

Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside untuk Penerangan Jalan Tol

T.A. Fauzi Soelaiman, Nathanael P. Tandian, dan Nanang Rosidin

Laboratorium Termodinamika, Pusat Rekayasa Industri
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesa 10, Bandung, 40132, INDONESIA

Telepon/Fax: +62 22 2502342, E-mail: fauzi@termo.pauir.itb.ac.id

Abstrak

Tingginya kebutuhan migas yang tidak diimbangi oleh kapasitas produksinya menyebabkan kelangkaan bahan bakar migas sehingga terjadi kenaikan harga. Pemerintah maupun swasta di hampir semua negara kemudian berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber-sumber energi baru dan terbarukan untuk menjaga ketahanan energi negaranya. Salah satu sumber energi terbarukan yang dipilih adalah energi angin.

Berdasarkan data LAPAN, angin di Indonesia memiliki kecepatan yang bervariasi, umumnya terkategori sebagai angin berkecepatan rendah. Penelitian sistem konversi energi angin (SKEA) kecepatan rendah belum banyak dilakukan di Indonesia, padahal ada beberapa lokasi yang mempunyai angin berkecepatan rendah secara kontinu untuk digunakan sebagai penerangan misalnya di jalan tol. Angin di jalan tol merupakan gabungan dari angin alami dan angin yang ditimbulkan oleh kendaraan yang melintas. Selain itu, sistem konversi energi angin yang dibuat dapat menggantikan fungsi pelat penghalang sinar lampu di median jalan tol ini.

Dalam makalah ini dibahas proses perancangan empat buah prototipe rotor turbin angin vertikal beserta filosofi perancangannya serta pengujian keempat prototipe rotor tersebut. Jenis rotor yang dirancang dan diuji adalah jenis rotor Savonius U, Savonius L, Windside Kecil dan Windside Besar. Dengan menggunakan alat ukur anemometer dan tachometer, kecepatan angin dan kecepatan rotor turbin diukur, lalu hasilnya dibandingkan. Berdasarkan hasil pengujian terhadap keempat prototipe rotor yang dikembangkan, rotor Savonius L dengan diameter penutup 82 cm dan tinggi 1 meter dipilih sebagai prototipe rotor SKEA yang paling baik untuk dilakukan pengujian selanjutnya.

Kata kunci: turbin angin, angin kecepatan rendah, jalan tol, Savonius, Windside.

Pendahuluan

Tingginya kebutuhan migas yang tidak diimbangi oleh kapasitas produksinya menyebabkan kelangkaan bahan bakar migas sehingga terjadi kenaikan harga. Pemerintah maupun swasta di hampir semua negara kemudian berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber-sumber energi baru dan terbarukan untuk menjaga ketahanan energi negaranya. Salah satu sumber energi terbarukan yang dipilih adalah energi angin.

Berdasarkan data LAPAN (Daryanto, et al., 2005), angin di Indonesia memiliki kecepatan yang bervariasi, umumnya terkategori sebagai angin berkecepatan rendah. Penelitian sistem konversi energi angin (SKEA) kecepatan rendah belum banyak dilakukan di Indonesia, padahal ada beberapa lokasi yang mempunyai kecepatan angin rendah secara kontinu yang dapat digunakan sebagai penerangan, misalnya di jalan tol. Angin di jalan tol merupakan gabungan dari angin alami dan angin yang ditimbulkan oleh kendaraan yang melintas. Selain itu, sistem konversi energi angin yang dibuat dapat menggantikan fungsi pelat penghalang sinar lampu di median jalan tol ini.

Penelitian ini akan mencakup perancangan, pembuatan dan pengujian beberapa jenis rotor prototipe SKEA untuk penerangan jalan tol dan bertujuan untuk mendapatkan prototipe SKEA yang paling sesuai untuk kecepatan angin rendah.

