

KAJIAN PRESTASI TURBIN ANGIN KECIL UNTUK PEMBANGKITAN LISTRIK DI PEDESAAN

Oleh :

Dines Ginting^{*)}

Absrtak

Sumber daya angin yang tersebar secara luas merupakan alternatif untuk pembangkitan listrik di pedesaan. Karakteristik angin yang variatif dan daya angin yang sebanding dengan kecepatan angin pangkat tiga merupakan faktor penting dalam rancangan dan prestasi sistem energi angin. Rancangan sistem energi angin ukuran kecil yang sederhana dan berkeandalan tinggi dikembangkan untuk penggunaan di pedesaan. Kecepatan operasi turbin angin yang sesuai dengan kondisi angin aktual, ketinggian menara yang tepat, penyimpanan dan distribusi tegangan yang efisien, penerapan terpadu, dan juga penggunaan sistem gabungan memungkinkan produksi dan pemanfaatan energi yang maksimal.

1. PENDAHULUAN

Dalam rangka penyediaan listrik sampai ke pelosok pedesaan atau lokasi terpencil, dan juga untuk mendukung penyediaan listrik dimasa datang yang terus meningkat, berbagai sumber energi alternatif terus digali dan dikembangkan pemanfaatannya. Sumber daya angin yang tersebar secara luas di wilayah nusantara merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang potensial untuk pembangkitan listrik di pedesaan.

Karakteristik dan potensi angin yang tersedia, yang dipengaruhi oleh topografi, ketinggian dan kekasaran permukaan, dan bervariasi di setiap lokasi merupakan faktor yang sangat menentukan dalam pemanfaatan energi angin. Di lokasi dengan kecepatan angin rata-rata dari mulai 3 m/s, penerapan sistem energi angin untuk pembangkitan listrik atau pemompaan air di pedesaan kompetitif dengan sistem alternatif lain seperti energi surya fotovoltaik, diesel skala kecil, atau perluasan jaringan listrik. Rancangan sistem energi angin yang sesuai dengan kondisi angin dan kondidi operasi yang diinginkan serta yang berkeandalan tinggi diharapkan akan meningkatkan keberhasilan penerapan sistem energi angin di pedesaan.

Guna mengkaji tentang potensi dan sistem energi angin yang sesuai serta dapat menghasilkan produksi yang maksimum di pedesaan, pertama-tama akan diuraikan tentang karakteristik dan potensi angin, serta informasi tentang kecepatan angin yang merupakan indikasi potensi angin yang tersedia di sejumlah lokasi.

^{*)} Peneliti Bidang Teknologi Dirgantara Terapan LAPAN - Rumpin

Rancangan sistem energi angin yang sesuai untuk pedesaan, mencakup unit pembangkitan termasuk konfigurasi dan rancangan komponennya, unit penyimpanan energi dan distribusi, diuraikan secara ringkas. Selanjutnya, dibahas tentang prestasi turbin angin, efisiensi dan keandalan sistem secara menyeluruh, yang akan menentukan dalam keberhasilan dan tingkat prestasi yang dicapai sistem energi angin tersebut. Dan untuk mendapatkan energi yang maksimum, dibahas tentang kondisi operasional, daya dan kecepatan angin operasi yang optimum, ketinggian menara serta penyimpanan energi dan distribusi.

2. RANCANGAN SISTEM ENERGI ANGIN UNTUK PEDESAAN

Prestasi sistem pembangkitan seperti halnya sistem energi angin tergantung pada rancangan sistem itu sendiri. Sehubungan dengan itu, ada beberapa faktor penting berkenaan dengan rancangan sistem energi angin pedesaan yang dibahas berikut ini.

2.1. Kondisi Angin

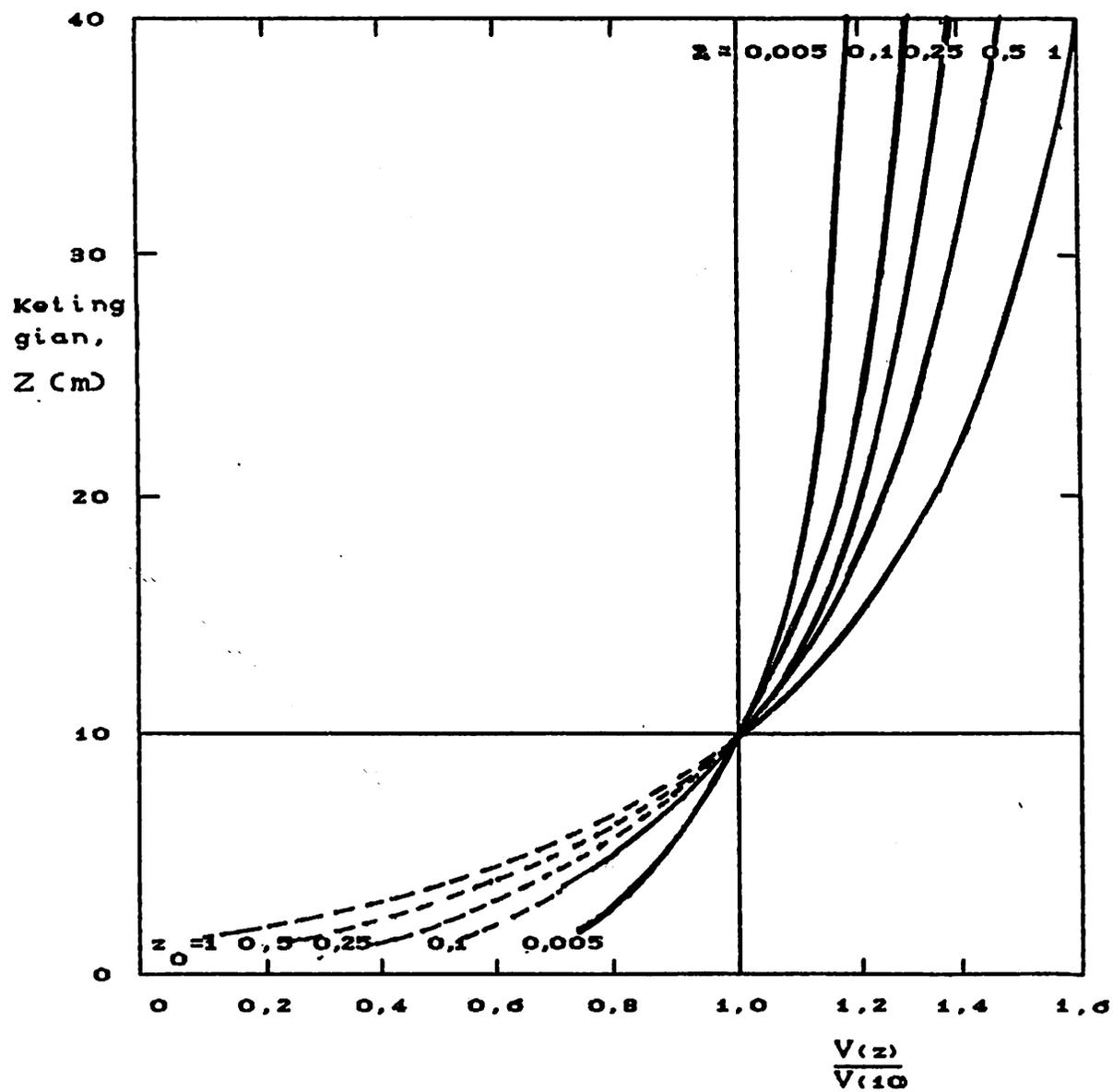
Kondisi angin merupakan faktor yang paling penting dalam menentukan kelayakan dan rancangan sistem energi angin. Sumber daya angin yang memiliki sifat dasar yang bervariasi dan daya angin yang sebanding dengan kecepatan angin pangkat tiga merupakan faktor yang paling menentukan potensi energi angin.

