

RANCANG BANGUN GENERATOR TURBIN ANGIN TIPE AKSIAL KAPASITAS 200 W

Agus Nurtjahjomulyo
Peneliti Bidang Konversi Energi Dirgantara, LAPAN

ABSTRACT

Generator is the component of wind turbine that convert mechanical to electrical energy and has a specific character which operates at low speed rotation (< 1000 rpm). Engineering design of wind turbine generator capacity 200 W discussed in this paper repreaents the results of fabrication and testing of the generator as a model. The experiment showed that the generator can be producing power 200 W at rotation 450 rpm with torque about 8.5 Nm.

ABSTRAK

Generator turbin angin merupakan salah satu bagian/komponen dari turbin angin yang berfungsi mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik dan memiliki karakter yang spesifik dibandingkan dengan generator lainnya, yakni beroperasi pada putaran rendah (< 1000 rpm). Rancang bangun generator turbin angin kapasitas 200 W yang dibahas dalam tulisan ini menyajikan hasil perancangan, pembuatan dan pengujian model generator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa generator ini mampu menghasilkan daya 200 W pada putaran 450 rpm dengan torsi sebesar 8,5 Nm.

Kata kunci: *Generator, Turbin angin*

1 PENDAHULUAN

Turbin angin adalah sebuah sistem yang mampu mengkonversi energi angin secara langsung menjadi energi listrik. Salah satu bagian/komponen turbin angin yang berfungsi mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik adalah generator. Generator turbin angin memiliki karakter yang spesifik dibandingkan dengan generator lainnya, yakni mampu menghasilkan energi listrik pada putaran yang rendah (di bawah 1000 rpm). Generator yang memiliki karakter semacam itu masih jarang dijumpai di pasaran, dan walaupun ada, harganya cukup mahal dan harus menunggu dalam jangka waktu tertentu untuk mendapatkannya. Tingginya harga generator mengakibatkan tingginya harga jual turbin angin ke Masyarakat, karena hampir 30 - 40 % dari harga total turbin angin berada di generator. Masalah ini tentunya harus segera diatasi agar harga turbin angin terjangkau oleh masyarakat.

Rancang bangun generator turbin angin kapasitas 200 W dimaksudkan sbagai langkah awal untuk memutuskan ketergantungan pada produk impor. Bahan/komponen pembuatan generator putaran rendah, hampir 90 % rnenggunakan produk yang tersedia di pasaran dalam negeri. Sehingga diharapkan produk turbin angin yang dihasilkan harganya terjangkau oleh daya beli masyarakat, terutama di daerah pedesaan dan pesisir pantai yang akan menjadi sasaran implementasi- Untuk melengkapi generator agar menjadi sebuah turbin angin, pada tahap berikutnya akan dirancang model rotor (sudu) dan sistem orientasi yang sesuai dengan karakteristik generator agar menghasilkan daya keluaran yang optimal.

Generator turbin angin kapasitas 200 W ini merupakan hasil pengembangan dari model generator yang diproduksi oleh sebuah perusahaan di Inggris bernama Marlec. Generator ini menggunakan magnet permanen pada

rotornya, sehingga dapat secara langsung menghasilkan energi listrik ketika berputar. Posisi rotor dan statornya tegak lurus terhadap porosnya sehingga dinamakan generator tipe aksial. Generator kapasitas 200 W dirancang menggunakan bahan magnet permanen jenis Neodymium Ferit Boron (NdFeB), sedangkan stator dirancang menggunakan kawat tembaga terisolasi (kawat email) yang dibungkus dengan bahan komposit. Rumah generator terbuat dari bahan komposit yang menyatu dengan sudu rotor.

Kegiatan rancang bangun generator diawali dengan mengumpulkan sejumlah data dan informasi yang berkaitan dengan generator putaran rendah, dilanjutkan dengan perhitungan, pembuatan gambar teknis, pembuatan cetakan dan model generator. Kegiatan ini diakhiri dengan pengujian model generator di laboratorium Uji SKEA.

