

Panjer Kiling: Kincir Angin Tradisional Banyuwangi Sebagai Potensi Sumber Energi Terbarukan

Gatut Rubiono¹⁾, Khoirul Anam²⁾

¹⁾ Teknik Mesin Universitas PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 01 Banyuwangi

²⁾ Alumni Prodi Teknik Mesin Universitas PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 01 Banyuwangi

Email: g.rubiono@unibabwi.ac.id

Abstrak

Panjer kiling adalah budaya lokal kabupaten Banyuwangi yang berbentuk kincir angin berbahan bambu dan kayu. Kiling umumnya diposisikan di persawahan untuk mengusir burung atau sekedar menjadi hiburan petani. Artikel ini bertujuan untuk menganalisis panjer kiling Banyuwangi sebagai potensi sumber energi terbarukan. Analisis dilakukan dengan review pustaka yang didapatkan dari publikasi hasil penelitian di internet. Analisis diawali dengan data teknis yang didapat dengan survei dan wawancara dengan seorang pembuat kiling. Kajian dilakukan untuk performa sudu turbin angin dan perkembangan aplikasi material bambu sebagai sudu turbin angin. Hasil kajian menunjukkan bahwa bambu memiliki potensi yang sangat tinggi untuk dikembangkan menjadi material sudu turbin angin. Hal ini menunjukkan bahwa kiling memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi sumber energi angin skala kecil.

Kata kunci: panjer, kiling, sudu, turbin, angin

Abstract

Panjer Kiling is a local culture of Banyuwangi district in the form of a windmill made of bamboo and wood. Kiling is generally positioned in the rice fields to chase away birds or just become a farmer's entertainment. This article aims to analyze Panjer Kiling as a potential renewable energy source. The analysis was carried out with a literature review obtained from the publication of research results on the internet. The analysis begins with technical data obtained by surveying and interviewing a Kiling maker. The study was conducted for the performance of wind turbine blades and the development of application of bamboo material as wind turbine blades. The results of the study indicate that bamboo has a very high potential to be developed into wind turbine blade material. This shows that the Kiling has the potential to be developed into a small-scale wind energy source.

Keywords: panjer, kiling, blade, turbine, wind

1. PENDAHULUAN

Panjer kiling adalah tradisi kearifan lokal yang masih bertahan dan diwariskan secara turun-temurun di kabupaten Banyuwangi [1]. *Panjer kiling* merupakan salah satu warisan tradisi arsitektur agraris masyarakat Osing dalam melengkapi aktivitas bertani [1,2]. Berdasarkan bahasa Osing, *panjer* memiliki arti penyangga yang terbuat dari batang bambu besar [1,3] dan *kiling* memiliki arti kincir angin [3]. *Panjer kiling* adalah kincir angin yang didirikan menggunakan bambu yang besar [3]. Dalam bahasa Jawa, *kiling* artinya kitiran [2] atau kincir angin dalam bahasa Osing [1]. *Kiling* mempunyai makna filosofi harus selalu *eling* yang berarti ingat [4].

Kiling terbuat dari bilah kayu [1]. Sedangkan berdasarkan jenisnya, *kiling* dibagi menjadi dua, yaitu *kiling gedhe* (baling-baling terbuat dari kayu) dan *kiling slurutan* (baling-baling dengan bahan bambu) [3]. *Panjer kiling* merupakan penanda teritori khas wilayah agraris masyarakat Osing [2,3]. *Kiling* dipasang di tengah sawah, di antara pematang atau didirikan di atas pohon

sehingga mendapatkan angin [2]. Fungsi *panjer kiling* adalah alat pengusir burung yang menjadi hama tanaman padi [3] karena menimbulkan suara gemuruh jika tertiuip angin [1], mirip suara helikopter [2] atau hanya menjadi kesenangan [4].

Ketinggian *kiling* sekitar 4 meter hingga 20 meter yang terbuat dari bambu, kayu atau pohon pinang. Untuk membuat *kiling* menjadi lebih tinggi, biasanya petani memanfaatkan pohon pinang sebagai tiang utamanya, sedangkan untuk ketinggian sedang memanfaatkan bambu sebagai kincir utamanya atau tiang bambu untuk ukuran yang lebih kecil [2]. Referensi [3] menyatakan bahwa tinggi *panjer kiling* adalah 8-10 meter.

