

**PERANCANGAN, PEMBUATAN DAN PENGUJIAN  
PROTOTYPE SKEA MENGGUNAKAN ROTOR SAVONIUS DAN WINDSIDE  
UNTUK PENERANGAN JALAN TOL**

**T.A. Fauzi Soelaiman, Nathanael P. Tandian, dan Nanang Rosidin**  
Institut Teknologi Bandung, INDONESIA

**Contact Person:**

**T. A. Fauzi Soelaiman**

**Labolatorium Termodinamika Pusat Rekayasa Industri**

**Program Studi Teknik Mesin**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Institut Teknologi Bandung**

**Jl. Ganesa 10, Bandung, 40132, INDONESIA**

**Phone/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 sehingga terjadi kenaikan harga. Pemerintah maupun swasta di hampir semua negara kemudian berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber-sumber energi baru dan terbarukan dalam mempertahankan ketahanan energi negaranya. Salah satu sumber energi terbarukan yang dipilih adalah energi angin.

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) berperan dalam mengubah energi angin menjadi energi primer yang dapat dikonsumsi masyarakat. Sistem konversi energi angin dapat beroperasi pada kecepatan angin alam yang tinggi ataupun dengan memanfaatkan angin yang diakibatkan oleh kendaraan yang melintas di jalan tol.

Penelitian ini merancang, membuat dan menguji prototipe SKEA menggunakan rotor savonius dan windside untuk ditempatkan di median jalan tol. SKEA ini berperan menghasilkan energi listrik untuk kebutuhan penerangan jalan tol sekaligus menggantikan fungsi pelat penghalang lampu kendaraan di median jalan tol.

Penelitian ini mengusulkan beragam alternatif rotor, sistem transmisi dan generator untuk kemudian mengujinya. Alternatif SKEA yang dipilih sebagai prototipe terdiri dari rotor savonius L berdiameter penutup 82 cm dan tinggi 1 meter, transmisi roda gigi dengan rasio 1:3 dan generator DC. Prototipe sistem konversi energi angin yang dipilih telah mampu menghasilkan daya listrik. Tegangan keluarannya 5 – 7 volt arus searah pada kecepatan angin 5 m/s. Prototipe sistem konversi energi angin yang dipilih baru mampu menghasilkan tegangan untuk melakukan pengisian ulang pada batere 6 volt.

***Kata kunci: ketahanan energi, energi terbarukan, angin kecepatan rendah, savonius, windside.***

**1. Pendahuluan**

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

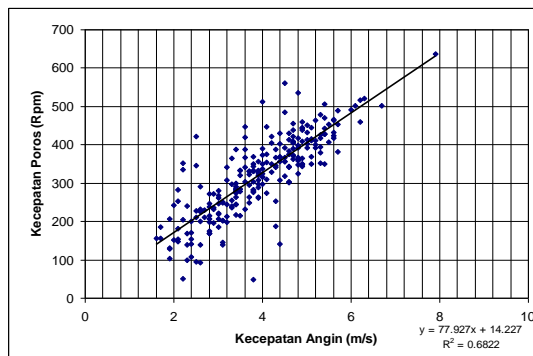
Angin yang berhembus di Indonesia, menurut LAPAN, sering fluktuatif dan rata-rata kecepatannya rendah (0 – 5 m/s). Kecepatan angin yang lebih tinggi bisa diperoleh pada elevasi yang lebih tinggi. Penelitian kemudian memfokuskan bahasan pada pemanfaatan energi angin kecepatan rendah ini sebagai penghasil energi

listrik skala kecil. Salah satu lokasi yang potensial untuk memanfaatkan energi angin sebagai penghasil energi listrik skala kecil adalah daerah jalan bebas hambatan (jalan tol), khususnya pada median pemisah kedua sisi jalan. Pada lokasi ini, umumnya angin bertiup cukup kencang bila jalan tol terhampar di daerah yang terbuka. Kendaraan yang melintas di jalan tol dapat pula menimbulkan gerakan angin yang diperlukan sebagai sumber energi. SKEA dirancang berperan menghasilkan energi listrik untuk kebutuhan penerangan jalan tol sekaligus menggantikan fungsi pelat penghalang lampu kendaraan di median jalan tol.

