Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator

Teuku Multazam^{1*}, Andi Mulkan²

^{1,2} Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda – Banda Aceh

*Koresponden email: teuku.multazam@gmail.com

Diterima: 6 September 2019

Disetujui: 24 September 2019

Abstract

Wind power is dominant energy converted into electricity through wind turbine generators used in wind energy conversion systems. Technological developments produce various types of generators for use in wind power plants of various scales. Permanent magnet generator (PMG) has advantage of being able to produce electrical energy of 500 watts at rotation 600 rotate per minute with an input wind speed of 2.5-12 m/s. The potential for average wind speed throughout the year in Aceh is around 1.5-6.5 m/s cannot be generate electric power because mechanical energy from turbine rotation is not sufficient to meet the minimum demand for RPM generators. The design of a horizontal axis wind turbine (HAWT) with Air Foil Naca 2410 is used to increase the efficiency of the turbine rotation. It's influenced by variations in the number of blades and material used. Stages of simulation are prioritized to get efficient variations of the number of blades and the most effective material testing is performed. The results showed that variation of the axis of a three-blade wind turbine type has a higher coefficient of power that is 50 percent compared the other, the type of material wind turbines made from pinus more optimal than fiberglass.

Keywords: *Wind Turbines, Materials, Efficiency, HAWT, PMG.*

Abstract

Tenaga angin merupakan suatu energi yang paling dominan dikonversikan menjadi listrik melalui generator turbin angin yang digunakan pada sistem konversi energi angin. Perkembangan teknologi menghasilkan berbagai tipe generator dengan inovasi dan teknologi terbaru untuk digunakan pada pembangkit listrik tenaga bayu dengan berbagai skala. Satu diantaranya yaitu jenis *permanent magnet generator* (PMG), jenis ini memiliki keunggulan dapat menghasilkan energi listrik sebesar 500 watt pada putaran rendah yaitu sebesar 600 *rotate per minute* dengan kecepatan angin inputan 2.5 – 12 m/s. Potensi kecepatan angin rata-rata sepanjang tahun di Provinsi Aceh berkisar 1.5 – 6.5 m/s mengakibatkan ketidakmampuan menghasilkan daya listrik karena energi mekanik dari putaran turbin tidak mencukupi permintaan minimal RPM generator. Desain turbin angin sumbu *horizontal axis wind turbine* (HAWT) tipe *modern wind turbine* dengan Air Foil Naca 2410 digunakan untuk meningkatkan efisiensi putaran turbin. Peningkatan efisiensi dipengaruhi oleh variasi jumlah sudu dan material yang dipakai. Tahapan simulasi diutamakan untuk mendapatkan variasi jumlah sudu yang efisien, selanjutnya dilakukan pengujian material yang paling efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi sumbu turbin angin tipe tiga *blade* memiliki koefisien power (CP) lebih tinggi yaitu 50 persen dibandingkan lainnya., dan jenis material turbin angin berbahan kayu pinus lebih optimal putarannya dibandingkan material berbahan fiberglass.

Keywords: *Turbin Angin, Material, Efisiensi, HAWT, PMG.*

1. Pendahuluan

Pertumbuhan konsumsi energi sebanyak 4,3 persen setiap tahun memacu ilmuwan untuk meneliti energi alternatif yang bisa digunakan secara terus-menerus dan ramah lingkungan (Global Wind Report, 2014). Tenaga angin merupakan energi yang paling dominan dikonversikan menjadi listrik. Kondisi Indonesia yang beriklim tropis menjadi suatu peluang yang bisa dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik, salah satunya melalui proses konversi tenaga angin [T Multazam & dkk, 2016].