Bagian *panjer kiling* antara lain *panjer* (tiang penyangga bambu atau pinang), *kiling* (kincir angin), serabut ijuk (hiasan dari alang-alang atau ijuk), *manggar* (bambu kecil dan lentur untuk memutar kincir), *keduk* (berbentuk tampar dari *keduk* hitam pohon kelapa), dan *incer* (besi berukuran 12 cm) [3]. Bagian-bagian *kiling* memiliki arti tersendiri. Kedua sisi *kiling* itu dibuat berbeda. Bagian atas dibuat panjang dan

sedikit membengkok dan menghasilkan suara saat dipasang di atas *panjer*. Ini melambangkan kaum laki-laki atau biasa disebut *kiling lanang*. Sedangkan bagian bawah dibuat pendek dan lurus yang melambangkan kaum perempuan atau biasa disebut *kiling wadon*. Bagian *kiling* yang panjang yang melambangkan kaum laki-laki merupakan pusat sumber bunyi *kiling* yang paling keras [1].



Gambar 1. Panjer kiling [3]



Gambar 2. Hamparan sawah dan kiling [4]

Kincir angin sebagai bagian *kiling* adalah salah satu bentuk pemanfaatan energi angin sebagai energi terbarukan. Energi angin merupakan perintis energi terbarukan dan berkembang sangat pesat di seluruh dunia [5]. Riset aerodinamis turbin angin telah memberikan kontribusi signifikan terhadap keberhasilan pemanfaatan energi angin modern [6]. Sudu kincir atau turbin memainkan peran penting sebagai bagian turbin angin yang menghasilkan energi angin [7]. Desain sudu turbin angin sangat tergantung pada prediksi numerik presisi tinggi, andal, dan kuat untuk kinerja turbin dalam semua kondisi operasi [8].

Penyusunan artikel ini bertujuan untuk menganalisis *panjer kiling* Banyuwangi sebagai potensi sumber energi terbarukan. Hal ini dilakukan karena wilayah Banyuwangi secara geografis terdiri dari gunung, dataran dan pantai yang memiliki potensi angin. *Panjer kiling* yang masih banyak ditemukan di masyarakat dapat menjadi potensi pembangkit listrik, khususnya turbin angin skala kecil.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Analisis difokuskan pada bagian sudu turbin atau baling-baling (*kitiran*) yang terbuat dari

bambu sebagai material alami. Bambu berbagai jenis banyak ditemukan di lingkungan sekitar dan dimanfaatkan untuk berbagai keperluan karena biaya yang relatif rendah, kemudahan persediaan dan pemrosesan maupun sifat-sifat mekaniknya yang dapat diandalkan.

Analisis dilakukan dengan studi lapangan dilakukan untuk mendapatkan informasi *panjer kiling* terutama terkait dimensi dan material penyusunnya. Selain itu, juga dilakukan wawancara dengan salah satu pengrajin atau pembuat *panjer kiling*. Data dimensi selanjutnya digunakan untuk melakukan analisis matematis *panjer kiling* sebagai kincir angin yang memiliki potensi sebagai energi terbarukan.

Analisis juga dilakukan dengan *review* referensi-referensi terkait. Referensi-referensi didapatkan dari penelusuran pustaka berupa publikasi hasil penelitian di internet. Kajian dilakukan terhadap performa turbin angin, khususnya bagian sudu atau bilahnya. Kajian selanjutnya dilakukan untuk mengetahui perkembangan studi bahan bambu sebagai alternatif bahan sudu turbin angin.

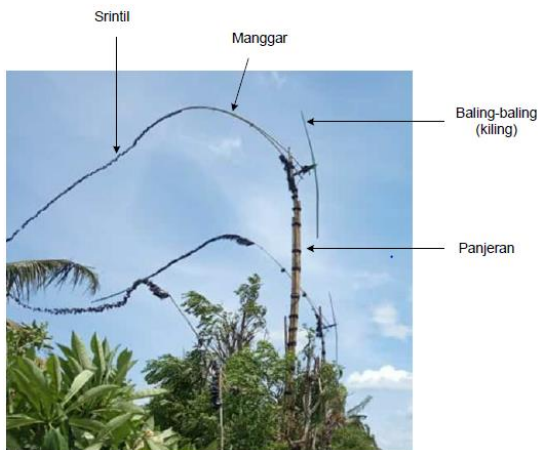
3. HASIL DAN DISKUSI

Studi Lapangan

Kiling merupakan salah satu seni atau permainan tradisional suku Osing banyuwangi yang terbuat dari belahan bambu maupun belahan kayu berukuran panjang mulai 2 meter sampai 5 meter seperti baling-baling. Di tengah diberi lubang untuk ditancapkan pada poros as agar berputar, serta bagian kanan diberi lekukan (*lanangan*) sebagai sumber bunyi. Ketika bertabrakan dengan angin yang cukup kencang *kiling* akan berputar dan mengeluarkan suara yang nyaring. Di atas panjeran *kiling* dipasang bambu melengkung biasa disebut *manggar* dengan hiasan *srintil* guna untuk menyesuaikan arah angin dan keseimbangan pada panjer *kiling* pada waktu terkena tekanan angin.



