

Aspek TEKNO-EKONOMI

dari Pemanfaatan ENERGI ANGIN di Indonesia^{*)}

Dr. Ir. Harijono Djojohardjo **)

1. PENDAHULUAN

Maksud dari tulisan ini adalah penyampaian tinjauan tekno-ekonomi dari pemanfaatan energi angin di Indonesia, berdasarkan data angin yang ada di Indonesia dan perkembangan teknologi sistem konversi energi angin. Tujuan dari tulisan ini adalah diperolehnya gambaran awal tentang "feasibility" dan "viability" dari pemanfaatan energi angin untuk pembangkitan listrik, pertanian dan pemompaan, dengan penekanan pada pembangkitan listrik skala besar.

Mengingat data angin yang ada merupakan data yang telah dihimpun oleh Pusat Meteorologi dan Geofisika, yang tidak diarahkan untuk penilaian energi angin, maka informasi tentang potensi energi angin di Indonesia sangatlah terbatas sifatnya, yang diolah dengan menggunakan taksiran kasar berdasarkan kaidah-kaidah yang telah dikembangkan dewasa ini.

Survai dan analisa data angin yang sistematis dan terarah ke pemanfaatan energi angin merupakan hal yang mutlak perlu dan belum dapat digantikan oleh pendekatan lain. Untuk memperoleh gambaran tentang teknologi pemanfaatan energi angin untuk pembangkitan listrik, digunakan hasil penelitian dan pengembangan yang telah diperoleh di negara-negara maju. Skenario pemanfaatan energi angin di Indonesia diperkirakan berdasarkan berbagai faktor yang relevan dengan program pembangunan nasional dan situasi yang berlaku.

* Majalah LAPAN No. 16 Tahun ke IV

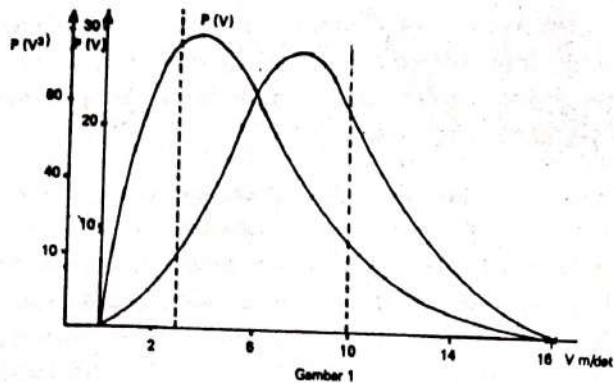
** Pimpinan Proyek ENERGIN-LAPAN

2. EVALUASI DATA ANGIN DI INDONESIA

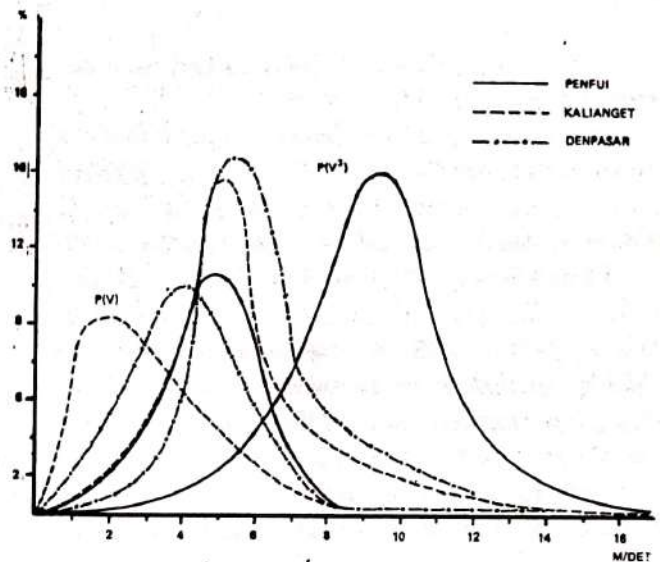
Data angin dewasa ini sudah dikumpulkan oleh Pusat Meteorologi dan Geofisika tidak mencukupi untuk dipergunakan guna penilaian potensi energi angin di Indonesia⁽¹⁾ ⁽²⁾, dan Lokakarya Pengembangan Pemanfaatan Energi Angin yang baru-baru ini diselenggarakan menyimpulkan hal yang sama. Hal ini disebabkan, antara lain karena data yang ada didasarkan pada pengukuran di stasiun pengamatan yang tidak terletak pada lokasi yang terbaik ditinjau dari energi anginnya, metoda pengukuran yang tidak mencakup adanya gust, dan data angin pada ketinggian 10 m sampai 100 m tidak diukur. Data yang terperinci mengenai angin setempat yang bersifat konstan dengan kekuatan yang cukup besar, seperti angin Gending di daerah Probolinggo dan angin Bohorok di Sumatera Utara, masih diperlukan.

