

PERANCANGAN MINI GENERATOR TURBIN ANGIN 200 W UNTUK ENERGI ANGIN KECEPATAN RENDAH

Wahyudi Budi Pramono^{1*}, Warindi², Achmad Hidayat¹

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang km 14,5 Sleman Yogyakarta

² Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Mataram

*Email: wahyudi_budi_p@uii.ac.id

Abstrak

Energi listrik adalah salah satu energi yang dihasilkan dari hasil konversi berbagai jenis energi primer, salah satunya adalah energi angin. Potensi energi angin selalu tersedia walaupun kecepatannya rendah. Kecepatan angin yang rendah tersebut harus dikonversikan menjadi energi listrik dengan generator yang sesuai dengan karakteristik kecepatannya. Penelitian ini akan merancang dan membuat sebuah mini generator dengan daya keluaran 200 W yang mampu bekerja pada karakteristik angin kecepatan rendah. Mini generator ini berjenis radial fluks magnet permanen dengan menggunakan magnet Neodymium N50, dirancang pada kecepatan 500 rpm dengan daya yang dihasilkan sebesar 200 Watt pada tegangan 50 V dan frekuensi 50 Hz. Hasil pengujian mini generator ini saat berbeban pada kecepatan 495 rpm dihasilkan nilai tegangan antar saluran sebesar 48,86 V, arus saluran 2,09 A, daya 177,56 VA dengan faktor daya 0,87 lagging atau 154,57 watt dan efisiensi 85,97%. Generator dapat bekerja dengan baik pada karakteristik angin yang berubah-ubah sehingga dapat dimanfaatkan sebagai salah satu komponen pembangkit listrik tenaga bayu (angin)

Kata kunci: generator, rancang bangun, tenaga angin

1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah energi yang dapat dihasilkan dari konversi berbagai jenis energi, salah satunya adalah energi angin. Untuk menghasilkan hasil konversi energi angin menjadi energi listrik dibutuhkan peralatan utama yaitu generator yang mampu mengkonversi energi mekanis menjadi energi listrik. Rata-rata kecepatan angin di wilayah Indonesia tergolong berkecepatan rendah, hanya daerah-daerah tertentu saja yang memiliki kecepatan angin yang sedang sampai tinggi, seperti di daerah pantai atau di atas bukit.

Kecepatan angin yang rendah bukan berarti potensi energi yang terkandung di dalamnya tidak dapat dimanfaatkan atau dikonversikan menjadi energi listrik, tetap dapat dimanfaatkan tetapi diperlukan generator yang sesuai dengan karakteristik kecepatan angin tersebut.

Pembangkit energi listrik tenaga angin dengan kecepatan rendah secara garis besar mempunyai fungsi dan cara kerja yang sama dengan pembangkit energi listrik tenaga angin lainnya. Hanya saja perbedaannya terletak pada jenis dan desain turbin angin untuk kecepatan rendah. Maka dari itu untuk memaksimalkan energi listrik yang dihasilkan dilakukan modifikasi beberapa peralatan seperti pada turbin, transmisi, generator, dan peralatan penunjang lainnya (Marsudi, 2005)

Pembuatan pembangkit energi angin sebenarnya sangat sederhana dan dapat dilakukan secara mandiri, terutama untuk daya yang kecil (Jati, 2012). Dalam makalah ini akan disajikan langkah-langkah perancangan dan pembuatan generator mini daya 200 W untuk keperluan pembangkitan energi listrik dari energi angin dalam kecepatan rendah.

2. METODOLOGI

Objek penelitian ini adalah generator listrik magnet permanen dengan kemampuan menghasilkan daya 200 watt pada kecepatan putaran rendah. Sistem kerja dari generator radial ini yaitu rotor dengan magnet neodymium berputar sehingga medan magnet akan memotong lilitan diam pada stator sehingga menghasilkan gaya gerak listrik.

Perancangan utama dari generator magnet permanen ini terdapat dua bagian yang perlu di desain secara baik dan benar yaitu bagian rotor dan stator. Pada bagian rotor dirancang dengan magnet permanen neodymium N50 dimana bagian ini akan diputar dengan penggerak mula

sehingga medan magnet akan memotong lilitan-lilitan kawat yang terpasang pada bagian stator sehingga generator akan menghasilkan listrik (Budiman,2012).

