

ANALISIS KINERJA TURBIN ANGIN SAVONIUS BERTINGKAT DENGAN PERUBAHAN VARIASI JUMLAH SUDU TURBIN

Lewi¹⁾ dan Jamal²⁾

^{1,2)}Dosen Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang

ABSTRACT

Tujuan umum penelitian meningkatkan kinerja turbin angin Savonius bertingkat. Tujuan khusus penelitian mengetahui pengaruh jumlah dan pasangan sudu terhadap kinerja turbin savonius bertingkat. Hasil penelitian tahun pertama diperoleh turbin kelengkungan 1R memiliki kinerja terbaik, turbin 2 sudu menghasilkan putaran tinggi sedangkan turbin 3 dan 4 sudu memiliki torsi besar. Penelitian tahun kedua dilakukan dengan menguji turbin savonius bertingkat dua sebanyak enam buah yaitu 2a-2b (dua atas dua bawah), 2a-3b, 2a-4b, 3a-3b, 3a-4b dan 4a-4b. Kelengkungan turbin yang diuji adalah 1R. Sistem uji adalah berupa terowongan angin tempat uji turbin Savonius bertingkat. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan angin dan beban turbin. Evaluasi dilakukan dengan menghitung dan membandingkan daya output dan efisiensi turbin angin savonius bertingkat. Semakin besar kecepatan maka efisiensi maksimum turbin juga semakin besar pada kecepatan 8,5m/s efisiensinya 9,17%, kecepatan 7,0m/s efisiensinya 6,33%, kecepatan 5,5m/s efisiensinya 6,19%, kecepatan 4,0m/s efisiensinya 5,43%. Semakin sedikit jumlah sudu maka semakin besar efisiensinya dengan turbin 2a-2b efisiensinya 10,05%, turbin 3a-3b efisiensinya 7,05%, turbin 4a-4b efisiensinya 3,78 %. Untuk pengaruh pasangan jumlah sudu berbeda terhadap efisiensi maksimum secara berurut dari yang terbesar adalah turbin 2a-3b efisiensinya 9,22 %, turbin 2a-4b efisiensinya 5,75 %, turbin 3a-4b efisiensinya 4,84 %.

Keywords: Turbin, angin, Savonius, tipe U, bertingkat

1. PENDAHULUAN

Indonesia dulunya merupakan salah satu negara pengekspor bahan bakar minyak, tetapi saat ini Indonesia telah berubah menjadi negara pengimpor bahan bakar minyak, sehingga hal ini sangat membebani keuangan negara apabila bahan bakar minyak mendapat subsidi dari pemerintah. Minyak bumi sebagai sumber utama energi di dunia, saat ini mempunyai cadangan yang sangat terbatas dengan tingkat konsumsi yang terus meningkat di setiap tahunnya, karena harga minyak bumi semakin mahal dan kebutuhan semakin meningkat maka terjadi krisis energi di Indonesia. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi krisis energi yang terjadi di negara ini, adalah dengan memanfaatkan energi alternatif terbarukan dan ramah lingkungan, salah satu potensi energi alternatif yang terdapat di Indonesia adalah energi angin.

Perbedaan suhu udara dipermukaan bumi akibat pemanasan atmosfer yang tidak merata oleh sinar matahari, menimbulkan perbedaan tekanan udara. Akibat perbedaan tekanan udara menimbulkan pergerakan udara dari tekanan udara yang lebih tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah, pergerakan udara ini disebut dengan angin. Karena angin bergerak sehingga memiliki energi kinetik. Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Indonesia merupakan Negara kepulauan dan memiliki pantai dengan garis pantai yang panjang bahkan terpanjang didunia. Daerah pantai merupakan daerah pergerakan angin, sehingga Indonesia memiliki potensi yang besar untuk dikembangkannya pembangkit listrik tenaga angin. Kendala yang dihadapi adalah kecepatan angin di Indonesia tidak sebesar kecepatan angin pada negara-negara yang telah memanfaatkan energi angin sebagai sumber energi, perbedaan karakteristik angin ini menyebabkan sulit menerapkan teknologi pemanfaatan energi angin pada negara-negara tersebut. Salah satu bentuk turbin angin yang layak dikembangkan di Indonesia adalah turbin Savonius karena dapat beroperasi pada kecepatan angin yang rendah. Turbin angin Savonius adalah turbin angin dengan konstruksi sederhana dan tidak terpengaruh oleh arah angin dan dapat dioperasikan pada daerah dengan kecepatan angin yang tidak terlalu besar. Turbin angin Savonius merupakan turbin angin sumbu vertikal. Tujuan umum penelitian ini adalah meningkatkan kinerja turbin angin Savonius bertingkat yang merupakan gabungan jenis turbin savonius yang memiliki putaran tinggi dengan yang memiliki torsi besar sehingga dapat meningkatkan kinerja turbin angin savonius.

Sedangkan tujuan khususnya adalah menghasilkan teknologi tepat guna turbin angin Savonius yang dapat dioperasikan pada kecepatan angin rendah dan mampu menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan menggunakan energi alternatif terbarukan, untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Target khusus yang ingin dicapai adalah diperoleh turbin angin savonius yang memiliki kinerja optimum sehingga dapat diterapkan di masyarakat untuk memenuhi kebutuhan aliran listrik.