Kecepatan angin dipengaruhi oleh topografi, kekasaran permukaan dan ketinggian (lihat gambar 2.1). Di kawasan terbuka seperti pantai atau puncak bukit kecepatan angin lebih tinggi daripada di hutan atau tempat terlindung. Kecepatan angin di kawasan rata hampir sama dalam areal yang luas, tetapi di lokasi berbukit bisa sangat berbeda meskipun dalam jarak yang dekat. Kecepatan angin juga berfluktuasi secara harian, bulanan atau menurut musim. Semakin konsisten pola daya dengan pola pemakaian, semakin efektif sistem energi angin.

Parameter dasar energi angin adalah kecepatan rata-rata, daya atau energi angin spesifik, dan secara global digambarkan dalam peta potensi angin. Data potensi angin yang lengkap setidaknya mencakup kecepatan angin rata-rata, harian, bulanan dan tahunan, distribusi dan frekuensi kecepatan angin dan kecepatan angin maksimum. Informasi dan data tentang potensi angin yang lengkap dan terpercaya, yang diperoleh dengan pengukuran dan monitoring yang benar, sangat penting dalam perancangan sistem pemanfaatan energi angin.

Meskipun tidak ditetapkan secara numerik, yang pasti bahwa semakin lama periode pengukuran atau monitoring angin semakin terpercaya informasi dan data yang diperoleh. Guna mencakup data sepanjang musim, diperlukan pengukuran kontinyu selama satu tahun, dan pengukuran kontinyu selama dua tahun memadai untuk memperoleh informasi potensi angin yang terpercaya. Dalam hal hanya tersedia data kecepatan angin rata-rata tahunan atau data pengukuran dalam beberapa hari saja, informasi yang cukup terpercaya dapat diperoleh dengan menggunakan pendekatan distribusi Weibull.

Inventarisasi potensi angin yang bersumber baik dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) maupun hasil pengukuran sendiri menunjukkan bahwa kurang lebih 80 lokasi yang tersebar di wilayah nusantara memiliki kecepatan angin rata-rata tahunan antara 3-5 m/s. Kecepatan angin rata-rata mulai 3 m/s setelah dapat dipertimbangkan untuk aplikasi turbin angin kecil (50 W sampai dengan 20 kW)



Gambar 2.1 . Profil Kecepatan Angin Menurut Ketinggian untuk Berbagai Kekasaran Permukaan.

karena dapat menghasilkan energi yang kompetitif dengan fotovoltaik, diesel kapasitas kecil atau dengan perluasan jaringan konvensional [4].

Kecepatan angin rata-rata yang disebutkan di atas adalah pada ketinggian pengukuran 10 m di atas permukaan tanah, bervariasi di setiap lokasi. Kecepatan angin tersebut juga meningkat dengan meningkatnya ketinggian. Sebagai gambaran [6], kecepatan angin rata-rata untuk 10 lokasi dengan ketinggian 10 m bervariasi antara 2,3 hingga 3,8 m/s, sedangkan pada ketinggian 24 m antara 3 hingga 4,9 m/s. Peningkatan ketinggian dari 10 hingga 24 m itu menghasilkan kecepatan angin rata-rata antara 3 hingga 44 persen, sedang variasi peningkatan daya angin mencapai 9 hingga 186 persen.

2.2. Rancangan Turbin Angin Kecil

Sistem energi angin pedesaan umumnya digunakan untuk keperluan rumah tangga seperti penerangan, radio, televisi atau pemompaan air, dan juga dimungkinkan untuk kegiatan produktif seperti usaha kerajinan, industri rumah tangga, pendinginan dan sebagainya. Sistem pendinginan itu terdiri atas turbin angin sebagai unit pembangkitan (mandiri atau gabungan dengan sistem lain) yang beroperasi terisolasi atau di luar jaringan utama. Untuk stabilitas dan kontinuitas energi, digunakan unit penyimpanan (baterai atau reserfoar), dan produksi energi dialirkan ke pemakai melalui distribusi.

