

SISTEM ENERGI ANGIN SKALA KECIL UNTUK PEDESAAN

Dines Ginting

Peneliti pada Pusat Teknologi Dirgantara Terapan – LAPAN, Rumpin, Bogor 15310, Indonesia.
E-mail: dinesginting@yahoo.co.id

ABSTRAK

Energi angin adalah sumber energi terbarukan yang telah dimanfaatkan selama lebih dari seabad. Pemanfaatan teknologi energi angin skala kecil dapat diterapkan di pedesaan atau didaerah terpencil yang tidak memiliki jaringan listrik. Potensi angin yang tersedia merupakan dasar pertimbangan desain dan penerapan sistem. Kincir angin sederhana telah digunakan secara luas terutama untuk pemompaan pada tambak garam dan di pedesaan. Pemanfaatan kincir angin atau turbin angin lebih menguntungkan dibandingkan dengan pemanfaatan mesin diesel, photovoltaik atau penambahan jaringan listrik. Biaya awal sistem energi angin yang belum terjangkau oleh masyarakat pedesaan perlu dicarikan solusinya. Makalah juga menguraikan penerapan berbagai teknologi energi angin di Indonesia dan upaya pengembangan sistem dan penyebarluasannya.

Kata kunci: kincir angin, potensi energi angin, rotor, turbin angin

ABSTRACT

Wind energy is a renewable energy resources that has been used for a century. Small scale wind energy technology can be applied in remote areas that have no electricity. Wind energy data is a basic need for designing and system implementation. A simple windmill has been used widely, mainly for pumping at the place for salt-making and at the village. The use of windmill or wind turbine save operation cost compare to the diesel engine, PV system or widening electricity grid. However, need to find a funding solution since the initial cost beyond the capability of villagers to buy. This paper describes the implementation of various wind energy technology in Indonesia, the development and dissemination effort.

Keywords: rotor, wind energy potential, windmill, wind turbine.

1. PENDAHULUAN

Pengembangan sistem energi angin berlangsung sejak ribuan tahun lalu, dan mulai mengalami kemajuan pesat pada tahun 1930-an ketika aerodinamika dan struktur pesawat terbang diterapkan dalam desain. Akan tetapi, teknologi energi alternatif tersebut menghilang bersamaan dengan munculnya sistem energi fosil dalam era industrialisasi. Minat terhadap energi angin menguat kembali awal tahun 1970-an didorong oleh krisis energi dunia. Sistem energi angin mekanik dan listrik diproduksi kembali untuk segera dimanfaatkan, dan berbagai sistem skala kecil disempurnakan dan dikembangkan lebih lanjut di Eropa dan Amerika untuk penyediaan energi pada masa itu. Pengembangan terus berlanjut, dan kini sistem energi terbarukan itu telah menjadi sumber energi alternatif yang penting dan diterapkan secara mandiri untuk energi pedesaan.

Dalam upaya pengembangan dan pemanfaatan energi angin, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah melakukan riset dan pengembangan sejak tahun 1980-an. Kegiatan mencakup pengukuran data angin dan identifikasi lokasi yang potensial, rancang bangun, percontohan dan pemanfaatan sistem energi angin.

Pengembangan diprioritaskan untuk mendukung energi pedesaan, mengingat baru sekitar 60 persen desa yang telah mendapatkan aliran listrik. Pelosok-pelosok desa atau lokasi terpencil sulit terjangkau jaringan listrik PLN. Sistem energi angin skala kecil dapat lebih cepat diimplementasikan pedesaan yang kebutuhan energinya relatif kecil dan spesifik.

Pengalaman selama ini menunjukkan bahwa sistem energi angin untuk pemompaan air di pedesaan, potensial untuk dikembangkan lebih lanjut mengingat banyak pedesaan yang mengalami kesulitan air baik untuk rumah tangga maupun untuk pertanian.

Sejauh mana sistem energi angin skala kecil telah dikembangkan dan dimanfaatkan, dan upaya peningkatan pemanfaatan lebih lanjut dikemukakan dalam tulisan ini.

2. SISTEM ENERGI ANGIN SKALA KECIL

Tenaga angin mekanik yang sangat sederhana telah dikembangkan untuk penggilingan di Afganistan, pada abad ketujuh. Sistem energi angin pembangkit listrik pertama kali dibangun di Amerika tahun 1888 dengan memodifikasi kincir angin untuk menggerakkan generator. Tahapan penting dalam pengembangan sistem tersebut dilakukan oleh ilmuwan Denmark bernama Dane Poul LaCour pada tahun 1891. Kemudian ratusan turbin angin empat sudu soliditas rendah yang merupakan pelopor turbin angin untuk pengisian baterai.