Metodologi

Eksperimen merupakan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini. Empat prototipe SKEA dirancang, dibuat dan diuji secara langsung. Kecepatan angin yang terjadi di jalan tol diukur dengan menggunakan *anemometer vortex* buatan Inspeed yang menggunakan sistem *data logging* yang terkoneksi dengan komputer. Pengujian rotor dilakukan dengan menggunakan alat ukur *anemometer* dan *tachometer*. Kecepatan angin dan kecepatan rotor turbin diukur secara bersamaan, lalu hasil yang didapat untuk keempat prototipe SKEA dibandingkan, sehingga dapat dilakukan penentuan SKEA yang paling sesuai untuk kecepatan angin rendah.

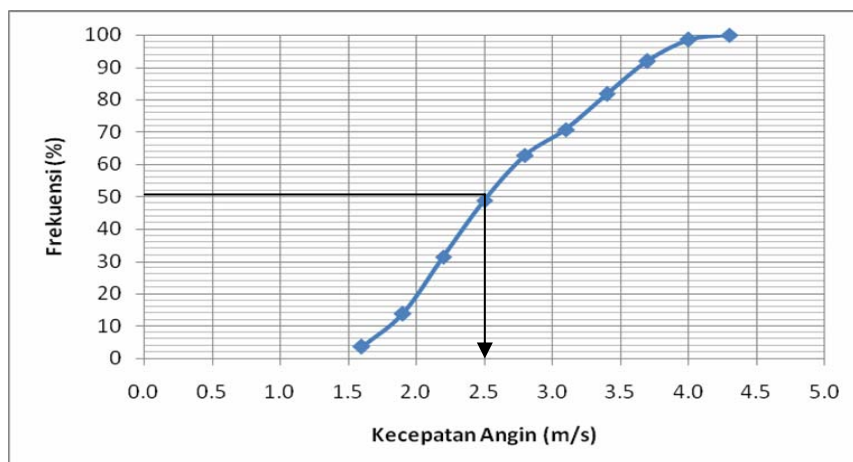
Hasil dan Pembahasan

Sampel pengukuran kecepatan angin dilakukan di Tol Cipularang pada ruas tol Pasteur, Jawa Barat. Sampel pengukuran diambil pada sebelas tempat berbeda dengan jarak antara 200 meter dari km 1 sampai km 3. Pengukuran dilakukan pada pagi sampai siang hari (jam 09.00 – 14.00 WIB) tanggal 5 September 2006. Pengukuran pada pagi hari dimaksudkan untuk mengukur angin yang ditimbulkan kendaraan saja, karena pada pagi hari angin alami belum banyak berhembus. Pengambilan sampel dilakukan setiap menit dalam satuan m/s. Hasil pengukuran disajikan dalam Tabel I dan Gambar 1 sebagai berikut:

Tabel I Distribusi Frekuensi Pengukuran Kecepatan Angin

No	Interval Kecepatan Angin (m/s)	V_i (m/s)	F_i	KF_i (%)	$F_i \cdot V_i$ (m/s)
1	1.45 - 1.75	1.6	5	3.6%	8.0
2	1.75 - 2.05	1.9	14	13.9%	26.6
3	2.05 - 2.35	2.2	24	31.4%	52.8
4	2.35 - 2.65	2.5	24	48.9%	60.0
5	2.65 - 2.95	2.8	19	62.8%	53.2
6	2.95 - 3.25	3.1	11	70.8%	34.1
7	3.25 - 3.55	3.4	15	81.8%	51.0
8	3.55 - 3.85	3.7	14	92.0%	51.8
9	3.85 - 4.15	4.0	9	98.5%	36.0
10	4.15 - 4.45	4.3	2	100.0%	8.6
Jumlah			137		382.1

F = frekuensi, V_i = nilai tengah interval kecepatan, KF = frekuensi kumulatif
Rata-rata kecepatan: 2,79 m/s. Std. Dev.: 0,97 m/s.



