

KINERJA ROTOR SAVONIUS DENGAN MEKANISME PENGARAH DAN PENGUMPUL ALIRAN ANGIN (MPPA)

*Susilo Adi Widyanto¹, Ismoyo¹, Surdjanto Cahjono², Dwi Nugroho²

¹Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro

²Lembaga Penelitian Suryawandinata

Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang

*E-mail: susilo70@yahoo.com

ABSTRAK

Cadangan energi fosil dunia terus menurun, pada sisi lain kebutuhan terus meningkat dari waktu ke waktu. Disamping itu dampak pemakaian energi fosil semakin dirasakan dengan turunnya kualitas lingkungan akibat pencemaran yang berdampak pada perubahan iklim yang semakin ekstrim. Untuk itu pemanfaatan energi yang dapat diperbaharui kian mendesak dilakukan seperti halnya energi angin. Mengacu pada kondisi geografis Indonesia, pengembangan turbin angin berkecepatan rendah berpotensi besar untuk dapat diaplikasikan sebagai pembangkit energi listrik. Paper ini membahas kinerja rotor Savonius yang dikombinasikan dengan MPPA. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa penggunaan MPPA efektif digunakan untuk menurunkan torsi awal (start up) rotor sehingga cocok digunakan untuk daerah dengan potensi energi angin yang rendah. Namun dari sisi yang lain MPPA memperpanjang waktu respon rotor sehingga kurang sesuai untuk lokasi dengan kondisi arah aliran angin yang berubah-ubah.

Kata Kunci: Rotor Savonius, mekanisme pengumpul dan pengarah aliran (MPPA), start up, bidang pengarah, bidang pengumpul.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan jumlah pulau lebih dari 13500 pulau. Kondisi tersebut merupakan potensi yang luar biasa baik berupa sumber daya alam maupun kelimpahan sumber energi. Namun pada sisi yang lain, luasnya wilayah dan banyaknya pulau membutuhkan suatu tata kelola yang sangat kompleks untuk menciptakan pemerataan hasil pembangunan. Distribusi energi merupakan salah satu persoalan mendasar yang harus dipecahkan untuk mendukung sistem kesatuan wilayah maupun perkembangan sosial dan ekonomi masyarakat.

Listrik merupakan salah satu bentuk energi dasar yang sangat diperlukan untuk kehidupan masyarakat. Untuk itu berbagai metode investasi sumber energi dilakukan karena telah terbukti mampu meningkatkan nilai kehidupan, tidak terkecuali untuk upaya memenuhi kebutuhan energi listrik. Penggunaan sumber energi terbarukan seperti panas matahari, arus-gelombang laut dan angin secara efektif merupakan salah satu solusi yang sangat potensial untuk terus diupayakan.

Berdasarkan *review literature* yang ada, hingga saat ini efisiensi perangkat fuel cell sebagai pengubah panas matahari menjadi energi listrik masih sangat terbatas. Pada sisi yang lain investasi peralatan yang diperlukan relatif besar (teknologi ini masih sangat mahal) sehingga belum memungkinkan diaplikasikan secara masal. Sumber energi arus-gelombang laut untuk beberapa lokasi tertentu memiliki potensi yang sangat baik seperti daerah Selat Sulawesi. Namun karena keterbatasan dalam sumber daya manusia maupun sumber investasi yang ada penggunaan potensi sumber energi ini masih memerlukan waktu yang relatif lama untuk direalisasikan.

Secara umum potensi angin di daerah tropis memang relatif kecil dibandingkan di daerah-daerah sub-tropis. Namun, potensi angin bersifat lokal yang dipengaruhi oleh aspek topografi, geografis dan teknis. Berdasarkan hasil survai potensi angin yang telah dilakukan oleh LAPAN, beberapa lokasi seperti daerah Lebak Banten memiliki kecepatan angin rata-rata tahunan sebesar 5,86 m/detik dengan rapat daya angin tahunan mencapai 225 W/m² [1], sedangkan NREL pada tahun 2001 telah melakukan survei potensi angin di wilayah Indonesia Timur. Daerah-daerah seperti Bali, Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur memiliki kecepatan angin yang potensial untuk dikembangkan sebagai sumber energi listrik. Namun pada umumnya, potensi angin di Indonesia relatif rendah sehingga pemanfaatannya sebagai sumber energi listrik memerlukan desain turbin angin yang sangat spesifik sehingga dapat beroperasi pada kecepatan rendah.

