

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SUMBU VERTIKAL UNTUK PENERANGAN RUMAH TANGGA DI DAERAH PESISIR PANTAI

1) Yusuf Ismail Nakhoda, 2) Choirul Saleh

^{1,2)} Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Malang

ABSTRAK

Perkembangan energi angin di Indonesia untuk saat ini masih tergolong rendah namun punya potensi yang sangat besar. Salah satu penyebabnya adalah karena kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia tergolong kecepatan angin rendah, yaitu berkisar antara 3 m/s hingga 5 m/s sehingga sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Meskipun demikian, potensi anginnya tersedia hampir sepanjang tahun, sehingga memungkinkan dikembangkan sistem pembangkit listrik skala kecil. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu dengan melakukan kajiantechnis terhadap mesin konversi energi dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan secara optimal dalam menghasilkan energi listrik. Inovasi dalam memodifikasi kincir angin perlu dikembangkan agar dalam kondisi kecepatan angin yang rendah dapat memberikan hasil yang maksimal. Teknologi pengembangan kincir angin terus dikembangkan agar dapat dimanfaatkan dalam kondisi kecepatan angin yang berubah-ubah. Untuk itu, dalam pengabdian kepada masyarakat ini akan diterapkan pembangkit listrik tenaga angin menggunakan sumbu vertikal untuk penerangan rumah tangga skala kecil di pesisir pantai Bajul Mati Desa Gagahrejo Kecamatan Gedangan Kabupaten Malang dengan harapan dapat bermanfaat untuk masyarakat yang bermukim di daerah pesisir pantai yang belum teraliri listrik dari PLN.

Kata kunci : Komposit energi terbarukan, pembangkit listrik tenaga angin, sumbu vertikal, rumah tangga, pesisir pantai

Kebutuhan akan energi listrik pada daerah-daerah terpencil untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat perlu menjadi perhatian perguruan tinggi. Kemampuan pemerintah untuk membangun sumber pembangkit baru sangat terbatas karena menyangkut infrastruktur dan biaya yang sangat besar, namun terus berupaya untuk membangun pembangkit listrik baru untuk memenuhi kebutuhan energi nasional secara bertahap terutama untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di kota-kota besar dan sentra-sentra industri, sementara kebutuhan energi listrik masyarakat di daerah-daerah terpencil belum dilakukan secara optimal. Oleh karena itu perlu diupayakan suatu inovasi untuk membangun pembangkitan energi listrik dari sumber energi terbarukan sebagai jalan terbaik agar kebutuhan energi listrik masyarakat terpencil dapat dipenuhi. Pengembangan teknologi kincir angin sebagai salah satu bagian dari sistem pembangkitan energi listrik terbarukan dapat dimanfaatkan pada daerah yang mempunyai durasi potensi angin yang relatif kontinyu seperti di daerah-daerah pesisir pantai.

Inovasi dalam merancang bangun kincir angin perlu dikembangkan agar dalam kondisi kecepatan angin yang rendah dapat memberikan

hasil yang maksimal. Teknologi kincir angin terus dikembangkan agar dapat dimanfaatkan dalam kondisi kecepatan angin yang berubah-ubah dapat menghasilkan energi listrik skala kecil. Untuk itu, dalam pengabdian kepada masyarakat ini akan diaplikasikan pembangkit listrik tenaga angin menggunakan sumbu vertikal untuk penerangan rumah tangga dengan harapan dapat bermanfaat untuk masyarakat yang bermukim di daerah pesisir pantai yang belum teraliri listrik dari PLN.

Identifikasi dan Perumusan Masalah

Masalah yang dapat diidentifikasi adalah banyak masyarakat yang bermukim di daerah pesisir pantai yang belum teraliri listrik dari PLN, maka perlu menerapkan suatu model kincir angin pembangkit tenaga listrik sumbu vertikal skala kecil untuk penerangan rumah tangga di daerah pesisir pantai yang mempunyai potensi angin yang relatif kontinyu.