Pada akhir abad ke-19, kincir angin dengan desain yang kompleks telah menjadi sumber energi yang utama di Eropa sebagai refleksi kemajuan teknologi energi angin mekanik ketika itu. Sekitar 20 ribu unit kincir angin telah dioperasikan di Perancis, dan 90% kebutuhan industri di Belanda adalah dari kincir angin. Dan pada tahun 1920-an, sekitar 600 ratus ribu unit kincir angin sudu majemuk telah dioperasikan di Amerika. Tipe kincir angin Amerika itu kemudian menyebar dan paling banyak dikembangkan di seluruh dunia. (Tresher et al., 1998).

Pengembangan disain sistem energi angin meningkat pesat tahun 1930-an dengan diterapkannya aerodinamika dan struktur pada pesawat terbang. Akan tetapi, dalam era industri hampir semua instalasi sistem energi angin yang dekat dengan jaringan listrik menghilang dan digantikan oleh tenaga fosil yang lebih murah dan lebih praktis. Hanya sistem energi angin skala kecil yang masih digunakan secara terbatas untuk kebutuhan pedesaan dan untuk daerah terpencil.

Minat terhadap sistem energi angin menguat kembali ketika harga minyak meningkat drastis dalam dasawarsa 1970-an. Sistem energi angin diproduksi kembali untuk segera digunakan. Riset dan pengembangan dilanjutkan dengan semua pendekatan yang dimungkinkan untuk meningkatkan prestasi dan keandalan sistem.

Antara lain pengembangan kincir angin dengan torsi start yang lebih rendah supaya beroperasi pada kecepatan angin yang lebih rendah. Penyempurnaan prestasi dan keandalan pada turbin angin memprioritaskan pengembangan teknologi dan kontrol rotor. **Tabel 1** menunjukkan pengembangan turbin angin sampai pada pertengahan 1980-an (**Spera, 1995**).

Tabel 1. Pengembangan Rotor Turbin Angin pada masa sekitar tahun 1980.

Karakteristik Rotor	Batasan, atau Persen Desain
Diameter	9,8 - 44,8 m
Lokasi rotor: - arus hulu	75%
- arus hilir	25%
Jumlah sudu: - tiga	82%
- dua	18%
Naf: - rigid	91%
- teeter	9%
Kontrol: - pitch tetap	86%
- pitch variabel	9%
- lainnya	5%
Sudut coning sudu	0 ⁰ - 10 ⁰
Sudut tilt sumbu	2 ⁰ - 9 ⁰
Soliditas	3,4%- 14%
Bentuk:	
- tirus /dipuntir	70%
- dipuntir	20%
- tirus	7%
- lainnya	2%
Bahan sudu:	
- fiberglas	89%
- kayu	11%

2.1. Pengembangan Sistem Energi Angin Skala Kecil di Indonesia.

Rancang bangun sistem energi angin skala kecil untuk pedesaan dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu:

- i. pendekatan tradisional pada kincir angin tradisional untuk pengembangan mandiri oleh pengguna, dan
- ii. pendekatan modern yang diterapkan pada turbin angin modern untuk industri.

Kincir angin tradisional kapasitas rendah dapat dibuat dengan memanfaatkan barang bekas kendaraan bermotor atau sisa bangunan untuk pembuatan head sehingga biaya murah.

Karakteristik sistem energi angin skala kecil diringkaskan dalam **Tabel 2** (Djojodihardjo, 1980).

Tabel 2. Karakteristik Sistem Energi Angin Skala Kecil

Karakteristik	Kincir Angin		Turbin Angin
	Sederhana	Modern	
Kecepatan angin:			
- cut in	≥ 2 m/s	Idem	≥ 3,5 m/s
- rated/maksimum	3-10 m/s	3-10 m/s	7-15 m/s
- cut-out	Opsi	15-20 m/s	20 m/s
- maks./survival	-	60 m/s	60 m/s
Ukuran:			
- diameter rotor	≤ 10 m	≤ 10 m	≤ 12 m
- kapasitas	Rendah	Rendah	≤ 40 kW
Efisiensi	Rendah	Menengah	Tinggi
Torsi rotor	Tinggi	Tinggi	Rendah
Putaran	Rendah	Rendah	Tinggi
Penerapan	Pemompaan dangkal	Pemompaan dalam	Pembangkit listrik/pemompaan
	- terintegrasi	- terintegrasi	- terpisah
	- dekat sumber air	- dekat sumber air	- fleksibel
	- benam	- benam	- benam/permukaan
Operasi/perawatan	Ditunggu/jarang	Otomatis/teratur	Otomatis/jarang
Pembuatan			
- Bahan pembuatan	- dominan kayu	- logam	- logam, fiberglass
- Teknologi/keahlian	- tradisional	- industri	- industri