2. KAJIAN LITERATUR

Angin adalah udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan dengan arah aliran angin dari tempat yang memiliki tekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah atau dari daerah yang memiliki suhu rendah ke tempat yang bersuhu tinggi. Angin memiliki berapa tingkat kecepatan dapat dilihat pada tabel 1. Letak geografis Indonesia sebagai negara tropis yang berada di garis khatulistiwa menyebabkan karakteristik angin Indonesia sangat berbeda dengan karakteristik angin di negara lain yang sudah memanfaatkan tenaga angin sebagai pemasok energi listrik alternatifnya. Karakteristik angin di Indonesia, yaitu :

1. Arah angin sering berubah-ubah
2. Sering terjadi turbulansi
3. Kecepatan rata-rata angin relatif rendah.

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik (Jalaluddin, 2012). Potensi angin yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik adalah angin kelas 3 sampai angin kelas 8 (1,6 - 17,1 m/s). Sedangkan potensi angin rata-rata yang kita miliki adalah angin dengan kecepatan 2,7 sampai 4,5 m/s (kelas 3 – 4). Dengan kondisi di atas, maka kecepatan angin di Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi adalah hanya pada kecepatan angin dengan kelas 3 hingga kelas 4 (2,7 - 4,5 m/s). Dengan keterbatasan tersebut, maka diperlukan usaha sungguh-sungguh agar energi angin yang tergolong pada angin berkecepatan rendah (2,7 m/s) dapat dimanfaatkan dioptimalkan menjadi energi listrik.

Listrik yang dihasilkan dari sistem konversi energi angin akan optimal pada siang hari dibandingkan pada malam hari, sedangkan penggunaan listrik biasanya akan meningkat pada malam hari. Untuk mengantisipasi system ini sebaiknya tidak langsung digunakan untuk keperluan produk-produk elektronik, namun terlebih dahulu disimpan dalam satu media seperti *accu* atau *batteray* sehingga listrik yang keluar besarnya stabil dan bisa digunakan kapan saja.

Tabel 1. Tingkat kecepatan angin 10m di atas permukaan tanah (Jalaluddin, 2012)

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah		
Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1	0,00 – 0,02	-----
2	0,3 – 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 – 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 – 10, 7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air plampung berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 – 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 – 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,5 – 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 – 36,9	Tornado

Turbin angin adalah sebuah alat yang merupakan sistem konversi energi angin (SKEA). Turbin angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros (Sargolzaei, 2007). Rotor adalah merupakan komponen utama turbin angin, berfungsi mengkonversi gerak linier angin menjadi gerak putar sudu turbin. Berdasarkan fungsi gaya aerodinamis (gaya utama yang menyebabkan rotor berputar), rotor terbagi menjadi dua, yaitu (Marizka, 2010):

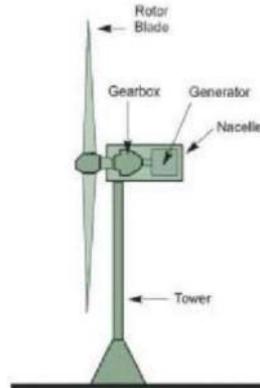
1. Rotor tipe *drag*, memanfaatkan efek gaya hambat atau *drag* angin sebagai gaya penggerak rotor.
2. Rotor tipe *lift*, memanfaatkan efek gaya angkat angin sebagai gaya penggerak rotor.

Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor. Berdasarkan arah rotor, turbin angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu mendatar (*horizontal axis wind turbine*) dan turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine*) (Daryanto, 2007).

1. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Putaran

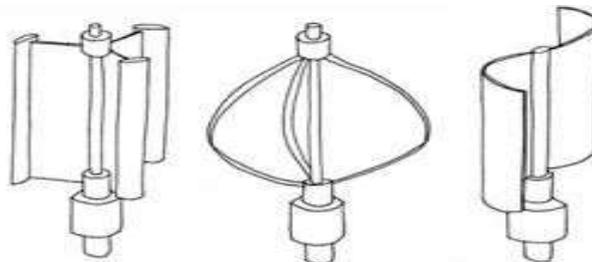
rotor terjadi karena adanya gaya lift (gaya angkat) angin pada blade. Turbin ini cocok tipe angin kecepatan sedang dan tinggi, dan banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar.

Jumlah blade pada HAWT bervariasi, secara umum semakin banyak jumlah blade, semakin tinggi putaran turbin. Kelebihan turbin HAWT, memiliki efisiensi tinggi, dan cut-in wind speed rendah. Kekurangannya, desain lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah, kekurangan lain penempatan generator berada di atas tower sehingga menambah beban tower.



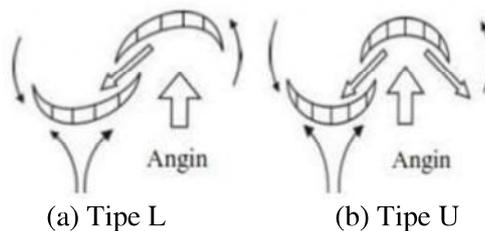
Gambar 1. Horizontal axis wind turbine

2. *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* merupakan turbin angin sumbu tegak, gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga dapat berputar pada semua arah angin. Ada tiga tipe; Turbin Savonius yang memanfaatkan gaya drag dan Darrieus serta H rotor yang memanfaatkan gaya lift. VAWT banyak digunakan untuk konversi energi listrik skala kecil. VAWT mempunyai kelebihan, yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mudah perawatan, tidak bising, dan kerja turbin tidak dipengaruhi arah angin. Kekurangannya yaitu memerlukan tower karena kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan HAWT.



a. H. Rotor b. Darrieus c. Savonius

Gambar 2. Turbin Angin Sumbu Tegak (Latif M, 2013)



(a) Tipe L (b) Tipe U

Gambar 3. Tipe rotor Savonius (Soelaiman, 2006)

Turbin angin savonius adalah jenis angin tipe drag, dimana turbin ini menghasilkan daya dengan memanfaatkan gaya drag yang dihasilkan dari tiap-tiap sudutnya. Drag merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah angin yang menumbuk sudu (White, 1986:412). Turbin angin memiliki prinsip kerja sama seperti turbin pada umumnya. Dimulai dari pemanfaatan energi kinetik yang dimiliki oleh angin, yang kemudian dikonversikan oleh sudu menjadi energi mekanik poros atau rotor.