Generator merupakan salah satu media yang berperan penting untuk perubahan energi kinetik menjadi energi listrik. Perkembangan teknologi yang semakin pesat menghasilkan beragam tipe generator dengan bermacam inovasi dan teknologi terbaru untuk digunakan pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) skala kecil dan besar (Anagha R Tiwari, 2014) diantaranya yaitu permanent magnet generator

(PMG). Keunggulan generator tipe ini yaitu mampu menghasilkan energi listrik dengan kecepatan *rotate per minute* (RPM) rendah, sehingga akan menghasilkan listrik meskipun hembusan kecepatan angin rendah (Hasyim Asy'ari, 2012).

Potensi angin yang tersedia sepanjang tahun pada beberapa daerah di Indonesia menjadi peluang untuk dikonversi menjadi listrik. Hasil penelitian yang dilakukan Yusuf pada tahun 2015 menyimpulkan potensi kecepatan angin rata-rata perbulannya yaitu 4-5 m/s (Yusuf Ismail Nakhoda, 2015). Kondisi demikian juga terdapat di Provinsi Aceh, kecepatan angin rata-rata paling dominan setiap bulannya yaitu 1.6 – 6.5 m/s [Muhammad Rizal Fakri, 2017 dan Khairiaton, 2016]. Rendahnya hembusan angin menjadi hambatan dalam proses konversi listrik karena energi mekanik yang dihasilkan dari putaran turbin angin tidak mencukupi kebutuhan generator PMG sehingga dibutuhkan turbin angin dengan efisiensi tinggi, satu diantaranya yaitu turbin sumbu horizontal axis wind turbine (HAWT) type Modern Wind Turbine dengan Air Foil Naca 2410 (Yu-Jen Chen, 2016 dan Peter, 2012). Peningkatan efisiensi turbin ini dipengaruhi oleh variasi jumlah sudu dan material yang dipakai (Firman, 2013).

Karena itu, diperlukan suatu penelitian tentang variasi sudu turbin angin yang optimal dan material yang efektif untuk meningkatkan efisiensi putaran turbin angin pada kecepatan angin rendah. Desain jumlah sudu yang optimal diperoleh berdasarkan hasil simulasi, hasil ini selanjutnya digunakan sebagai acuan untuk pengujian material fiberglass dan kayu pinus [A Sifa, 2018 dan Ahmad Suyogo, 2017). Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi sudu turbin angin dengan tiga bilah dan material kayu pinus mampu meningkatkan performa permanent magnet generator (PMG) serta dapat dioperasikan pada kecepatan angin rendah sesuai dengan karakteristik angin di Aceh.

2. Tinjauan Pustaka

Upaya untuk mereduksi penggunaan sumber fosil sebagai sumber utama pada pembangkit listrik tenaga diesel dilakukan melalui pemanfaatan tenaga angin. Turbin angin merupakan bagian yang difungsikan untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. Secara umum, desain turbin angin terbagi dalam dua jenis yaitu, sumbu horizontal dan sumbu vertical (Yu-Jen Chen, 2016 dan Peter, 2012). Kedua jenis turbin ini memiliki kelebihan masing-masing, akan tetapi jika dibandingkan dari kemampuan dalam ekstrak tenaga angin maka tipe sumbu horizontal memiliki efisiensi terbaik.

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah putaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar Turbin Angin Sumbu Horizontal merupakan mesin upwind (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin downwind (menurut arah angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekok sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.

a. Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal

Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi. Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20% (rini009, 2015).

b. Kelemahan Turbin Angin Sumbu Horizontal

- Menara yang tinggi serta bilah yang panjangnya bisa mencapai 90 meter sulit diangkut. Diperkirakan besar biaya transportasi bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
- Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yang tampil (<https://www.coursehero.com/file/p171924u/Kelebihan-TASH-Dasar-menara-yang-tinggi-membolehkan-akses-ke-angin-yang-lebih/>, diakses 20 Juni 2019).
- Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, gearbox, dan generator.
- Turbin Angin Sumbu Horizontal yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.