Walaupun demikian, dalam pustaka 3 telah diusahakan untuk memperoleh informasi yang penting dari data yang ada, untuk memperoleh gambaran awal tentang kemungkinan potensi energi angin di Indonesia. Hasil yang diperoleh disajikan kembali disini.

Gambar 1 menunjukkan distribusi kecepatan dan distribusi frekwensi daya angin di Cilaut-Eureun (dekat Pemeungpeuk) pada tahun 1976⁽⁴⁾, berdasarkan pengamatan LAPAN, sedangkan gambar 2 menunjukkan distribusi kecepatan dan frekwensi daya angin di Denpasar, Kalianget dan Penfui (Timor), yang diolah dari data PMG. Berdasarkan data ini dan dengan metoda yang diuraikan pada pustaka 3 dan 4, dapat disusun



Gambar 1
Distribusi Frekwensi Kecepatan Dan Daya Angin di Cilaut - Eurusun, 1978



GAMBAR 2.

DISTRIBUSI FREKWENSI KECEPATAN DAN DAYA ANGIN DI PENFUI, KALIANGET DAN DENPASAR

tabel 1, yang menunjukkan penilaian kecepatan awal dan kecepatan rencana mesin konversi energi angin yang ditempatkan di lokasi tersebut. Tabel 2 menunjukkan daerah dengan kecepatan angin rata-rata diatas 3.5 m/det. Semua lokasi yang ditunjukkan pada tabel 1, kecuali Pinang-

sori (Sibolga) dan Curug, mempunyai kecepatan rencana diatas 4m/det, ambang kecepatan angin yang dinilai cukup baik untuk pemanfaatan energi. Pada tabel 1, diperkirakan pula kecepatan angin rencana pada ketinggian 50 m, berdasarkan koefisien eksponen profil kecepatan $\alpha = 0.14$

Tabel 1. Penilaian kecepatan awal dan kecepatan rencana (10 m) dan kecepatan rencana pada ketinggian 50 m

Nama Kota	Kecepatan Awal (m/det)	Kecepatan Rencana (m/det)	
		10 m	50 m
1. Jakarta	2.0	5	6.36
2. Kalianget	2.06	5.67	7.09
3. Denpasar	3.09	6.4	8.05
4. Ternate	2.0	6.18	7.74
5. Penfui	2.0	7.72	9.67
6. Pinangsori	2.0	3.09	3.87
7. Sangkapura	2.0	4.12	5.16
8. Budiarto/Curug	2.0	3.09	3.87
9. Sumbawa Besar	2.06	5.67	7.09

Catatan:

Kecepatan rencana pada ketinggian 50 m diperkirakan dari kecepatan rencana pada ketinggian 10 m dengan menggunakan anggapan eksponen ketinggian = 0.14 (dari pustaka 5).

Tabel 2. Daerah yang mempunyai kecepatan angin rata-rata 3.5 m/det atau lebih

Nama Kota	Kecepatan Rata-rata (m/det)	Masa Bertuip Angin Di atas 4.0 m/det (%)
1. Blang Bintang *	3.5	42.6
2. Tanjung Pinang *	3.75	62.5
3. Tanjung Pandan *	4.35	75.0
4. Pondok Betung	3.7	25.0
5. Margahayu *	4.3	90.0
6. Rendole/Pati *	5.3	84.8
7. Semarang *	3.9	51.3
8. Iswahyudi *	5.15	95.9
9. Kalianget *	4.15	65.6
10. Denpasar *	4.03	59.5
11. Pasir Panjang *	4.95	66.7
12. Kupang/Penfui *	5.75	78.6
13. Waingapu	3.65	32.7
14. Maumere	3.65	33.3
15. Bitung *	5.0	71.4

(yang diperkirakan berlaku berdasarkan hasil penelitian di Swedia⁽⁵⁾).

Lokasi yang diberi tanda * pada tabel 2 merupakan tempat yang baik pula untuk pemanfaatan energi angin, karena kecepatan diatas 4m/det tersebut bertiup 40 persen atau lebih.