Turbin angin Savonius dapat digunakan pada angin dengan kecepatan rendah. Konstruksi turbin ini sangat sederhana, tersusun dari dua buah sudu setengah silinder dan berbentuk L. Pengembangan rotor Savonius L (paten Sadaaki) pada gambar 4 terlihat bahwa pada bentuk rotor Savonius setengah lingkaran (Savonius U), aliran udara di kedua sisi bilah sama besar, sementara pada rancangan kedua (Savonius L) aliran udara pada sisi bilah yang lurus lebih besar dibandingkan pada sisi bilah lengkung seperempat lingkaran (Soelaiman, 2006). Turbin Savonius tipe U merupakan tipe yang mempunyai unjuk kerja (Torsi) yang tidak sebaik dengan tipe L. (Soelaiman dkk, 2007). Telah dilaksanakan beberapa studi pendahuluan untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan. Studi pendahuluan yang telah dilakukan adalah berupa riset yang berhubungan dengan turbin angin Savonius. Studi pendahuluan yang telah dilaksanakan adalah survei potensi angin di beberapa tempat di Sulawesi Selatan. Survei potensi ini dilakukan pada daerah pantai. Dari hasil survei ini diketahui bahwa Sulawesi Selatan memiliki potensi pembangunan turbin angin utamanya tipe *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) dalam penelitian ini akan diamati turbin VAWT tipe Savonius. Studi pendahuluan lain yang telah dilakukan desain turbin angin tipe Savonius dengan dua sudu turbin untuk diterapkan di pesisir pantai dengan kecepatan aliran angin rendah hingga sedang. Studi pendahuluan lain yang telah dilaksanakan adalah dengan mengumpulkan beberapa literatur berupa jurnal ilmiah, buku-buku dan data-data dari internet yang berhubungan langsung dengan penelitian yang akan dilakukan.

Terdapat beberapa penelitian yang menjadi literatur utama penelitian yang akan dilakukan, penelitian-penelitian tersebut berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan dan merupakan hasil yang telah dicapai. Zulfikar dkk (2007), dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh jumlah sudu terhadap torsi dan putaran turbin savonius tipe U. Dari penelitian meraka menyimpulkan bahwa rotor savonius 3 sudu ternyata mulai menghasilkan daya pada kecepatan angin yang lebih rendah dibanding rotor 2 sudu dan menghasilkan daya yang lebih besar pada kecepatan angin yang sama. Barrabasky (2010) melakukan penelitian terhadap rotor savonius tipe U, menunjukkan bahwa rotor savonius tipe U dengan dua sudu menghasilkan kecepatan putar yang sedikit lebih tinggi dibandingkan rotor savonius tiga sudu. Hendra (2012), dalam penelitiannya yang berjudul pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja turbin angin savonius. Menggunakan metode penelitian eksperimental dengan variasi jumlah sudu : 2, 3 dan 4 dengan variabel bebas kecepatan angin pada wind tunnel dari kecepatan 3 ms sampai 7 m/s, didapatkan hasil analisis bahwa turbin angin dengan jumlah sudu 3 buah memiliki unjuk kerja yang tinggi dibandingkan dengan 3 jumlah sudu. Bayu (2013), melakukan penelitian dengan memvariasikan jumlah sudu turbin Savonius tipe L yaitu 2, 3 dan 4 buah. Diperoleh hasil bahwa kondisi terbaik adalah ketika menggunakan sudu sebanyak 3 buah dan kondisi efisiensi terendah adalah penggunaan sudu turbin sebanyak 4 buah. Andri (2013), melakukan penelitian tentang Pengaruh Panjang Lengkung Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius variasi panjang lengkung adalah 5/12, 6/12 dan 7/12 lingkaran. Diperoleh hasil bahwa performa terbesar pada setiap kecepatan angin dimiliki oleh turbin angin dengan panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran, kecuali pada kecepatan angin 3 m/s daya poros dan efisiensi terbesar dimiliki oleh turbin angin 5/12 lingkaran.

Penelitian yang telah dilaksanakan tahun I (Lewi dan Tekad, M., 2015) Hasil penelitian tahun pertama adalah pengujian variasi kelengkungan pada turbin dengan jumlah sudu 2, 3 dan 4 (2S, 3S dan 4S) diperoleh bahwa turbin dengan kelengkungan 1R memiliki kinerja terbaik. Juga diperoleh hasil bahwa turbin 2 sudu menghasilkan putarantinggi tetapi torsi kecil sedangkan turbin dengan jumlah sudu 3 dan 4 (3S dan 4S) memiliki putaran rendah tetapi torsinya besar. Penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian yang berupaya untuk meningkatkan kinerja turbin angin Savonius tipe U. Penelitian tahun kedua adalah pengujian turbin savonius bertingkat yaitu gabungan turbin dengan jumlah sudu 2, jumlah sudu 3 dan 4. Penelitian tahun kedua merupakan kelanjutan penelitian tahun pertama.

Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo, (2004), melakukan penelitian tentang turbin Savonius dengan 3 buah sudu turbin diperoleh hasil bahwa Dengan efisiensi mekanik 76 dan kecepatan angin $V_{rata-rata}$ 15 m/s diperoleh daya efektif 400 Watt. Soelaiman (2006), melakukan penelitian turbin Savonius dengan variasi tipe U dan L, ukuran windside besar dan kecil. Dan digunakan untuk lampu penerangan jalan tol. Marizka Lustia Dewi (2010), melakukan penelitian dengan memvariasikan sudut kelengkungan turbin Savonius tipe L. Diperoleh hasil bahwa turbin dengan sudut kelengkungan 20° menghasilkan kinerja optimum. Alexin putra (2011), melakukan penelitian dengan membandingkan rotor helical Savonius dengan rotor Savonius. Diperoleh hasil bahwa rotor helical Savonius menghasilkan kinerja yang lebih optimal. Phobi Kevin (2011), melakukan penelitian tentang penggunaan turbin Savonius sebagai penggerak pompa Submersible diperoleh hasil bahwa pompa mampu mengangkat air dengan debit 0,016 l/s untuk kecepatan angin 3,4 m/s.