- Ukurannya yang tinggi merintang pandangan dan mengganggu penampilan lansekap.
- Berbagai varian downwind menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi.
- Turbin Angin Sumbu Horizontal membutuhkan mekanisme control.
- yaw tambahan untuk membelokkan kincir ke arah angin

Peter J. Schubel dalam penelitiannya menyebutkan berdasarkan bentuk rotor, desain turbin angin sumbu horizontal axis wind turbine (HAWT) merupakan topologi yang memiliki efisiensi dengan koefisien daya yang tinggi dalam mengekstrak tenaga angin (Yu Chen, 2016). Pada topologi ini, model turbin dikelompokkan dalam tiga jenis yaitu, *modern wind turbine*, *american farm wind mill* dan *dutch wind mill* (Yu-Jen Chen, 2016 dan Peter, 2012).

2.1. Modern Wind Turbine

Modern Wind Turbine adalah turbin angin dengan poros horizontal (HAWT) seperti baling – baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya [Firman, 2013]. Turbin ini bekerja dengan poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Turbin ini biasanya turbin memiliki blade berbentuk airfoil seperti bentuk sayap pada pesawat.

Desain turbin ini dilakukan dengan beragam variasi yaitu mulai satu blade, dua blade, tiga blade, hingga enam blade. Pada setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan turbin jenis ini, yaitu memiliki efisiensi yang tinggi, dan cut-in wind speed rendah. Kekurangannya, yaitu turbin jenis ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah angin (Yusuf Nakhoda, 2015)

Gambar 1. Model Turbin Angin [17-18]

2.2. American Farm Wind Mill

T. Lindsey Baker (A Field Guide to American Windmills; 1976) menuliskan bahwa "kincir angin Amerika yang mengatur secara mandiri dan berhasil secara mandiri dikembangkan di New England pada pertengahan 1850. Kincir angin ini digunakan oleh warga amerika untuk memompa air.

Kincir angin berbeda dengan model yang didesain berbeda dengan turbin yang didesain oleh eropa. Pada awalnya kincir ini didesain menggunakan bahan kayu, tetapi penggunaan material tersebut perlahan berubah ke jenis logam.

Poppy dalam tulisannya *A Field Guide to American Windmills* menuliskan bahwa kincir angin an tersebut digunakan untuk memompa air untuk disimpan dalam tangki persediaan di sebuah ruangan berukuran tangki persediaan khusus di lantai dua rumah.

Gambar 2. Turbin American Windmill [18]

Seperti banyak teknologi lama tapi masih bermanfaat, kincir angin pompa air terus digunakan dalam berbagai konteks niche, seringkali berskala kecil dan pedesaan, kadang-kadang untuk proyek di luar jaringan. Taylor Schafer, manajer pengembangan bisnis untuk Aermotor, mengatakan salah satu pasar utama perusahaan adalah peternak yang menggunakannya untuk menyiram ternak. Model Aermotor saat ini, 802, hampir identik dengan Aermotor 702. klasik. "Suku cadang kami masih dapat dipertukarkan dengan pabrik 702," kata Schafer. "Desainnya pada dasarnya tidak berubah sejak 1933.

2.3. Dutch Wind Mill

Kincir angin ini diciptakan oleh Negara Belanda dan banyak digunakan di Eropa untuk menggiling biji-bijian. Mereka beroperasi dengan dorongan yang diberikan angin. Bilah mereka cenderung miring ke arah angin untuk menghasilkan rotasi. Layar atau bilah kayu digunakan untuk membuat bilah ini. (Aditya Kumar, 2011). Kincir Angin memiliki banyak bilah. Bilah umumnya terbuat dari bilah kayu atau logam. Ini digunakan untuk memutar poros pompa air. Lokasi pabrik tidak diatur oleh ketersediaan angin, tetapi oleh ketersediaan air. Oleh karena itu, ia dirancang untuk dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah. Lokasi mereka yang terpencil dan tujuan penggunaan membuat efisiensi mereka untuk mengambil kursi belakang. Keandalan, kekokohan, dan biaya rendah adalah kriteria utama untuk desain pabrik angin ini. Baling-baling ekor umumnya dipasang di turbin untuk mengarahkannya agar berhadapan dengan angin.

