

Pembuatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Berkapasitas 100 Watt

Muhammad Iqbal¹, R M Sisdamanto Adinandra, S.T.,M.Sc,Ph.D²

*Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia*

¹14524004@students.uui.ac.id

²s.adinandra@uui.ac.id

Kondisi geografis Indonesia mempunyai potensi yang baik untuk pengembangan energi angin. Sehingga penelitian ini merupakan pembuatan prototipe yang dapat mensimulasikan sebuah pembangkit listrik tenaga angin (PLTB). Prototipe PLTB ini diuji dengan menggunakan *blower* yang dapat mensimulasikan kecepatan angin rata – rata di beberapa daerah Indonesia. Kecepatan angin tersebut bernilai 3 m/s – 7 m/s. Kecepatan angin dari *blower* diatur dengan menggunakan *dimmer* yang menyapu luas permukaan turbin angin sehingga generator dapat mengeluarkan tegangan. Keluaran dari generator tersebut disambungkan dengan beban. Total beban pada penelitian ini adalah 15 Watt. Dengan membandingkan daya yang keluar dari generator dan daya yang dihitung dengan menggunakan perumusan maka dapat diperoleh efisiensi kerja generator. Efisiensi generator tertinggi adalah pada saat kecepatan angin 6 m/s, dengan nilai hanya mencapai 6,86%. Efisiensi kerja generator dapat stabil diatas 5% pada saat kecepatan angin dari 5 m/s – 7 m/s. Efisiensi kerja generator tersebut tidak mencapai efisiensi kerja ideal pada generator yang baik, kemungkinan penyebab kerja generator kurang baik adalah jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin angin kurang dapat memaksimalkan kerja generator.

Kata kunci— Potensi Angin, PLTB, Efisiensi Generator

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terbesar didunia. Negara ini mempunyai jalur pantai sepanjang 81000 km. Dengan kondisi geografis alam yang mempunyai potensi baik dalam energi terbarukan, yang salah satunya sumber daya energi angin yang besar terletak dilautan dan dekat pantai. Energi angin tersebut dapat dijadikan salah satu energi alternatif yang dapat mengurangi bahan bakar fosil dalam penggunaan listrik [1].

Listrik adalah suatu sumber energi dimana dapat memindahkan energi menjadi suatu bentuk elektronik yang lainnya. Energi listrik ini sangat dibutuhkan oleh berbagai tingkatan masyarakat. Perkembangan teknologi menyebabkan suatu kemudahan dalam pengadaan suatu energi listrik. Dengan adanya perkembangan teknologi, maka ada berbagai cara untuk membangkitkan suatu energi listrik. Energi listrik ini dapat dibangkitkan oleh suatu sistem pembangkit listrik, sebagai contoh angin, sinar matahari, bahan bakar fosil, dan lain sebagainya [2].

Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) adalah suatu sistem yang membutuhkan angin sebagai sumber yang akan

dikonversikan menjadi energi listrik. Konsep sederhana PLTB adalah angin sebagai sumber untuk memutar kincir yang tersambung dengan generator dimana generator tersebut mempunyai lilitan tembaga sehingga terjadinya GGL (gaya gerak listrik). Setelah GGL tersebut menghasilkan listrik, aliran listrik tersebut disimpan melalui baterai agar dapat digunakan ke beban, contoh lampu atau kipas angin [3].

Topik yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah mengenai pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) dengan kapasitas 100 watt. Tenaga angin adalah sumber alami yang tidak terbatas. Dengan memanfaatkan tenaga angin maka kita dapat menghasilkan listrik yang ramah lingkungan [3]. Pada dasarnya PLTB ini adalah termasuk dalam energi terbarukan. Sehingga pembuatan sistem PLTB ini berupa prototipe yang dapat mensimulasikan pembangkit listrik tenaga angin yang diuji dengan menggunakan kecepatan angin rata-rata di beberapa daerah Indonesia.