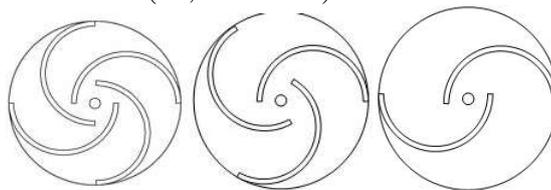
Adam Daniary Ibrahim (2012) melakukan penelitian tentang potensi penggunaan kincir angin Savonius yang dihibrid dengan energi surya untuk penggerak motor kapal nelayan diperoleh hasil bahwa kincir angin

mampu menghasilkan daya 1665 watt untuk kebutuhan 1520 watt. Melda Latif (2013), melakukan penelitian tentang turbin Savonius pada kecepatan angin rendah, diperoleh hasil efisiensi 4,8% hingga 14,5%. Eko (2013), melakukan penelitian tentang pembangkit listrik hibrid antara turbin Savonius dengan sel surya, diperoleh nilai efisiensi sebesar 80%. Andreas (2013), melakukan penelitian dengan variasi jarak celah sudu turbin Savonius yaitu 1, 2 dan 3 cm. Diperoleh hasil bahwa jarak celah 1 cm menghasilkan kinerja yang lebih optimum. Robby Ilham Fitrandi (2014), melakukan penelitian tentang Turbin Angin Savonius dengan 2 dan 3 blade dengan menggunakan bantuan Guide Vane. Diperoleh hasil bahwa penggunaan 2 blade menghasilkan kinerja optimum. Lewi dan Tekad, M. (2015), melakukan penelitian turbin savonius dengan 2, 3 dan 4 sudu dengan kelengkuan sudu 1R (1 kali jari-jari turbin), 1,5R dan 2R. Diperoleh hasil bahwa kelengkuan 1R memiliki kinerja terbaik dan 2 sudu memiliki putaran tinggi dengan torsi rendah, turbin 3 dan 4 sudu memiliki putaran rendah dengan torsi tinggi. Turbin 3 sudu memiliki kinerja terbaik.

Penelitian yang akan dilakukan pada tahun kedua adalah pengembangan dari penelitian tahun pertama yaitu dengan melakukan pengujian turbin angin Savonius bertingkat yaitu menggabungkan turbin savonius yang memiliki putaran tinggi dengan turbin savonius yang memiliki torsi besar. Pengujian akan dilakukan dengan membuat sistem uji yaitu dengan membuat terowongan angin tempat turbin Savonius diletakkan untuk pengujian. Fungsi terowongan angin ini adalah sebagai pengarah aliran udara. Pengujian akan dilakukan dengan menguji enam buah turbin angin Savonius bertingkat yaitu penggabungan turbin savonius yang memiliki jumlah sudu yang sama dan jumlah sudu yang berbeda dengan jumlah sudu yang akan digunakan adalah 2 sudu, 3 sudu dan 4 sudu. Dari pengujian diperoleh daya input angin dan daya output turbin sehingga diperoleh efisiensi dan kinerja turbin Savonius bertingkat.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian akan dilakukan dengan metode desain dan eksperimental yang akan ditekankan pada rancang bangun dan pengujian kinerja, serta evaluasi. Penelitian akan dilakukan secara bertahap, yaitu dimulai dengan rancang bangun turbin angin Savonius, dilanjutkan dengan pengujian kinerja hasil desain dan diakhiri dengan evaluasi hasil. Rancang bangun turbin angin Savonius bertingkat berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada tahun pertama dan merupakan pengembangannya, juga merujuk pada hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Zulfikar (2007), Barrabasky (2010), Hendra (2012) dan Bayu (2013) serta Andri (2013). Rancang bangun turbin savonius bertingkat adalah dengan membuat turbin dengan variasi jumlah sudu turbin, variasi jumlah sudu turbin mengikuti hasil penelitian Zulfikar (2007) yaitu terdapat area tertentu 2 sudu lebih baik dari 3 sudu dan sebaliknya, Barrabasky (2010) yaitu 2 sudu menghasilkan putaran yang lebih besar, Hendra (2012) yaitu tipe U dengan 3 sudu lebih baik dari 2 dan 4 sudu serta Bayu (2013) yaitu tipe L dengan 3 sudu lebih baik dari 2 dan 4 sudu. Dari hasil di atas perlu diamati lebih lanjut pengaruh jumlah sudu karena umumnya kondisi terbaik yaitu pada jumlah 2 hingga 3 sudu maka jumlah sudu dalam penelitian ini adalah adalah 2, 3 dan 4 sudu (2S, 3S dan 4S).



Gambar 4. Variasi jumlah sudu turbin pada turbin Savonius bertingkat

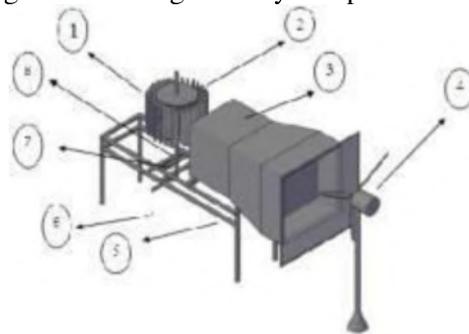
Konstanta Betz adalah konstanta $16/27$ (59,3%), batas Betz (Betz limit, di ambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz), angka ini menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat di capai oleh rotor turbin angin.

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kinerja turbin Savonius bertingkat dengan variasi jumlah sudu turbin dan kecepatan aliran udara serta variasi beban. Evaluasi dilakukan dengan mengolah data yang diperoleh dari pengujian kinerja sehingga diperoleh besar efisiensi turbin savonius bertingkat pada setiap variasi pengujian. Evaluasi ini pada akhirnya akan menjadi patokan dalam perencanaan pembangunan pembangkit listrik tenaga angin atau aplikasi lain penggunaan turbin Savonius.