Gambar 3. Turbin Dutch Wind Mill [20]

3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang direncanakan terdiri dari beberapa tahapan yang meliputi pengumpulan data, simulasi variasi jumlah sudu turbin rancang bangun, dan pengujian material dan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Diagram alir penelitian

3.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui studi literasi dari berbagai jurnal internasional dan nasional yang terakreditasi dan bereputasi. Data yang dikumpulkan meliputi, variasi jumlah sudu turbin pada sumbu horizontal axis wind turbine type modern wind turbine dengan Air Foil Naca 2410, dan karakteristik material sudu turbin. Data-data yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai acuan pada tahapan simulasi dan pengujian material turbin angin.

Berdasarkan hasil studi diperoleh bahwa, variasi sudu yang memiliki efisiensi tinggi yaitu tiga bilah (Yu Chen, 2016). Jumlah sudu ini digunakan sebagai data awal untuk dilakukan simulasi. Pada penelitian ini, variasi sudu yang digunakan dimulai dari tiga blade, empat blade dan enam blade.

3.2. Simulasi

Simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan variasi sudu yang optimal dari modern wind turbine dengan Air Foil Naca 2410. Nilai optimal dihasilkan berdasarkan efisiensi turbin tertinggi dengan kecepatan angin rendah sesuai dengan karakteristik angin di Provinsi Aceh. Hasil yang memiliki nilai efisiensi tinggi akan digunakan untuk acuan pada proses pengujian material atau bahan. Simulasi dilakukan dengan menggunakan software ansys versi 19.0 dan q-blade dengan diameter turbin yang digunakan yaitu sepanjang 0.8 meter. Dalam simulasi ini, penggunaan jumlah sudu turbin dibagi menjadi lima kelompok dimana pada kelompok pertama akan menggunakan tiga buah sudu, kelompok kedua menggunakan empat buah sudu, kelompok ketiga memakai lima buah sudu, kelompok empat memakai enam buah sudu, dan kelompok kelima menggunakan tujuh buah sudu.

Gambar 4. Variasi Sudu Turbin Angin [10-11]

3.3 Rancang Bangun Turbin Angin

Rancang bangun turbin angin ini dilakukan setelah mendapatkan variasi sudu turbin optimal. Variasi turbin yang memiliki Coefisien Power (CP) tertinggi yaitu turbin angin tiga *blade* dengan nilai yang dimiliki adalah 50 persen. Model turbin ini selanjutnya dilakukan perancangan turbin angin. Perancangan turbin ini dilakukan dengan menggunakan dua buah material yaitu kayu pinus dan fiber seperti dalam Gambar 5.

Gambar 5. Material. (a) kayu pinus, (b) Fiber

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Material Turbin Angin Berbahan Fiber

Pengujian material turbin angin berbahan fiber bertujuan untuk melihat performa generator permanent magnet (PMG) yang dihasilkan dari putaran baling-baling angin ketika hembusan angin terjadi. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian material turbin angin berbahan fiber

No	Kecepatan Angin (m/s)	Material	Tegangan yang dihasilkan (Volt)
1	2	Fiber	1.96
2	3		2.56
3	4		3.25
4	5		4.38
5	6		5.70
6	7		6.20
7	8		7.42
8	9		8.10
9	10		8.97
10	11		9.25
11	12		10.32
12	13		11.20
13	14		11.48
14	15		11.48

Pada Tabel 1. menunjukkan bahwa tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin berbahan fiber dimulai ketika kecepatan angin minimal yaitu 2 m/s dengan nilai tegangan sebesar 1.96 volt. Pada kecepatan angin sebesar 14 m/s hingga 15 m/s, nilai tegangan yang dihasilkan yaitu 11.48 volt. Nilai tegangan maksimal yang dihasilkan oleh baling baling berbahan material masih berada di bawah nilai standar yang diinginkan yaitu sebesar 12 volt sesuai dengan keinginan hasil output permanent magnet generator dan converter yang telah didesain untuk menghidupkan/mengoperasikan beban listrik.