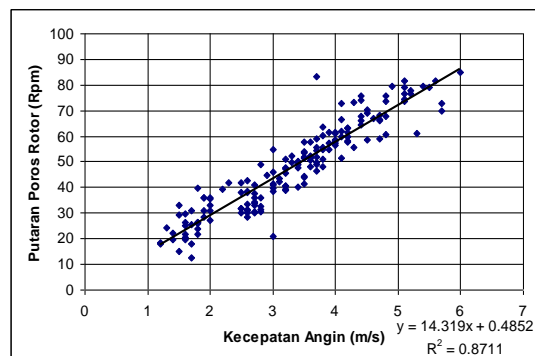
## 2. Rancangan dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside

### 2.1 Rotor

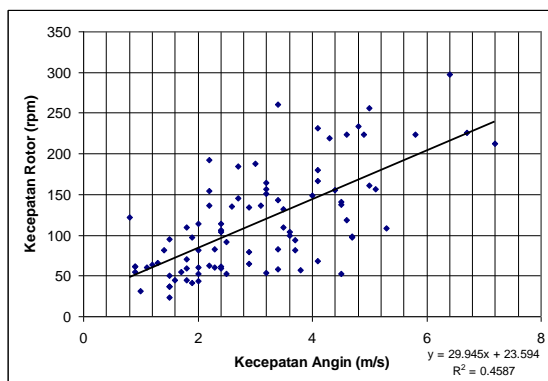
Rotor berperan mengubah energi kinetik angin menjadi energi kinetik putaran rotor. Rotor diinginkan agar beroperasi pada kecepatan angin rendah. Unjuk kerja rotor ditunjukkan oleh kecepatan putar rotor dan torsi yang dihasilkan untuk setiap kecepatan angin. Rotor Savonius dan Windside dipilih pada riset ini karena berdasarkan referensi mempunyai tip speed yang rendah dan mampu beroperasi pada kecepatan angin rendah. Rotor yang diuji meliputi rotor savonius U, savonius L dan Windside Kecil dan Windside Besar. Hasil pengujian keempatnya ditunjukkan oleh gambar 1a,1b, 1c dan 1d.



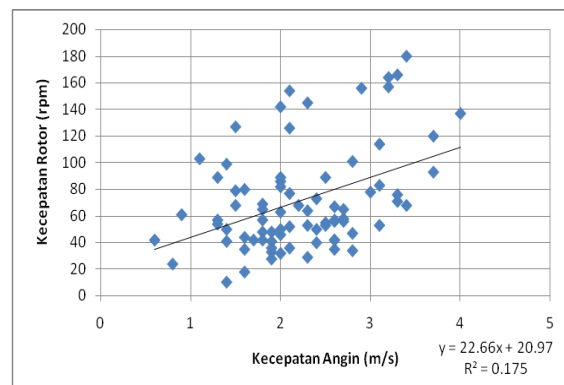
Gambar 1.a Rotor Savonius U



Gambar 1.b Rotor Savonius L



Gambar 1.c Rotor Windside Kecil



Gambar 1.d Rotor Windside Besar.

Dari table dapat dilihat, kecenderungan hasil pengujian yang konvergen pada rotor Savonius dan divergen untuk Windside. Respons kecepatan putar rotor savonius linear terhadap kecepatan angin, namun windside cukup jauh berbeda. Nilai  $R^2$  pada regresi linearnya tidak mencapai angka 0.5. karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk hal ini. Walaupun demikian, unjuk kinerja keempat rotor cukup baik. Rotor-rotor beukuran 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). Spesifikasi rotor dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1** Spesifikasi Rotor

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			

Data pengujian dari rotor ini masih perlu diuji dalam SKEA secara keseluruhan untuk mengetahui optimasi seperti apa yang akan dilakukan antara putaran dengan torsi. Hal ini dilakukan mengingat ada dua kebutuhan dalam SKEA ini yakni putaran dan torsi yang besar. Sayangnya karakteristik rotor menunjukkan kecepatan rotor berbanding terbalik dengan ukuran rotor yang berarti berbanding terbalik dengan torsi (untuk kondisi sudu yang dirancang).

## 2.2 Transmisi

Transmisi berfungsi meneruskan putaran dan juga torsi dari rotor ke generator. Sistem transmisi yang dikehendaki memiliki rugi-rugi yang rendah. Berdasar pada pengujian rotor, putaran rotor yang rendah perlu ditingkatkan melalui sistem transmisi sehingga mencapai putaran operasi generator. Sistem transmisi dirancang berupa *increaser* (rasio < 1) yang berarti terjadi kenaikan putaran namun terjadi penurunan torsi dari rotor angin ke generator. Jika logikanya di balik, dengan kebutuhan torsi tertentu untuk memutar poros generator, diperlukan torsi yang lebih besar pada rotor angin. Sekira sejumlah perkalian torsi mula generator dengan rasio transmisi. Untuk kebutuhan ini digunakanlah susunan roda gigi plastik dengan rasio transmisi 1:3.