Potensi energi angin di Pameungpeuk adalah sekitar 1675 kWh/m²/tahun (1975) dan 2575 kWh/m²/tahun (1976), berdasarkan observasi LAPAN, sedangkan di Denpasar 1559.8 kWh/m²/tahun, berdasarkan data PMG yang diolah oleh LAPAN⁽³⁾. Suatu studi yang dilakukan Swedia⁽⁵⁾ mengelompokkan daerah angin dalam 4 kelompok, seperti diperlihatkan pada tabel 3,

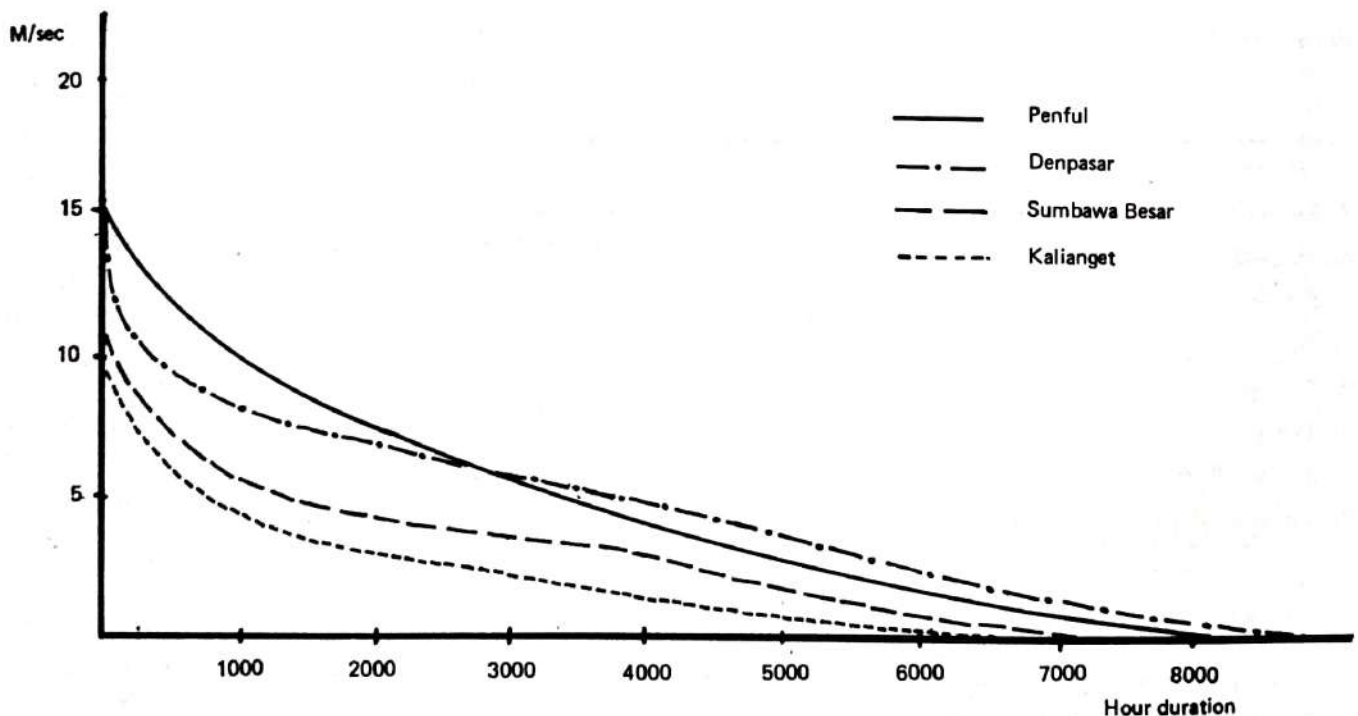
Tabel 3. Pembagian Kelas Wilayah Energi Angin Mengikuti Studi di Swedia⁽⁵⁾

Kelas SKEA	Karakteristik Lokasi	Data Angin H'= 50 m		α
		V _{rata-rata} m/det	Energi Tahunan kWh/m ²	
4	Lepas Pantai, daerah pantai	8	1500	0.14
3	Dekat pantai	6.5	800	0.22
2	Baik, pedalaman	5.5	500	0.30
1	Rendah, pedalaman	4.5	300	0.34

yang memperinci pula berbagai karakteristiknya. Berdasarkan energi spesifik pertahun. Pameungpeuk dan Denpasar dapat digolongkan dalam kelompok pemanfaatan energi angin yang sangat baik (SKEA kelas 4).