Penelitian akan dilaksanakan di Politeknik Negeri Ujung Pandang pada laboratorium Energi Alternatif, laboratorium Instrumentasi dan Kontrol, laboratorium Pengukuran Thermal dan laboratorium Pengukuran Fluida.

Dalam melakukan pengujian diperlukan sistem pengujian atau rangkaian instrumentasi pengujian yang terdiri dari kipas angin (fan test) sebagai sumber angin yang dapat di atur kecepatan alirannya. Agar alirannya

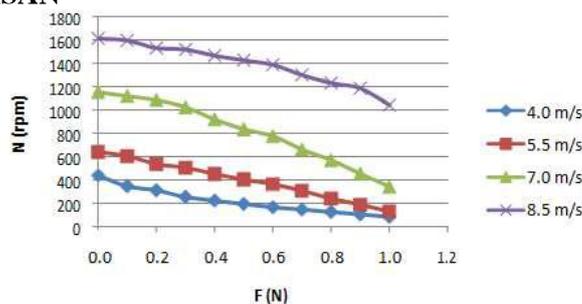
terjaga, maka aliran udara akan dilewatkan melalui lorong angin menuju ke turbin Savonius bertingkat melewati sudu pengarah. Turbin akan ditopang oleh poros dan didudukkan pada bearing sebagai titik putar poros. Adapun pembebanan berfungsi untuk mengukur daya output mekanik.



Gambar 5. Rangkaian Instrumen Penelitian (Robby dan Indra, 2014)
 (1. Turbin angin; 2. Sudu pengarah; 3. Lorong Angin; 4. Kipas Angin; 5. Rangka; 6. Beban; 7. Poros; 8. Bearing)

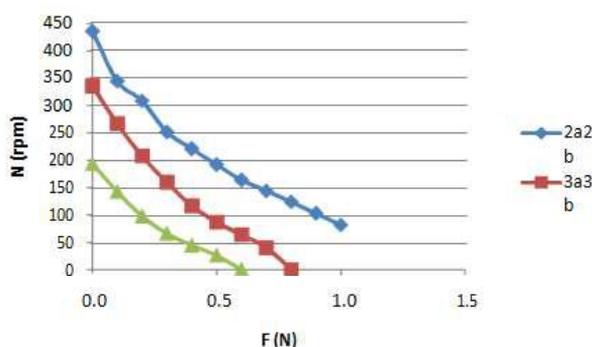
Pengujian akan dilakukan pada enam buah turbin angin Savonius bertingkat yaitu 2S-2S; 2S-3S; 2S-4S; 3S-3S; 3S-4S dan 4S-4S, dari hasil pengujian diperoleh daya input angin dan daya output turbin sehingga dapat dievaluasi efisiensi dan kinerja dari enam buah turbin Savonius bertingkat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN



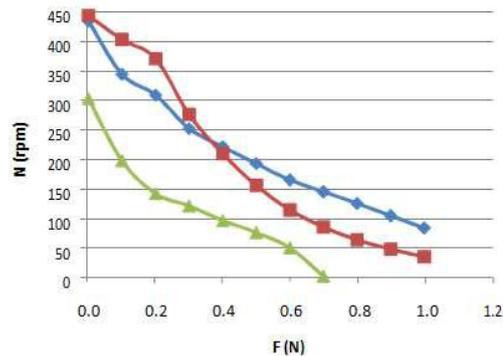
Gambar 6. Pengaruh Beban Terhadap Putaran Turbin Dengan Variasi Kecepatan Angin Pada Turbin Savonius Bertingkat Jenis 2a-2b

Gambar 6 memperlihatkan hubungan beban terhadap putaran turbin angin savonius bertingkat 2a-2b dengan variasi kecepatan angin, terlihat bahwa semakin besar beban yang diberikan maka putaran turbin menjadi semakin kecil, kondisi ini terjadi pada semua jenis turbin dan semua jenis variasi pengujian. Pada gambar 6 juga terlihat bahwa semakin besar kecepatan angin maka kecepatan putaran turbin juga semakin besar, kondisi ini juga terjadi pada semua jenis turbin yang diuji. Gambar 7 memperlihatkan hubungan beban terhadap putaran turbin angin savonius bertingkat dengan kecepatan angin 4,0 m/s dengan variasi pasangan jumlah sudu sama, terlihat bahwa turbin 2a-2b memiliki putaran paling besar disusul turbin 3a-3b dan yang paling rendah putarannya adalah turbin 4a-4b, kondisi ini juga terjadi pada kecepatan angin 5,5 m/s; 7,0 m/s dan 8,5 m/s.

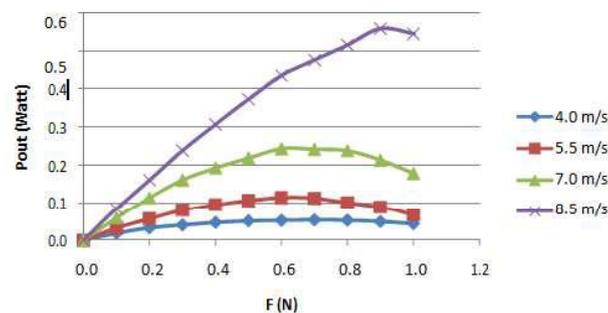


Gambar 7. Pengaruh Beban Terhadap Putaran Turbin Dengan Variasi Jumlah Sudu Sama

Pada Turbin Savonius Bertingkat Kecepatan Angin 4,0 m/s



Gambar 8. Pengaruh Beban Terhadap Putaran Turbin Dengan Variasi Jumlah Sudu Berbeda Pada Turbin Savonius Bertingkat Kecepatan Angin 4,0 m/s



Gambar 9. Pengaruh Beban Terhadap Daya Output Turbin Dengan Variasi Kecepatan Angin Pada Turbin Savonius Bertingkat Jenis 2a-2b