Gambar 1 Kurva frekuensi kumulatif kecepatan angin.

Dari kurva frekuensi kumulatif dapat dilihat 50% kecepatan angin yang terjadi di jalan tol kurang dari atau sama dengan 2,5 m/s. Begitupun dengan modus kecepatan angin yang sering terjadi

adalah 2,2 dan 2,5 m/s. Pada siang hari ketika terjadi angin alami, kecepatan angin yang terukur menjadi lebih besar; dengan nilai kecepatan mendekati hasil pengukuran Purba (2006) yang mencapai nilai maksimum 7 m/s.

Komponen SKEA dan Perancangan Rotor

Komponen utama prototipe SKEA dalam penelitian ini terdiri dari rotor, transmisi, generator dan baterai. Rotor berfungsi mengkonversikan energi kinetik angin menjadi energi putaran poros rotor. Transmisi berfungsi meneruskan putaran dari poros rotor ke poros generator. Generator berfungsi mengkonversikan energi putaran poros menjadi energi listrik yang kemudian disimpan dalam baterai melalui proses *charging*. Perancangan dan penentuan rotor yang sesuai untuk kecepatan angin rendah menjadi fokus utama penelitian ini.

Perancangan rotor dilakukan dengan terlebih dahulu menyusun *Design Objective and Requirement* (Dieter, 2000). Kriteria **harus** untuk rotor ini adalah:

1. Rotor dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah (2 – 5 m/s).
2. Rotor tetap dapat beroperasi tanpa tergantung arah kecepatan angin.
3. Rotor terbuat dari material yang ringan, kuat, dan tahan korosi.
4. Dimensi rotor maksimum disesuaikan dengan ruang yang tersedia di median jalan tol.
5. Rotor mampu menggantikan fungsi pelat penghalang sinar lampu kendaraan di median jalan tol.

Adapun kriteria **harap** adalah:

1. Material rotor memiliki mampu bentuk yang baik dan hanya membutuhkan proses permesinan yang sederhana.
2. Rotor mudah untuk dipasang dan ditransportasikan, jika perlu dibuat sistem modul untuk setiap bagiannya.
3. Biaya pembuatan rotor murah.
4. Bentuknya dekoratif sehingga bisa berfungsi sebagai hiasan yang tidak mengganggu pemandangan.

Untuk dapat menggantikan pelat penghalang sinar lampu kendaraan di median jalan tol, dipilihlah rotor Savonius karena memiliki penampang melintang yang mirip dengan pelat penghalang tersebut; yaitu sama-sama berbentuk persegi panjang. Selain mampu berperan menahan sinar lampu kendaraan sebagaimana yang dilakukan pelat penghalang, rotor Savonius juga berfungsi menangkap energi kinetik angin yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintas tanpa bergantung arah anginnya. Artinya rotor Savonius dapat memanfaatkan angin yang ditimbulkan oleh kendaraan di kedua sisinya maupun angin alami. Selain itu, berdasarkan kurva *Tip Speed Ratio*, rotor Savonius cocok untuk kondisi angin berkecepatan rendah.

Rotor Savonius U

Pertama-tama rotor Savonius dirancang memiliki dimensi yang sama dengan pelat penghalang sinar lampu. Rotor Savonius ini terdiri dari penutup rotor berdiameter 30 cm, dan dua sudu setengah lingkaran berdiameter 16 cm yang disusun berhadapan. Tinggi rotor 75 cm. Karena alasan kemudahan pembuatannya, bentuk rancangan rotor Savonius ini dipilih berbentuk U seperti ditunjukkan Gambar 3.2a.