2 DASAR TEORI

Prinsip kerja generator dalam mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik adalah berdasarkan hukum Faraday. Hasil penelitian Faraday menunjukkan bahwa bila seutas kawat atau kumparan konduktor berada dalam medan magnet yang berubah terhadap waktu, maka pada ujung-ujung kawat atau kumparan konduktor tersebut akan timbul tegangan atau gaya gerak listrik (ggl) induksi. Demikian pula halnya jika kawat atau kumparan konduktor tersebut digerak-gerakkan dalam medan magnet yang tetap. Besarnya tegangan atau ggl induksi yang timbul pada kumparan konduktor sebanding dengan besarnya perubahan fluks magnet yang berubah terhadap waktu, dan dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\xi = \frac{d\Phi}{dt} \quad (2-1)$$

dengan

ξ = tegangan induksi (volt)
 Φ = fluks magnet (webs/m²)

Fluks magnet didefinisikan sebagai banyaknya garis-garis gaya magnet yang memiliki kerapatan fluks magnet B menembus suatu permukaan dengan luas sebesar A , persamaannya dituliskan dalam bentuk:

$$d\Phi = B dA \quad (2-2)$$

sehingga persamaan (2-1) dapat ditulis :

$$\xi = \frac{BdA}{dt} \quad (2-3)$$

Besarnya ggl yang timbul akibat gerakan ini dapat dihitung dengan menggunakan beberapa metode. Metode pertama adalah dengan melihat usaha W yang diperlukan muatan q untuk bergerak dari ujung satu ke ujung lain sepanjang l pada batang konduktor di bawah pengaruh medan listrik akibat gaya yang diterima elektron. Usaha yang dilakukan muatan q adalah sebesar.

$$W = \text{gaya} \times \text{jarak} = B q v \times l \quad (2-4)$$

Karena Ggl ξ sama dengan usaha yang dilakukan pada setiap muatan (W/q), maka besarnya ggl

$$\xi = B l v. \quad (2-5)$$

Metode lain yang juga digunakan untuk menentukan besarnya ggl yakni dengan menganggap batang konduktor bergerak sejauh $dx = v dt$ dalam medan magnet, maka luasan fluks magnet yang berubah akibat gerakan tersebut adalah sebesar $dA = l v dt$. Masukkan hasil ini kedalam persamaan (2-3), ggl induksi sama dengan perubahan/fluks persatuan waktu, maka diperoleh

$$\xi = B l v \frac{dt}{dt} = B l v \quad (2-6)$$

Pada generator, posisi kumparan konduktor dan medan magnet B tidak selalu tegak lurus, tetapi membentuk sudut sebesar θ . Kecepatan v_i tegak lurus kumparan terhadap medan magnet akan membentuk sudut sebesar θ . Pada saat posisi kumparan tegak lurus dengan medan magnet, ggl-nya akan maksimum, sedangkan pada saat sejajar dengan medan magnet ggl-nya akan minimum, sehingga kecepatannya dapat dituliskan

$$v = v_l \sin \theta. \quad (2-7)$$

Besarnya $v_l = \omega r$ dan $\theta = \omega t$, maka ggl induksi dapat dituliskan menjadi :

$$\xi = Bl\omega r \sin \omega t$$

$$\xi = BAf \sin \omega t \quad (2-8)$$

dengan

$$A = \text{luas kumparan (m}^2\text{)}$$

$$\omega = 2\pi f = \text{frekuensi putaran generator (rpm)}$$

Untuk memperbesar ggl yang dihasilkan dapat dilakukan dengan cara menambah jumlah lilitan atau kumparan dan jumlah kutub magnet. Jika kumparan konduktor terdiri dari N lilitan dan jumlah pasang kutubnya adalah P , maka besarnya ggl dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\xi = N P B A f \sin \omega t \quad (2-9)$$