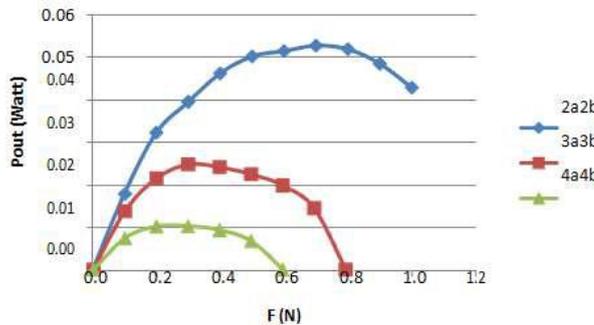
Gambar 8 memperlihatkan hubungan beban terhadap putaran turbin angin savonius bertingkat dengan kecepatan angin 4,0 m/s dengan variasi pasangan jumlah sudu berbeda, terlihat bahwa pada turbin 2 sudu yang dipasangkan dengan 2, 3 dan 4 sudu diperoleh putaran turbin terbesar secara berurut adalah turbin 2a-2b, turbin 2a-3b dan turbin 2a-4b, hal ini terjadi juga pada kecepatan 7,0 m/s dan 8,5 m/s, sedangkan pada kecepatan 5,5 m/s turbin 2a-3b memiliki putaran paling besar. Pada turbin 3 sudu yang dipasangkan dengan 2, 3 dan 4 sudu diperoleh turbin yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah turbin 2a-3b, turbin 3a-3b dan turbin 3a-4b, hal ini terjadi juga pada kecepatan 5,5 m/s; 7,0 m/s dan 8,5 m/s. Pada turbin 4 sudu yang dipasangkan dengan 2, 3 dan 4 sudu untuk kecepatan 4,0 m/s diperoleh turbin yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah turbin 2a-4b, turbin 4a-4b dan turbin 3a-4b, sedangkan pada kecepatan 5,5 m/s; dan 7,0 m/s diperoleh turbin dengan putaran terbesar secara berurut adalah turbin 2a-4b, turbin 3a-4b dan turbin 4a-4b, sedangkan pada kecepatan 8,5 m/s diperoleh turbin yang memiliki putaran terbesar secara berurut turbin 3a-4b, turbin 2a-4b dan turbin 4a-4b.

Gambar 9 memperlihatkan hubungan beban terhadap daya output turbin angin savonius bertingkat 2a-2b dengan variasi kecepatan angin, terlihat bahwa hubungan beban dengan daya output adalah berbentuk parabola dimana pada awalnya semakin besar beban maka daya output turbin semakin besar dan setelah mencapai daya output maksimum maka kenaikan beban menyebabkan daya output turbin menjadi semakin kecil, kondisi ini terjadi pada semua jenis turbin dan semua jenis variasi pengujian. Pada gambar 9 juga terlihat bahwa semakin besar kecepatan angin maka daya output maksimum turbin juga semakin besar, kondisi ini juga terjadi pada semua jenis turbin yang diuji.

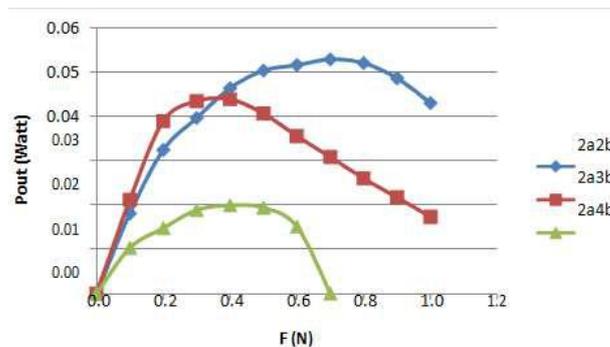
Gambar 10 memperlihatkan hubungan beban terhadap daya output turbin angin savonius bertingkat dengan kecepatan angin 4,0 m/s dengan variasi pasangan jumlah sudu sama, terlihat bahwa turbin 2a-2b memiliki daya output paling besar disusul turbin 3a-3b dan yang paling rendah daya output-nya adalah turbin 4a-4b, kondisi ini juga terjadi pada kecepatan angin 5,5 m/s; 7,0 m/s dan 8,5 m/s.

Gambar 11 memperlihatkan hubungan beban terhadap daya output turbin angin savonius bertingkat dengan kecepatan angin 4,0 m/s dengan variasi pasangan jumlah sudu berbeda, terlihat bahwa pada turbin 2 sudu yang dipasangkan dengan 2, 3 dan 4 sudu diperoleh daya output turbin terbesar secara berurut adalah turbin 2a-2b, turbin 2a-3b dan turbin 2a-4b, hal ini terjadi juga pada kecepatan 7,0 m/s dan 8,5 m/s, sedangkan pada kecepatan 5,5 m/s turbin 2a-3b memiliki daya output paling besar. Pada turbin 3 sudu yang

dipasang dengan 2, 3 dan 4 sudu diperoleh turbin yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah turbin 2a-3b, turbin 3a-3b dan turbin 3a-4b, hal ini terjadi juga pada kecepatan 5,5 m/s; 7,0 m/s dan 8,5 m/s. Pada turbin 4 sudu yang dipasangkan dengan 2, 3 dan 4 sudu untuk kecepatan 4,0 m/s diperoleh turbin yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah turbin 2a-4b, turbin 4a-4b dan turbin 3a-4b, sedangkan pada kecepatan 5,5 m/s; dan 7,0 m/s diperoleh turbin yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah turbin 2a-4b, turbin 3a-4b dan turbin 4a-4b, sedangkan pada kecepatan 8,5 m/s diperoleh turbin yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah turbin 3a-4b, turbin 2a-4b dan turbin 4a-4b.