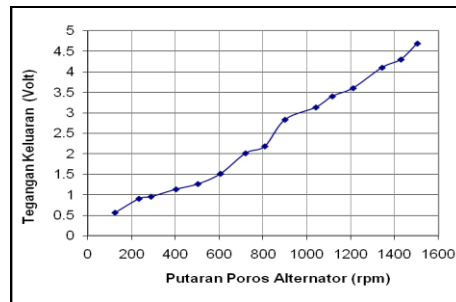
## 2.3 Generator

Generator diharapkan mampu beroperasi pada kecepatan putar yang rendah. Hal ini berarti generator diharapkan mampu menghasilkan daya listrik yang diinginkan pada putaran poros generator dibawah 1000 rpm. Spesifikasi tegangan yang diinginkan adalah sedikit diatas 12 volt untuk menjamin terjadinya proses *charging* pada batere.

Awalnya generator yang dipilih berasal dari alternator mobil kijang, akan tetapi alternator ini memerlukan arus umpan sebelum mulai beroperasi dan beroperasi pada putaran diatas 1500 rpm. Sementara itu *cut in* terjadi pada kisaran 2000 rpm. Dalam upaya mengeliminasi arus umpan, alternator dimodifikasi. Rotor alternator diganti dari lilitan kawat menjadi poros baja yang ditemplei magnet tetap 12 kutub (Gambar 2). Sampai putaran 1600 rpm, belum terjadi *cut in*. tegangan maksimum yang di capai 4.6 volt (lihat Gambar 3).

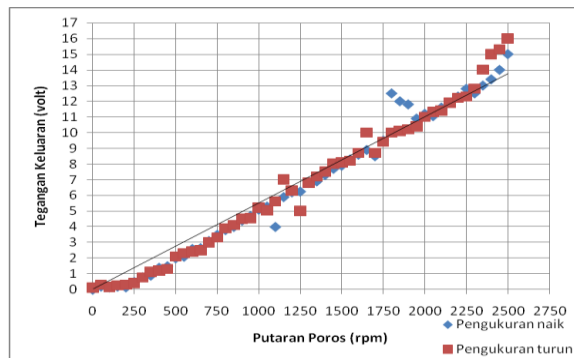


**Gambar 2** Alternator magnet tetap 1



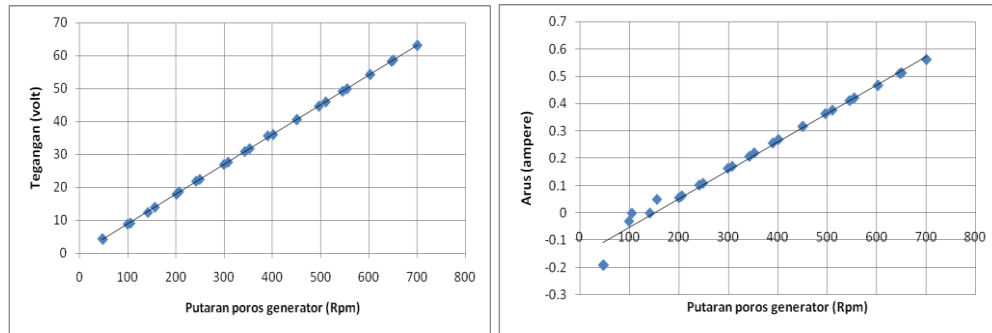
**Gambar 3** Karakteristik alternator magnet tetap 1.

Dengan harapan mendapatkan penggandaan tegangan keluaran, stator alternator tadi kemudian dililit ulang menggunakan diameter kawat yang lebih kecil sehingga diperoleh jumlah kumparan stator dua kali lipatnya. Hasil pengujian menunjukkan adanya kenaikan tegangan keluaran (lihat Gambar 4). Generator mencapai *cut-in* pada 2300 rpm. Mengacu pada spesifikasi, putaran operasi seperti ini masih belum memenuhi keinginan.