Tujuan Kegiatan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk merancang bangun model kincir angin pembangkit tenaga listrik sumbu vertikal skala kecil untuk diaplikasikan pada

penerangan rumah tanggadi daerah pesisir pantai.

Energi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak disebabkan adanya perbedaan tekanan. Udara akan mengalir dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan lebih rendah. Perbedaan tekanan udara dipengaruhi oleh sinar matahari. Daerah yang banyak terkena paparan sinar matahari akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada daerah yang sedikit terkena paparan sinar matahari. Menurut hukum gas ideal, temperatur berbanding terbalik dengan tekanan, dimana temperatur yang tinggi akan memiliki tekanan yang rendah, dan sebaliknya.

Udara yang memiliki massa *m* dan kecepatan *v* akan menghasilkan energi kinetik sebesar:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots (1)$$

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan *v* dan melewati daerah seluas *A* adalah:

$$V = vA \dots\dots\dots(2)$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ , yaitu:

$$m = \rho V = \rho vA \dots\dots\dots (3)$$

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah:

$$P_w = \frac{1}{2}(\rho Av)(v^2) = \frac{1}{2} \rho Av^3 \dots\dots\dots (4)$$

Dengan:

P_w = daya angin (watt)

ρ = densitas udara ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)

A =luas penampang turbin (m^2)

v = kecepatan udara (m/s)

Besar daya di atas adalah daya yang dimiliki oleh angin sebelum dikonversi atau sebelum melewati turbin angin. Dari daya tersebut tidak semuanya dapat dikonversi menjadi energi mekanik oleh kincir angin (Ajao dan Adeniyi, 2009).

Komponen utama terdiri dari kincir angin dan generator. Kincir angin berfungsi sebagai pengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik, sedangkan generator berfungsi sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi elektrik.

Kincir Angin

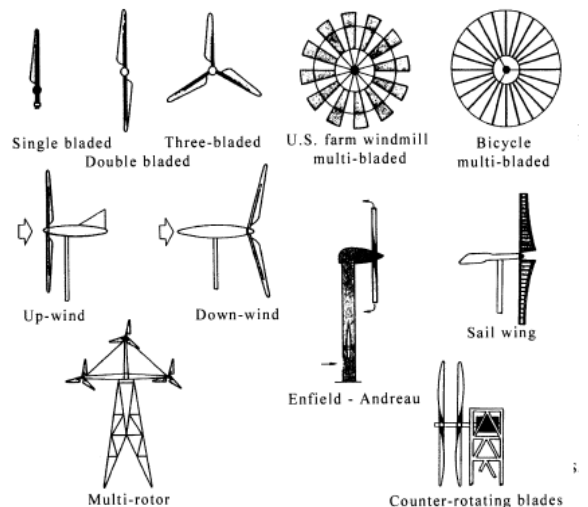
Kincir angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Kincir angin berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik.

Desain dari kincir/turbin angin sangat banyak macam jenisnya, berdasarkan bentuk rotor, kincir 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).

Horizontal Axis Wind Turbine(HAWT)

HAWT merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Agar rotor dapat berputardengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Biasanya turbin jenis ini memiliki *blade* berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pada pesawat. Secara umum semakin banyak jumlah *blade*, semakin tinggi putaran turbin.

Setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan turbin jenis ini, yaitu memiliki efisiensi yang tinggi, dan *cut-in wind speed* rendah. Kekurangannya, yaitu turbin jenis ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah angin. Gambar 1 menunjukkan macam-macam desain HAWT.

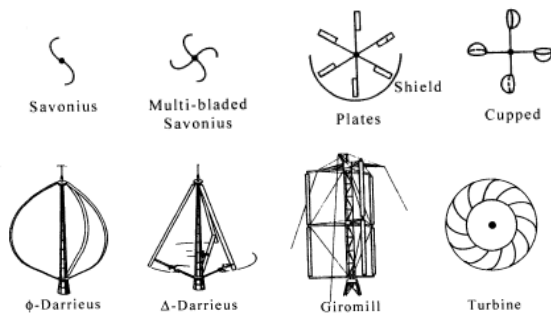


Gambar 1. Macam-macam desain turbin angin HAWT

Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)

VAWT merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. Ada tiga tipe rotor pada turbin angin jenis ini, yaitu: Savonius, Darrieus, dan H rotor. Turbin Savonius memanfaatkan gaya *drag* sedangkan Darrieus dan H rotor memanfaatkan gaya *lift*.