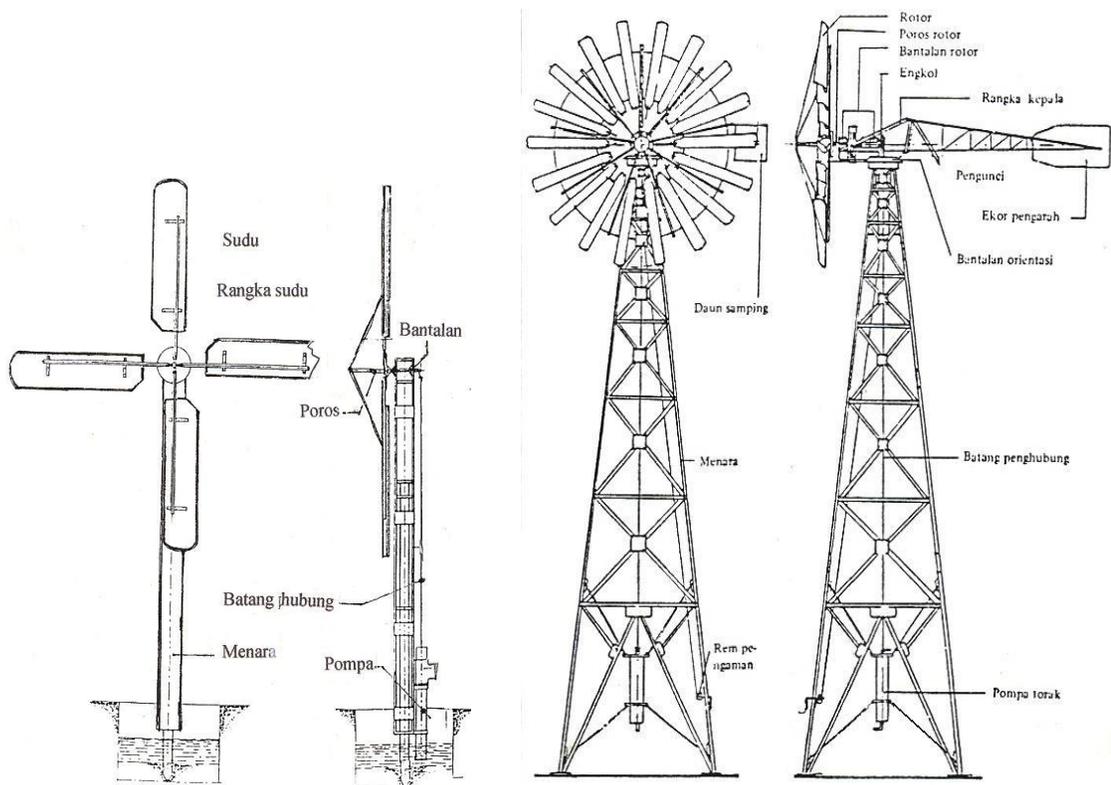
2.2. Konfigurasi Sistem Energi Angin Skala Kecil.

Turbin angin kapasitasnya bervariasi, umumnya terdiri dari:

- Rotor arus hulu, diameter rotor antara 2-10m. Jumlah sudu antara 8-12. *NAF* umumnya rigid, datar atau bersudut.
- Kontrol sebagian besar dengan *furling* pasif (ekor pengarah). Penggerak langsung atau tanpa transmisi.
- Generator magnet permanen.
- Pengereman mekanik/listrik.
- Nasel struktur kerangka atau gondola.
- Menara latis atau tubular bertumpu pada fondasi beton, yang kekuatannya disesuaikan dengan ketinggian, disain dan kondisi tempat pemasangan (Frederick and Savino, 1986)

Sketsa kincir angin empat sudu dan sudu majemuk ditunjukkan pada **Gambar 1 dan 2**. Ukuran/prestasi kincir angin sudu majemuk yang paling banyak digunakan ditampilkan dalam **Tabel 3** (Sugiarmadji dan Djojodihardjo, 1982).

