2016). Keterbatasan aliran turbin Turgo perlu ditetapkan sehubungan dengan ukuran sudu, seperti yang telah ditetapkan pada turbin Pelton.

Implementasi turbin Turgo saat ini terbatas karena fabrikasi runner yang lebih sulit, kompleks, dan efisiensi hidraulik yang rendah. Dengan perkembangan teknologi yang signifikan, analisis *computational fluid dynamics* (CFD) memungkinkan perhitungan aliran menjadi lebih rinci (Benzon, Aggidis, and Anagnostopoulos 2016).

Selanjutnya, pengembangan model sederhana dari kinerja turbin turgo pada head rendah untuk meningkatkan desain melalui identifikasi parameter desain diusulkan (Williamson, Stark, and Booker 2013). Studi perancangan turbin Turgo menggunakan metode respon surface design diusulkan untuk meningkatkan turbin Turgo skala piko (Gallego et al. 2021)

Pesatnya pengembangan manufaktur membuat beberapa studi turbin Turgo menggunakan printer tiga dimensi dalam memproduksi runner (Lubis, Djamil, and Yolanda 2016). Material yang sering digunakan karena murah dan banyak dipasaran adalah Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). Namun hingga kini,

belum ada kajian komperhensip tentang kelayakan ABS sebagai material turbin Turgo skala piko. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan mekanik sudu turbin Turgo skala piko menggunakan bahan abs

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Apakah ABS dapat digunakan sebagai material sudu turbin Turgo”.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah diatas bertujuan. Untuk mengetahui kekuatan mekanik ABS sebagai material sudu turbin Turgo.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini:

1. Dapat dijadikan acuan dalam menentukan disitribusi stress sudu turbin Turgo menggunakan bahan ABS
2. Memberikan gambaran dan peluang kepada peneliti-peneliti untuk mengkaji dan mengembangkan penelitian mengetahui nilai tegangan sudu turbin Turgo lebih dalam.

DAFTAR PUSTAKA

- A Nurdin, D A Himawanto, S Hadi. 2020. "Optimasi Perancangan Turbin Air Menggunakan Analysis of Variance Aliran Horisontal." 10(2): 103–9.
- Arinaldo, Deon, Julius Christian Adiatma, and Pamela Simamora. 2018. "Indonesia Clean Energy Outlook Reviewing 2018, Outlooking 2019." *Iesr (2018)*: 39. <http://iesr.or.id/old/wp-content/uploads/Indonesia-Clean-Energy-Outlook-2019.pdf>.
- Benzon, D. S., G. A. Aggidis, and J. S. Anagnostopoulos. 2016. "Development of the Turgo Impulse Turbine: Past and Present." *Applied Energy* 166: 1–18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.12.091>.
- Gaiser, Kyle, Paul Erickson, Pieter Stroeve, and Jean Pierre Delplanque. 2016. "An Experimental Investigation of Design Parameters for Pico-Hydro Turgo Turbines Using a Response Surface Methodology." *Renewable Energy* 85: 406–18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.049>.
- Gallego, Edwin et al. 2021. "Experimental Analysis on the Performance of a Pico-Hydro Turgo Turbine." *Journal of King Saud University-Engineering Sciences* 33(4): 266–75.
- Harinaldi, Budiarsa. 2015. *Sistem Fluida (Prinsip Dasar Dan Penerapan Mesin Fluida, Sistem Hidrolik Dan Sistem Pnuematik)*. Jakarta: Erlangga.
- Lubis, Sobron, Sofyan Djamil, and Yolanda Yolanda. 2016. "Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D Printing Bahan Polymer Pla Dan Abs Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk." *Sinergi* 20(1): 27.
- Prayoga, Huda Setya. 2019. "Rancang Bangun Purwarupa Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro Jenis Turbin Turgo." *Elektro, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Indonesia, Universitas Islam*.
- Priambada, Dimas Bagus et al. 2016. "Kajian Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal Type Tsd-500 Pada Variasi Beban." 10(1): 19–22.
- Rasagama, I Gede, Ratu Fenny Muldiani, and Kunlestiowati Hadiningrum. 2016. "Keterpakaian Konsep Hukum Bernoulli Dan Desain." *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2016* 5: 29–34.

- Structures, Modern Bamboo. 2018. "Contact Ketenaga Listrik Indonesia." Williamson, Sam J, Bernard H Stark, and Julian D Booker. 2013. "Performance of a Low-Head Pico-Hydro Turgo Turbine." *Applied Energy* 102: 1114–26.
- 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>
- 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>
- Kementerian 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>
- 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*.
- 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, ICST2018, November*. <https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528714>