Sama halnya seperti HAWT, VAWT juga mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya, yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, dinamo atau generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan, tidak bising, dan kerja turbin tidak dipengaruhi arah angin. Kekurangannya yaitu kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan HAWT. VAWT awalnya lebih berkembang untuk konversi energi mekanik, tetapi seiring dengan perkembangan desain, turbin tipe ini banyak digunakan untuk konversi energi listrik skala kecil. Gambar 2 menunjukkan macam-macam desain kincir angin VAWT.



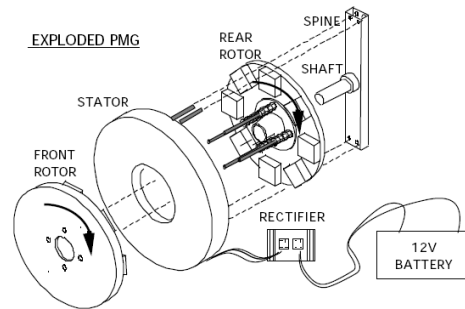
Gambar 2. Macam-macam desain kincir angin VAWT

Pada rancangan ini menggunakan salah satu tipe turbin angin sumbu vertikal (VAWT) yang dapat digunakan pada angin dengan kecepatan rendah yaitu turbin angin Savonius jenis Lenz2.

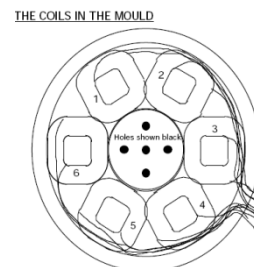
Pada jenis ini, angin yang berhembus salah satu bilah rotor diharapkan lebih banyak mengalir ke bilah rotor lainnya melalui celah di sekitar poros sehingga menyediakan daya dorong tambahan pada bilah rotor ini, akibatnya rotor dapat berputar lebih cepat.

Permanent Magnet Generator (PMG)

Desain dari PMG sendiri dirancang secara khusus karena mempertimbangkan energi utama yang dikonversi adalah energi angin. Dibutuhkan rpm rendah untuk memutar PMG supaya menghasilkan Listrik. Gambar 4 menunjukkan konstruksi dari PMG dan Gambar 5 menunjukkan konstruksi lilitan stator.

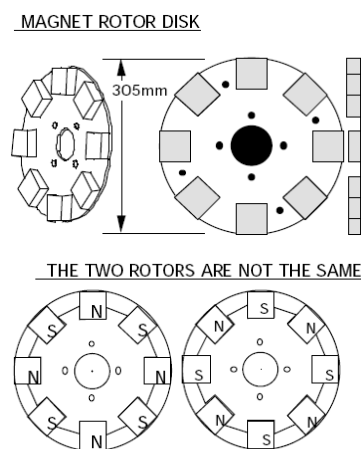


Gambar 4. Konstruksi PMG



Gambar 5. Konstruksi lilitan stator

Fluksi magnet yang dibutuhkan untuk pembangkitan energi listrik didapat dari magnet permanen, maka generator tidak memerlukan proses *exitasi* pembangkitan sehingga efisiensi penggunaan energi listrik untuk dimanfaatkan sebagai suplai beban sangat tinggi. Gambar 6 menunjukkan konstruksi rotor magnet permanen.