Pada pemakaian praktis, banyak faktor yang mempengaruhi kinerja sebuah generator. Faktor-faktor tersebut antara lain : faktor bentuk, faktor lilitan, faktor celah udara dan sebagainya. Untuk menentukan besarnya tegangan keluaran generator, beberapa pendekatan dilakukan, persamaan berikut dapat digunakan sebagai salah satu rumus pendekatan dalam pemakaian praktis.

$$E = 4 f_b f_w f N \Phi \quad (2-10)$$

dengan

f_b :faktor bentuk

f_w :faktor lilitan

f :frekuensi listrik (Hz)

Φ :fluks magnet (webs/m²)

N :jumlah lilitan

Besarnya torsi yang dihasilkan pada kecepatan atau daya tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

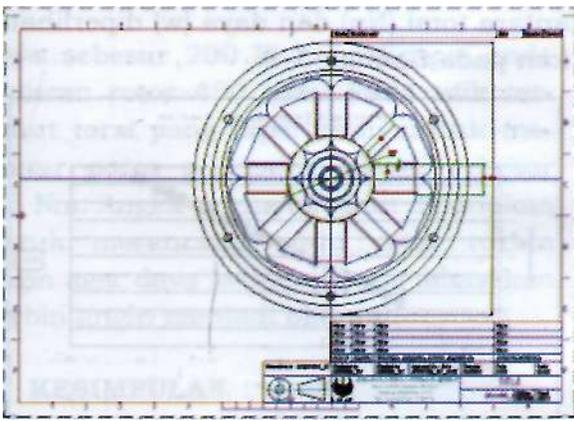
$$T = \frac{P}{\omega} \quad (2-11)$$

lurus terhadap sumbu putar (aksial). Rotor terdiri atas dua bilah yang berbentuk piringan, masing-masing bilah berisi 4 pasang magnet permanen jenis NdFeB. Stator bentuknya bulat pipih yang berisi kumparan kawat tembaga terisolasi berbentuk segitiga sama kaki. Stator ditempatkan menyatu dengan sumbu putar (poros). Ketika rotor dan stator disatukan, posisi stator diapit oleh kedua bilah rotor. Antara rotor dan sumbu putar dipasang *bearing* yang berfungsi sebagai bantalan putar. Gambar 3-1 dan 3-2 memperlihatkan gambar teknis model generator 200 W.

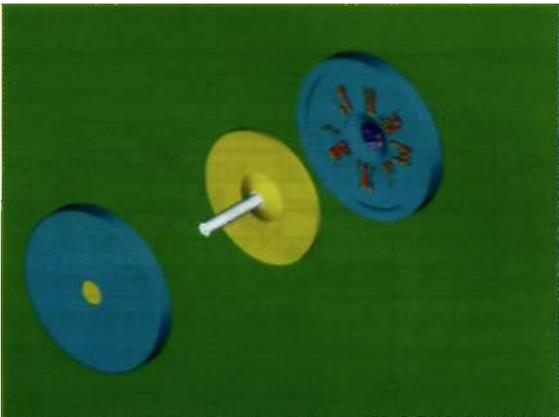
3.2 Spesifikasi Teknis

Tabel3-1: SPESIFIKASI TEKNIS GENERATOR 200 W

No.	Nama Komponen	Keterangan
1.	Rotor <ul style="list-style-type: none"> •Jenis magnet •Jumlah magnet •Ukuran magnet 	NdFeB 8 pasang 30 x 40 mm
2.	Stator <ul style="list-style-type: none"> •Jenis kawat •Jumlah lilitan •Jumlah kumparan •Diameter kawat •Diameter stator 	Tembaga email 2 x 52 8 buah 0,8 mm 220 mm
3.	Poros <ul style="list-style-type: none"> •Jenis •Diameter •Bahan 	Besi poros berlubang 25 mm Stainless Steel
4.	Rumah Generator <ul style="list-style-type: none"> •Bahan •Diameter 	Fiber glass (polyester) 270 mm
5.	Output <ul style="list-style-type: none"> •Tegangan •Arus •Daya •Putaran •Fasa •Torsi 	24 VDC 9 A 200 W 450 - 500 rpm 1 fasa 8,26 Nm