2.1 Perhitungan Generator

Perancangan perhitungan desain dan dimensi part dari generator magnet permanen terlihat bagian dari tampak atas, tampak bawah dan tampak samping dari generator listrik. Perancangan generator listrik ini meliputi perancangan dimensi keseluruhan baik dimensi dari rotor dan stator.

Beberapa hal terkait perhitungan perancangan generator magnet permanen seperti konfigurasi kecepatan putaran rotor generator yang dimodelkan dengan kecepatan rendah sebesar 500 RPM terhadap frekuensi yang dibangkitkan sebesar 50 Hertz dan pembangkitan tegangan yang ditentukan dari besarnya jumlah lilitan pada tiap-tiap kumparan yang terpasang pada stator sehingga terhitung pembangkitan GGL dari generator yang menggunakan magnet Neodymium N50 adalah sebagai berikut (Antony,2013).

1. Perhitungan jumlah kutub (p) dan jumlah kumparan (N_{ph})

Penentuan jumlah kutub (p) dari generator dapat diturunkan dari persamaan 1

$$n = \frac{120 \times f}{p} \quad (1)$$

dengan

f = frekuensi tegangan generator (Hz)

n = kecepatan putaran (rpm)

p = jumlah kutub belitan stator

Untuk kecepatan generator 500 rpm dan frekuensi tegangan 50 Hz maka jumlah kutub yang diperlukan adalah 12 kutub. Sedangkan jumlah kumparan stator (N_s) yang dibutuhkan untuk statornya adalah

$$N_s = p \times \frac{N_{ph}}{2} \quad (2)$$

dengan

N_s = jumlah kumparan stator

N_{ph} = jumlah fase (3 fase)

Berdasar persamaan 2 maka jumlah kumparan stator (N_s) yang dibutuhkan adalah 18 buah kumparan.

2. Perhitungan tegangan

Tegangan antar saluran yang akan dibangkitkan oleh generator adalah

$$E = 2\pi \times f \times N \times \phi \times \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (3)$$

dengan

Frekuensi (f) = 50 Hz

Jumlah lilitan per kumparan (N) = 50 lilitan

Kerapatan fluks magnetik dari magnet neodymium N50 = 1,425 T

Luas permukaan kutub magnet = 0,0004 m²

Maka tegangan antar saluran yang dapat dibangkitkan oleh belitan stator sebesar 53,694 volt

3. Penentuan ukuran kawat lilitan stator

Spesifikasi daya yang direncanakan sebesar 200 watt, tegangan 53,694 V, faktor daya 1, maka arus yang akan mengalir sebesar

$$I_{sal} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{sal} \times \cos\phi} \quad (4)$$

I_{sal} sebesar 2,15 A

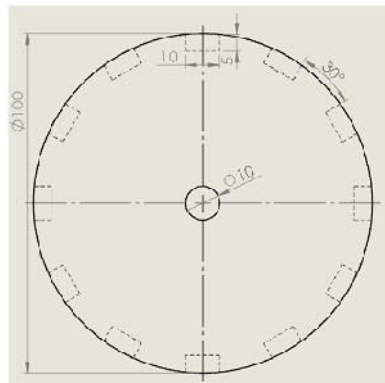
Alasan keamanan maka ukuran penghantar yang dipilih adalah $0,75 \text{ mm}^2$, dengan KHA sampai 12 A

2.2 Perancangan Mekanik

Perancangan ini menggunakan software Solidworks untuk permodelan nyata tiga dimensi dengan berdasarkan perhitungan dari konfigurasi – konfigurasi yang telah diperoleh (Irasari, 2010). Berikut ini akan ditampilkan perancangan generator dari bagian stator, rotor dan bentuk keseluruhan dari mini generator.

1. Rotor

Bagian rotor akan diperlihatkan desain tampak samping dan keseluruhan dimensi rotor. Gambar 1 merupakan gambar sketsa dimensi dari diameter luar rotor adalah 100 mm dan jarak antar kutub magnet sebesar 30 derajat. Berdasarkan perhitungan jumlah kutub dalam rotor sebanyak 12 buah. Gambar 2 merupakan gambar rotor berupa kayu yang sudah tertempel magnet N50.