Rancangan energi angin pedesaan itu didasarkan terutama pada jumlah, pola dan konsistensi penyediaan energi, dan sebagai pertimbangan rancangan terutama adalah prestasi sistem. Turbin angin sumbu datar atau propeler lebih disukai karena mempunyai prestasi yang lebih tinggi daripada turbin angin sumbu tegak. Kapasitas turbin angin pedesaan dapat bervariasi antara 0,1 - 20 kW dengan diameter rotor antara (0,8 - 15) m

2.3. Keandalan Rancangan

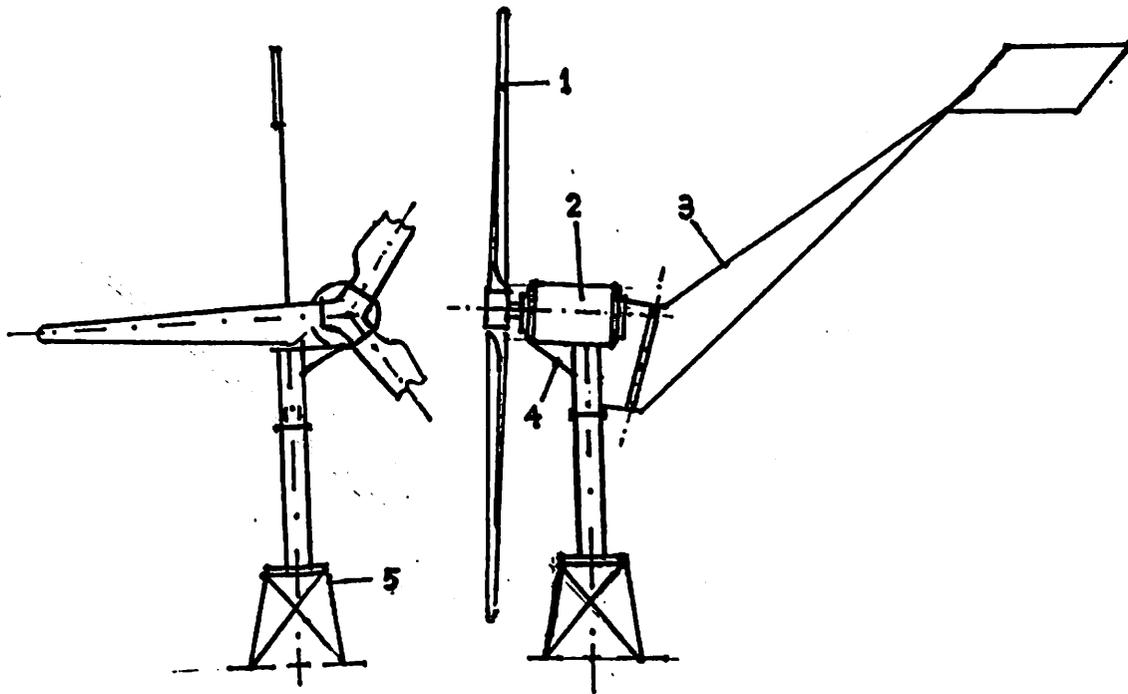
Sistem energi angin yang andal sesuai untuk pedesaan dengan sarana pendukung terbatas karena dapat berprestasi secara maksimal tanpa pemeliharaan yang teratur. Keandalan turbin angin yang tinggi itu didapatkan dengan prinsip rancangan yang sederhana, dengan komponen atau bagian yang bergerak yang seminimal mungkin, memadukan sistem komponen serta material khusus, serta memadukan penggunaan turbin angin seperti untuk pembangkitan listrik maupun untuk pemompaan air. Rancangan komponen turbin angin yang dikemukakan berikut ini merupakan dasar untuk mencapai tingkat prestasi dan keandalan yang optimal.

1. Rotor sebagai komponen terpenting dirancang bersudu tiga, berpenampang airfoil dengan bentuk yang optimal dan dibuat dari fiberglas sehingga rotor stabil, serta mempunyai efisiensi dan keandalan tinggi.
2. Transmisi turbin angin untuk pedesaan ditiadakan, atau rotor menggerakkan langsung generator sehingga konfigurasi turbin angin lebih sederhana, lebih efisien dan lebih mudah pemeliharaannya atau lebih andal.
3. Generator turbin angin dari tipe magnet permanen putaran rendah, konstruksinya tanpa lilitan medan, rumah dan poros dibuat dari baja tahan karat dengan perapat yang baik sehingga generator sederhana dan andal.
4. Kontrol turbin angin mencakup pengarahannya, pengaturan kecepatan rotor dan pengamanan turbin angin menggunakan ekor atau vane berengsel miring (*inclined hinged vane*). Kontrol tersebut bekerja otomatis, memadukan fungsi pengaturan

kecepatan orientasi, dan menghentikan/pengaman dengan mekanisme dan konstruksi yang sederhana.

5. Menara dirancang dari berbagai tipe, latis atau tubular, tanpa atau dengan penguat, tergantung pada kondisi pemasangan, dengan atau tanpa engsel, dibuat dari baja yang digalvanisasi atau tahan karat, dengan ketinggian bervariasi.