Dengan mengasumsikan bahwa kecepatan angin rata-rata di beberapa daerah Indonesia adalah sekitar 3 m/s – 7 m/s [4], maka simulasi angin pada pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin mempunyai batasan variabel kecepatan angin yaitu 3 m/s – 7 m/s. Berdasarkan potensi angin dan kondisi geografis di Indonesia yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik sehingga tugas akhir ini berkaitan dengan pembuatan sistem pembangkit listrik tenaga angin dengan generator berkapasitas 100 watt. Sistem PLTB ini dirancang untuk memudahkan penggunaan listrik dalam instalasi listrik rumah tangga.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Potensi Angin di Indonesia

Dari studi pada tempat yang berpotensi menunjukkan bahwa memungkinkan pengembangan PLTB di Indonesia dengan kapasitas skala sedang maupun besar. Berikut data dari hasil studi angin dapat dilihat pada Tabel 1 [4] :

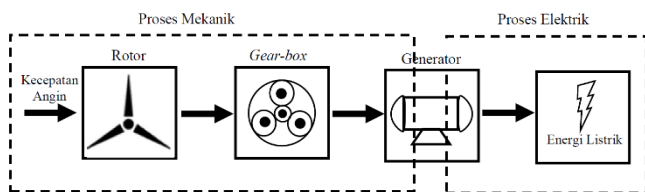
TABEL 1
HASIL STUDI POTENSI ANGIN DI INDONESIA [4]

Tempat Studi	Kecepatan Angin Rata-Rata (m/s)
Baron, DIY	6,13
Lebak, Banten	5,58
Nusa Penida, Bali	2,73
Oelbubuk, NTT	6,1
Bantul, DIY	4
Sukabumi, Jawa Barat	6,27
Purworejo, Jawa Tengah	5,16
Garut, Jawa Barat	6,57
Sidrap, Sulawesi Selatan	6,43
Joneponto, Sulawesi Selatan	7,96
Selayar, Sulawesi Selatan	4,6

Berdasarkan Tabel 1 dapat diasumsikan bahwa beberapa daerah di Indonesia mempunyai rata – rata kecepatan angin antara 3 m/s – 7 m/s.

B. PLTB Secara Umum

PLTB secara umum adalah suatu sistem pembangkit listrik yang dapat mengonversikan energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik. Secara umum PLTB terbagi menjadi 4 bagian, yaitu rotor turbin, gearbox, generator dan pembebanan. Prinsip kerja PLTB adalah mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik dari putaran baling – baling yang dapat memutar rotor. Putaran dari rotor relatif lambat sehingga PLTB secara umum menggunakan *gearbox* untuk mempercepat laju putaran rotor. Setelah itu generator mengubah putaran dari *gearbox* tersebut menjadi energi listrik [3]. Perubahan dari energi angin, energi mekanik, dan energi elektrik dapat digambarkan seperti Gambar 1.



Gambar 1 PLTB Secara Umum

C. Daya pada Turbin Angin

Energi kinetik pada suatu turbin angin dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut [2][6] :dengan nilai :

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2, \quad (1)$$

Ek = Energi Kinetik (Joule),

m = massa udara (kg),

v = kecepatan angin (m/s).

Laju aliran massa dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$m = \rho Av, \quad (2)$$

dengan nilai :

ρ = massa jenis angin (kg/m^3) (ketetapan $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$),

A = luas penampang turbin (m^2) bisa ditulis ($A = \pi r^2$).

Dari Persamaan (1) dan (2) dapat diperoleh daya angin seperti persamaan berikut ini :

$$P_a = \frac{1}{2}\rho Av^3, \quad (3)$$

dengan nilai :

P_a = daya angin (Watt).

Persamaan (3) merupakan teori perhitungan daya pada turbin angin yang hanya memperhitungkan luas penampang turbin dan kecepatan angin yang menyapu turbin. Sedangkan untuk memperhitungkan kemampuan turbin dalam mengekstraksi angin yaitu menggunakan efisiensi kerja turbin yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$C_p = \frac{P_m}{P_a}, \quad (4)$$

dengan nilai :

P_m = daya mekanik (watt),

C_p = Koefisien daya pada turbin angin,

efisiensi kerja turbin tidak dapat melebihi 0,593, hal tersebut dikenal sebagai limit betz. Dengan menggabungkan Persamaan (3), (4) dan efisiensi kerja turbin maksimal, maka dapat dituliskan seperti persamaan berikut ini :

$$P_{maks} = 0,2965\rho Av^3, \quad (5)$$

dengan nilai :

P_{maks} = daya maksimum atau daya turbin angin dalam kondisi ideal.