Informasi yang ditunjukkan diatas diajukan, sebagai alat pembantu penaksiran awal tentang potensi energi angin di Indonesia berdasarkan data yang ada. Kesimpulan awal yang dapat ditarik adalah bahwa kemungkinan ditemuinya tempat-tempat di Indonesia dengan kondisi (potensi) energi angin yang menguntungkan adalah cukup besar. Sebagai perbandingan tambahan, pada gambar 4 ditunjukkan peta kecepatan angin rata-rata di dunia yang dibuat oleh Stodhart⁽⁶⁾. Selanjutnya, peta yang diperlihatkan pada gambar 5, dari pustaka 7, memperlihatkan bahwa bila dipergunakan turbin angin dengan daya 1 kW untuk kecepatan rencana 11 m/det, dapat dihasilkan energi antara 2250-3750 kW/jam per tahun di berbagai daerah di Indonesia.

Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, usaha pengumpulan data angin secara lebih terarah ke pemanfaatan energi angin, berdasarkan pemilihan lokasi, pengukuran sampai ketinggian 50 - 100 m dan metoda pengamatan dengan frekwensi pengamatan yang cukup intensif, perlu dikembangkan.



GAMBAR 3. KURVA BERTAHANNYA KECEPATAN ANGIN (HOUR DURATION CURVE)

3. SKENARIO KEMUNGKINAN PEMANFAATAN ENERGI ANGIN DI INDONESIA

Berdasarkan studi yang dibuat oleh Budi Sudarsono⁽⁸⁾, yang selanjutnya didasarkan atas data LEKNAS, kebutuhan energi listrik di Indonesia pada tahun 2000 diperkirakan mencapai 200 juta TCE, sedangkan kebutuhan kapasitas sumber tenaga listrik di Jawa diperkirakan sebesar 25.000 MW. Dengan demikian kapasitas pembangkitan listrik di Indonesia dapat diperkirakan mencapai order kebesaran 37 500 MW pada tahun 2000.

Sehubungan dengan hal itu, pertanyaan yang dinilai relevan yang dapat diajukan pada taraf ini adalah :

- a. berapa besar peranan dan kontribusi energi angin yang mungkin dapat dimanfaatkan untuk memenuhi sebagian dari kebutuhan energi listrik, *)
- b. bagaimana pola pemanfaatan energi angin untuk pemenuhan kebutuhan energi, baik untuk pembangkitan listrik maupun untuk pertanian.

Untuk menjawab kedua pertanyaan tersebut, perlu diperhatikan pula kebijakan Pemerintah tentang diversifikasi dan konservasi energi, dan sasaran pemerataan pembangunan. Dan dalam hubungan ini, motivasi pengembangan energi angin yang pernah dikemukakan pada pustaka 2 akan diulangi kembali disini, yaitu :

- a. kewajiban untuk memanfaatkan sumber energi yang terpulihkan.
- b. pengembangan teknologi pemanfaatan energi angin dapat membantu tercapainya struktur sumber energi yang mantap pada masa yang akan datang, dengan mengusahakan diversifikasi sumber energi dan konservasi lingkungan hidup.
- c. pengembangan teknologi pemanfaatan energi angin dapat meningkatkan kemampuan sumber daya manusia secara lebih merata.

*) Dalam kaitannya dengan pertanyaan ini, dapat disebutkan bahwa negara bagian Hawaii di Amerika Serikat mempunyai sasaran untuk dapat memenuhi kebutuhan energinya pada tahun 2000 sampai 30% dari energi angin (9). Angka tersebut dapat dibesarkan, bila tidak dibatasi oleh kebijaksanaan energi setempat.