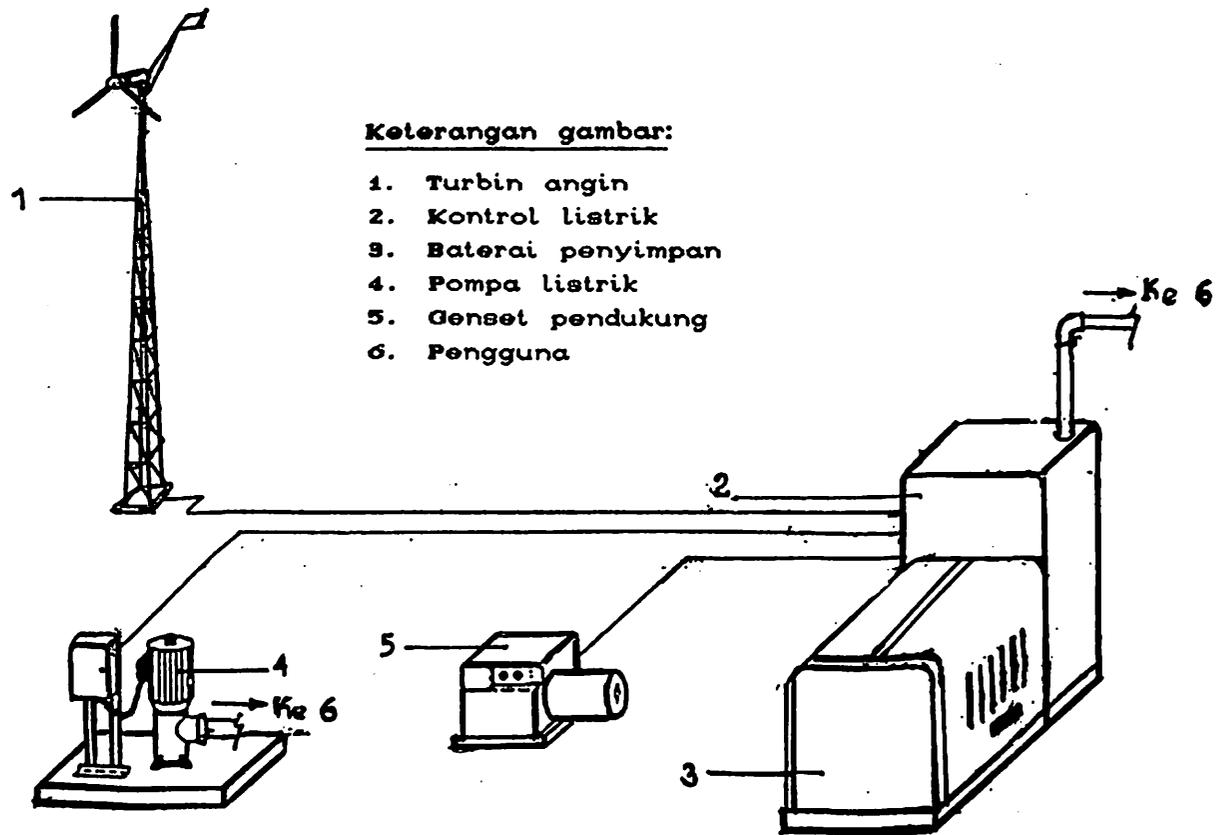
Rancangan turbin angin dan penerapan sistem untuk penyediaan listrik terpadu dengan pemompaan air seperti diutarakan di atas, yang ditunjukkan masing-masing pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3, merupakan sistem energi angin sederhana dan berkeandalan tinggi yang dikembangkan khusus untuk pedesaan.



Keterangan gambar

1. Rotor turbin angin
2. Generator
3. Pengaturan
4. Kerangka
5. Menara

Gambar 2-2. Rancangan Turbin Angin Tipikal Untuk Pedesaan.



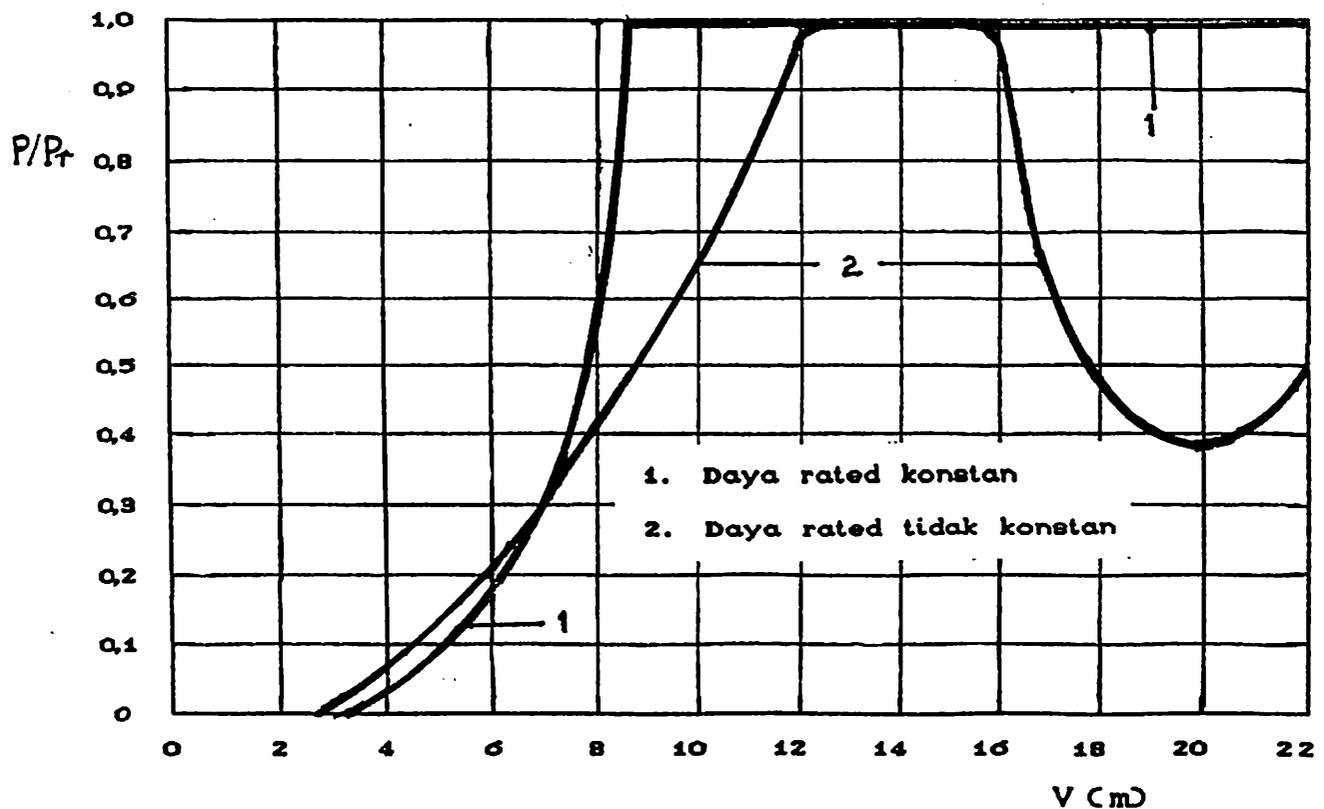
Gambar 2-3. Rancangan Sistem Energi Angin Tipikal Untuk Pedesaan