Gambar 3. Kiling dan salah satu pembuatnya



Gambar 4. Kiling dan bagian-bagiannya

Hasil wawancara dengan salah satu pembuat kiling didapat data-data sebagai berikut:

- a. Panjang total = 4,75 m
- b. Panjang tengah kanan = 2, 20 m
- c. Panjang tengah kiri = 2, 52 m
- d. Lebar tengah = 8 cm
- e. Lebar lanangan ujung kiri = 5, 05 cm
- f. Lebar ujung kanan = 6 cm
- g. Lekukan (lanangan) = 1 m (dari titik tengah ke lekukan) sisanya 1, 52 m
- h. Berat killing = 5 kilo (tergantung panjang dan jenis kayu yang digunakan)
- i. Deplok (tahanan atau yang menjepit bagian atas killing), panjang = 33 cm
- j. Manggar (srintil) = 5 m
- k. Panjeran kiling = 15-20 m
- l. Selut (kolongan yang menempel pada killing)
- m. So (tali)
- n. Jenis kayu yang bagus digunakan yaitu kayu loloan, kayu langsung, karena memiliki serat yang halus.

Review Kincir Angin Bambu

Aerodinamika turbin angin menyangkut pemodelan dan prediksi kekuatan aerodinamis, seperti prediksi kinerja angin dan desain bagian-bagian tertentu dari turbin angin, seperti geometri sudu rotor turbin [6]. Sudu turbin angin memainkan peran penting sebagai bagian turbin angin yang menghasilkan energi. Saat sudu atau bilah bekerja dengan rotasi selama turbin angin beroperasi, sudu-sudu ini membutuhkan keseragaman dan variabilitas yang rendah pada properti material yang digunakan. Material harus memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi dengan kepadatan rendah dan sifat kelelahan tinggi [7].

Bambu memiliki sifat material yang jauh lebih baik dibandingkan kayu. Sebagai bahan struktural untuk sudu turbin angin, bambu memiliki banyak keunggulan dibandingkan bahan berbasis kayu yaitu [14]:

1. Ketangguhan patah lebih tinggi.
2. Kekuatan dan modulus spesifik yang lebih tinggi.

3. Biaya pemrosesan rendah.
4. Tingkat pertumbuhan yang cepat dan hutan komersial yang dapat dikelola dengan baik.
5. Kemampuan penyerapan karbon tinggi dan potensi daur ulang yang sangat baik.

Turbin angin secara umum dapat menyebabkan kebisingan, termasuk kebisingan frekuensi rendah, yang berkurang secara bertahap dengan meningkatnya jarak dari turbin angin. Kebisingan ini terkait dengan gangguan kebisingan, gangguan tidur dan bahkan mungkin tekanan psikologis [9]. Pada malam hari dengan kebisingan turbin angin, gangguan sering terjadi pada lebih banyak terbangun, kurang tidur nyenyak, kurang tidur terus-menerus dan meningkatkan gangguan subyektif dibandingkan dengan malam kontrol [10].

Untuk turbin yang relatif tinggi dan modern, sebagian besar suara berasal dari aliran udara yang bersentuhan dengan sudu atau bilah turbin angin yaitu suara aerodinamis. Kontribusi terbesar terkait dengan turbulensi atmosfer yang memukul bilah (*inflow turbulence sound*) dan udara mengalir di permukaan blade (*trailing edge sound*) [11]. Reduksi kebisingan dapat dilakukan dengan desain sudu yang tepat [12] dimana riset aerodinamika turbin angin telah memberikan kontribusi signifikan terhadap keberhasilan energi angin modern [6]. Perhatian khusus banyak diberikan untuk pemodelan aerodinamika yang tepat karena performa turbin angin secara keseluruhan sangat bergantung pada kinerja aerodinamika sudunya [13].