Penelitian ini mengusulkan penggunaan mekanisme pengumpul dan pengarah aliran angin untuk memperbaiki kinerja rotor Savonius. Rotor Savonius adalah rotor berdasarkan prinsip *drag* (gaya hambat). Prinsip kerjanya sederhana dan sama dengan prinsip anemometer mangkok. Tiupan angin mengakibatkan gaya *drag* pada sudu-sudu rotor. Karena angin meniup sudu-sudu rotor dalam orientasi yang berbeda, maka gaya dorong pada sudu akan berbeda dan mengakibatkan timbulnya torsi dan selanjutnya mengakibatkan gerak rotasi rotor.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan rotor Savonius yang merupakan rotor sumbu vertical [2] dan digolongkan ke dalam rotor dengan kecepatan angular rendah. Perilaku aerodinamik bersifat tidak tetap

sehingga sulit untuk dipresiksi secara teoritis [3,4,5,6]. Dilihat dari sisi konstruksinya, turbin angin sumbu tegak berkecepatan rendah memiliki berbagai keuntungan diantaranya: sederhana, momen awal tinggi yang memberikan keuntungan *low cut-in wind speeds*, mampu untuk beroperasi tanpa tergantung pada arah angin, tingkat kebisingan rendah [6,7], sekalipun rotor sumbu vertikal berkecepatan rendah memiliki kinerja yang lebih rendah dibandingkan turbin angin berkecepatan tinggi [8,7,9]. Wilson dan Lissaman [10] mengamati bahwa untuk luasan bidang angin yang sama, rotor Savonius hanya mampu menghasilkan daya 30 kali lebih kecil dibandingkan turbin angin dengan bilah rotor konvensional. Hal tersebut menunjukkan bila dibandingkan dengan turbin angin berkecepatan tinggi, rotor Savonius memiliki kinerja yang rendah akibat rendahnya efisiensi. Pada sisi ini pengaplikasian rotor berkecepatan tinggi secara sistematis harus memperhitungkan lokasi dimana rotor tersebut akan dioperasikan yang menyangkut terpenuhinya potensi angin yang ada.

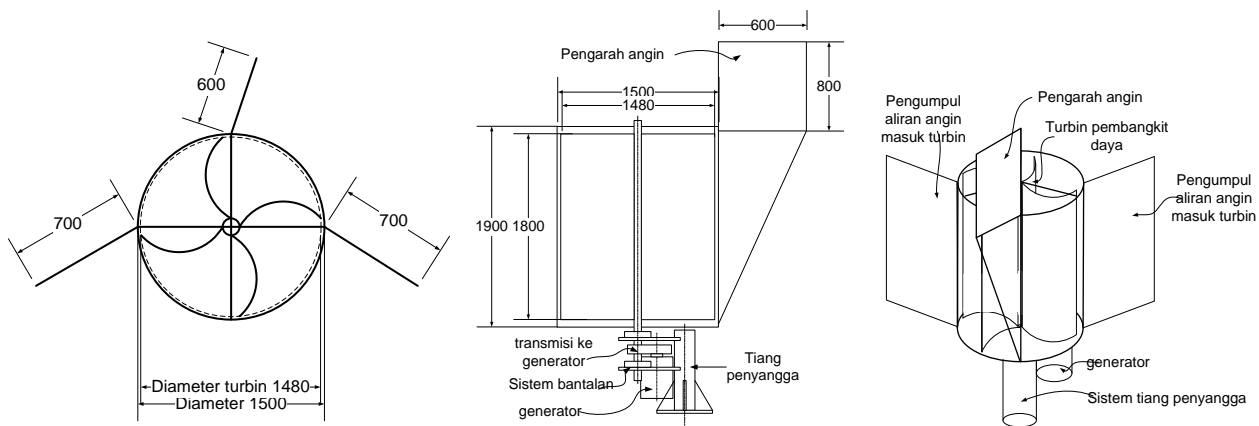
Hampir semua kelemahan rotor Savonius mengakibatkan rotor jenis ini tidak dapat digunakan dalam ukuran besar. Namun demikian hampir semua kelemahan tersebut menjadi tidak muncul jika ukuran rotor Savonius kecil untuk pembangkitan daya rendah [10]