D. Teknik Instalasi Listrik 3 fase

Teknik instalasi pada umumnya mempunyai 2 jenis, yaitu sistem 3 fase hubungan bintang dan sistem 3 fase hubungan delta [7]. Kedua jenis tersebut mempunyai karakteristik yang berbeda dan cara perhitungan yang berbeda. Akan tetapi pada beban seimbang maka daya total tiga fase merupakan tiga kali daya fasenya. Daya tiap fase dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_f = V_f I_f \cos \varphi \quad (6)$$

dengan nilai :

P_f = Daya Listrik tiap fase (Watt),

V_f = Tegangan yang ada pada fase (Volt)

I_f = Arus yang ada pada fase (Ampere)

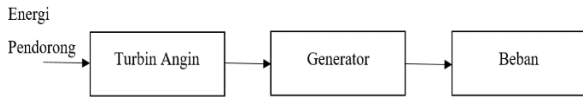
$\cos \varphi$ = Koefisien Faktor Daya

III. PERANCANGAN SISTEM

Dalam perancangan prototipe PLTB menggunakan sebuah terowongan angin yang didalamnya terdapat sebuah blower dan turbin angin. Terowongan angin ini digunakan untuk memaksimalkan putaran pada turbin. Pengujian pada tugas akhir ini menggunakan kecepatan angin dengan 5 variasi. 5 variasi tersebut merupakan hasil studi potensi angin di Indonesia seperti pada Tabel 1. Jadi 5 variasi kecepatan angin

tersebut berupa asumsi bahwa kecepatan angin rata - rata di beberapa daerah Indonesia berupa 3 m/s – 7 m/s.

Perancangan sistem PLTB dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Blok Diagram Perancangan

Turbin angin yang digunakan pada tugas akhir ini mempunyai diameter 0,38 meter. Sehingga dengan menggunakan rumus luas lingkaran maka dapat diketahui luas permukaan turbin, yaitu 0,1134 m². Turbin yang digunakan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Turbin Angin

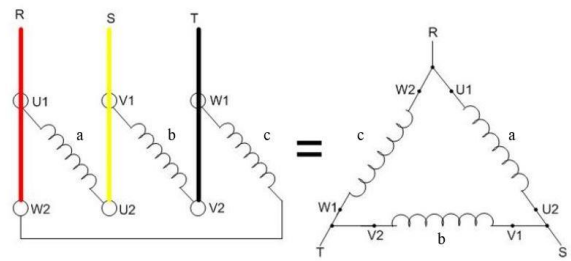
Berdasarkan Persamaan (5), dengan asumsi bahwa kerja turbin angin ideal maka dapat diketahui bahwa daya yang diambil secara teoritis seperti pada Tabel 2.

TABEL 2
DAYA SECARA TEORITIS

Kecepatan Angin (m/s)	Daya Secara Teori (Watt)
3	1,11
4	2,64
5	5,15
6	8,9
7	14,13

Generator pada sistem PLTB ini menggunakan generator sinkron magnet permanen dengan putaran rendah. Spesifikasi generator yang digunakan pada tugas akhir ini mempunyai daya keluar sebesar 100 Watt dan nilai tegangan keluar 12 Volt AC. Generator ini mempunyai keluaran 3 fase tanpa fase netral. Dari keluaran generator tersebut langsung disambungkan dengan menggunakan sistem 3 fase hubungan delta pada beban karena keluaran yang tersedia langsung pada generator ini 3 fase tanpa fase netral.

Beban yang digunakan berupa lampu 5 Watt. Total beban untuk tugas akhir ini adalah 15 Watt. Penentuan total beban ini menggunakan asumsi karena daya secara teoritis pada saat kecepatan angin tertinggi atau 7 m/s tidak melebihi 15 Watt. Pembebanan dilakukan seperti Gambar 4.