Bambu sebagai salah satu material *kiling* merupakan material hijau dan terbarukan yang banyak dikembangkan. Bambu memiliki banyak sifat teknik dan lingkungan yang membuatnya menarik sebagai bahan untuk sudu turbin angin, baik yang berukuran kecil maupun besar. Hasil penelitian menunjukkan kelayakan memproduksi bahan dengan laminasi bambu menggunakan tikar dan bambu dari lapisan kayu. Kekuatan tarik laminasi berkisar dari 175 MPa hingga 191 MPa dengan rata-rata modulus tarik 21,6 GPa. Kekuatan tekan berkisar antara 105 hingga 118 MPa dengan modulus tekan rata-rata 21,9 GPa. Resistansi fraktur di sepanjang orientasi laminasi yang terlemah sekitar 0,13 kJ/m² [14].

Penelitian material komposit kain katun dan bambu dilakukan untuk uji tekuk sudu turbin angin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa material hijau biodegradasi ini memiliki sifat mekanik yang baik dan dapat memenuhi persyaratan beberapa sektor industri intensitas rendah [15]. Hasil penelitian lain menunjukkan kelayakan rancangan menara kisi bambu untuk turbin angin kecil 500 watt, yang menunjukkan potensi pengurangan biaya bagi negara berkembang [16].

Aplikasi sudu turbin angin dengan bahan bambu berlapis tiga menunjukkan perbandingan diagram respon kecepatan ayunan dan gelombang

beserta respon perpindahan antara kondisi dengan dan tanpa struktur redaman baru. Hal ini yang menunjukkan bahwa sifat penekanan getaran bilah turbin angin dengan struktur redaman baru berbahan bambu meningkat secara signifikan [17]. Meskipun komposit laminasi bambu memenuhi persyaratan untuk aplikasi energi angin, dengan mempertimbangkan fakta bahwa sifat mekanis komposit yang diperkuat serat alami sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, perlu untuk memahami perubahan sifat mekanik selama masa pakai turbin angin [7].

Daya Kincir

Daya angin adalah daya yang dibangkitkan oleh angin tiap luasan, sehingga daya angin dapat digolongkan sebagai energi potensial. Pada dasarnya daya angin merupakan angin yang bergerak per satuan waktu sehingga dapat dirumuskan pada persamaan berikut [18]:

$$P_a = \frac{1}{2} \rho AV^3 \tag{1}$$

Dengan:

- P_a = daya angin (watt)
- V = kecepatan angin (m/dt)
- ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
- A = luas penampang kincir (m^2)

Indonesia memiliki potensi energi angin yang tergolong kecepatan rendah yaitu rata-rata sepanjang tahun sekitar 5 - 7 m/dt [18], 2,5 - 6 m/dt [19] dan lebih dari 5 m/dt [20]. Kincir angin yang efisien perlu terpapar angin setidaknya 3 - 4,5 m/dt untuk menghasilkan listrik dan akan mencapai performa terbaik pada kecepatan 5,3 - 9 m/dt [19].

Daya turbin angin adalah daya yang dibangkitkan oleh rotor turbin angin akibat mendapatkan daya dari hembusan angin. Daya turbin angin tidak sama dengan daya angin dikarenakan daya turbin angin terpengaruh oleh koefisien daya. Koefisien daya adalah prosentase daya yang terdapat pada angin yang dirubah ke dalam bentuk energi mekanik [21]. Menurut Betz, seorang insinyur Jerman, besarnya energi maksimum yang dapat diserap dari angin adalah hanya 0.59259 dari energi yang tersedia [22]. Efisiensi atau koefisien daya maksimal sebuah kincir angin adalah sebesar 59% [23].

Dengan asumsi ukuran sudu *panjer kiling* berukuran panjang 4,75 m dan lebar 8 cm (0,08 m) maka luasan sudunya:

$$A = 4,75 \times 0,08 = 0,38 \text{ m}^2$$

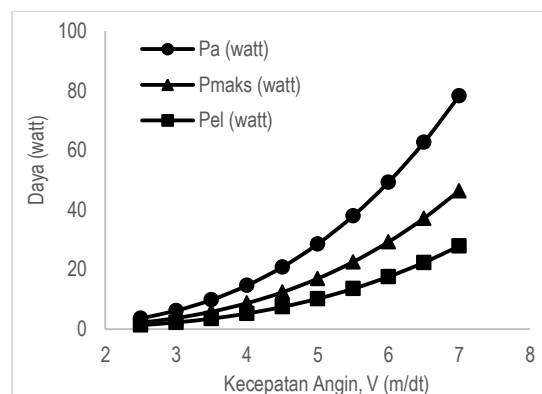
Berdasarkan referensi [18, 19, 20], kecepatan angin rata-rata di Indonesia berkisar antara 2,5 sampai 7 m/dt. Massa jenis udara pada temperatur 27°C adalah 1,2 kg/m^3 . Dengan mengambil perubahan kecepatan angin sebesar 0,5 m/dt dengan rentang kecepatan angin rata-rata maka dilakukan perhitungan daya angin (P_a) menggunakan persamaan (1). Daya angin