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan desain dan manufaktur rotor Savonius dan MPPA dengan dimensi seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. Prototipe yang dibuat selanjutnya diuji di lokasi dimana terlebih dahulu telah dilakukan survei potensi angin. Penjelasan untuk masing-masing tahapan diuraikan sebagai berikut:

2.1. Desain dan Fabrikasi Rotor Savonius dan MPPA

Rotor dibuat dari bahan lembaran polycarbonat dengan kerangka yang terbuat dari bahan baja plat berketebalan 3 mm. Dimensi rotor dan perangkat pendukungnya mengikuti Gambar 1. Secara umum konstruksi turbin angin secara keseluruhan meliputi: struktur utama rotor yang juga merupakan dudukan sistem generator, rotor, dudukan MPPA dan MPPA. Instalasi rotor diletakkan di atas mekanisme dudukan dengan ketinggian 1,75 m di atas permukaan tanah.



Gambar 1. Konstruksi prototipe turbin angin Savonius dengan MPPA.

2.2. Pengujian Kinerja Sistem Rotor Savonius

Pengujian kinerja prototipe rotor Savonius dilakukan di Jurusan Teknik Mesin Undip. Sebelum dilakukan pengujian kinerja, survei potensi angin dilakukan terlebih dahulu dengan mengukur kecepatan aliran angin menggunakan alat ukur anemometer di sekitar lokasi instalasi turbin angin. Kinerja rotor diukur dengan atau tanpa menggunakan MPPA, tanpa dan dengan beban generator. Spesifikasi generator yang digunakan diuraikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Generator Rotor yang Digunakan

Tegangan keluaran	12 V pada putaran 200 rpm
Daya luaran	500 watt
Berat	12 kg

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

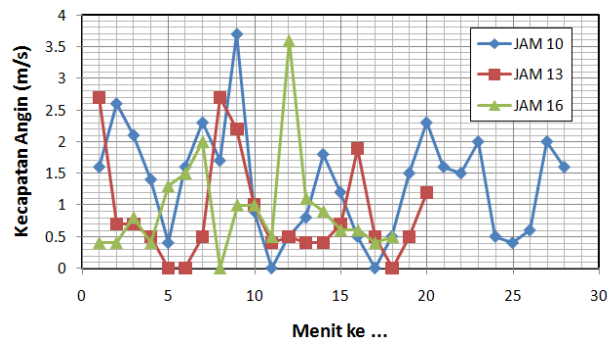
3.1. Profil Angin

Dari hasil pengambilan data kecepatan angin yang berlokasi di Jurusan Teknik Mesin diperoleh bahwa aliran angin berubah dengan sangat cepat baik besar maupun arahnya berkisar antara 3 sampai 8 detik. Kondisi ini menyebabkan energi netto pembangkitan menjadi sangat rendah. Ketika kecepatan angin berada di atas kecepatan start up, maka rotor mulai berputar, dan kondisi tersebut membutuhkan waktu tertentu yang disebut dengan waktu respon rotor. Untuk memutar rotor diperlukan energi yang relatif lebih tinggi karena energi tersebut harus melawan inersia

kelembaman sistem mekanis rotor dan gaya gesek statis yang harganya lebih tinggi dibandingkan ketika rotor telah berputar.

Perubahan aliran angin menyebabkan energi yang ada tidak menghasilkan putaran yang optimal karena selalu berada pada margin *start-up* rotor. Salah satu usulan untuk improvement desain yang didasarkan pada kondisi aliran angin seperti ini adalah rotor harus dibuat dalam ukuran yang rasional untuk mengurangi energi *start-up*nya. Untuk memenuhi daya pembangkitan yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan memparalelkan beberapa rotor dalam satu poros.