Data teknis dan prestasi turbin angin skala kecil yang banyak digunakan secara luas untuk pedesaan diberikan dalam **Tabel 4** (Bergey, 1993; Moreno, 1986; Wilson et al., 1976).



Gambar 1. Sketsa Kincir Angin Empat Sudu. Gambar 2. Sketsa Kincir Angin Sudu Majemuk.

Tabel 3. Prestasi Kincir Angin Sudu Majemuk Tipikal

Diameter Pompa (m)	Diameter Rotor (m)							
	2,44 m		4,88 m		7,32 m		9,14 m	
	Tinggi angkat (m)	Keluaran (m ³ /hari)	Tinggi angkat (m)	Keluaran (m ³ /hari)	Tinggi angkat (m)	Keluaran (m ³ /hari)	Tinggi angkat (m)	Keluaran (m ³ /hari)
5,08	38	5,8	167	9,6	-	-	-	-
7,62	19	13,1	83	21,8	237	23,4	-	-
10,16	11	23,2	49	38,2	136	41,4	236	37,6
15,24	5	47,7	21	86,4	58	93,4	109	84,3
20,32	-	-	11	154	34	163	61	149
30,48	-	-	-	-	15	366	28	336
45,72	-	-	-	-	7	632	12	746

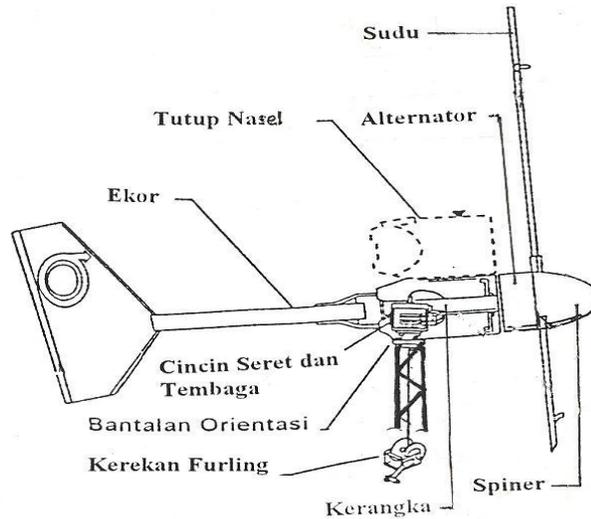
Tabel 4. Data Teknis Sejumlah Turbin Angin Skala Kecil

Manufaktur	Daya (W)/Kec. (m/s); Cut-in/Cut-out (m/s)	Konfigurasi Rotor	Transmisi/ Generator	Energi Tahunan (kWh)[*]
Marlec, Inggris	72 / 10,0 1,8 / none	Diameter 0,91, arus hulu, 6 sudu fiberglas, pitch tetap, yaw pasif, tail vane.	Langsung/ Alternator	-
LMW, Belanda	250 / 10,0 3 / none	Diameter 1,7 m, arus hulu, 3 sudu fiberglas, pitch tetap, yaw pasif, tail vane, furling tegak	Langsung/ Alternator	560
Qingdao, China	300 / 7,5 2,75 / none	Diameter 2,5 m, arus hulu, 3 sudu fiberglas, pitch tetap, yaw pasif, ekliptik tail vane.	Langsung/ Alternator	-
Survivor, AS	400 / 4,5 3,0 / 9,0	Diameter 1,7 m, arus hulu, 3 sudu fiberglas, pitch tetap, yaw pasif, furling tegak.	Kotakgigi/ Alternator	3.000
LMW, Belanda	700 / 9,0 2,5 / none	Diameter 3 m, arus hulu, 3 sudu fiberglas, pitch tetap, yaw pasif, ekliptik tail vane.	Langsung/ Alternator	2.700
Bergey WP, AS	1.500 / 12,5 3,6 / none	Diameter 3,1 m, arus hulu, 3 sudu fiberglas, pith variabe, flexural, yaw pasif, tail vane.	Langsung/ Alternator	3.000
Nort Wind, AS	2.000 / 10,0 2,5 / none	Diameter 5 m, arus hulu, 3 sudu kayu, pitch tetap, yaw pasif, furling tegak.	Langsung/ Alternator	6.870
LMW, Belanda	2.500 / 12,0 2,0 / none	Diameter 5 m, arus hulu, 3 sudu fiberglas, pitch tetap, yaw pasif, ekliptik tail vane.	Langsung/ Alternator	11.000
Struc.Comp Ind., AS	4.000/	Diameter 9,5 m, arus hulu, 3 sudu fiberglass, pitch variabel.	Kotakgigi/ Induksi	22.000
North Wind, AS	6.000/	Diameter 9,5 m, arus hulu, 2 sudu kayu, kontrol pitch	Langsung/ Sin. Lundel	22.100
Windwork, AS	8.000/	Diameter 10 m, arus hulu, 3 sudu Alumi-nium.	Langsung/ Alternator	30.000
Bergey WP, AS	10.000 / 12,0 3,1 / none	Diameter 7 m, arus hulu, 3 sudu fiberglas, pitch variabel, flexural, yaw pasif, tail vane.	Langsung/ Alternator	16.000
Grumman, AS	11.000,0	Diameter 10,1 m, arus hulu, 3 sudu Al, pitch variabel.	Kotak gigi/ Induksi	32.000