Gambar 6. Konstruksi rotor magnet permanen

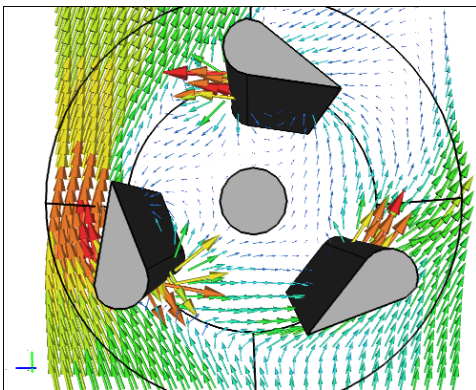
Sistem Kendali

Mikrokontroler digunakan kendali dari seluruh sistem yang bekerja untuk mengatur relai saat akan mengisi aki hingga melakukan proses pengereman pada saat kincir angin berputar kencang yang akan menyebabkan *over voltage*. Mikrokontroler tersebut berjenis AVR dengan tipe ATMega16.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Kincir Angin

Model kincir angin sumbu vertikal dipilih model Savonius jenis Lenz2 dengan tiga buah blade yang perencanaannya ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain kincir angin dengan tiga buah blade tampak atas

Pembuatan Kincir Angin Sumbu Vertikal

Dalam proses pembuatan kincir angin sumbu vertikal jenis Lenz2 dipilih bahan material untuk rangka blade dari besi pipa kotak dan untuk blade dari bahan plat aluminium yang hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Bentuk blade kincir angin jenis Lenz2 dilihat dari atas



Gambar 9. Bentuk blade kincir angin jenis Lenz2 dilihat dari samping

Rumah generator terpasang pada tower yang menopang turbin angin tersebut, tower memiliki ketinggian empat meter yang dibagi menjadi dua bagian, dimana satu bagian memiliki panjang dua meter. Tower tersebut bisa dibongkar pasang, sehingga memudahkan untuk di bawa keman saja tanpa harus memerlukan ruang yang banyak untuk mengangkutnya. Tower dan bantalan rumah generator didesain secara portabel ditunjukkan pada Gambar 10. Sedangkan model kincir angin setelah dirakit ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 10. Bentuk blade kincir angin, tower dan rumah generator



Gambar 11. Model kincir angin sumbu vertikal jenis Lenz2 setelah dirakit

Perancangan Generator Magnet Permanen

Dalam merancang generator magnet permanen terlebih dahulu dilakukan pembuatan desain dudukan rotor, desain stator, serta desain poros. Desain proses berguna untuk mengintegrasikan semua proses yang terjadi dalam aplikasi yang di buat.

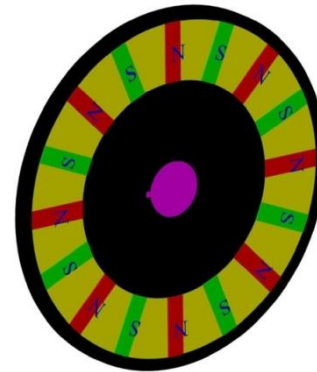
Beberapa parameter yang dapat menentukan kapasitas daya generator yang diinginkan seperti, kekuatan fluks magnet, jumlah kumparan dan belitannya, jumlah magnet serta ukuran diameter kawat. Tujuannya adalah untuk mempermudah menentukan jumlah kumparan pada stator dan serta ukuran diameter kawat tembaga yang akan digunakan, dan jumlah magnet yang akan digunakan.

Desain Rotor

Generator yang akan dibuat menggunakan satu buah rotor dan satu buah stator yang disebut cakram tunggal. Pada bagian rotor terdiri dari tiga bagian utama yaitu cetakan magnet rotor, magnet permanen dan dudukan magnet yang terbuat dari akrilick (*acrylic*). Magnet permanen pada rotor ditanam pada akrilick sesuai dengan ketebalan magnet. Susunan magnet yang digunakan pada pada generator ini adalah N-S, dimana susunan magnet permanen berlawanan dengan arah kiri

dan kanannya. Hal ini dikarenakan penyebaran fluks yang dihasilkan akan lebih rapat sehingga kumparan stator dapat menangkap fluks lebih efektif. Magnet permanen yang digunakan adalah Neodymium Br 1,17 Tesla.