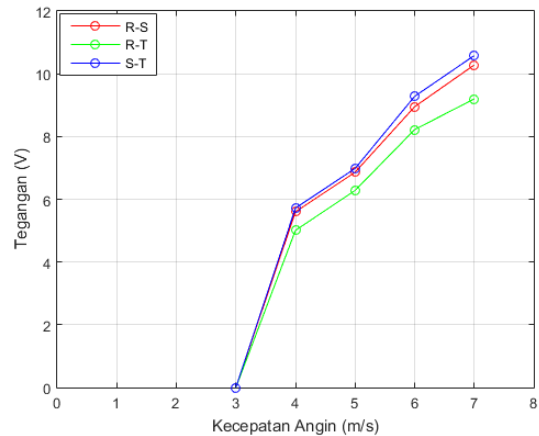
Gambar 4 Sistem 3 Fase Hubungan Delta

Pengujian pada sistem PLTB ini mempunyai 2 tahap, yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian berbeban. Pengujian tanpa beban ini bertujuan untuk menguji bahwa perubahan kecepatan angin dapat mempengaruhi tegangan keluaran generator. Sedangkan pengujian berbeban bertujuan untuk mengukur tegangan dan arus keluaran generator. Sehingga dari tegangan dan arus keluaran generator dapat dihitung daya keluaran yang dihasilkan generator dengan menggunakan Persamaan (6). Setelah itu untuk menemukan efisiensi generator dapat diperoleh dari perbandingan daya secara teori dan daya real.

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Pengujian Tanpa Beban

Hasil pengujian tanpa beban dapat dilihat pada Tabel 3, tegangan dapat diukur menggunakan multimeter dari antar fasenya.



Gambar 5 Grafik Garis Tegangan Antar Fase Tanpa Beban

Dari Tabel 3 dapat diketahui bahwa setiap variasi kecepatan angin berpengaruh pada hasil keluaran generator. Semakin tinggi kecepatan angin yang diterima oleh turbin angin membuat putaran pada generator semakin cepat sehingga tegangan keluaran dari generator semakin besar seperti Gambar 5. Hal tersebut membuktikan Persamaan (3) bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan daya dan pada Persamaan (6) menyatakan bahwa daya berbanding lurus dengan tegangan.

B. Pengujian Berbeban

Pengujian beban ini menggunakan sistem 3 fase hubungan delta. Masing – masing beban terdapat lampu 5 Watt. Pengukuran dengan multimeter dilakukan pada masing –

masing beban atau (a,b,c) seperti Gambar 4. Sehingga pengukuran ini dapat menemukan tegangan fase dan arus fase. Berikut hasil dari pengukuran tegangan fase dan arus fase.

TABEL 3
TEGANGAN FASE

Kec. Angin (m/s)	V _a (Volt)	V _b (Volt)	V _c (Volt)	V _f rata-rata (Volt)
3	4,93	3,56	3,25	3,91
4	5,8	6,12	5,42	5,78
5	6,62	6,68	6,13	6,48
6	7,33	7,5	6,8	7,21
7	7,89	7,95	7,13	7,66

TABEL 4
ARUS FASE

Kec. Angin (m/s)	I _a (mA)	I _b (mA)	I _c (mA)	I _f rata-rata (mA)
3	0	0	0	0
4	1,86	4,86	2,32	3,01
5	13,6	18,7	13,82	15,37
6	30,5	30,3	23,8	28,2
7	32,8	32,8	28,6	31,40

Dengan menggunakan asumsi bahwa beban yang digunakan adalah beban seimbang maka tegangan dan arus pada setiap fase adalah sama. Jadi tegangan fase dan arus fase yang akan dihitung dengan menggunakan Persamaan (6) merupakan tegangan dan arus rata - rata pada setiap fase.

Berdasarkan Tabel 4 dan 5, tegangan fase rata - rata dan arus fase rata - rata pada setiap kecepatan angin dapat dihitung untuk menemukan daya fase pada keluaran generator seperti Tabel 6, dengan asumsi bahwa $\cos \varphi$ pada Persamaan (6) adalah 1 atau tidak ada kehilangan daya. Untuk memperoleh daya total keluaran pada generator adalah tiga kali daya fase nya, hasil dari daya fase dan daya total keluaran pada generator dapat dilihat pada Tabel 6.

TABEL 5
DAYA TIAP FASE DAN DAYA TOTAL

Kec. Angin (m/s)	P _f (Watt)	Daya Total (Watt)
3	0	0
4	0,02	0,06
5	0,1	0,3
6	0,2	0,6
7	0,24	0,72

Dari Tabel 6, pada saat kecepatan angin 3 m/s lampu tidak menyala, hal tersebut terjadi karena tegangan terbilang kecil pada saat kecepatan angin 3 m/s. Tegangan terbilang kecil kemungkinan terjadi karena putaran pada turbin angin kurang dapat memaksimalkan kerja generator.

C. Perbandingan Daya Total dan Daya Secara Teori

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 6, dapat dilihat perbandingan Daya Total dan Daya Secara Teori seperti pada Tabel 7.