Gambar 3-1: Salah satu bilah generator



Gambar 3-2: Model rancangan generator 200 W

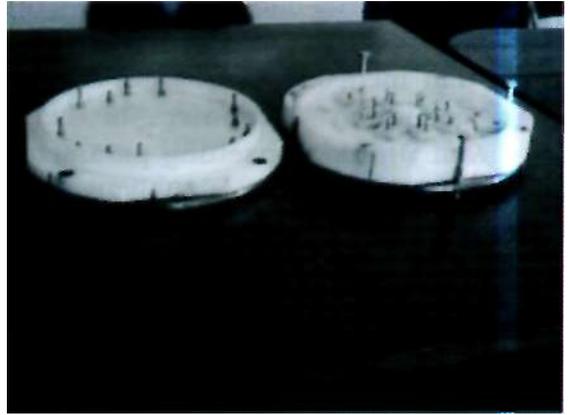
PEMBUATAN DAN PENGUJIAN GENERATOR

4.1 Pembuatan Model

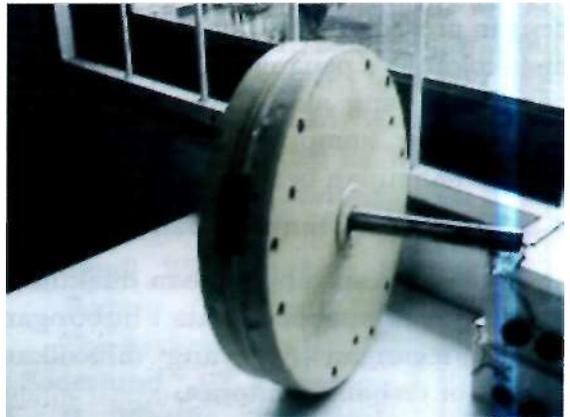
Setelah memperoleh data-data spesifik komponen generator dan membuat gambar teknisnya, langkah berikutnya adalah membuat cetakan rotor dan stator sesuai dengan model rancangan generator tersebut. Beberapa bagian perlu dimodifikasi untuk mempermudah proses pengerjaan. Cetakan dibuat dengan menggunakan bahan dari *fiber glass* dan *nylon* yang dibentuk sesuai dengan ukuran rotor dan stator.

Setelah cetakan rotor dan stator selesai dibuat, kegiatan berikutnya adalah mencetak rotor dan stator generator dengan menggunakan bahan dari *fiber glass*. Sebelum dicor dengan bahan *fiberglass*, posisi kumparan konduktor pada stator dan magnet permanen pada rotor diatur dan diset dengan menggunakan mal yang telah disiapkan.

Gambar 4-1 dan 4-2. memperlihatkan bentuk cetakan dan model generator.



Gambar 4-1: Model cetakan generator



Gambar 4-2: Model generator 200 W

4.2 Peralatan Uji

Pengujian generator dilakukan untuk mendapatkan data karakteristik listrik yang dihasilkan generator berupa tegangan, arus, daya dan torsi. Jenis peralatan uji dan prosedur pengujian dapat dijelaskan sebagai berikut.

Peralatan uji yang digunakan meliputi :

- *Simulator* berupa motor listrik kapasitas 10 kW yang porosnya dihubungkan dengan poros generator melalui sabuk. Putaran simulator berkisar antara 130-830 rpm.
- *Data Logger* yang berfungsi sebagai alat penerima data yang dikirim oleh sensor alat ukur. Melalui transduser sinyal yang dikirim oleh sensor alat dikonversi ke bentuk data digital, sehingga bisa diterima oleh komputer. Peralatan ini terdiri dari 20 channel

yang dapat digunakan untuk mengukur: tegangan AC, tegangan DC, frekuensi, temperatur, arus dan putaran.