* Diprediksi untuk kecepatan angin rata-rata 5,3 m/s

Tampak bahwa, posisi rotor arus hilir mendominasi desain karena tidak mengalami olakan. Sebagian besar rotor didesain dengan tiga sudu karena memiliki stabilitas dinamik yang paling baik. *Naf rigid* umumnya digunakan pada rotor tiga sudu. Sudu berpenampang airfoil, bentuk krucut/dipuntir mendominasi desain karena efisiensinya tinggi.

Fiberglas lebih banyak dipilih untuk bahan sudu karena kuat, ringan, dan tahan terhadap beban lelah. Kontrol kecepatan rotor *pitch* tetap dengan mekanisme ekor pengarah lebih banyak digunakan karena sederhana. Peralatan keselamatan menggunakan rem mekanik dan dinamik. Alternator banyak digunakan pada turbin angin kecil. Generator listrik DC digunakan untuk pengisian baterai. Substansi penggerak/transmisi, generator, peralatan pada bagian kontrol dan platform untuk perawatan ditempatkan di dalam *nasel* di atas menara. Dari dalam *nasel* yang bergerak/berorientasi dialirkan tenaga listrik dan sinyal/data melalui cincin seret atau ‘kabel-lebih’.



Gambar 3. Turbin Angin Tipikal Kapasitas 10 kW yang telah dioperasikan di beberapa lokasi di Indonesia .

2.3. Biaya Penerapan Sistem Energi Angin

Sistem energi angin skala kecil diterapkan secara mandiri (*stand alone*) atau gabungan dengan pembangkit lain. Untuk kebutuhan individual misalnya untuk penerangan rumah tangga, catu daya peralatan komunikasi / pencatatan data dan pemompaan dapat digunakan sistem energi angin sampai dengan kapasitas sampai 1 kW, sedang untuk kebutuhan kelompok bisa menggunakan sistem energi angin sampai dengan 10 kW. Untuk kebutuhan yang relatif besar seperti irigasi pertanian dapat digunakan sistem energi angin sampai dengan 40 kW.

Berbeda dengan sistem diesel yang ekonomis bila bahan bakar yang tersedia murah, biaya awal sistem energi angin skala kecil relatif mahal dan bergantung pada kecepatan angin yang menentukan harga energi listriknya. Sebagai gambaran, biaya spesifik rata-rata turbin angin mandiri skala kecil ditunjukkan dalam **Tabel 5**.

Penerapan mandiri membutuhkan peralatan tambahan seperti baterai, inverter, tenaga pendukung, peralatan keamanan untuk penyimpanan listrik dan distribusi energi.

Sasaran utama sistem energi angin pedesaan bukan semata-mata pada ekonomi, tetapi juga pada stabilitas energi, penghematan bahan bakar minyak dan kemandirian sistem.