Rotor didesain dengan diameter 30 cm ini mempertimbangkan jumlah magnet yang digunakan sebanyak 16 buah magnet dengan susunan magnet permanen N-S seperti yang terlihat pada Gambar 12



Gambar 12. Desain rotor

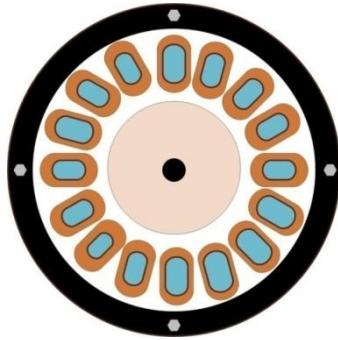
Tabel 1. Spesifikasi rotor

Lambang	Keterangan	Ukuran
P	Panjang magnet	0,05 m
L	Lebar magnet	0,015m
T	Tebal magnet	0,006m
Tf	Jarak antar magnet	0,04 m
Ri	Radius dalam magnet	0,09 m
Ro	Radius luar magnet	0,14 m
Nm	Jumlah magnet	16
Ndfb	Jenis magnet	
Br	Kerapan fluks magnet	1,17 T
	Tebal rotor	0,009 m

Desain Stator

Stator yang direncanakan memiliki enam belas kumparan hal ini mengikuti jumlah magnet yang digunakan, hal ini mempertimbangkan sapuan fluks magnet akan lebih efektif ditangkap oleh kumparan stator. Kumparan-kumparan tersebut semuanya disusun seri dikarenakan generator magnet permanen yang akan dibuat hanya dengan keluaran satu fasa saja, sedangkan jenis kawat tembaga email yang direncanakan dipakai berjenis F class dengan diameter kawat tembaga email 0,8 mm. Dengan lebar dari perkumparan stator mempertimbangkan posisi jarak antar magnet rotor hal ini dikarenakan agar kumparan stator dapat menangkap fluks magnet yang

dihasilkan rotor dengan baik. Desain lilitan kumparan stator berjumlah 16 buah seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Desain stator

Tabel 2. Spesifikasi stator

Lambang	Keterangan	Ukuran
N	Jumlah lilitan	100
Ns	Jumlah kumparan	16
Nph	Jumlah fasa	1
	Diameter kawat	0,8 mm
F class	Jenis kawat	
	Tebal stator	1,3 cm

Tabel 3. Data spesifikasi desain generator magnet permanen cakram tunggal

Rotor	Keterangan	Ukuran
P	Panjang magnet	0,05 m
L	Lebar magnet	0,015m
T	Tebal magnet	0,006m
Tf	Jarak antar magnet	0,04 m
ri	Radius dalam magnet	0,09 m
ro	Radius luar magnet	0,14 m
Nm	Jumlah magnet	16
Ndfcb	Jenis magnet	
Br	Kerapan fluks magnet	1,17 T
	Tebal rotor	0,009m
Stator	keterangan	ukuran
N	Jumlah lilitan	100
Ns	Jumlah kumparan	16
Nph	Jumlah fasa	1
	Diameter kawat	0,8 mm
F class	Jenis kawat	
	Tebal stator	1,3 cm
δ	Celah udara	3 mm

Pembuatan Rotor

Dalam proses pembuatan rotor ini terdapat beberapa bagian penting diantaranya yaitu membuat piringan seperti cakram berdiameter sesuai dengan desain, membuat dudukan magnet sesuai dengan dimensi magnet yang telah direncanakan.