TABEL 6
PERBANDINGAN DAYA TOTAL DAN DAYA TEORITIS

Kec. Angin (m/s)	Daya Total (Watt)	Daya Teoritis (Watt)
3	0	1,11

4	0,06	2,64
5	0,3	5,15
6	0,6	8,9
7	0,72	14,13

Perbedaan dari daya total dan daya teoritis pada saat kecepatan angin maksimal terlalu signifikan. Pada saat kecepatan angin 7 m/s, hasil dari daya total pada keluaran generator 0,72 Watt sedangkan daya teoritis dapat mencapai 14,13 Watt. Daya total pada keluaran generator lebih kecil. Hal tersebut terjadi karena arus yang mengalir pada beban sangat kecil.

D. Perhitungan Efisiensi Generator

Berdasarkan Tabel 7, dapat dihitung efisiensi generator dengan menggunakan Persamaan (7).

$$Efisiensi = \frac{P_{real}}{P_{Teori}} \times 100\%, \quad (7)$$

dengan nilai :

$$P_{real} = \text{daya total keluaran/ daya total (Watt)},$$

$$P_{Teori} = \text{daya secara teoritis / daya teoritis (Watt)}.$$

Berdasarkan Persamaan 7, hasil dari efisiensi generator pada sistem PLTB ini seperti pada Tabel 7.

TABEL 7
EFISIENSI GENERATOR

Kec. Angin (m/s)	Efisiensi %
3	0%
4	1,98%
5	5,81%
6	6,86%
7	5,11%

Dari Tabel 8 dapat diketahui bahwa efisiensi generator tertinggi pada pengujian ini hanya mencapai 6,86% saat kecepatan angin 6 m/s. Efisiensi kerja generator dapat stabil diatas 5% pada saat kecepatan angin dari 5 m/s – 7m/s. Efisiensi kerja generator tersebut tidak mencapai efisiensi kerja ideal pada generator biasanya, karena generator yang baik mempunyai efisiensi kerja mencapai 80%-100%. Kemungkinan penyebab kerja generator kurang baik adalah jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin angin kurang dapat memaksimalkan kerja generator.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan kecepatan angin mempengaruhi keluaran generator. Semakin tinggi kecepatan angin maka tegangan yang dihasilkan semakin tinggi. Karena kecepatan angin berbanding lurus dengan daya.
2. Dengan menggunakan turbin angin yang mempunyai luas permukaan sebesar 0,1134 m², daya yang dapat dihasilkan secara teori tidak melebihi 15 Watt.
3. Efisiensi generator tertinggi adalah pada saat kecepatan angin 6 m/s, dengan nilai hanya mencapai 6,86%. Efisiensi kerja generator pada pengujian ini dapat stabil diatas 5% pada saat kecepatan angin dari 5 m/s – 7m/s. Efisiensi kerja generator tersebut tidak mencapai efisiensi kerja ideal pada

generator biasanya, karena generator yang baik mempunyai efisiensi kerja mencapai 80%-100%. Kemungkinan penyebab kerja generator kurang baik adalah jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin angin kurang dapat memaksimalkan kerja generator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Perwita dan W. Banar, "A Technical Review of Building Integrated Wind Turbine System and a Sample Simulation Model in Central Java , Indonesia," *Energy Procedia*, vol. 47, hal. 29–36, 2014.
- [2] N. A. Hidayatullah, H. Nur, dan K. Ningrum, "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker," *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng. JEECAE*, vol. 1, no. 1, hal. 7–12, 2016.
- [3] R. Sumiati, "Rancang bangun miniatur turbin angin pembangkit listrik untuk media pembelajaran," *Jur. Tek. Mesin Politek. Negeri Padang*, vol. 3, hal. 1–8, 2013.
- [4] S. Martosaputro dan N. Murti, "Blowing the wind energy in Indonesia," *Energy Procedia*, vol. 47, hal. 273–282, 2014.
- [5] H. Dong, C. Zhang, D. Wang, S. Xu, dan J. Qiu, "Dynamic characteristics of gear box with PGT for wind turbine," in *Procedia Computer Science*, 2017, vol. 109, hal. 801–808.
- [6] A. Pudjanarsa dan D. Nursuhud, "Mesin Konversi Energi," 3 ed., FL. Sigit Suyantoro, Ed. Yogyakarta: ANDI, 2013, hal. 350–362.