- *Komputer* yang berfungsi untuk merekam dan mengolah data yang dihasilkan generator. Komputer ini berisi program untuk mensetting parameter, mengedit dan mengoperasikan data logger
- *Torsimeter* yang berfungsi untuk mengukur besarnya torsi yang dihasilkan generator.

4.3 Pengujian

4.3.1 Setting peralatan uji

Peralatan uji disetting sesuai dengan prosedur yang ditetapkan sebelum melakukan pengujian. Parameter-parameter yang akan diuji ditampilkan dalam layar komputer agar termonitor selama pengujian berlangsung

4.3.2 Pengujian tanpa beban

Pengujian tanpa beban dilakukan untuk mendapatkan data hubungan antara tegangan AC yang dihasilkan generator terhadap putaran.

4.3.3 Pengujian dengan beban

Pengujian dengan beban dilakukan untuk mengetahui karakteristik tegangan AC, tegangan DC, arus DC dan daya yang dihasilkan generator terhadap putaran. Beban yang digunakan adalah baterai 40 Ah 24 V dan lampu 300 W/36 V.

4.3.4 Pengujian torsi

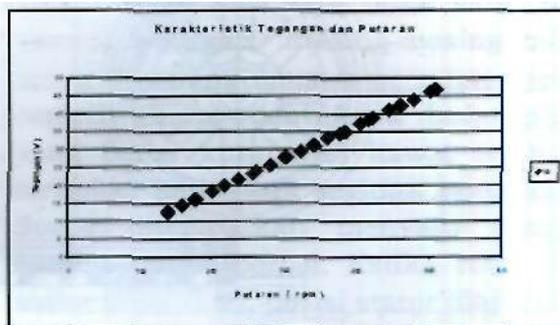
Pengujian torsi dilakukan untuk mendapatkan data besarnya torsi yang diperlukan generator pada putaran tertentu.

5 HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

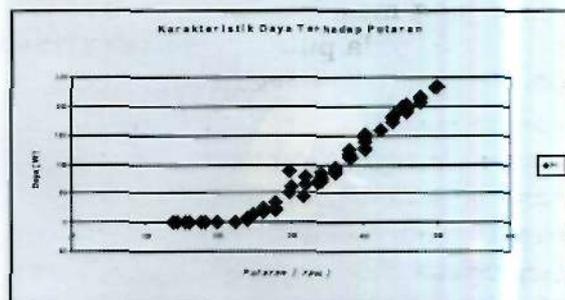
5.1 Data Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan tanpa beban dan dengan beban yang diperlihatkan pada Gambar 5-1 dan 5-2 menunjukkan hubungan antara tegangan dan daya terhadap putaran generator (rpm) yang dalam hal ini diambil dari 100 rpm-500 rpm. Pengujian torsi yaitu hubungan

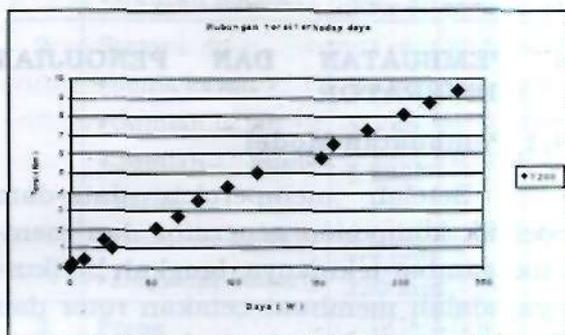
antara torsi (Nm) dan daya (w) diperlihatkan pada Gambar 5-3.