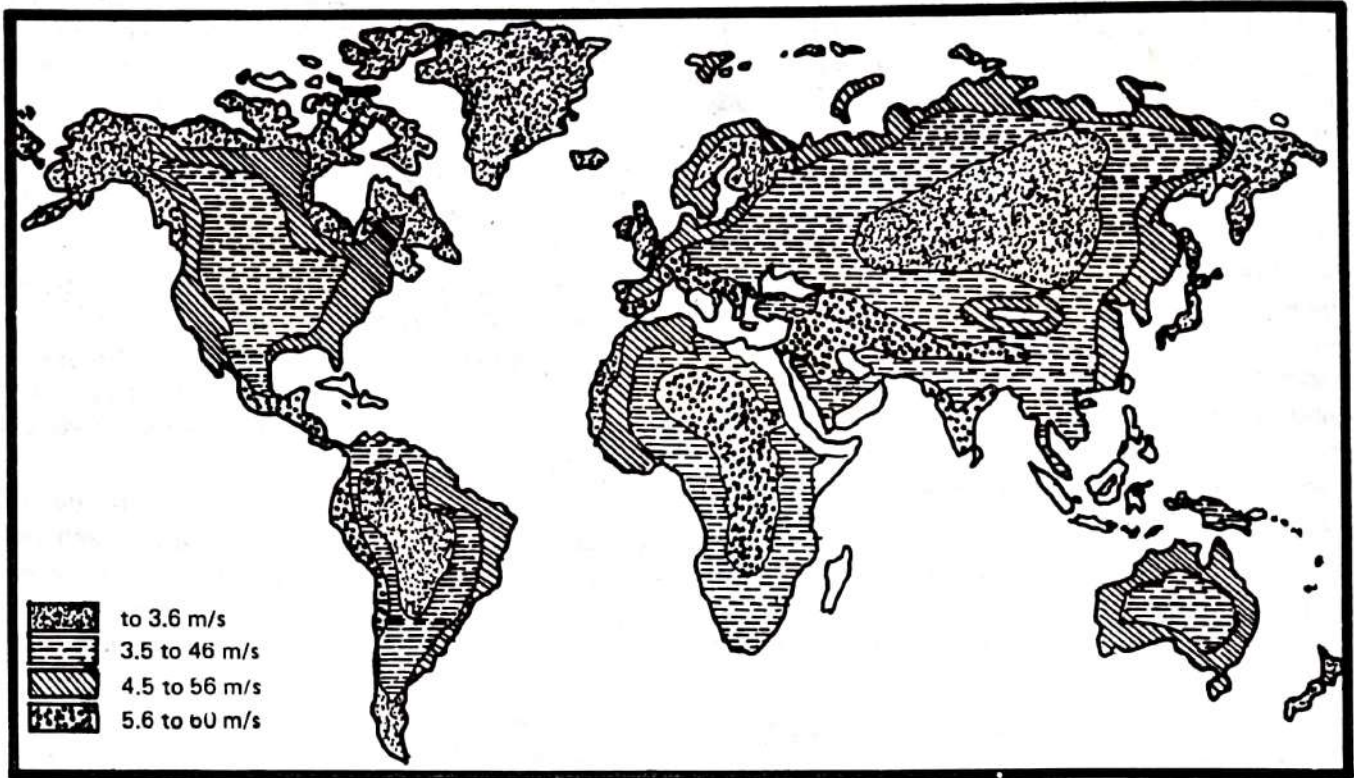
- d. pemanfaatan sumber energi yang terpulihkan di dalam negeri akan memungkinkan peningkatan ekspor komoditi energi lainnya yang dapat menghasilkan devisa.
- e. pemanfaatan sumber energi yang terpulihkan akan mengurangi beban (pencemaran) terhadap lingkungan.

Selanjutnya, jawaban terhadap kedua pertanyaan diatas erat kaitannya dengan status (kemajuan yang telah dicapai) teknologi dewasa ini maupun dalam beberapa (sepuluh) tahun yang akan datang. Pertanyaan yang kedua dapat diberi pola jawaban demikian :