3. PRESTASI SISTEM ENERGI ANGIN

Prestasi atau daya/energi yang mampu dihasilkan sistem energi angin tergantung pada berbagai faktor. Beberapa faktor yang paling besar pengaruhnya terhadap prestasi sistem energi angin diuraikan berikut ini.

3.1. Karakteristik Prestasi Turbin Angin

Karakteristik prestasi turbin angin merupakan karakteristik daya atau karakteristik energi. Gambar 3.2 menunjukkan kurva karakteristik daya dari dua turbin angin yang berbeda, dengan daya rated konstan dan daya rated yang tidak konstan. Keluaran daya turbin angin (P_{ci}) dihasilkan mulai dari kecepatan angin cut-in (V_{ci}), mencapai daya rated (P_r) pada kecepatan angin rated (V_r) dan daya cut-out (P_{co}) pada kecepatan angin cut-out. Keluaran daya rated (P_r) atau keluaran daya maksimum (P_{max}) dinyatakan sebagai kapasitas turbin angin.



Gambar 3-1 Karakteristik Daya Dua Turbin Angin yang Berbeda.

Sementara itu, faktor kapasitas turbin angin adalah perbandingan keluaran daya aktual dan keluaran daya rated. Faktor kapasitas tahunan turbin angin yang baik mencapai 30 persen ke atas. Karakteristik prestasi dan juga faktor kapasitas setiap turbin angin berbeda tergantung pada kondisi operasionalnya. Sebagai gambaran, karakteristik prestasi sejumlah turbin angin komersial yang sebagian besar telah dioperasikan di Indonesia ditunjukkan pada lampiran 1 dan 2 (Sumber : sejumlah manual turbin angin).

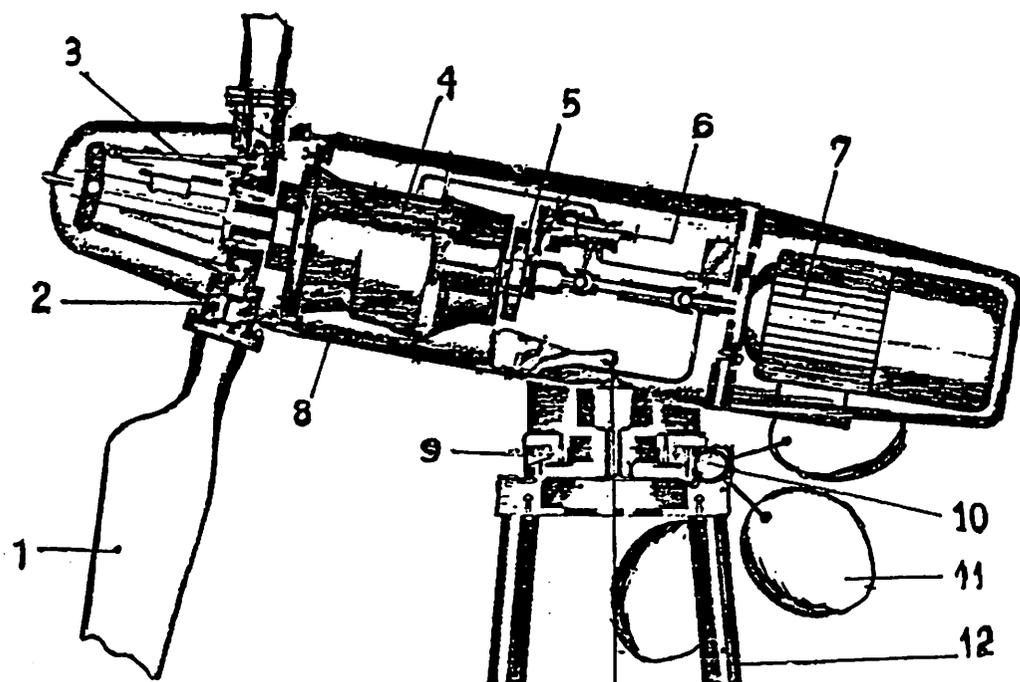
3.2. Efisiensi Sistem Energi Angin

Efisiensi sistem energi angin menggambarkan persentase daya atau energi yang mampu diubah menjadi kekuatan daya atau energi listrik. Efisiensi sistem yang merupakan gabungan dari efisiensi subsistem tersebut, tergantung rancangan turbin angin dan konfigurasi sistem secara keseluruhan.