selanjutnya dikalikan dengan faktor hukum Betz sesuai referensi [22, 23] dengan faktor pengali sebesar 0,59 untuk mendapatkan daya maksimal (P_{maks}). Daya maksimum selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik (P_{el}) dengan asumsi efisiensi sebesar 60%. didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

TABEL 1.
HASIL PERHITUNGAN PREDIKSI DAYA

V (m/dt)	P_a (watt)	P_{maks} (watt)	P_{el} (watt)
2.5	3.56	2.11	1.27
3.0	6.16	3.65	2.19
3.5	9.78	5.80	3.48
4.0	14.59	8.65	5.19
4.5	20.78	12.32	7.39
5.0	28.50	16.90	10.14
5.5	37.93	22.49	13.50
6.0	49.25	29.20	17.52
6.5	62.61	37.13	22.28
7.0	78.20	46.37	27.82

Hasil perhitungan di tabel 1 dapat ditampilkan dalam bentuk grafik berikut ini:



Gambar 5. Grafik prediksi daya

Tabel 1 dan grafik pada gambar 5 menunjukkan bahwa daya angin dan daya maksimum cenderung meningkat jika kecepatan angin bertambah besar. Hal ini dapat dipahami mengingat daya angin merupakan fungsi pangkat tiga dari kecepatan angin seperti ditunjukkan persamaan (1). Semakin besar kecepatan angin maka hasil kali pangkat tiga akan semakin besar sehingga daya angin juga akan semakin besar. Daya maksimum yang dapat dihasilkan juga menunjukkan kecenderungan yang sama. Daya maksimum yang dapat dihasilkan merupakan prosentase dari daya angin sehingga akan menunjukkan tren data yang sama.

Hasil perhitungan juga menunjukkan bahwa *panjer kiling* memiliki potensi daya maksimum yang dapat dihasilkan terendah sebesar 2,11 watt dan tertinggi sebesar 46,37 watt. Energi ini dapat dirubah menjadi bentuk energi listrik. Energi sebesar ini harus dikonversi dengan perangkat