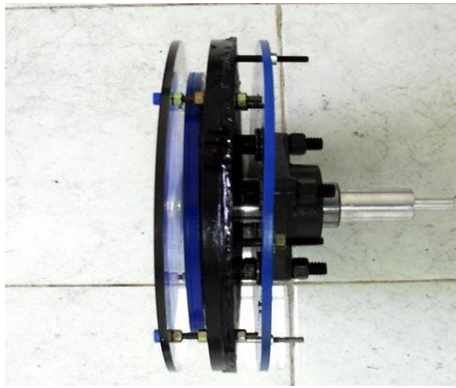
Gambar 13. Rotor 16 kutub dengan permanen magnet

Pembuatan Stator

Dalam pembuatan stator pertama-tama kita harus membuat lilitan stator, pembuatan lilitan pada stator harus menyesuaikan oleh dimensi stator karena pada stator terdapat 16 kumparan, sehingga harus membuat ukuran dari masing-masing kumparan, jumlah lilitan perkumparan yang akan dibuat masing-masing 50 lilitan. Setelah ukuran dari masing-masing kumparan, kita menyesuaikan ukuran mal terhadap kumparan. Mal adalah alat yang digunakan dalam proses melilit kumparan stator agar berbentuk elips yang rapi dan kuat sehingga ukuran dari lilitan tersebut sesuai dengan stator.



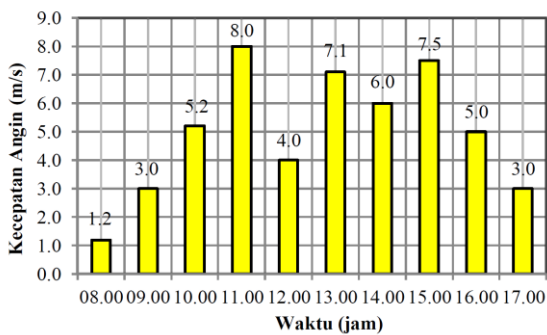
Gambar 14. Stator dengan 16 kutub kumparan



Gambar 15. Perakitan komponen stator dan rotor generator

Pengujian Kecepatan Angin

Pengukuran kecepatan angin yang dilakukan pada tanggal 17 Juni 2016 pengambilan data kecepatan angin ini dilakukan selama 10 jam (dari jam 08.00 sampai dengan jam 17.00), pengujian dilakukan di lokasi wilayah mitra di pesisir Pantai Bajul Mati.

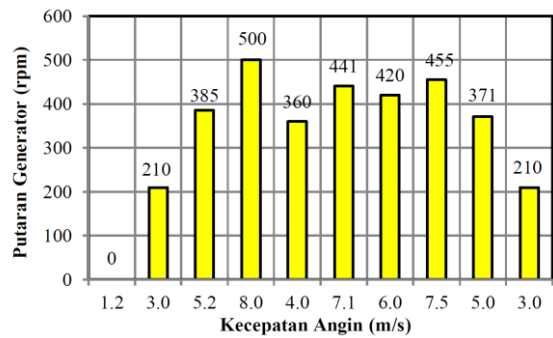


Gambar 16. Grafik kecepatan angin tanggal 17 Juni 2016 di lokasi wilayah mitra di pesisir Pantai Bajul Mati.

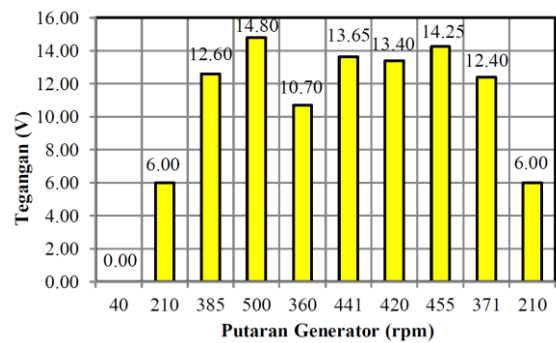
Data yang diperoleh dari hasil pengukuran pada tanggal 17 juni 2016 diketahui kecepatan angin terendah 1,2 m/s pada jam 08.00 dan kecepatan angin tertinggi 8 m/s pada jam 11.00 dengan kecepatan rata-rata 5 m/s.

Pengujian Tanpa Beban

Sebelum pengujian tanpa beban dilakukan pengujian kecepatan angin. Pengujian tanpa beban dilakukan untuk mendapatkan data hubungan antara tegangan DC yang dihasilkan generator terhadap putaran. Pada pengujian ini dilakukan beberapa variasi seperti tegangan yang dihasilkan generator terhadap kecepatan putaran generator, seperti ditunjukkan pada Gambar 17.