Efisiensi maksimum turbin angin modern mencapai 35-45 persen, dan efisiensi aktualnya mencapai 25-35 persen. Sebagai contoh, seperti diperlihatkan pada gambar 3-2, efisiensi maksimum turbin angin 11 kW, dengan komponen mencakup rotor bersudu dua dan berpenampang airfoil NACA 23018, transmisi roda gigi dua generator sinkron tiga fasa, adalah 31 persen. Sementara itu, efisiensi turbin 10 kW seperti pada gambar 3-3, dengan komponen mencakup rotor bersudu tiga dan

NLF 416. generator arus permanen, tanpa transmisi dan pengaturan dengan ekor berengsel miring adalah 30 persen.

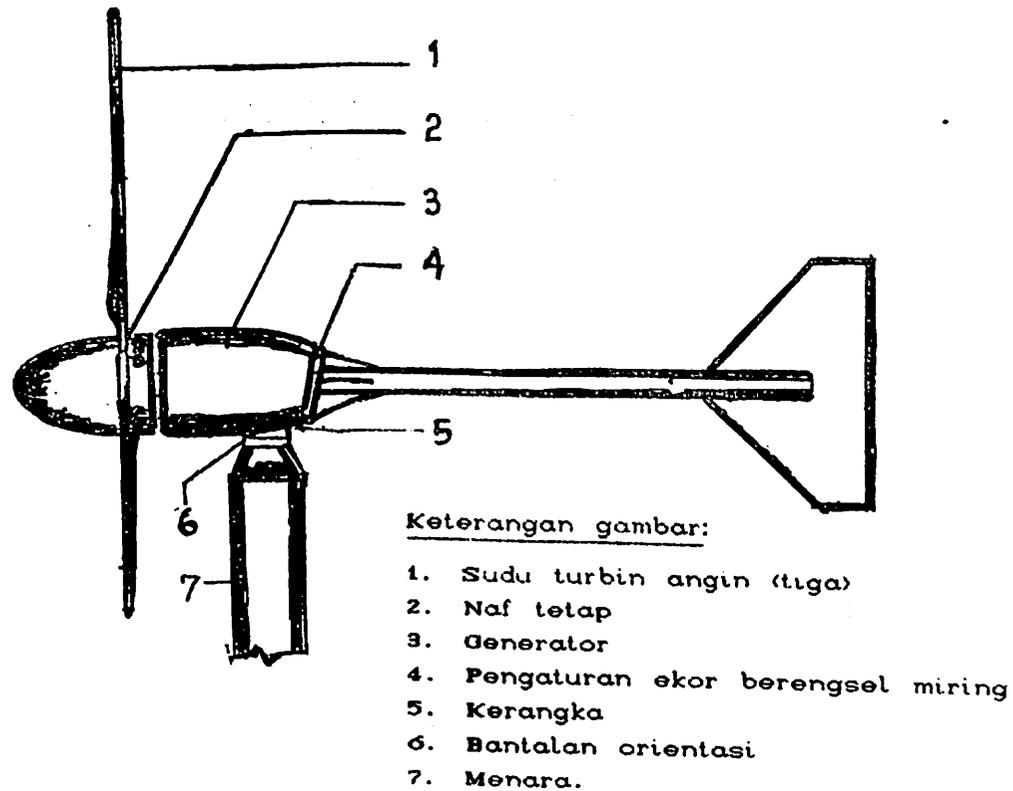
Efisiensi penyimpanan dan distribusi energi juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap prestasi sistem secara keseluruhan. Efisiensi baterai penyimpan tipe asam-timbal yang khusus untuk sistem energi angin mencapai 70-80 persen, sedangkan efisiensi kendaraan bermotor yang juga bisa digunakan besarnya sekitar 50-60 persen. Sementara itu, efisiensi distribusi untuk arus listrik searah berkisar antara 85-95 persen, sedangkan untuk arus bolak-balik yang bersumber dari baterai, efisiensinya (inverter) berkisar antara 50 hingga 90 persen.



Keterangan gambar

1. Sudu turbin angin (dua)
2. Naf putar
3. Mekanisme pengaturan sudu
4. Transmisi roda gigi
5. Rem mekanik
6. Pengaturan elektro-hidrolik
7. Generator
8. Nafel/kerangka
9. Bantalan orientasi
10. Transmisi orientasi
11. Daun/vane orientasi
12. Menara

Gambar 3-2. Konfigurasi Turbin Angin 11 kW (kompleks)



Gambar 3-3. Konfigurasi Turbin Angin 10 kW (Sederhana)

3.3 Faktor Lain

Faktor lain yang berpengaruh terhadap prestasi sistem energi angin di pedesaan adalah keandalan rancangan sistem secara keseluruhan. Sistem yang kompleks yang tinggi efisiensinya umumnya dirancang untuk ukuran besar. Seperti diutarakan terdahulu, turbin angin yang sederhana juga bisa mempunyai efisiensi yang relatif tinggi. Turbin angin yang sederhana yang diterapkan secara terpadu akan mempunyai keandalan sistem yang lebih tinggi secara keseluruhan, dan dapat menghasilkan prestasi yang tinggi meskipun dengan sarana pendukung yang terbatas.

4. OPTIMISASI PRODUKSI ENERGI

Kajian mengenai prestasi turbin angin telah diberikan pada bagian di atas, dan berikut ini dibahas tentang upaya untuk mendapatkan prestasi atau produksi energi sistem energi angin yang optimal untuk pedesaan