gerak yaitu elemen transmisi, khususnya dalam memindahkan gerak putar yang memiliki potensi dalam bentuk energi kinetik. Energi kinetik ini selanjutnya akan dirubah menjadi energi listrik dengan perangkat transmisi pemindah daya. Dengan asumsi bahwa efisiensi sistem konversi daya sebesar 60% maka masih dapat dihasilkan daya listrik terendah sebesar 1,27 watt dan tertinggi sebesar 27,82 watt.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Panjer kiling sebagai salah satu budaya masyarakat kabupaten Banyuwangi memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sumber energi. Pemanfaatan *kiling* yang berbentuk kincir atau turbin angin dapat digunakan sebagai pembangkit listrik energi angin skala kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. Sodiqin, 2018, *Panjer kiling, tradisi oseng yang masih eksis, dengar suara desingan, burung pemakan padi pun pergi menjauh*, <https://radarbanyuwangi.jawapos.com>, diakses tanggal 5 Januari 2019
- [2]. A. Wibowo, 2014, *Paglak, kiling dan budaya agraris suku Using*, <https://lulianstudiolab.wordpress.com>, diakses tanggal 5 Januari 2019
- [3]. F. S. Binna, 2019, *Konsep taman rumah tinggal tradisional masyarakat adat Osing di desa Kemiren, kecamatan Glagah, kabupaten Banyuwangi*, Skripsi, Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor
- [4]. Salamun, Sumintarsih, Th. E. Wuryansari, 2015, *Komunitas adat Using desa Aliyan Rogojampi Banyuwangi Jawa Timur*; Kajian Ritual Keboan, Balai Pelestarian Nilai Budaya (BPNB), Yogyakarta, ISBN: 978-979-8971-55-6
- [5]. W. Z. Shen, 2019, *Special issue on wind turbine aerodynamics*, Appl. Sci. 9(1725); doi:10.3390/app9091725
- [6]. J. N. Sørensen, 2011, *Aerodynamic aspects of wind energy conversion*, Annu. Rev. Fluid Mech. 2011 (43): 427–48
- [7]. I. Widiastuti, 2016, *Bamboo laminated composites for wind turbine blade material: a review*, Prosiding Seminar Nasional dan Pameran Produk Pendidikan Vokasi ke 1, Pusat Pengembangan Pendidikan Vokasi (PTM-PTB-PTIK), FKIP-UNS
- [8]. S. Derakhshan, A. Tavaziani, 2015, *Study of wind turbine aerodynamic performance using numerical methods*, Journal of Clean Energy Technologies 3(2): 83-90
- [9]. J. H. Schmidt, M. Klokke, 2014, *Health effects related to wind turbine noise exposure: a systematic review*. PLoS ONE 9(12): e114183. doi:10.1371/journal.pone.0114183
- [10]. J. A. Morsing, M. G. Smith, M. Ögren, P. Thorsson, E. Pedersen, J. Forssén, K. P. Waye, 2018, *Wind turbine noise and sleep: pilot studies on the influence of noise characteristics*, Int. J. Environ. Res. Public Health 15(2573): doi:10.3390/ijerph15112573
- [11]. I. van Kamp, F. van den Berg, 2018, *Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound*, Acoust Aust (2018) 46:31–57, <https://doi.org/10.1007/s40857-017-0115-6>
- [12]. B. Yang, 2013, *Research status on aero-acoustic noise from wind turbine blades*, Proceeding of 6th International Conference on Pumps and Fans with Compressors and Wind Turbines, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 52 (2013) 012009 doi:10.1088/1757-899X/52/1/012009
- [13]. J. Svorcan, O. Pekovi'c, T. Ivanov, 2018, *Estimation of wind turbine blade aerodynamic performances computed using different numerical approaches*, Theoretical and Applied Mechanics 45(1): 53-65
- [14]. J. W. Holmes, P. Brøndsted, B. F. Sørensen, Z. Jiang, Z. Sun, X. Chen, 2009, *Development of a bamboo-based composite as a sustainable green material for wind turbine blades*, Wind Engineering 33(2): 197-210
- [15]. J. B. Sun, Z. P. Wu, W. H. Zhang, D. H. Wang, S. Su, 2019, *Cotton-bamboo composite material and structure applications*, Proceeding of AMAE2019, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 608 (2019) 012002, doi: 10.1088/1757-899X/608/1/012002
- [16]. R. C. Adhikari, D.H.Wood, L. Sudak, 2015, *Low-cost bamboo lattice towers for small wind turbines*, Energy for Sustainable Development 28(2015): 21–28
- [17]. J. Meng, D. Sun, 2017, *Research on vibration suppression of wind turbine blade based on bamboo wall three-layer damping structure*, Journal of Vibroengineering 19(1): 87-99
- [18]. Wardoyo, 2016, *Hubungan daya turbin angin berbentuk propeller 5 blade terhadap beban tower penyangganya*, Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ, Edisi terbit I: 1-6
- [19]. A. Dewita, A. S. A. Bakar, K. Dwicahyo, 2019, *Pemanfaatan WRF-ARW untuk simulasi potensi angin sebagai sumber energi di teluk Bone*, Jurnal Material dan Energi Indonesia 05(02): 17-23
- [20]. Z. Arifin, H. Suyanto, H. Aziz, 2018, *Analisis kelayakan turbin angin kecepatan rendah tipe NT1000W di wilayah terpencil*, Jurnal Energi & Kelistrikan 10(1): 84-93
- [21]. T. A. Adlie, T. A. Rizal, Arjuanda, 2015, *Perancangan turbin angin sumbu horizontal 3 sudu dengan daya output 1 KW*, Jurnal Ilmiah Jurutera 02(02): 072-078
- [22]. Susilo, B. Widodo, E. M. Silalahi, A. Priyono, 2019, *Pengaruh jumlah bilah dan sudut pasang terhadap daya turbin angin H-Darrieus termodifikasi sebagai pembangkit tenaga listrik skala rumah tangga*, Jurnal Energi dan Manufaktur 12(2): 92-98
- [23]. J. V. Tuapetel, I. A. Triprayoga, P. M. Santika, 2019, *Analisis dan pengujian kinerja turbin angin Savonius 4 sudu*, Jurnal Teknik Mesin – ITI 3(2): 46-52