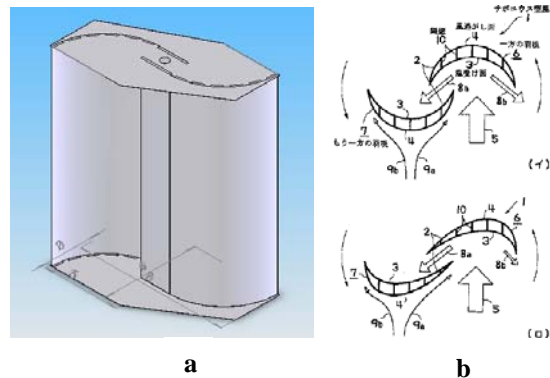
Gambar 2 Rotor Savonius (Eldridge, 1980).

Rotor Savonius L

Mengingat ruang yang tersedia di jalan tol masih memungkinkan untuk merancang dimensi sudu yang lebih besar, maka dirancanglah rotor Savonius dengan dimensi yang lebih besar. Diameter penutup rotor dipilih 82 cm dengan tinggi rotor 100 cm. Rotor memiliki dua sudu dengan bentuk yang merupakan kombinasi profil datar dan lengkungan seperempat lingkaran seperti diperlihatkan pada

Gambar 2b. Pada rancangan rotor Savonius L ini, angin yang menumbuk salah satu bilah rotor diharapkan lebih banyak mengalir ke bilah rotor lainnya melalui celah dekat poros sehingga menyediakan daya dorong tambahan pada bilah rotor ini.

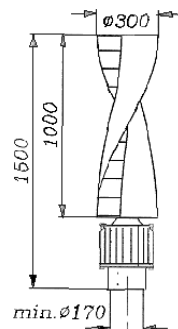
Melalui penambahan diameter, titik pusat gaya dorong angin pada rotor akan bergeser menjauhi poros rotor. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan torsi yang lebih besar. Rancangan rotor Savonius L diinspirasi oleh paten pengembangan rotor Savonius oleh Sadaaki dengan nomor paten JP2003293928 seperti ditunjukkan oleh Gambar 3b. Dari gambar paten ini jelas 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.



Gambar 3 Rotor Savonius L (Sadaaki, et al., 2003).

Rotor Windside

Publikasi Windside corp. tentang rotor Windside yang mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah, dengan bentuk yang dekoratif dan tidak bising (www.windside.com, 2006), mendorong penelitian ini mengeksplorasi lebih jauh rancangan jenis rotor Windside secara eksperimental. Karena harga jual turbin jenis ini masih mahal, yang pada tahun 2006 saja satu set turbin jenis WS-0.30 C dijual dengan kisaran harga \$7500, maka dalam penelitian ini dibuat replika rotor Windside dengan mengacu pada spesifikasi yang ada di situsnya. Gambar 4 menunjukkan rotor Windside jenis WS-0.30 C.



Gambar 4 Rotor WS-0.30 C (www.windside.com, 2006).

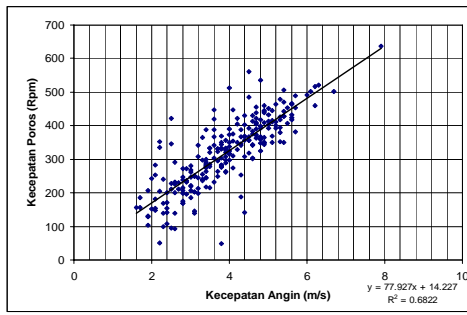
Khawatiran ada permasalahan torsi yang rendah pada rotor Windside kecil mendorong modifikasi dimensi rotor Windside ini. Diameter penutup rotor dipilih 64 cm dengan tinggi rotor 1 meter. Data lengkap keempat rotor turbin disajikan dalam Tabel II.

Material rotor dipilih dari logam yang tahan korosi. Logam dipilih karena mampu bentuknya yang baik sehingga memudahkan pengerjaan permesinan. Rotor akan diletakkan di udara tropik dengan kelembaban tinggi, karena itu dipilih material yang tidak sensitif terhadap korosi. Satu syarat lagi, rotor diharapkan terbuat dari material yang ringan agar mudah berputar ketika ditiup angin. Untuk keperluan ini dipilihlah logam aluminium.