4.1. Penentuan Kecepatan Oprasional

Kecepatan angin oprasi yang menghasilkan prestasi turbin angin atau produksi energi yang maksimal ditentukan dalam rancangan dengan menyesuaikannya dengan kondisi dan kecepatan angin di lapangan. Kecepatan angin cut-in (V_{ci}) atau kecepatan

rated (V_r) yang rendah menunjukkan bahwa turbin angin lebih efisien pada kecepatan angin rata-rata tahunan (V_m) rendah, dan sebaliknya, V_{ci} atau V_r yang tinggi menunjukkan bahwa turbin angin lebih efisien pada kecepatan angin tinggi. Kecepatan operasi tersebut dapat diperoleh dengan mengoptimisasi prestasi. Secara empiris, $V_{ci} \geq 0.7 V_m$, $V_r = (1.5-2) V_m$ dan $V_{co} = 3 V_m$. Kecepatan cut-out (V_{co}) turbin angin kecil (s/d 10 kW) umumnya tidak di batasi. Sementara itu, konstruksi turbin angin dirancang mampu menahan beban sampai dengan kecepatan angin survival V_{sur} umumnya sekitar 50-60 m/s. Rancangan turbin angin pedesaan umumnya mempunyai $V_{ci} = (2-4) \text{ m/s}$, $V_r = (6-10) \text{ m/s}$ dan $V_{co} \approx 20 \text{ m/s}$. Kecepatan operasional tersebut ditentukan oleh produsen sehingga kapasitas turbin angin yang dinyatakan (dalam spesifikasi) dengan daya maksimum atau daya rated tidak merupakan ukuran prestasi turbin angin.

4.2 Penentuan Prestasi

Prestasi atau produksi turbin angin komersial dapat ditentukan secara analitis atau dengan pengujian langsung. Dalam cara analisis, produksi energi dihitung dari mulai kecepatan angin cut-in sampai dengan batas maksimum kecepatan angin operasi dengan spesifikasi, sampai didapatkan turbin angin yang menghasilkan produksi maksimum. Sementara itu, dalam cara pengujian lapangan, prestasi turbin angin aktual diperoleh berdasarkan pengukuran yang standar. Dengan monitoring pengujian yang cukup lama, di samping prestasi turbin angin, dapat diketahui keadaan aktual lainnya seperti salinitas udara, partikel debu, perilaku pemakai dan sebagainya yang mungkin menyebabkan kerusakan atau ketidak-amanan peralatan, demikian juga tentang pembebanan, pengaruh cuaca dan usia pakai, serta biaya operasional dan pemeliharaan, yang semuanya berguna dalam kajian yang luas.

Sebagai ilustrasi tentang prestasi dan produksi energi dari sejumlah turbin angin yang telah dioperasikan dapat dilihat lampiran 1 dan 2. Pada lampiran 1 misalnya, prestasi atau keluaran daya rated (P_r) turbin angin LMW 1003 (pertama) dengan diameter (ϕ) rotor 3 m adalah 600 W pada kecepatan angin rated 7 m/s, sedangkan keluaran rated daya turbin angin LMW 1000 (kedua) dengan diameter rotor 2,5 m adalah 1000 W namun pada kecepatan angin rated 12 m/s. Selanjutnya pada lampiran 2 dapat dilihat bahwa produksi energi turbin angin pertama sebesar (1430-2597) kWh pada kecepatan angin rata-rata $V_m = (4-6) \text{ m/s}$ ternyata lebih besar ketimbang turbin angin kedua yang hanya sebesar (670-2290) kWh. Akan tetapi, untuk kecepatan angin rata-rata yang lebih besar (7-8) m/s, ternyata berlaku sebaliknya, prestasi turbin angin kedua lebih besar dari yang pertama meskipun diameter rotornya lebih kecil.

4.3. Ketinggian Menara

Semakin tinggi menara turbin angin semakin tinggi kecepatan angin di depan rotor dan semakin tinggi pula produksi energi, tetapi semakin mahal biayanya. Ketinggian menara yang menghasilkan produksi energi dengan biaya terendah, diperoleh dengan optimisasi biaya dengan variasi ketinggian menara dan produksi energi turbin angin. Ketinggian menara turbin angin untuk pedesaan umumnya berkisar antara 10-30 meter.

4.4. Penyimpanan dan Distribusi Energi

Penyimpanan dan distribusi energi disesuaikan dengan pola suplai dan pemakaian energi agar produksi energi maksimal. Cara yang dilakukan antara lain dengan menggunakan unit penyimpanan utama yang didukung oleh penyimpanan cadangan, dan diatur dengan monitoring beban. Produksi energi disimpan dalam penyimpanan utama, energi berlebih disimpan dalam penyimpanan cadangan atau dihubungkan langsung ke beban. Manakala suplai energi berkurang dan penyimpanan utama cenderung kosong, penyimpanan cadangan diaktifkan dan seterusnya. Dengan demikian penyimpanan energi berlangsung kontiniu dan stabil, dan energi yang bermanfaat maksimal.

4.5. Penggunaan Sistem Gabungan

Pola penyediaan daya dengan pemakaian seringkali tidak cukup konsisten untuk secara kontiniu menghasilkan produksi energi yang. Karena itu penggunaan turbin angin mandiri memerlukan kapasitas penyimpanan yang besar sehingga mahal dan tidak efisien. Dalam hal ini, sistem energi angin dapat digabung atau diberi pendukung (generator diesel atau fotovoltaik) yang akan mensuplai energi tambahan yang diperlukan sehingga penyediaan energi stabil. Penggunaan sistem gabungan tersebut juga dapat menghemat sedapat mungkin pemakaian bahan bakar.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Sebagai kesimpulan dan saran dalam tulisan ini dapat dikemukakan sebagai berikut.