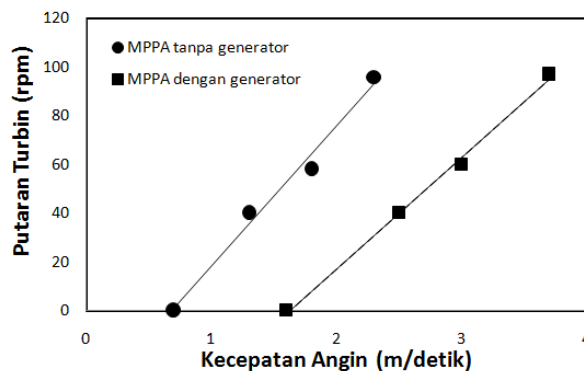
Profil aliran angin hasil pengukuran dalam rentang waktu 12 jam di Jurusan Teknik Mesin Undip seperti ditunjukkan dalam Gambar 2. Grafik yang ada menggambarkan bahwa dalam kurun waktu satu hari kecepatan angin rata-rata berubah-ubah akibat pengaruh temperatur dan kelembabannya. Rata-rata kecepatan angin jam 10 (1,34 m/s) paling tinggi dibandingkan pukul 13 (0,875 m/s) maupun pukul 16 (0,944 m/s). Namun data tersebut tidak serta merta mewakili energi pembangkitannya, karena fluktuasi besar maupun arahnya terjadi dalam periode 3 s/d 8 detik. Sehingga untuk menstabilkan kondisi pembangkitan aktualnya perlu dikalikan dengan suatu konstanta koreksi profil angin dan efisiensi sistem mekanik rotor yang harganya sangat kecil.



Gambar 2. Data aliran angin dalam kurun waktu satu hari, a. Kecepatan angin rata-rata pada jam 10 WIB = 1,34 m/detik, b. kecepatan angin rata-rata pada jam 13 WIB = 0,875 m/detik, c. Kecepatan angin rata-rata pada jam 16 WIB = 0,944 m/detik.

3.2. Karakteristik Rotor

Massa sistem mekanik menentukan energi awal yang diperlukan untuk menggerak sistem tersebut. Demikian halnya dengan rotor Savonius, faktor massa dan konstruksi sudu rotor menentukan energi awal yang diperlukan untuk memutar rotor tersebut. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa rotor mulai berputar ketika kecepatan angin mencapai 0.7 m/s (dengan MPPA tanpa beban generator). Gambar 3 menunjukkan perbandingan kinerja rotor dengan MPPA dengan dan tanpa generator. Pembebanan dengan generator bukan hanya akan menggeser kecepatan start up rotor, namun kurva kecepatannya rotor terhadap kecepatan angin juga berubah. Hal tersebut ditunjukkan dari hasil interpolasi data pengujian yang diperoleh bahwa slope kurva kecepatan rotor dengan beban generator lebih kecil dibandingkan tanpa beban generator.



Gambar 3. Karakteristik putaran rotor dengan MPPA dengan dan tanpa pembebanan generator sebagai fungsi kecepatan angin.

3.3. Kinerja MPPA

Kinerja pengujian rotor tanpa dan dengan MPPA dinyatakan dalam Tabel 2. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan MPPA pada satu sisi akan menurunkan energi *start-up* rotor dalam kondisi dibebani generator dari 1,9 m/detik menjadi 1,6 m/detik, tetapi pada sisi lainnya justru akan memperpanjang waktu respon rotor dari 1-2 detik menjadi 3-6 detik. Perubahan arah angin akan direspon terlebih dahulu oleh MPPA. Setelah posisi stabil diperoleh, mekanisme pengumpul aliran baru berfungsi sehingga angin diarahkan menuju rotor. Kondisi tersebut

memberikan penjelasan bahwa MPPA efektif digunakan bila periode perubahan arah aliran angin relatif panjang. Fluktuasi kecepatan aliran angin secara rekatif tidak berpengaruh pada waktu respon tubin.