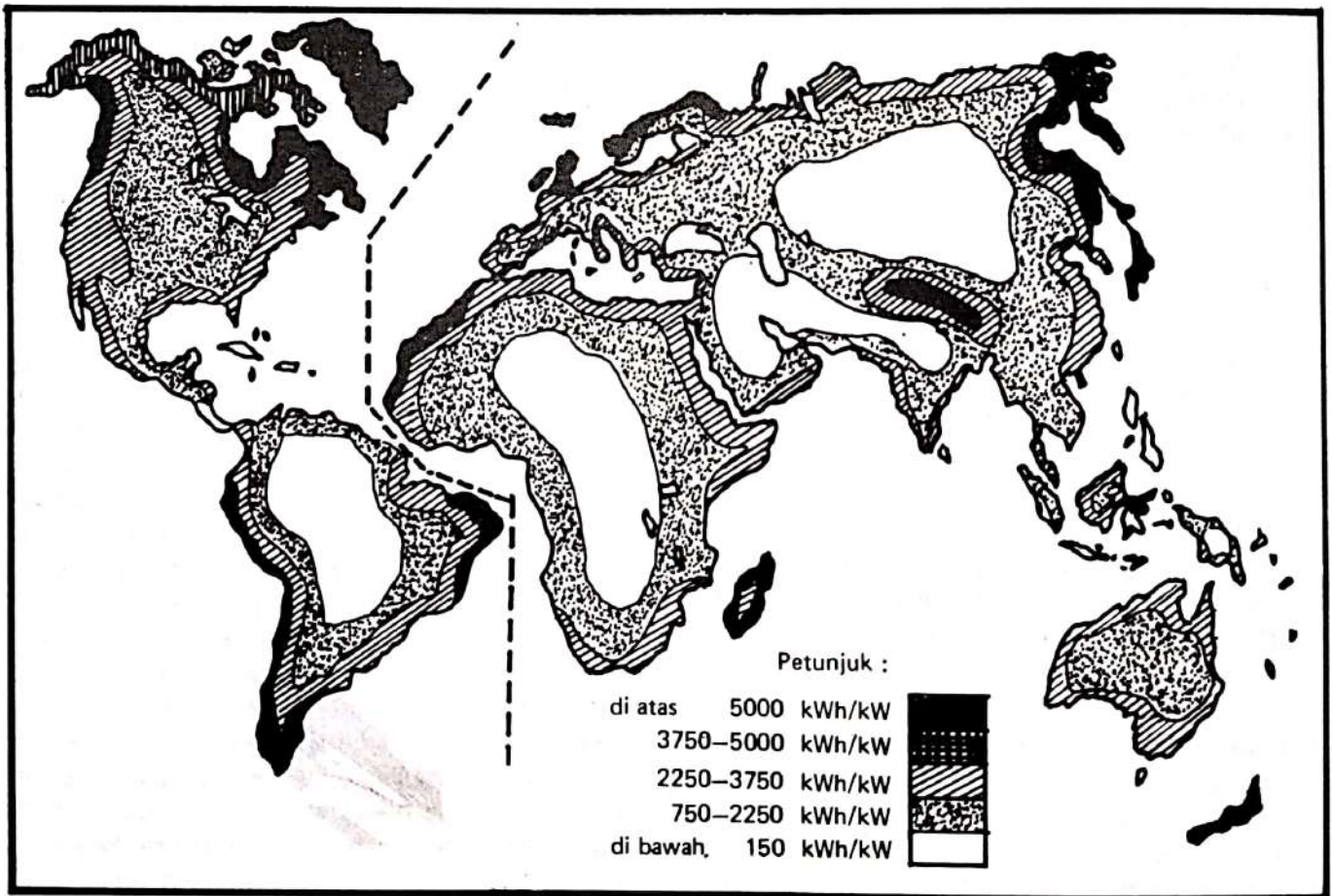
- a. energi angin dapat dimanfaatkan untuk daerah pedesaan (rural areas), khususnya daerah terpencil, yang potensi energi anginnya memadai : untuk kategori ini dapat dikembangkan dan dimanfaatkan sistem konversi energi angin skala kecil dan sedang, dengan teknologi sederhana sampai menengah, yang disesuaikan dengan pola tenaga kerja setempat, sampai skala yang lebih besar dengan teknologi tinggi, sesuai dengan kebutuhan.
- b. pemanfaatan pusat listrik tenaga angin (sistem konversi energi angin untuk pembangkitan listrik) skala besar, baik untuk memenuhi kebutuhan listrik secara tersebar (decentralized systems) maupun untuk kontribusi dalam jaring-jaring yang terpusat; dalam kategori ini, diperlukan dukungan sistem teknologi maju (Industrial technology), setaraf dengan sistem konvensional lainnya.

Pembahasan dan perincian lebih pembahasan lanjut dari jawab terhadap pertanyaan kedua ini merupakan inti dari pembahasan selanjutnya. Kemungkinan kontribusi energi angin pada struktur penyediaan energi di Indonesia menjelang tahun 2000 dapat diperkirakan berdasarkan informasi yang diuraikan pada paragraf terdahulu, dan teknologi yang sudah dikembangkan di negara maju. Skenario pemanfaatan energi angin guna pembangkitan listrik skala besar (terpusat) dapat diperkirakan sebagai berikut .