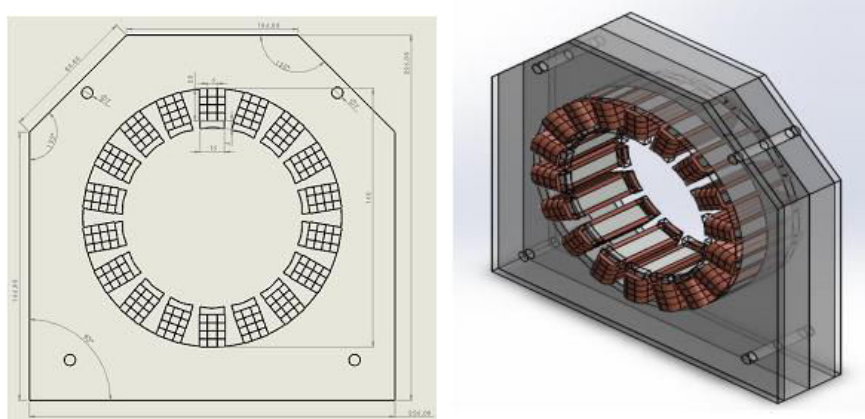
Gambar 1. Sketsa 2 dimensi rotor



Gambar 2. Rotor dengan magnet Neodymium N50

2. Stator

Gambar 3 adalah sketsa bagian stator berupa konfigurasi dari pitch tempat lilitan kumparan diletakkan. Jumlah pitch sebanyak 18 buah untuk tiga fase. Material yang digunakan adalah acrylic dengan teknik pemotongan secara laser cutting. Gambar 4 merupakan gambar stator yang sudah dililitkan kumparan pada setiap pitch-nya.

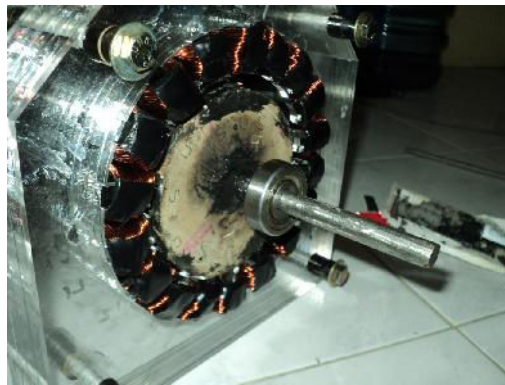


Gambar 3. Sketsa 2 dimensi dan 3 dimensi dari stator

Dari perhitungan dan rancangan mekanik maka dapat ditampilkan spesifikasi rancangan generator 3 fase seperti tabel 1. Kecepatan putaran nominal yang direncanakan dari generator tersebut sebesar 500 rpm.

Tabel 1. Spesifikasi rancangan generator

Parameter	Lambang	Nilai	Satuan
Kerapatan Fluks magnet	B	1,425	T
Dimensi Magnet	p	40	mm
	l	10	mm
	t	5	mm
Jumlah Kutub Magnet	Poles	12	Pole
Celah Udara		5	mm
Jumlah Kumparan	N_s	18	buah
Jumlah Fasa	N_{ph}	3	fasa
Jumlah Lilitan	N	50	lilit
Luas Penampang Kawat	A	0,75	mm ²
Kecepatan Putar Generator	n	500	rpm
Tegangan antar saluran	V	53,694	volt
Arus	I	2,15	A
Frekuensi tegangan	f	50	Hz
Daya	P	200	watt
Dimensi Generator	p	110	mm
	l	226,08	Mm
	t	226,08	Mm
Massa Generator	M	6	Kg



Gambar 4. Stator dan rotor yang sudah terpasang

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian generator dilakukan dengan mensimulasikan kecepatan angin menggunakan motor AC satu fase yang dikendalikan kecepatannya. Putaran rotor generator divariasikan mulai dari 100 rpm sampai 700 rpm. Pengujian generator dilakukan saat tanpa beban dengan data pengukuran terhadap nilai tegangan antar saluran, tegangan saluran ke netral, rugi rugi tanpa beban dan frekuensi tegangannya. Sedangkan pengujian saat berbeban akan diambil data pengukuran terhadap nilai tegangan antar saluran, tegangan saluran ke netral, arus saluran, faktor daya dan frekuensi tegangannya. Beban berupa lampu pijar dengan daya 150 W untuk masing masing fase dan dikonfigurasi dalam bentuk bintang dengan kawat netral. Hasil pengujiannya sebagai berikut:

3.1. Pengujian Tanpa Beban

Hasil pengukuran tegangan dan frekuensi saat tanpa beban. Tabel 2 menyajikan hasil pengujian generator tanpa beban.