Gambar 5-1: Karakteristik tegangan terhadap putaran



Gambar 5-2: Karakteristik daya terhadap putaran



Gambar 5-3: Karakteristik torsi terhadap daya

5.2 Analisa Hasil Pengujian

Hasil pengujian tanpa beban memperlihatkan bahwa besarnya tegangan keluaran terbuka yang dihasilkan berbanding lurus dengan besarnya kenaikan putaran. Hal ini sesuai dengan teori dan hasil perhitungan yang telah dilakukan. Pengujian dengan beban dimaksudkan untuk mengetahui besarnya daya yang dihasilkan generator. Hasil pengujian tersebut memperlihatkan bahwa

daya sebesar 200 W bisa dicapai pada putaran rotor 450 rpm. Pada titik tersebut torsi yang diperlukan untuk memutar poros generator adalah sebesar 8,5 Nm. Angka-angka tersebut diperlukan untuk merancang sudu rotor turbin angin agar daya keluaran yang dihasilkan turbin angin menjadi optimal.

6 KESIMPULAN

- Hasil rancang bangun generator kapasitas 200 W yang telah dilakukan menunjukkan bahwa generator turbin angin yang memiliki karakter spesifik beroperasi pada putaran rendah dapat dibuat dengan menggunakan bahan/komponen yang tersedia di dalam negeri. Dengan demikian diharapkan biaya produksi/pengadaan turbin angin dapat lebih ditekan agar harganya terjangkau oleh daya beli masyarakat di Indonesia.
- Rancangan ini masih harus lebih disempurnakan, karena masih adanya beberapa kelemahan yang terjadi, terutama dalam struktur dan komposisi bahan komposit yang digunakan.
- Rancang bangun generator dengan kapasitas yang lebih besar akan dilakukan pada tahap berikutnya.

DAFTAR RUJUKAN

Abdul Kadir, 1999. *Mesin Sinkron*, Penerbit Djambatan, Jakarta.

Akio Toba, Hiroshi Oshsawa, Tukasa Miora, Thomas A. Lipo, *Experimental Evaluations of the dual Excitation Permanent Magnet Vernier Machine*, Tokyo Japan.

Djoko Achyanto, 1997. *Mesin-mesin Listrik*, Penerbit Erlangga.

Douglas C. Giancoli, 1999. *Physics*, Fifth Edition, Alih Bahasa: Yuhilza Hanum, Irwan Arifin, Penerbit Erlangga.

E. Mulyadi, C.P. Butterfield, Yih Huei Wan, 1998. *Axial Flux, Modular, Permanent Magnet Generator with a Toroidal Winding for Wind Turbine Applications*, NREL, Colorado.

F. Suryatmo, 1984. *Teknik Listrik Motor Ss Generator Arus Bolak Batik*, Penerbit Alumni, Bandung.

H. M. Rusli Harahap, 1996. *Mesin Listrik: Mesin Arus Searah*, Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

H.J.Hengeveld, E. H. Lysen, L. M. M. Paulissen, 1981. *Matching of Wind Rotor To Low Power Electrical Generator For A Given Wind Regime*, Steering Committee for Wind Energy in Developing Countries.

J.A. de Jongh, R.P.P. Rijs, J.T.G. Pierik, *Small Wind Turbine Systems For Battery Charging*, ECN/ARRAKIS The Netherlands.

L. Soderlund, J.T. Eriksson, J. Salonen, H. Vihrilla, R. Pirrela, 1996. *A Permanent Magnet Generator for Wind Power Applications*, Tampere University of Technology.

M.R Dubois, H. Polinder, J.A. Ferreira *Axial and Radial Flux Permanent Magnet Generator For Direct - Drive Wind Turbine*, Delft University of Technology The Netherlands.

Sang Young Jung, Ho Yong Choi, Hyun Kyo Jung, *Performance Evaluation of Permanent Magnet Linear Generator For Charging the Battery of Mobile Apparatus*, School of Electrical Engineering Seoul National University, Seoul, Korea.