**Gambar 4** Karakteristik alternator magnet tetap 2.

Mengingat arus charging untuk batere adalah DC, maka dilakukan juga pengujian pada generator DC. Generator yang diuji adalah generator DC merk Nippondenso dengan rating tegangan 180 volt, arus 5 ampere pada putaran poros 3000 rpm. Hasil pengujian ditunjukkan gambar 5. Ternyata *Cut in* terjadi pada putaran yang rendah yakni pada kisaran 150 rpm. Kemudian generator dicoba dalam rangkaian charging untuk batere 12 volt, dari pengukuran arus terlihat terjadi pembalikan nilai arus. Nilai arus negatif pada putaran dibawah 150 rpm menunjukkan generator belum melakukan *charging*. Sementara pada putaran lebih dari 150 rpm nilai arus menjadi positif. Hal ini menunjukkan adanya proses *charging* pada batere.



**Gambar 5** Tegangan dan arus keluaran generator DC.

## 2.4 Unit Penyimpan Energi

Sebagaimana halnya sumber energi terbarukan yang lain, energi dari angin juga *intermitten* walaupun kemungkinan pembangkitannya bisa dilakukan siang dan malam. Adapun kebutuhan energi listrik untuk penerangan yang dihasilkan bersifat *steady* sepanjang malam. Mengingat *supply* yang *intermitten* dan *demand* yang *steady*, digunakanlah unit penyimpanan energi berupa satu atau susunan batere kering 12 volt. Satu unit converter DC to AC difungsikan ketika energi listrik dari unit penyimpan akan digunakan.

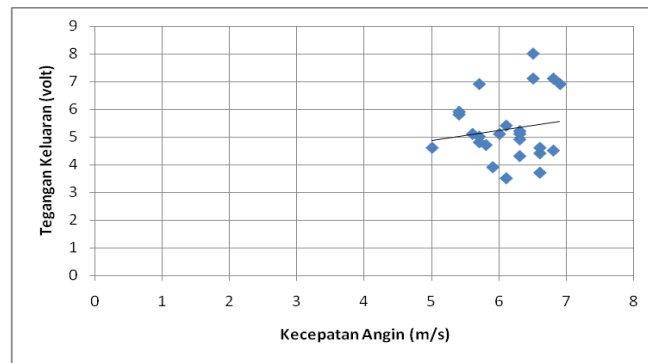
## 2.5 Prototipe SKEA

Prototipe SKEA dibuat dengan komponen utama rotor, transmisi, generator, dan pengisian batere. Rotor akan mengkonversi energi kinetik angin menjadi putaran poros. Transmisi meneruskan putaran rotor ke generator. Generator mengubah energi putaran poros menjadi energi listrik dan melakukan pengisian batere. Dari beberapa kali percobaan, prototype yang dipilih terdiri dari rotor savonius L, transmisi roda gigi plastik dan generator DC (lihat gambar 6).

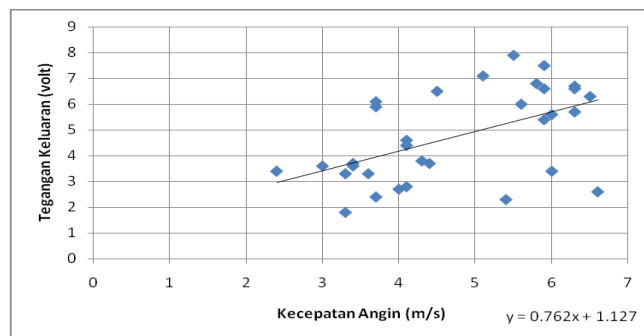


**Gambar 6** Prototipe SKEA menggunakan rotor Savonius.

Dalam pengujian menggunakan fan, sistem mulai berputar pada kecepatan angin 5 m/s dengan tegangan keluaran listrik dari alternator 4,6 volt. Karena pengujian menggunakan fan menyebabkan aliran angin hanya satu arah, padahal pada kenyataannya rancangan rotor dapat menerima angin dari segala arah, maka dicoba dengan menggunakan pelat pengarah lengkung setengah lingkaran dibelakang rotor. Dengan cara ini kinerja rotor jadi meningkat. Pada kecepatan angin 2,4 m/s rotor sudah berputar dengan tegangan keluaran 3,4 m/s. Hasil lebih rinci dari pengujian prototipe ini dapat dilihat pada gambar 7 dan 8.