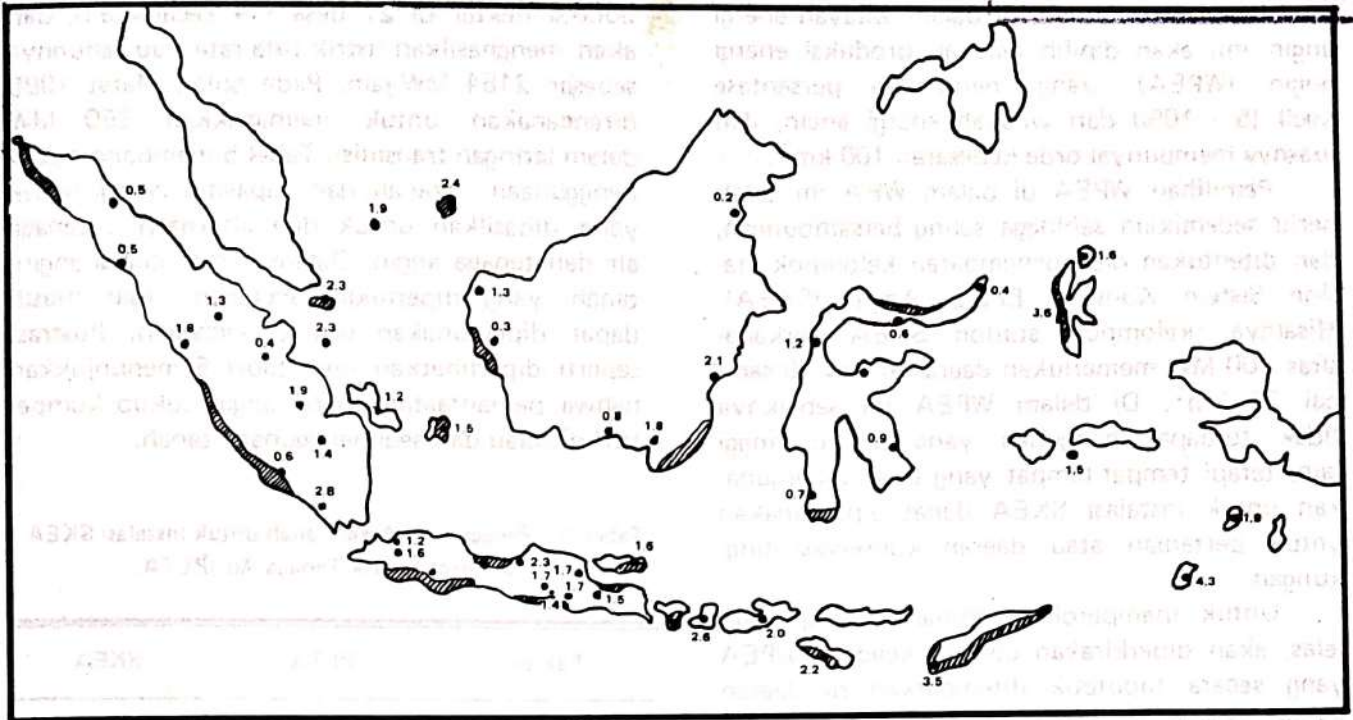
Gambar 6 memperlihatkan peta Indonesia, dengan lokasi yang diperkirakan memiliki energi angin yang potensial, dengan kecepatan angin rencana sebesar 8 m/det pada ketinggian 50 m dari permukaan tanah. Dalam keadaan demikian, energi angin yang dapat dimanfaatkan dengan menggunakan turbin angin yang dayanya 1 kW, berdasarkan taksiran yang diperlihatkan pada



GAMBAR 4. PETA KECEPATAN ANGIN RATA-RATA MENURUT STODHART (6)



GAMBAR 5. ENERGI ANGIN YANG DAPAT DIPEROLEH TIAP TAHUNNYA PADA BERBAGAI TEMPAT DI DUNIA (7)