Tabel 5 Gambaran Biaya Sistem Turbin Angin Skala Kecil.
(Canada Wind Energy Assosiation, 1993)

Perbandingan	Kategori Penggunaan		
	Pengisian Baterai & Penerangan	Kelompok	Desa, Irigasi/ Pertanian
Daya rated tipikal	0,3-1 kW	1-30 kW	> 30 kW
Biaya modal rata-rata	\$2800/kW	\$3000/kW	\$2200/kW
Biaya terpasang rata-rata	\$5000-\$6400/kW	\$6000/kW	\$3300/kW
Biaya O&M rata-rata	\$40-\$130/thn	\$1150/thn	\$3300/thn
Umur	10-15 thn	20 thn	30 thn

3. PROSPEK SISTEM ENERGI ANGIN SKALA KECIL.

Pengukuran data untuk pemanfaatan energi angin telah dilakukan LAPAN dan instansi lain. Kecepatan angin rata-rata tahunan berkisar antara 3-5 m/s, lihat **Tabel 6** (Anonim, 2000; Ginting, 2000). Kecepatan angin rata-rata ini memadai untuk pemanfaatan sistem energi angin skala kecil.

Tabel 6 Data Kecepatan Angin Rata-rata Tahunan di sejumlah Lokasi Pengukuran

No	Lokasi Pengukuran Data Angin	Kecepatan Angin (m/s)	
		Ketinggian 10 m	Ketinggian 15m* dan 24 m
1	Desa Bulak Baru, Jateng	3.6	4.4
2	Desa Nangalabang, NTT	2.3	3.3
3	Desa Bungaya, Sulsel	4.1	5.0
4	Desa Nangalili, NTT	3.6	4.4
5	T. N. Komodo, NTT	2.7	3.2
6	Desa Pasir Putih, NTT	2.9	3.4
7	Dusun Doropeti, NTB	3.0	3.7
8	Desa Bajo Pulau, NTB	3.4	3.5
9	Desa Sambelia, NTB	2.9	3.8
10	Dusun Tembere, NTB	3.4	4.0
11	Desa Maubesi, NTT	3.5	4.0
12	Desa Paudean, Sulut	2.4	2.5*
13	Desa Libas, Sulut	2.5	2.9*

Instalasi sistem energi angin yang telah dibangun LAPAN dan pihak-pihak lain di antaranya adalah:

- Kincir angin untuk pemompaan air bersih, pertanian dan tambak garam di beberapa desa di di Jawa, Sumatera dan Nusa Tenggara.
- Percontohan untuk listrik desa (Jejara, Lombok Timur dan Madura).
- Instalasi turbin angin skala kecil untuk pedesaan di beberapa lokasi di Jawa, NTB, Sulawesi, dan NTT.
- Instalasi teknologi hibrida angin-diesel untuk listrik desa di Nusa Penida, dan teknologi hibrida surya - angin - biodisel untuk listrik desa di Rote, NTT.
- Pengujian sistem energi angin di stasiun tenaga angin LAPAN (Pameungpeuk Jabar dan Parangtritis, DIY).



Gambar 4. Stasiun Pengujian Sistem Energi Angin LAPAN, Parangtritis, DIY.

3.1. Upaya pengembangan penerapan sistem energi angin skala kecil

Pengembangan sistem energi angin umumnya masih terbatas dalam demonstrasi atau percontohan pemanfaatan. Sistem energi angin yang dioperasikan baru mencapai kapasitas unit 10 kW. Jumlah turbin yang telah dipasang lebih dari 500 unit, tetapi kapasitas total masih jauh dibawah 1 MW. Hasil-hasil dan pengalaman selama ini menunjukkan bahwa pemanfaatan turbin angin skala kecil secara teknis layak untuk pedesaan.

Tabel 7 menunjukkan turbin angin yang dioperasikan di Indonesia (Djojodihardjo, 1980; Ginting, 2000; Sugiarmadji dan Djojodihardjo, 1982).

Peningkatan pemanfaatan diupayakan dengan mengembangkan prototipe sistem energi angin yang lebih sesuai dengan kondisi angin yang tersedia melalui penyempurnaan rancangan aerodinamik dan subsistem listrik serta peningkatan prestasi sistem dengan menggunakan menara yang lebih tinggi. Riset dan pengembangan kini diarahkan pada skala yang lebih ekonomis untuk dapat diproduksi secara komersial.

Tabel 7 Contoh Sistem Tenaga Angin yang Dioperasikan di Indonesia.