Tabel 2. Kondisi Start Up Dan Waktu Respon Rotor Akibat Penggunaan MPPA

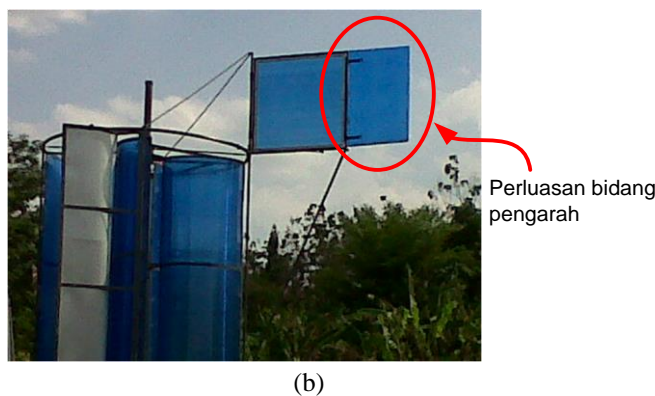
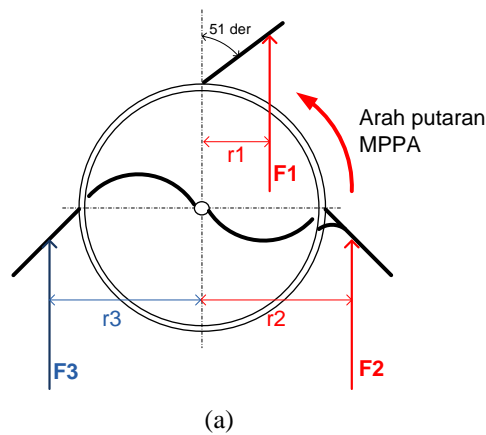
	Kecepatan start up MPPA (m/detik)	Kecepatan start up rotor (m/detik)	Waktu respon rotor (detik)
Tanpa MPPA, tanpa generator	-	0,7	1-2
Tanpa MPPA, dengan generator	-	1,9	2-3
Dengan MPPA, tanpa generator	4	0,7	2-5
Dengan MPPA, dengan generator	4	1,6	3-6

Analisis lebih lanjut mengenai MPPA diuraikan sebagai berikut: Konstruksi pengarah dan pengumpul angin terdiri dari empat bidang efektif yang meliputi:

a. Bidang pengarah

Bidang pengarah berfungsi untuk mengarahkan aliran angin masuk ke rotor. Dalam berkerjanya torsi yang dihasilkan oleh bidang pengarah dilawan oleh torsi yang dihasilkan oleh bidang pengumpul utama dikurangi torsi yang dihasilkan oleh bidang pengumpul bantu. Berdasarkan luasan efektif yang berhadapan langsung dengan arah aliran angin, bidang pengarah efektif diletakkan di atas struktur rotor. Dari hasil pengujian, waktu respon rotor maksimum diperoleh pada komposisi luasan antara bidang pengarah: bidang pengumpul utama: bidang pengumpul bantu adalah sebesar 1,6875:1:1.

Pengaturan sudut bidang pengarah dapat menghasilkan ketidak-seimbangan torsi yang menyebabkan MPPA tidak memperoleh kondisi yang stabil. Pengaturan sudut bidang pengarah dapat dilakukan dalam rangka mengoptimalkan waktu respon MPPA dan diperolehnya kondisi stabil yang sesingkat mungkin. Oleh karena itu pengaturan sudut MPPA hanya diijinkan dalam batas yang relatif kecil. Pada pengaturan sudut yang besar (sekitar 51°), MPPA terus berputar atau tidak mencapai kondisi stabil, sehingga rotor justru tidak berputar. Gambar 4a menunjukkan tidak tercapainya kesetimbangan torsi yang menyebabkan MPPA tidak pernah mencapai kondisi yang stabil dimana $F1.r1 + F2.r2 > F3.r3$.

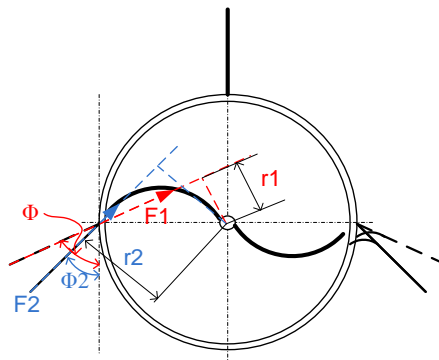


Gambar 4. a. Pengaturan sudut bidang pengarah yang terlalu besar justru menghasilkan ketidak-seimbangan momen pada MPPA yang menyebabkan MPPA terus berputar, b. Perluasan bidang pengarah memperpendek waktu respon rotor.