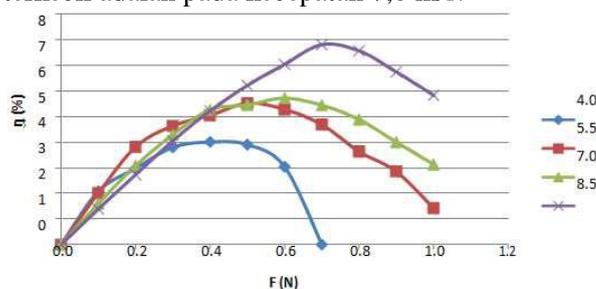


Gambar 10. Pengaruh Beban Terhadap Daya Output Turbin Dengan Variasi Jumlah Sudu Sama Pada Turbin Savonius Bertingkat Kecepatan Angin 4,0 m/s



Gambar 11. Pengaruh Beban Terhadap Daya Output Turbin Dengan Variasi Jumlah Sudu Berbeda Pada Turbin Savonius Bertingkat Kecepatan Angin 4,0 m/s

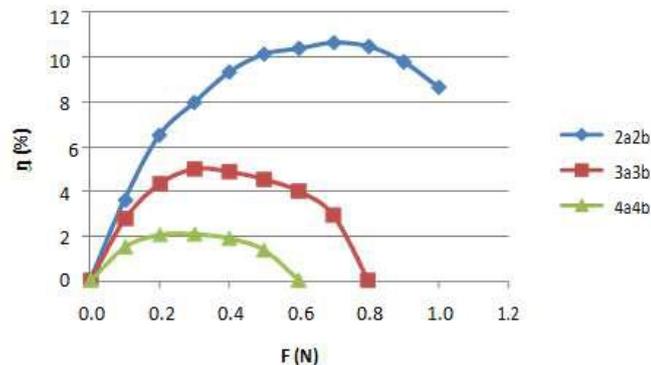
Gambar 12 memperlihatkan hubungan beban terhadap efisiensi turbin angin savonius bertingkat 2a-4b dengan variasi kecepatan angin, terlihat bahwa hubungan beban dengan efisiensi adalah berbentuk parabola dimana pada awalnya semakin besar beban maka efisiensi turbin semakin besar dan setelah mencapai efisiensi maksimum maka kenaikan beban menyebabkan efisiensi turbin menjadi semakin kecil, kondisi ini terjadi pada semua jenis turbin dan semua jenis variasi pengujian. Pada gambar 12 juga terlihat bahwa semakin besar kecepatan angin maka efisiensi maksimum turbin juga semakin besar, kondisi ini juga terjadi pada turbin 3a-3b, turbin 3a-4b dan turbin 4a-4b. Untuk turbin 2a-2b secara berurut yang memiliki efisiensi maksimum terbesar adalah kecepatan 8,5 m/s; 4,0 m/s; 7,0 m/s dan terkecil adalah pada kecepatan 5,5 m/s. Untuk turbin 2a-3b secara berurut yang memiliki efisiensi maksimum terbesar adalah kecepatan 8,5 m/s; 5,5 m/s; 4,0 m/s dan terkecil adalah pada kecepatan 7,0 m/s.



Gambar 12. Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Turbin Dengan Variasi Kecepatan Angin Pada Turbin Savonius Bertingkat Jenis 2a-4b

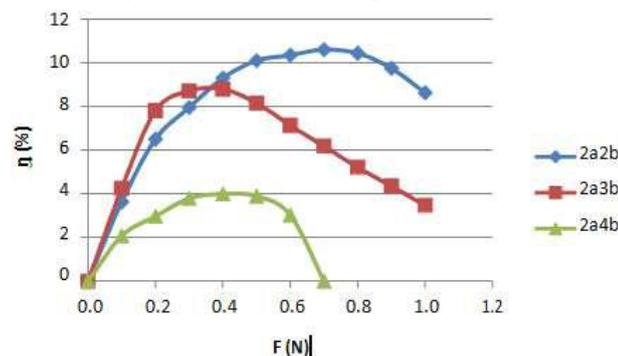
Secara rata-rata maka pengaruh kecepatan terhadap efisiensi maksimum adalah semakin besar kecepatan maka efisiensi maksimum juga semakin besar. Kecepatan 8,5 m/s efisiensinya 6,06 - 11,69 % dengan rata-rata 9,17 %, kecepatan 7,0 m/s efisiensinya 4,33 - 9,11 % dengan rata-rata 6,33 %, kecepatan 5,5 m/s efisiensinya 2,62 - 9,82 % dengan rata-rata 6,19 %, kecepatan 4,0 m/s efisiensinya 2,02 - 10,61 % dengan rata-rata 5,43 %.

Gambar 13 memperlihatkan hubungan beban terhadap efisiensi turbin angin savonius bertingkat dengan kecepatan angin 4,0 m/s dengan variasi pasangan jumlah sudu sama, terlihat bahwa turbin 2a-2b memiliki efisiensi paling besar disusul turbin 3a-3b dan yang paling rendah efisiensinya adalah turbin 4a-4b, kondisi ini juga terjadi pada kecepatan angin 5,5 m/s; 7,0 m/s dan 8,5 m/s. Secara rata-rata maka pengaruh jumlah pasangan sudu sama terhadap efisiensi maksimum yaitu secara berurut dari yang terbesar adalah turbin 2a-2b efisiensinya 8,77-11,69 % dengan rata-rata 10,05 %, turbin 3a-3b efisiensinya 5,05 - 10,18 % dengan rata-rata 7,05 %, turbin 4a-4b efisiensinya 2,08 - 6,06 % dengan rata-rata 3,78 %.