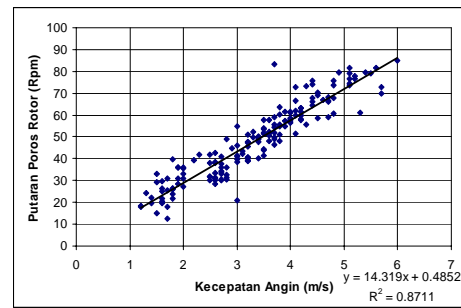
Tabel II Rancangan Rotor Turbin Angin.

No	Variabel	Savonius U	Savonius L	Windside Kecil	Windside Besar
1	Diameter penutup	32 cm	82 cm	32 cm	64 cm
2	Tinggi rotor	75 cm	100 cm	100 cm	100 cm
3	Tebal pelat penutup	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm
4	Tebal Sudu	0,8 mm	0,8 mm	0,8 mm	0,8 mm
5	Massa sudu	2,2 kg	5,8 kg	2,3 kg	5,5 kg
6	Material	Aluminium			

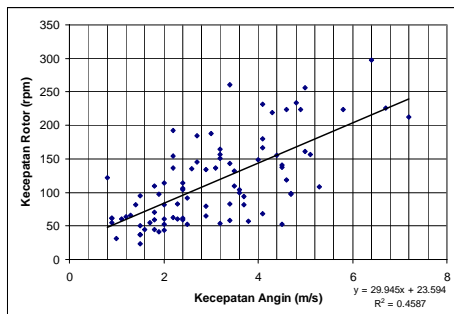
Sebenarnya, aluminium termasuk salah satu logam yang reaktif. Di udara aluminium segera bereaksi dengan oksigen membentuk senyawa oksida, namun senyawa oksida aluminium ini menempel dan melapisi permukaan aluminium dari korosi lebih lanjut. Selain itu logam aluminium juga ringan. Massa jenisnya 2700 kg m^{-3} , hanya sepertiga dari massa jenis baja (7800 kg m^{-3}) dan tembaga (8900 kg m^{-3}) (Encarta, 2006). Dengan bantuan *anemometer* dan *tachometer*, hasil pengujian keempat turbin yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 5a, 5b, 5c dan 5d berikut.



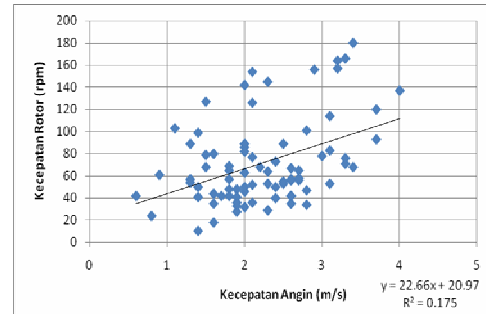
Gambar 5.a Rotor Savonius U.



Gambar 5.b Rotor Savonius L.



Gambar 5.c Rotor Windside Kecil.



Gambar 5.d Rotor Windside Besar.

Dari Gambar 5 dapat dilihat kecenderungan hasil pengujian yang terkumpul pada rotor Savonius dan tersebar pada rotor Windside. Respons kecepatan putar rotor Savonius linear terhadap kecepatan angin, namun korelasi serupa tidak begitu tampak pada rotor Windside. Nilai R^2 pada regresi linear rotor Windside tidak mencapai 0,5, karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk hal ini. Dugaan sementara, koefisien korelasi yang kecil ini disebabkan oleh bentuk bilah sudu yang agak menguncup di sekitar tengah ketinggian rotor sehingga penampang sudu yang menghadap angin menjadi lebih sedikit yang mengakibatkan rotor Windside mempunyai *delay response* yang relatif besar. Penyebab lain yang mungkin ialah fluktuasi kecepatan angin yang lebih besar saat pengujian rotor Windside yang tidak dapat diikuti akibat kelembaman sudu yang relatif berat. Walaupun demikian, unjuk kinerja keempat prototipe rotor cukup baik. Rotor-rotor berukuran kecil (Savonius U dan Windside Kecil) menghasilkan kecepatan putar yang besar pada kecepatan angin yang sama, namun torsi yang dihasilkannya cenderung lebih kecil dibandingkan rotor-rotor ukuran besar (Savonius L dan Windside Besar).