**Gambar 7** Hasil pengujian prototipe tanpa pelat pengarah.



**Gambar 8** Hasil pengujian prototipe dengan pelat pengarah.

Dari hasil ini bisa diprediksikan, kinerja prototipe bisa menjadi lebih baik untuk penempatan pada lokasi yang dituju, karena angin akan menghembus rotor dari segala arah. Keberadaan pelat pengarah selain membantu mengkondisikan aliran angin dari segala arah yang mengenai rotor, juga menunjukkan perlunya rotor dengan jumlah sudu yang lebih banyak. Pasangan dua buah sudu menyebabkan siklus sudu terhadap suatu acuan terjadi setiap setengah putaran, sementara jika bisa ditambah sampai empat buah sudu, siklusnya menjadi seperempat lingkaran. Dalam hal ini perlu dilakukan perhitungan dan optimasi antara kebutuhan putaran dengan massa sudu. Karena penambahan jumlah sudu juga berarti penambahan massa sudu.

### 3. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Telah dihasilkan prototipe Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang mampu menghasilkan energi listrik dan mampu menggantikan penghalang sinar lampu kendaraan di median jalan tol.
2. Prototipe SKEA yang dipilih terdiri dari turbin angin poros tegak jenis Savonius L, sistem transmisi menggunakan roda gigi dengan rasio 1:3 dan generator DC Nippondenso sebagai pembangkit daya listrik.
3. Prototipe SKEA yang dipilih menghasilkan tegangan 5 – 7 volt arus searah pada kecepatan angin 5 m/s.
4. Prototipe SKEA yang dibuat baru mampu menghasilkan tegangan untuk melakukan pengisian ulang pada baterai 6 volt.

5. Rotor Savonius dan Windside mempunyai karakteristik terhadap kecepatan angin rendah yang tidak jauh berbeda. Luas area yang kecil dan massa yang ringan menyebabkan rasio putaran poros terhadap kecepatan angin semakin besar, namun rasio torsi terhadap kecepatan angin semakin kecil.
6. Rotor Windside (kecil) mampu beroperasi pada kecepatan angin yang rendah dari Savonius (mulai 0,8 m/s) namun torsinya kecil.
7. Rotor Savonius beroperasi pada kecepatan angin yang lebih tinggi dari Windside (1,2 m/s), namun torsinya lebih besar.
8. Generator DC dapat berfungsi sebagai generator putaran rendah yang mampu menghasilkan tegangan di atas 12 volt mulai putaran 150 rpm poros generator.

#### 4. Ucapan Terimakasih

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.

#### 5. Referensi

1. Culp, Archie W Jr. *Prinsip-prinsip Konversi Energi*, Penerbit Erlangga, Jakarta 1984
2. Daryanto, Y., F.A. Yohanes dan F. Hasim, *Potensi Peluang dan Tantangan Energi Angin di Indonesia*, BPPT Tangerang, 2005.
3. Dieter, G., *Engineering Design*, McGraw Hill, Singapore, 2000.
4. Dirjen Bina Marga, Direktorat Pembinaan Jalan Kota, SK No.12/S/BNKT/1991 - *Spesifikasi Lampu Penerangan Jalan Perkotaan*, 1991.
5. Eldridge, Frank R. *Wind Machine*, second edition. Van Nostran Reinhold Company. New York, 1980
6. EBARA Corporation Japan. *Wind Power Generation*. Prosiding Seminar, Bandung 2005
7. Hau, Erich. *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, Berlin 2005
8. National Geographic ed. Indonesia, *Bebas BBM apa saja energi penggantinya?*, Jakarta, Agustus 2005.
9. Purba, Jefri Kencana. *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Rotor Savonius sebagai Pembangkit Energi Listrik Untuk Penerangan Jalan Tol*, Tugas Sarjana Teknik Mesin ITB. Bandung 2006
10. Renewable Energy World, Majalah. Januari – Februari 2001
11. Soetanto, Maria F, Aryadi Suwono, Prihadi Setyo Darmanto, dan Ari Darmawan Pasek, *Aliran Fluida Menyilang di Sekitar Rotor Savonius dengan Panjang Berhingga dengan Kecepatan Aksial Seragam*, Jurnal Seminar Nasional Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri, Bandung. 2003.
12. Suwono, Aryadi, Maria F Soetanto, dan Dani Rusirawan, *Kaji Teoritik Karakteristik Aerodinamik Sistem Konversi Energi Angin Jenis Poros Datar dengan Sudu Silinder dan Rotor Savonius*, Jurnal Seminar Nasional Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri, Bandung, 2003.
13. Voshburgh, Paul N. *Commercial applications of Wind Power*. Van Nostran Reinhold Company. New York, 1983.