Pada pemodifikasian harga perbandingan yang dilakukan dengan memperluas bidang pengarah diperoleh bahwa kecepatan respon MPPA menjadi lebih baik, yaitu 2-4 detik. Konstruksi perluasan bidang pengarah ditunjukkan dalam Gambar 4b di atas. Pada arah yang stabil kesetimbangan momen puntir hanya dihasilkan oleh dua bidang pengumpul aliran, sedangkan bidang pengarah aliran akan berposisi sesuai dengan aliran angin. Pergeseran sudut akibat ketidakseimbangan momen puntir yang mungkin terjadi akan dikoreksi secara otomatis oleh bidang pengarah aliran. Penambahan luasan bidang pengarah yang menjauhi pusat rotasi rotor efektif dilakukan karena pertimbangan efek momen puntir yang dihasilkan untuk mencapai posisi yang stabil.

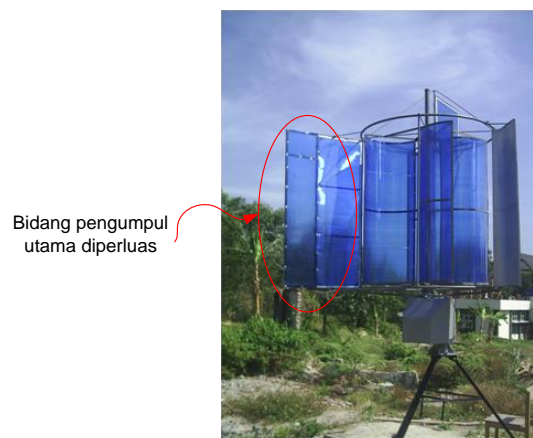
b. Bidang pengumpul utama

Bidang pengumpul utama berfungsi untuk memperluas bidang efektif angin masuk ke rotor. Akibat pengaturan sudut masuk tersebut (sudut antara bidang pengumpul dengan arah aliran angin), posisi titik kerja aliran angin pada sudu dapat diatur yang berpengaruh pada torsi yang dihasilkannya rotor (Gambar 5). Pengaturan bidang pengumpul utama dengan sudut Φ menghasilkan momen sebesar $F1.r1$ sedangkan pada pengaturan sudut $\Phi2$ menghasilkan momen $F2.r2$. Namun, $F1 > F2$ akibat luas bidang efektif $F1 >$ luas bidang efektif $F2$.



Gambar 5. Pengaturan sudut pengumpul menentukan besar torsi yang dihasilkan rotor.

Dengan memperluas bidang pengumpul utama dari 600 x 1800 mm menjadi 1000 x 1800 mm, stabilitas MPPA menjadi terganggu (Gambar 6). Kecepatan *start-up* MPPA dapat diturunkan menjadi sekitar 3 m/detik, tetapi MPPA tidak bisa mencapai posisi yang stabil akibat torsi yang dihasilkan oleh bidang pengumpul utama lebih besar dibandingkan torsi yang dihasilkan oleh bidang pengarah ditambah torsi yang dihasilkan oleh bidang pengumpul bantu.



Gambar 6. Meningkatkan luasan bidang pengumpul utama justru menyebabkan MPPA tidak bisa mencapai posisi yang stabil. Pelepasan bidang penutup aliran samping justru memperbaiki kinerja rotor.

Dengan mengatur sudut bidang pengarah tetap tidak diperoleh kestabilan sistem MPPA, bahkan pada pengaturan tertentu formasi bidang pengumpul utama dan bidang pengarah berfungsi sebagai sudu rotor luar sehingga rotor tidak memperoleh aliran yang mencukupi untuk memutarinya.

c. Bidang pengumpul bantu

Bidang pengumpul bantu ditujukan untuk mengumpulkan aliran pada arah yang berlawanan dengan putaran rotor. Untuk melakukan fungsi itu, aliran angin harus dibelokkan sehingga dihasilkan kecepatan yang searah dengan putaran rotor.