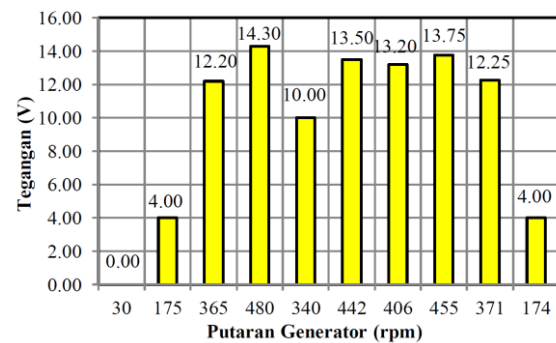


Gambar 17. Grafik putaran generator terhadap kecepatan angin tanpa beban

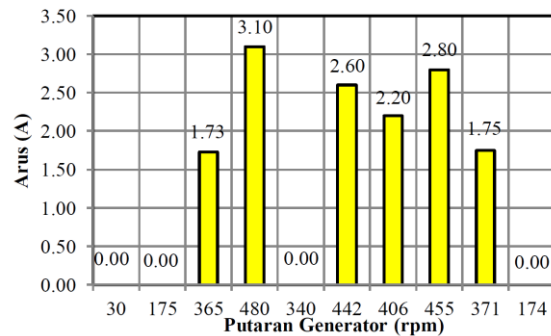


Gambar 4.18. Grafik putaran generator terhadap tegangan keluaran tanpa beban

Pengujian Kincir Angin Terhubung Dengan Baterai



Gambar 19. Grafik putaran generator terhadap tegangan keluaran terhubung baterai



Gambar 20. Grafik putaran generator terhadap arus beban generator dengan baterai

Pada kecepatan putar rotor generator magnet permanen 365 rpm sampai dengan 480 rpm pengisian akumulator paling efektif dilakukan dengan tegangan 12,20 V sampai dengan 14,30 V serta menghasilkan arus 1,73 A sampai dengan 3,10 A.

Pengujian Pembebanan Baterai

Pengujian pembebanan baterai bertujuan untuk mengetahui berapa lama proses pembebanan, mulai dari beterei penuh sampai baterai kosong. Pembebanan baterai 45 Ah 12 Volt dilakukan dengan menggunakan lampu LED 12 Volt 3 Watt sebanyak 12 lampu dengan total daya 36 Watt dan arus pembebanan 3 Ampere.

Tabel 4 Pengujian dengan beban lampu LED 12 Volt 36 Watt

No	Tegangan (V _{DC})	Arus (A)	Daya (W)	Waktu (Jam)	Ah Terpakai
1	12.2	2.95	36	1	3
2	12.1	2.97	36	2	6
3	12.0	3.00	36	3	9
4	11.9	3.02	36	4	12
5	11.8	3.05	36	5	15
6	11.7	3.07	36	6	19
7	11.6	3.10	36	7	22
8	11.5	3.13	36	8	25
9	11.4	3.15	36	9	29
10	11.3	3.18	36	10	32
11	11.2	3.21	36	11	35
12	11.1	3.24	36	12	39

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Model kincir angin sumbu vertikal jenis Lenz2 ini dalam perakitan dan pengoperasiannya relatif mudah karena didesain secara portabel dan mudah untuk dipindah tempatkan serta tidak memerlukan dimensi ruangan yang terlalu luas.
2. Pengujian potensi kecepatan angin terhadap putaran rotor generator menghasilkan putaran terendah 210 rpm dengan kecepatan angin 3 m/s dan putaran tertinggi 500 rpm dengan kecepatan angin 8 m/s.
3. Generator magnet permanen aksial tipe cakram tunggal yang dirancang bangun pada pengujian tanpa beban dengan tegangan keluaran yang dihasilkan 6 V sampai 14,8 V berada pada putaran

generator 210 rpm sampai dengan 500 rpm.