Data pengujian prototipe rotor ini masih perlu diuji dalam SKEA secara keseluruhan untuk mengetahui optimasi seperti apa yang perlu dilakukan antara putaran dengan torsi. Hal ini dilakukan mengingat ada dua kebutuhan dalam SKEA yakni putaran dan torsi yang besar. Torsi yang dibutuhkan cukup besar karena akan digunakannya transmisi *increaser* untuk mendapatkan putaran poros generator yang lebih tinggi dari putaran poros rotor. Hal ini dilakukan karena generator yang akan diambil dari alternator mobil perlu berputar pada putaran operasi pada kisaran 1.500 – 2.000 rpm.

Mengingat kebutuhan torsi yang cukup besar, rotor Savonius L dan Windside Besar dipilih untuk pengujian lebih lanjut. Rotor Windside besar pada Gambar 5 menunjukkan putaran poros yang lebih besar dari rotor Savonius L namun sebaran datanya cukup besar. Selain itu rotor Windside juga menunjukkan adanya *delay response* terhadap perubahan kecepatan angin. Dengan pertimbangan demikian, rotor Savonius L kemudian dipilih sebagai rotor prototipe SKEA untuk pengujian lebih lanjut dimana sistem transmisi (roda gigi) dan sistem elektronika (generator listrik, pengisian batere, penyalaaan lampu dan kontrol) akan diuji secara bersamaan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Rotor Savonius L dengan diameter penutup 82 cm dan tinggi 1 meter dipilih sebagai rotor prototipe SKEA yang paling baik untuk diuji lebih lanjut.
2. Penyebab *delay response* dan sebaran data pengujian yang lebih besar pada rotor Windside diperkirakan disebabkan oleh bentuk bilah sudu yang cenderung menguncup di sekitar tengah ketinggian rotor atau akibat fluktuasi angin yang besar dan kelembaman sudu.

Ucapan Terima Kasih

Para peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada ITB karena penelitian ini didanai oleh Riset Unggulan ITB dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Riset No.: 0010/K01.03.2/PL2.1.5/I/2007.

Daftar Pustaka

1. --, Microsoft © Encarta © 2008, Microsoft Corporation, 2006..
2. --, Windside Corp., 2006, *www.windside.com*.
3. Culp, A. W. Jr., 1984, *Prinsip-prinsip Konversi Energi*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
4. Daryanto, Y., F. A. Yohanes dan F. Hasim, 2005, *Potensi, Peluang dan Tantangan Energi Angin di Indonesia*, BPPT Tangerang.
5. Dieter, G., 2000, *Engineering Design*, McGraw Hill, Singapore.
6. EBARA Corporation Japan, 2005, *Wind Power Generation*, Prosiding Seminar, Bandung.
7. Eldrigde, F. R., 1980, *Wind Machine*, Second edition,. Van Nostran Reinhold Company,. New York.
8. Hau, E., 2005, *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, & Economics*, Berlin.
9. Purba, J. K., 2006, *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Rotor Savonius sebagai Pembangkit Energi Listrik Untuk Penerangan Jalan Tol*, Tugas Sarjana Teknik Mesin ITB. Bandung.
10. Sadaaki, K., K. Isao, dan T. Jiro, 2003, Patent no.: JP2003293938.
11. Voshburgh, P. N., 1983, *Commercial Applications of Wind Power*. Van Nostran Reinhold Company. New York.