Akibat pembelokan aliran tersebut efektivitas bidang ini lebih rendah dibandingkan bidang pengumpul utama. Dalam rancangannya, luasan bidang pengumpul bantuk sama dengan bidang pengumpul utama yaitu 600 x 1800 mm.

d. Bidang penutup aliran samping

Pada rancangan awal, bidang penutup aliran samping ditujukan untuk mereduksi gaya hambat putaran rotor, tetapi pada saat pengujian membuktikan bahwa penambahan konstruksi ini justru menghambat aliran angin masuk ke rotor. Akibatnya kecepatan start up rotor menjadi sangat tinggi yaitu 1,7 m/detik (tanpa beban generator) untuk berbagai variasi sudut masukan. Setelah bidang penutup aliran samping dilepas, kecepatan *start-up* rotor turun menjadi 0,7 m/detik.

3.4. Beban Generator

Sebelum dibebani unit generator, kecepatan *start-up* rotor adalah 0,7 m/detik, dan setelah pembebanan kecepatan *start-up* rotor menjadi 1,9 m/detik. Dari hasil analisis yang dilakukan penyebab tingginya beban generator dapat diuraikan sebagai berikut:

4. KESIMPULAN

Kinerja rotor Savonius dan MPPA telah diamati. Hasil yang diperoleh secara umum menunjukkan bahwa desain rotor dan perangkat pendukungnya harus mengacu pada survey potensi angin yang harus dilakukan sebelumnya. Dari hasil survey potensi angin yang telah dilakukan di lokasi Jurusan Teknik Mesin Undip diperoleh bahwa aliran angin sangat berfluktuatif baik besar maupun arahnya. Kondisi seperti ini menghasilkan energi netto pembangkitan yang sangat kecil pada penerapan turbin angin sebagai sistem pembangkit listrik. Untuk meningkatkan efektivitasnya, dimensi rotor merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan pada saat perancangan turbin angin. Dimensi rotor secara langsung menentukan kecepatan *start-up* rotor.

Penggunaan mekanisme pengarah dan pengumpul angin (MPPA) efektif untuk meningkatkan torsi awal rotor. Mekanisme ini sangat membantu proses *start-up* rotor. Namun penggunaan mekanisme ini akan memperpanjang waktu respon rotor. Bila dikaitkan dengan kondisi fluktuatif kecepatan angin, penggunaan MPPA harus dianalisis dengan teliti yang didasarkan pada perbandingan daya pembangkitan netto yang dihasilkan tanpa atau dengan MPPA.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Soeripto dan Ibrochim, M. (2008) "Analisa Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Output Turbin Angin di Lebak Banten", Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional.
- [2] Savonius, S.J. (1931) "The S. rotor and its applications", *Mech Ing*, 53(5):333-7.
- [3] Sheldahl, R.E., Blackwell, B.F., Feltz, L.V. (1978) "Wind tunnel performance data for two- and three-bucket Savonius rotors", *J Energi*, 2:160-4.
- [4] Alexander, A.J., Holownia, B.P. (1978) "Wind tunnel tests on a Savonius rotor", *J Ind Aer*, 3:343-51.
- [5] Bergeles, G., Athanassiadis, N. (1982) "On the flow field around a Savonius rotor", *J Wind Eng*, 6(3):140-8.
- [6] Martin, J. (1997) "Energies éoliennes, Techniques de l'Ingenieur", B1360:1-21, France.
- [7] Hu'tter, U. (1977) "Optimum wind-energi conversion systems", *Ann Rev Fluid Mech*, 9:349-419.
- [8] Holme, O. (1976) "A Contribution to the aerodynamic theory of vertical axis wind rotor", *Proceedings of the 1st International Symposium on Wind Energi Systems*. UK: BHRA Cranfield.
- [9] Eldridge, F.B. (1975) "Wind machines. National Science Foundation Research, Application Directorate", US Energi Research and Development, Washington.
- [10] Wilson, R.E., Lissaman, P.B.S. (1974) "Applied aerodynamics of wind power machines" Research Applied to National Needs, GI-41840, Oregon State University.