4. Pengujian generator terhubung dengan baterai pada putaran generator magnet permanen 365 rpm sampai dengan 480 rpm pengisian baterai paling efektif dilakukan dengan tegangan 12,20 V sampai dengan 14,30 V serta menghasilkan arus 1,73 A sampai dengan 3,10 A.
5. Pada pengujian pembebanan baterai 45 Ah 12 Volt menggunakan lampu LED 12 Volt 3 Watt sebanyak 12 lampu dengan total daya 36 Watt dan arus pembebanan 3 Ampere, proses pengosongan baterai dari tegangan awal 12.2 Volt menjadi 12.1 Volt pada jam pertama dan seterusnya tegangan turun sampai menjadi 11.1 Volt pada 12 jam berikutnya.
6. Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sumbu Vertikal untuk Penerangan Rumah Tangga dapat diterapkan di Daerah Pesisir Pantai yang belum terjangkau jaringan listrik dari PLN

DAFTAR PUSTAKA

Culp, Archie W., 1991. *Prinsip-Prinsip Konversi Energi*. Jakarta: Erlangga. Terjemahan: *Principles of Energy Conversion*. 1979. McGraw-Hill, Ltd

Daryanto, Y., 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG - UPT-LAGG

Dutta, Animesh. 2006. *Basics of Wind Technology*. Asian Institute of Technology Thailand. 6 Juli 2006

Giles, Ranald V., 1990. *Mekanika Fluida dan Hidraulika (SI-Metrik) Edisi Kedua (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.

Guntoro, W., 2008. *Studi Pengaruh Panjang dan Jumlah Baling-Baling Terhadap Efisiensi Daya Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin*. Bandung:ITB

Kamal, Faizul M., 2008. *Aerodynamics Characteristics of A Stationary Five Bladed Vertical Axis Vane Wind Turbine*. Journal of MechanicalEngineering, Vol. ME39, No. 2, pp. 95-99

Khan, N.I., Iqbal, M.T., Hinchey, Michael, dan Masek, Vlastimil. 2009. *Performance of Savonius Rotor As A Water Current Turbine*. Journal of Ocean Technology. Vol. 4, No. 2, pp. 71-83

Mittal, Neeraj. 2001. *Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT*. Thesis. UK: Departement of

- Mechanical Engineering University of Strathclyde
- Nakajima, M., Lio, S., dan Ikeda, T., 2008. *Performance of Double-step Savonius Rotor for Environmentally Friendly Hidroulic Turbine*. Journal of Fluid Science And Technology. Volume 3 No. 3, pp 410-419
- Nakajima, M., Lio, S., dan Ikeda, T., 2008. *Performance of Savonius Rotor for Environmentally Friendly Hidroulic Turbine*. Journal of Fluid Science And Technology. Volume 3 No. 3, pp 420-429
- Rosidin, Nanang. 2007. *Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius dan Windside Untuk Penerangan Jalan Tol*. Bandung: ITB
- 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
- Hariyotejo Pujowidodo, Jefri Helian, Gatot Eka Pramono, Abrar Ridwan. *Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen* Departemen Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Pudji Irasari, Novrita Idayanti, 2007. *Aplikasi Magnet Permanen BaFe12O19 dan NdFeB Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
- Nanang Sudrajat, Tony Kristianto, 2013. *Fabrikasi Magnet Permanen Bonded NdFeB untuk Prototipe Generator*. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)
- A.P. Ferreira, A.M. SILVA, A.F. Costa, 2007. *Prototype of an Axial Flux Permanent Magnet Generator For Wind Energy Systems Application*. Polytechnic Institute of Braganca.
- Hasyim Asy'ari, Jatmiko, Aziz Ardiyatmoko, 2012. *Desain Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau Bayu*
- Arif Nurhadi, *Perancangan Generator Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis FE Fluks Aksial*. Skripsi Universitas Diponegoro Magnet Grade. Tersedia: www.ndfeb-info.com/neodymium_grades.aspx (diakses tanggal 24 November 2014)