Tipe/ Kapasitas	Kec.Operasi (m/s)			Konfigurasi Komponen Utama				
	V_{ci}	V_r	$V_{co}/$ maks	Posisi Rotor	Dia. Rotor (m)	Jlh Sudu/ Bahan	Kontrol/ Orientasi	Transmisi/ Pompa/ Generator
Kincir angin tambak				Arus hulu		4 sudu kayu/plat	Daun ekor	Langsung/ Pompa piston
Kincir angin sudu majemuk				Arus hulu		18 sudu plat	Daun sam- ping/ekor	Langsung/ Pompa piston
Kincir Angin Lubing				Arus hilir	2,2	6 sudu fiberglass	Gaya angin	Langsung/ Pompa piston
Turbin angin 72 W				Arus hulu	0,91	6 sudu fiberglas	Daun ekor	Lansung/ Alternator
Turbin angin 200 W				Arus hulu	1,8	3 sudu fiberglas	Daun ekor	Lansung/ Alternator
Turbin angin 150/250 W	3	10	-/60	Arus hulu	1,5/1,7	3 sudu fiberglas	Daun ekor	Lansung/ Alternator
Turbin angin 300 W				Arus hulu	2,5	3 sudu fiberglas	Daun ekor	Lansung/ Alternator
Turbin angin S. 5000 (Aust)	2	10		Arus hulu		3 sudu fiberglass	Daun ekor	Lansung/ Alternator
Turbin angin 600 W	3	12	-/60	Arus hulu	2,2	2 sudu fiberglas	Daun ekor	Lansung/ P.M.G
Turbin angin 1 kW	3,2	12	-/60	Arus hulu	3	3 sudu fiberglas	Daun ekor	Lansung/ P.M.G
Turbin angin 1,1 kW	2,5	7	-/60	Arus hulu	3	3 sudu fiberglas	Daun ekor	Lansung/ Alternator
Turbin angin 1,5 k W	3,6	12,5	-/54	Arus hulu	3,12	3 sudu fiberglas	Daun ekor	Lansung/ Alternator
Turbin angin 2,5/3,6 kW	2/4	12/1 2	-/60	Arus hulu	5	3 sudu fiberglass	Daun ekor	Lansung/ Alternator
Turbin angin Survivor	2	10		Arus hulu	8	3 sudu fiberglass	Daun ekor	Lansung/ Alternator
Turbin angin 5 kW	3	7	-/50	Arus hulu	10	3 sudu fiberglass	Governor/ daun ekor	Rodagigi/ Gen.3 fs Std
Turbin angin 10 kW	3,1	12	54	Arus hulu	7	3 sudu GRP	Daun ekor	Lansung/ Alternator

Pengembangan dan pemanfaatan sistem energi angin yang potensial untuk ditingkatkan lebih lanjut adalah untuk pemompaan air baik untuk keperluan sehari-hari maupun untuk irigasi/pertanian, mengingat semakin banyak pedesaan yang mengalami kesulitan mendapatkan air. Untuk pemompaan air keperluan sehari-hari relatif kecil, cenderung konstan namun harus bersih (higienis) dan suplai air perlu kontinyu. Kebutuhan air rata-rata per kapita adalah sekitar 40 liter/hari. Untuk desa terpencil 20-25 l/hari dianggap

cukup. Ukuran sistem energi angin yang tepat harus memperhitungkan penurunan muka air sebelum dan sesudah pemompaan di musim hujan dan kering.

Sementara itu, untuk pemompaan irigasi/pertanian, kebutuhan air relatif besar, bervariasi, tidak perlu bersih. Sumber air umumnya air permukaan. Jika ukuran sistem dipilih pada musim tanam, maka laju aliran pada bulan lainnya bisa lebih kecil dari kebutuhan aktual. Agar efektif, kelebihan air digunakan untuk keperluan lain untuk aktifitas budidaya tanaman bernilai tinggi.

Pemilihan sistem energi angin amat penting, sebagai gambaran untuk sistem yang beroperasi pada head 5 m dan kecepatan angin 5,5 m/s, prestasi kincir angin tipikal mencapai 96 m³/hari, sedangkan turbin angin tipikal mencapai 200 m³/hari. Pemompaan dengan kincir angin tipikal lebih mahal dua kali lipat dibandingkan dengan pemompaan menggunakan turbin angin (Djojodihardjo, 1980).

Sistem hibrida kincir angin dan turbin angin listrik untuk pemompaan juga dapat dipertimbangkan, misalnya kincir angin dipasang dekat sumber air untuk memompakan air ke tangki pertama, sedang turbin angin memompakan air dari tangki pertama ke tangki distribusi. Turbin angin dipasang agak jauh dari sumber air, pada tempat dimana kecepatan angin yang lebih tinggi. Dengan demikian efisiensi pemompaan dapat ditingkatkan.