4.2 Pengujian Material Turbin Angin Berbahan Kayu Pinus

Pengujian material turbin angin menggunakan kayu pinus bertujuan untuk melihat performa generator permanent magnet (PMG) yang dihasilkan dari putaran turbin angin berbahan kayu pinus. Performa PMG dilihat berdasarkan jumlah tegangan yang dihasilkan ketika turbin angin berputar.

Tabel 2. Hasil pengujian material turbin angin berbahan kayu pinus

No	Kecepatan Angin (m/s)	Material	Tegangan yang dihasilkan (volt)
1	2	Pinus	2.50
2	3		3.80
3	4		4.50
4	5		5.3
5	6		6.56
6	7		7.86
7	8		8.44
8	9		9.20
9	10		9.90
10	11		10.60
11	12		11.25
12	13		11.96
13	14		12.15
14	15		12.15

Pada Tabel 2. menunjukkan tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin berbahan kayu pinus dimulai ketika kecepatan angin minimal yaitu 2 m/s dengan nilai tegangan sebesar 2.50 volt. Pada kecepatan angin sebesar 14 m/s hingga 15 m/s, nilai tegangan yang dihasilkan yaitu 12.15 volt. Nilai tegangan output yang dihasilkan oleh baling baling berbahan kayu pinus sesuai dengan output permanent magnet generator sehingga mampu digunakan untuk menghidupkan/mengoperasikan beban listrik.

4.3 Pengaruh Material Turbin Angin Berbahan Fiber dan Kayu Pinus Terhadap Tegangan Listrik

Hasil pengukuran turbin angin berbahan fiberglass dan kayu pinus menunjukkan bahwa output tegangan yang dihasilkan oleh permanent magnet generator (PMG) mengalami perbedaan seperti terlihat pada Gambar 6.

Gambar 6. Hasil pengukuran tegangan listrik pada PMG

Dari Gambar 6. didapatkan bahwa, nilai tegangan yang dihasilkan oleh turbin angin bermaterial kayu pinus lebih tinggi dibandingkan dengan turbin berbahan fiberglass dimana nilai tegangan pada kecepatan terendah selisih dari tegangan yang dihasilkan yaitu sebesar pada kecepatan angin sebesar 0.54 volt, sedangkan pada kecepatan angin tertinggi selisih tegangan keduanya adalah 0.67 volt. Perbedaan nilai tegangan yang dihasilkan oleh permanent magnet generator dipengaruhi oleh putaran turbin angin. Nilai putaran turbin angin berbahan fiber lebih rendah dibandingkan putaran turbin angin berbahan kayu pinus, hal ini dipengaruhi oleh nilai massa jenis dari turbin angin berbahan fiber lebih besar dibandingkan kayu pinus.

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa turbin dengan kayu pinus memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan lainnya, sehingga turbin jenis ini dapat dikembangkan untuk wilayah Aceh terutama di Aceh Besar dan Banda Aceh.

5. Kesimpulan

1. Jumlah sumbu turbin angin yang memiliki efisiensi tinggi yaitu tiga bilah dengan koefisien power (CP) sebesar 50 persen.
2. Material turbin angin berbahan kayu pinus lebih efektif dibandingkan dengan material berbahan fiber dilihat berdasarkan putaran turbin yang optimal.
3. Putaran turbin angin sangat dipengaruhi oleh masa jenis material yang digunakan.