Gambar 13. Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Turbin Dengan Variasi Jumlah Sudu Sama Pada Turbin Savonius Bertingkat Kecepatan Angin 4,0 m/s

Gambar 14 memperlihatkan hubungan beban terhadap efisiensi turbin angin savonius bertingkat dengan kecepatan angin 4,0 m/s dengan variasi pasangan jumlah sudu berbeda, terlihat bahwa pada turbin 2 sudu yang dipasangkan dengan 2, 3 dan 4 sudu diperoleh efisiensi turbin terbesar secara berurut adalah turbin 2a-2b, turbin 2a-3b dan turbin 2a-4b, hal ini terjadi juga pada kecepatan 7,0 m/s dan 8,5 m/s, sedangkan pada kecepatan 5,5 m/s turbin 2a-3b memiliki efisiensi paling besar. Pada turbin 3 sudu yang dipasangkan dengan 2, 3 dan 4 sudu diperoleh turbin yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah turbin 2a-3b, turbin 3a-3b dan turbin 3a-4b, hal ini terjadi juga pada kecepatan 5,5 m/s; 7,0 m/s dan 8,5 m/s. Pada turbin 4 sudu yang dipasangkan dengan 2, 3 dan 4 sudu untuk kecepatan 4,0 m/s diperoleh turbin yang memiliki efisiensi output terbesar secara berurut adalah turbin 2a-4b, turbin 4a-4b dan turbin 3a-4b, sedangkan pada kecepatan 5,5 m/s; dan 7,0 m/s diperoleh turbin yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah turbin 2a-4b, turbin 3a-4b dan turbin 4a-4b, sedangkan pada kecepatan 8,5 m/s diperoleh turbin yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah turbin 3a-4b, turbin 2a-4b dan turbin 4a-4b. Secara rata-rata maka pengaruh jumlah pasangan sudu berbeda terhadap efisiensi maksimum yaitu secara berurut dari yang terbesar adalah turbin 2a-3b efisiensinya 7,80 - 10,47 % dengan rata-rata 9,22 %, turbin 2a-4b efisiensinya 4,00 - 7,80 % dengan rata-rata 5,75 %, turbin 3a-4b efisiensinya 2,02 - 8,84 % dengan rata-rata 4,84 %.



Gambar 14. Pengaruh Beban Terhadap Efisiensi Turbin Dengan Variasi Jumlah Sudu Berbeda Pada Turbin Savonius Bertingkat Kecepatan Angin 4,0 m/s

5. KESIMPULAN

1. Pengaruh kecepatan terhadap efisiensi maksimum adalah semakin besar kecepatan maka efisiensi maksimum juga semakin besar dengan kecepatan 8,5m/s efisiensinya 9,17%, kecepatan 7,0m/s efisiensinya 6,33%, kecepatan 5,5m/s efisiensinya 6,19%, kecepatan 4,0m/s efisiensinya 5,43%.
2. Pengaruh jumlah pasangan sudu sama terhadap efisiensi maksimum adalah semakin sedikit jumlah sudu maka semakin besar efisiensinya dengan turbin 2a-2b efisiensinya 10,05%, turbin 3a-3b efisiensinya 7,05%, turbin 4a-4b efisiensinya 3,78%.
3. Pengaruh jumlah pasangan sudu berbeda terhadap efisiensi maksimum yaitu secara berurut dari yang terbesar adalah turbin 2a-3b efisiensinya 9,22 %, turbin 2a-4b efisiensinya 5,75 %, turbin 3a-4b efisiensinya 4,84 %.

6. REFERENSI

- Adam Daniary Ibrahim, Ridho Hantoro, 2012. Simulasi Photovoltaic dan Kincir Angin Savonius Sebagai Sumber Energi Penggerak Motor Kapal Nelayan. ITS. Surabaya.
- Alexin Putra, dll; 2011. Uji Eksperimental Rotor Helical Savonius Dibandingkan Dengan Rotor Savonius. Seminar Nasional Teknik Mesin 6. Surabaya.
- Andri Kusbiantoro, Rudy Soenoko, Djoko Sutikno, 2013. Pengaruh Panjang Lengkung Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius. Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya. Malang.
- Andreas Andi Setiawan, 2013. Pengaruh Jarak Celah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Vertikal Savonius. Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya. Malang.
- Barrabasky, savonius vs Tripala vs Sandia, http://www.youtube.com/watch?v=YMK_nyLJNrE&feature=related, maret 2010
- Bayu Mahendra, Rudy Soenoko, Djoko Sutikno. 2013. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L. Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya. Malang
- Daryanto, Y., 2007. Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Balai PPTAGG - UPT-LAGG
- Eko wismo, Sugiyanto, 2013. Potensi Pembangkitan Listrik Hibrid Menggunakan Vertical Axis Wind Turbine Tipe Savonius dan Panel Sel Surya. Jurnal Teknologi Vol. 6 No. 2 Hal. 147-152.
- Hendra a, 2012. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius. Universitas Brawijaya.
- Jalaluddin R, 2012. Potensi Pengembangan Sumber Daya Energi Angin Di Indonesia
- Lewi, Muh. Tekad, 2015. Peningkatan Kinerja Turbin Angin Savonius Dengan Perubahan Jari-jari Sudu Turbin. Laporan Hasil Hibah Bersaing. Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Marizka Lustia Dewi, 2010, Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin. Skripsi. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Melda Latif, 2013. Efisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 10, No. 3.
- Mittal, Neeraj. 2001. Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT. Thesis. UK: Departement of Mechanical Engineering University of Strathclyde
- Phobi Kevin, 2011. Analisa Potensi Kincir Angin Savonius Sebagai Penggerak Pompa Submersible. Skripsi. Universitas Andalas. Padang.
- Robby Ilham Fitrandi, Indra Herlamba Siregar; 2014. Karakteristik Turbin Angin Savonius 2 dan 3 blade dengan menggunakan bantuan Guide Vane. JTM. Volume 02 Nomor 01 hal 125-131.
- Sargolzaei J. 2007. Prediction Of The Power Ratio In Wind Turbine Savonius Rotor Using Artificialneural Networks. International Journal Of Energi and Environment
- Soelaiman, F., Tandian, Nathanael P., dan Rosidin, N., 2006. Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol; Bandung. ITB
- Tedjo Narsoyo Reksoatmodjo, 2004. Vertical-Axis Differential Drag Windmill. Jurnal Teknik Mesin Vol. 6, No. 2, hal: 65 – 70.