Tabel 2. Tegangan antar saluran dan tegangan saluran ke netral

Putaran (RPM)	R-S (volt)	S-T (volt)	T-R (volt)	R-N (volt)	S-N (volt)	T-N (volt)	Frek (Hz)
0	0	0	0	0	0	0	0
100	10.55	10.49	10.21	5.80	5.60	5.76	9.73
200	20.19	20.67	20.26	11.37	11.41	11.65	19.8
300	33.57	33.49	33.40	19.10	19.01	19.06	31.2
400	44.13	44.70	44.40	25.21	25.36	25.54	39.2
500	50.35	50.33	50.32	28.80	28.79	28.79	50.68
600	66.71	66.73	66.71	38.26	38.26	38.27	59.8
700	77.83	77.83	77.80	44.69	44.67	44.69	70.11

Berdasarkan hasil pengujian tanpa beban diperoleh hubungan bahwa tegangan antar saluran sama dengan akar tiga kali tegangan saluran ke netral. Nilai frekuensi dari tegangan sangat tergantung dari besarnya putaran dari rotor, semakin besar putaran rotor maka semakin tinggi pula nilai frekuensinya. Nilai tegangan antar saluran dan frekuensi mendekati dari hasil rancangannya, meskipun terdapat selisih yang tidak terlalu signifikan.

3.2. Pengujian Berbeban

Tabel 3 memperlihatkan bahwa nilai tegangan saat berbeban baik tegangan antar saluran maupun tegangan saluran ke netral mengalami penurunan nilai atau terjadi drop tegangan. Besarnya regulasi tegangan yang disebabkan oleh pembebanan untuk kecepatan 495 rpm sebesar 1,61 %. Kecepatan putaran rotor juga mengalami penurunan seiring dengan besarnya beban yang terhubung dengan generator. Besarnya penurunan kecepatan untuk rating 500 rpm sebesar 1 %.

Tabel 3. Tegangan antar saluran dan tegangan saluran ke netral

Putaran (RPM)	R-S (volt)	S-T (volt)	T-R (volt)	R-N (volt)	S-N (volt)	T-N (volt)
0	0	0	0	0	0	0
92.3	6.14	6.15	6.16	3.55	3.56	3.55
183.4	16.89	16.89	16.88	9.76	9.76	9.76
293	28.75	28.73	28.7	16.62	16.59	16.61
392	39.43	39.45	39.42	22.79	22.79	22.80
495	48.98	49.23	48.86	28.31	28.24	28.46
594	60.34	60.54	60.4	34.88	34.91	34.99
696	69.48	69.57	69.45	40.16	40.14	40.21

Tabel 4 menyajikan hasil pengujian tentang daya total untuk tiga fase diperoleh sebesar 154,57 W. Daya tersebut adalah daya yang dapat ditarik dari generator pada kecepatan 500 rpm. Nilai daya per saluran mendekati seimbang. Nilai faktor daya per fase sama besarnya yaitu 0,87 lagging, sehingga daya per fase dapat diidentifikasi jenisnya. Daya reaktif total sebesar 87,4 VAR. Daya S dari generator sebesar 177,56 VA

Tabel 4. Arus saluran dan daya

Putaran (RPM)	I _R (A)	I _S (A)	I _T (A)	P _R (watt)	P _S (watt)	P _T (watt)	P _{TOTAL} (watt)	Pf
0	0	0	0	0	0	0	0	0
92.3	0.53	0.53	0.53	1.60	1.60	1.60	4.80	0.85
183.4	0.89	0.89	0.89	7.38	7.38	7.38	22.15	0.85
293	1.31	1.31	1.31	18.72	18.69	18.71	56.13	0.86
392	1.63	1.63	1.63	32.32	32.32	32.33	96.97	0.86
495	2.09	2.09	2.09	51.48	51.35	51.75	154.57	0.87
594	2.49	2.49	2.49	75.56	75.63	75.80	226.98	0.87
696	2.51	2.51	2.51	87.70	87.65	87.81	263.16	0.87

3.3. Pengujian Efisiensi

Pengujian efisiensi dilakukan dengan mencari rugi rugi generator tanpa beban dan rugi rugi tembaga saat generator berbeban. Rugi rugi tanpa beban terdiri dari rugi rugi histerisis, rugi rugi arus eddy, rugi rugi gesekan dan angin serta *stray power losses*. Karena kesulitan dalam memilah masing masing jenis kerugian tersebut maka rugi rugi tanpa beban didapatkan secara total yang sudah mewakili dari jumlah semua jenis rugi rugi di atas. Sedangkan rugi rugi tembaga diperoleh dengan mengukur besarnya arus beban dikuadratkan dan dikalikan dengan tahanan masing masing belitan di statornya. Tahanan yang diperoleh dari hasil pengukuran adalah tahanan dc, yang seharusnya adalah tahanan efektif dari belitan stator saat dibebani dan pada suhu saat arus mengalir, karena terlalu sulit mengukur besarnya tahanan efektif tersebut maka dalam perhitungan digunakan tahanan dc, meskipun hasilnya tidak jauh berbeda.