1. Sumber daya angin yang variatif menurut ketinggian, kekasaran, dan juga musim, serta daya angin yang sebanding pangkat tiga merupakan pertimbangan dasar dalam rancangan sistem energi angin. Kecepatan angin rata-rata sebesar 3-5 m/s merupakan indikasi sumber daya angin potensial untuk pembangkitan listrik skala kecil di pedesaan dan juga kopetitif dengan brberape sistem energi lainnya.
2. Turbin angin propeler dengan rotor tiga sudu berpenampang airfoil, tanpa transmisi, generator tipe magnet permanen, kontrol yang berengsel miring dan bahan yang tahan karat dan cuaca, dengan penyimpanan dan distribusi yang baik, merupakan sistem energi angin sederhana dan berkeandalan tinggi yang cocok untuk pedesaan.
3. Karakteristik prestasi atau keluaran daya atau energi turbin angin, efisiensi atau persentase keluaran daya atau produksi energi turbin angin, dan kesesuaian karakteristik tersebut dengan kondisi angin, menentukan prestasi atau produksi energi sistem secara keseluruhan.
4. Sistem energi angin yang dapat menghasilkan produksi energi yang maksimum adalah yang memiliki kecepatan angin operasi dan karakteristik prestasi yang sesuai dengan kondisi operasinya, ketinggian menara yang tepat, penyimpanan energi dan distribusi yang efisien, dan juga menggabungkannya dengan sistem pembangkitan lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdulkadir. A. . 1992, *Panel Discussion on the Introduction., Diffusion and Fururing Problems Regarding New Energy*. Presented in Asia Pasific New Energy Seminar, Bali, Indonesia.
- [2] Anonim, 1994, *Data Angin Untuk 70 Lokasi di Indonesia*, Laporan Interen, LAPAN, Jakarta.
- [3] Anonim, 1995, *Data Angin di Sejumlah Lokasi di Indonesia*, Laporan Interen, LAPAN, Jakarta.
- [4] Bergey, M. L. S. , 1993, *Wind Energy for Bulk Power and Rural Electrification, in Indonesia*. Makalah pada Opportunities for Renewable Energy Development in Indonesia REPSO Workshop. Jakarta.
- [5] Djojodiharjo. H. dan Molly, J. P. . 1983, *Wind Energy Systems*. Penerbit Alumni, Bandung.
- [6] Garrad. A. D. . Palz, W. , Scheller, S. , 1993 *European Community: Proceedings of the International Conference, Lubeck-Travemunde, Germany*.
- [7] . Ginting, D. . 1996 *Analisis Penyediaan dan Peningkatan Kebutuhan Energy Listrik Tenaga Angin di Desa Bulak Baru, Jepara*, Warta LAPAN no. 49. Jakarta.
- [8] Hunt, V.D. . 1981, *Windpower-A Handbook On Wind Energy Conversion Systems*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- [9] Lysen, E. H. 1982, *Interoduction to Wind Energy*, SWD, Amersfoort. The Netherlands
- [10] Nacfaire, H. . 1989. *Wind - Diesel and Wind Autonomous Energy Systems, 1989*. Elsevier Applied Science, London and New York.

1. AMPIRAN

1. Karakteristik Daya Sejumlah Turbin Angin Ukuran Kecil.

No.	Turbin Angin	Jumlah Sudu	ϕ - Rotor (m)	P_r (W)	V_{ci} (m/s)	V_r (m/s)	V_{co} (m/s)	V_{sur} (m/s)
1	LMW 150	3	1,5	150	3,0	10,0	-	60
2	LMW 250	3	1,7	250	3,0	10,0	-	60
3	LMW 600	2	2,2	600	3,0	12,0	-	60
4	LMW 1003	3	3,0	600	2,5	7,0	-	60
5	LMW 1000	3	2,5	1000	3,3	12,0	-	60
6	LMW 2500	2	5,0	2500	2,0	12,0	-	60
7	LMW 3600	3	5,0	3600	4,0	12,0	-	60
8	LMW 10/7	3	7,0	10000	3,1	12,0	-	54
9	BWC-1500	3	3,0	1500	3,6	12,5	-	54
10	BWC EXEL	3	7,0	10000	3,8	12,1	-	54
11	S- 3000	3	2,7	125	3,0	4,5	-	-
12	S-5000	3	3,7	208	3,0	4,5	-	-
13	S-20000	3	5,8	833	3,0	4,5	-	-
14	AEROMAN 11	2	11,0	11000	3,5	8,0	24	50
15	AEROMAN 25	2	14,8	25000	4,0	9,0	25	55
16	FD2-100	3	2,0	100	-	6,0	-	40
17	FD2. 5-200	3	2,5	200	-	7,0	-	40
18	FD2. 5-300	3	2,5	300	3,0	8,0	-	40
19	UM170-2500	3	7,0	2500	3,5	7,0	-	60
20	UM170-5000	3	7,0	5000	4,0	9,0	-	60
21	UM170-10000	3	7,0	10000	4,5	11,5	-	60
22	WGL 500	6	0,5	18	2,2	10,0	-	-
23	WGL 910	6	0,91	72	1,8	10,0	-	-
24	WGL 1800	3	1,8	250	2,2	9,4	-	-

No.	Turbin Angin	P _r (W)	Keluaran Energi (kWh/th) untuk \bar{V} (m/s)					
			3	4	5	6	7	8
1	LMW 150	150	-	274	426	576	710	944
2	LMW 250	250	-	305	527	747	944	1107
3	LMW 600	600	-	581	977	1421	1854	2240
4	LMW 1003	600	-	1430	2046	2597	3040	3387
5	LMW 1000	1000	-	670	1420	2290	3110	3800
6	LMW 2500	2500	3380	5750	8130	10340	12230	13730
7	LMW 3600	3600	1580	4380	7830	11320	14480	17090
8	LMW 10/7	10000	-	6420	14640	22500	28215	32140
9	BWC-1500	1500	300	1000	2000	3500	4500	5005
10	BWC EXEL	10000		7500	15000	22500	27500	32500
11	S-3000	125	657	1168	1606	1916	2263	2555
12	S-5000	208	913	1225	2738	3650	4344	5000
13	S-20000	833	2738	5840	9125	11680	13870	16425
14	AEROMAN 11/11	11000	-	15000	30000	50000	-	-
15	AEROMAN 14.8 25	25000	20000	50000	90000	125000	150000	170000
16*	FD2-100	-	-	-	-	-	-	-

*¹ Data keluaran energi turbin angin No. 16 dst tidak tersedia