3.2. Permasalahan dan Solusi.

Kendala yang dialami dalam upaya pengembangan dan pemanfaatan sistem energi angin di Indonesia antara lain adalah sebagai berikut.

- Biaya awal sistem energi angin secara umum tidak terjangkau masyarakat pengguna.
- Meskipun dalam aplikasi pedesaan listrik tenaga angin bisa lebih murah daripada listrik tenaga diesel, namun masih lebih mahal daripada listrik PLN.
- Tenaga angin belum dikenal luas seperti tenaga diesel yang telah lama digunakan.
- Dalam praktek sistem energi angin sering tidak beroperasi maksimal karena berbagai alasan misalnya kecepatan angin tidak memadai, pekerjaan perbaikan/perawatan lama sehingga hal ini menimbulkan kesan buruk dan skeptis.

Dalam upaya peningkatan pengembangan dan pemanfaatan sistem tenaga angin, beberapa upaya berikut perlu dilanjutkan.

- Peningkatan kegiatan riset dan pengembangan untuk penyempurnaan prestasi dan keandalan sistem energi angin agar lebih efisien dan terjangkau harganya.
- Meningkatkan diseminasi sistem energi angin yang layak secara teknis dan ekonomi.
- Penyebarluasan data dan informasi sistem energi angin.
- Peningkatan jumlah lokasi pengukuran data angin dan analisis guna peningkatan identifikasi lokasi yang potensial.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Sistem energi angin skala kecil dapat diimplementasikan untuk digunakan secara luas untuk pedesaan. Kincir angin sederhana dapat dikembangkan sendiri oleh pengguna, dapat digunakan di lokasi dengan kecepatan angin yang rendah dan dekat dengan sumber air sehingga energi mekaniknya dapat langsung digunakan untuk memompa air.
2. Turbin angin memerlukan kecepatan angin yang lebih tinggi.
3. Sistem hibrida kincir angin dan turbin angin dapat memaksimalkan prestasi pemompaan, namun perlu penyempurnaan guna peningkatan keekonomian.
4. Karakteristik operasi yang sesuai dengan potensi angin membutuhkan keandalan sistem yang tinggi untuk menghasilkan prestasi maksimum.
5. Biaya awal sistem turbin angin skala kecil relatif mahal, tetapi dalam jangka panjang sistem ini lebih menguntungkan dibandingkan dengan sistem diesel.
6. Pengembangan dan pemanfaatan system energi angin dapat ditingkatkan untuk meningkatkan keekonomiannya misalnya penerapan dikombinasikan dengan kegiatan ekonomi / usaha yang intensif seperti aerasi pada budidaya ikan, irigasi tanaman produktif dan catudaya pada industri rumah tangga untuk komunikasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Anonim (2000), *Data Angin Sejumlah Lokasi di Indonesia*, Laporan Intern Lapan, Jakarta, Indonesia.
- Bergey, M.L.S. (1993), *Wind Energy for Bulk Power and Rural Electrification in Indonesia*, Proceedings of Workshop on Opportunities for Renewable Energy Development in Indonesia , Jakarta, Indonesia.
- Djojodihardjo, H. (1980), *Pemanfaatan Tenaga Angin untuk Pemompaan Air dan Pembangunan Listrik*, LAPAN, Jakarta.
- Frederick, G. R. and J. M. Savino. (1986), *Summary of Tower Design for Large Horizontal Axis Wind Turbine*, Nasa TM-87116, Cleveland, Ohio.
- Ginting, D. (2000), *Kajian Pengembangan Teknologi Energi Angin Skala Kecil untuk Penyediaan Energi di Daerah Terpencil*, Publikasi Ilmiah Pusrosat-Detekgan, LAPAN No. D-Tekgan 03-00, Rumpin-Bogor.
- Spera, D.A. (1994), *Wind Turbine Technology - Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering*, ASME Press, New York.
- Sugiarmadji dan Djojodihardjo, H. (1982), *Perancangan Kincir Angin Sudu Majemuk untuk PemompaAir/Pertanian*, LAPAN, Jakarta, Indonesia.
- Tresher, R. W. et al. (1998), *Trend in Evolution of Wind Turbin Generator Configuration and Systems*, Wind Energy 1, Washington, DC.
- Wilson, R. E., et al. (1976), *Aerodynamics Performance of Wind Turbine*, ERDA/ NSF, Oregon State University, Corvallis.
- Canada Wind Energy Assosiation (1993), "Small Wind Cost Comparison", Canada.