6. Daftar Pustaka

- Anagha R. Tiwari, (2014). *Comparison of various Wind Turbine Generators*, *Multidisciplinary Journal of Research in Engineering and Technology (MJRET)*, 1 (2), Page.129-135.
- Al Ichlas Imran., Kadir., Samhuddin., & La Hasanuddin, (2017). Simulasi Desain Horizontal Wind Turbin Dengan Air Foil", *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin NACA* 2410, 9 (1), 2085-8817.
- A. Sifa, Badruzzaman., T. Endramawan., I. Maolana., & A.R. Muhammad, (2016). Pengujian variasi jumlah blade fiberglass kincir angin tipe horizontal untuk pemompa air garam", *Dinamika Teknik Mesin*, 8 (2), 2088-088X, 2502-1729.
- Ahmad Sayogo., Novi Caroko., & Wahyudi (2017). Perancangan Dan Pembuatan Kincir Angin Tipe Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Untuk Daerah Pantai Selatan Jawa", Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Skripsi.
- Aditya Kumar Sethi, (2011). *Pitch Control of Horizontal Axis Wind Turbine*, Thesis, National Institute of Technology, Rourkela.
- Firman, Mara., & Nuarsa, (2013). Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal", *Dinamika Teknik Mesin*, 3 (1), 2088-088X.

- Firman. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal, *Dinamika Teknik Mesin*, ISSN: 2088-088x.
- Global Wind Report, (2014). *The Global Energy Council*, <http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/>
- Hasyim Asy'ari. (2012). Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Atau Bayu (PLTB), Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. https://message.alibaba.com/msgsend/draftPo.htm?spm=a2700.details.maonnacta.dorder.42b05e03CH6txU&productId=60538648805&id_f=IDX14VcCGSty8gHilHkw-YuTDyAS2EgBGJMWUDF7mh6Rdl-zthfJNdk0RyALagOZQO2&mloca=po_en_detail&tracelog=from_detail, diakses 16 Juli 2016
- <https://www.atlasobscura.com/articles/windmills-water-pumping-museum-indiana>, diakses pada tanggal 25 Juni 2019.
- <https://www.coursehero.com/file/p171924u/Kelebihan-TASH-Dasar-menara-yang-tinggi-membolehkan-akses-ke-angin-yang-lebih/>, diakses 20 Juni 2019.
- <https://rini0009.wordpress.com/2015/05/04/jenis-jenis-turbin-angin/>, diakses 22 Juni 2019.
- Khairiaton. (2016). “*Wind Speed Analysis using Weibull Distribution in the Region Blang Bintang Aceh Besar*”, *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)*, 5(2), pp.7-13, 2355-8229.
- Muhammad Rizal Fachri. (2017). Analisa Potensi Energi Angin Dengan Distribusi Weibull Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Banda Aceh”, *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro (CIRCUIT)*, 1(1), hal. 1-8, 2549-3698.
- Peter J. Schubel & Richard J. Crossley. (2012). *Wind Turbine Blade Design*, *Energies*, Volume 5, page 3425-3449, 10.3390/en5093425.
- Sarjito. (2010). Studi Karakteristik Airfoil Naca 2410 Dan Naca 0012 Pada Berbagai Variasi Angle of Attack, *Median Mesin-UMS* 11 (1), pp 15 - 22, 1411-4348.
- Suparman., Hadi Suyono., Rini Nur Hasanah. (2017). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Terapung (PLTPHT)”, *Jurnal EECCIS*, Volume 11 (2).
- T. Multazam., R.I. Putri., M. Pujiantara., A. Priyadi., & P.M. Hery. (2106). *Wind farm site selection base on fuzzy analytic hierarchy process method; Case study area Nganjuk*. International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), pp. 545-550.
- Yusuf Ismail Nakhoda. (2015). Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal Pembangkit Tenaga Listrik Portabel”, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan (ITATS)*, 978-602-98569-1-0.
- Yu-Jen Chen & Y. C. Shiah. (2106). *Experiments on the Performance of Small Horizontal Axis Wind Turbine with Passive Pitch Control by Disk Pulley*, *Energies*, volume 9 (353), doi:10.3390/en9050353.