Besarnya efisiensi dihitung berdasarkan persamaan 5.

$$\text{efisiensi} = \frac{\text{daya output}}{\text{daya output} + \text{rugi no load} + \text{rugi tembaga}} \times 100\% \quad (5)$$

Hasil pengukuran diperoleh besarnya rugi rugi daya saat tanpa beban pada kecepatan 500 rpm sebesar 1,64 watt, tahanan belitan stator (R_{dc}) sebesar 1,8 ohm per fase sehingga untuk masing masing putaran rotor diperoleh efisiensi seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Rugi rugi cu dan efisiensi

Putaran (RPM)	I^2R_{dc} Total	P_{TOTAL} (watt)	Eff (%)
0	0	0	0
92.3	1,52	4.80	97
183.4	4,28	22.15	96
293	9,27	56.13	93.4
392	14,35	96.97	90.6
495	23,59	154.57	85.9
594	33.48	226.98	81.4
696	34.02	263.16	81.2

Nilai efisiensi semakin menurun seiring dengan kenaikan beban. Hal tersebut disebabkan oleh besarnya arus beban sehingga mengakibatkan kenaikan rugi rugi tembaga (cu). Secara keseluruhan hasil pengujian generator dapat disajikan dalam tabel 6. Hasil pengujian dengan perancangan awal terjadi sedikit perbedaan, terutama untuk nilai daya generator dan tegangannya. Daya generator direncanakan 200 VA, tetapi hasil pengujian memberikan hasil 177,56 VA

Tabel 6. Spesifikasi hasil pengujian generator

Parameter	Lambang	Nilai	Satuan
Daya	P total	154,57	Watt
	S total	177,56	VA
Putaran Generator	n	495	Rpm
Tegangan antar saluran Tanpa Beban	V (R-S)	50,35	Volt
	V (S-T)	50,33	Volt
	V (T-R)	50,32	Volt
Tegangan saluran ke netral Tanpa Beban	V (R-N)	28,80	Volt
	V (S-N)	28,79	Volt
	V (T-N)	28,79	Volt
Tegangan antar saluran Berbeban	V (R-S)	48,98	Volt
	V (S-T)	49,23	Volt
	V (T-R)	48,86	Volt
Tegangan saluran ke netral Berbeban	V (R-N)	28,31	Volt
	V (S-N)	28,24	Volt
	V (T-N)	28,46	Volt
Arus	I	2,09	A
Cos Phi	pf	0,87	Lag
Frekuensi no load	f	50,68	Hertz
Tahanan Belitan Stator	R_{dc}	1,8	Ohm
Rugi-Rugi Daya Generator (cu)	P_{cu}	23,59	Watt
Rugi rugi generator tanpa beban	P_{noload}	1,64	Watt
Effisiensi	Eff	85,97	%

4. KESIMPULAN

Menurut perhitungan secara teoritis apabila generator dirancang untuk bekerja pada frekuensi 50 hertz dengan generator di konfigurasi pada sistem 3 fasa pada kecepatan putar 500 rpm didapatkan tegangan perancangan sebesar 53,694 Volt, sedangkan pada hasil pengukuran didapatkan hasil tegangan antar saluran sebesar 48.86 Volt saat berbeban pada kecepatan putar 495 rpm dan tegangan saluran ke netral sebesar 28,8 volt pada saat berbeban. Daya generator sebesar 177,56 VA dengan faktor daya 0,87 lagging.

DAFTAR PUSTAKA

- Antony, Zuriman, (2013), *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*, Andi Offset, Yogyakarta
- Budiman, Aris., (2012), *Desain Generator Magnet Permanen Untuk Sepeda Listrik*, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Irasari, Pudji, (2010), *Metode Perancangan Magnet Permanen Berbasis Pada Dimensi Stator yang Sudah Ada*, Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekatronik, LIPI
- Jati, Dimas Waluyo, (2012), *Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodyium dengan Variasi Celah Udara*, Universitas Diponegoro, Semarang
- Marsudi, Djiteng, (2005), *Pembangkit Energi Listrik*, Erlangga, Jakarta