GAMBAR 6. PETA INDONESIA DENGAN LOKASI WPEA YANG MUNGKIN (SUATU SKENARIO)

gambar 5, adalah 1154 kW-jam/tahun/kW. Berdasarkan studi pada pustaka 5, bila dipergunakan turbin angin berkapasitas 5 MW, dan kecepatan angin rencana sebesar 7 - 8 m/det, dapat direncanakan suatu wilayah produksi energi angin yang menghasilkan 8 Watt/m². Bila pada daerah yang ditandai pada gambar 6 yang tersebar diseluruh Indonesia dapat dimanfaatkan wilayah produksi energi angin seluas 4600 km², maka dapat dibangun instalasi pembangkit listrik tenaga angin sebesar 36 800 MW, dengan perincian yang diperlihatkan pada tabel 4. Dengan demikian, tiap tahunnya dapat dihasilkan tenaga listrik sebesar:

$$36\ 800\ \text{MW} \times 1154\ \text{kW-jam/tahun/kW} = 4.2467 \times 10^{10}\ \text{kW-jam/tahun}$$

$$5.2065 \times 10^7\ \text{TC}$$

Angka yang diperoleh disini tidak merupakan angka dengan ketepatan yang tinggi, tetapi paling baik hanya merupakan taksiran orde kebesaran. mengingat data angin yang dipergunakan baru didasarkan atas peta global, yang kurang terperinci. Walaupun demikian, informasi yang diolah dari data PMG telah memperiflikasikan, kalau tidak menunjukkan keadaan yang lebih baik, informasi yang tercakup pada gambar 5. Dengan demikian, ditinjau dari po-

tensi energi angin, angka yang diperoleh diatas dapat dikategorikan sebagai perkiraan batas bawah.

Dengan demikian, kontribusi energi angin dalam mengisi kebutuhan kapasitas tenaga listrik di Indonesia dapat mencapai 26.03%, bila kebutuhan energi listrik di Indonesia diperkirakan mencapai 2.0×10^8 TCE, atau 17.3%, bila kebutuhan energi listrik tersebut mencapai 3.0×10^8 TCE.

4. MASALAH YANG PERLU DIPERHATIKAN

Diluar aspek ekonomi, masalah lain yang perlu diperhatikan pada pemanfaatan energi angin antara lain adalah sebagai berikut :

- a. tata-guna tanah
- b. teknologi
- c. faktor lingkungan

a. Tata-guna tanah

Guna pemanfaatan energi angin untuk pembangkitan listrik skala besar, diperlukan adanya wilayah energi angin (WEA), yaitu wilayah yang dipilih karena potensi energi anginnya yang cukup baik pada ketinggian sekitar 50 m

atau lebih. Selanjutnya, di dalam wilayah energi angin ini, akan dipilih wilayah produksi energi angin (WPEA), yang merupakan persentase kecil (5 - 10%) dari wilayah energi angin, dan luasnya mempunyai orde kebesaran 100 km².

Pemilihan WPEA di dalam WEA ini tidak perlu sedemikian sehingga saling bersambungan, dan ditentukan oleh penempatan kelompok station Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Misalnya, kelompok station SKEA berkapasitas 100 MW memerlukan daerah seluas 10 sampai 25 km². Di dalam WPEA ini sebaiknya tidak terdapat bangunan yang terlalu tinggi lain, tetapi tempat-tempat yang tidak dipergunakan untuk instalasi SKEA dapat dipergunakan untuk pertanian atau daerah konservasi lingkungan.

Untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas, akan diperkirakan contoh keadaan WPEA yang secara hipotetik ditempatkan di daerah Pameungpeuk. Di daerah ini diperkirakan dapat diperoleh WPEA seluas 100 km². Luas bangunan instalasi SKEA sendiri diperkirakan lebih kecil dari 100 hektar. Bila dibandingkan dengan luas Pulau Jawa (132 174 km², dari Ensiklopedia Indonesia), maka luas WPEA yang diperkirakan untuk pulau Jawa adalah 0.9%, yang dapat dinilai relatif cukup kecil.

Sebagai bahan perbandingan lebih lanjut, rencana pembuatan waduk Saguling, seperti diberitakan dalam harian Kompas tanggal 9 Agustus 1980, akan menggenangi tanah seluas

Tabel 4

Perkiraan Wilayah Produksi Energi Angin di Indonesia (suatu ario)

Daerah	luas WPEA km ²	Daya Listrik yang dapat dihasilkan (MW)
1. Jawa	1200	9600
2. Sumatra	1000	8000
3. Kalimantan	600	4800
4. Sulawesi	800	6400
5. Nusa Tenggara	500	4000
6. Lainnya	500	4000
	4600	36800

5606.6 hektar di 27 desa (4 kecamatan), dan akan menghasilkan listrik rata-rata tiap tahunnya sebesar 2164 MW-jam. Pada bulan Maret 1985 direncanakan untuk memasukkan 350 MW dalam jaringan transmisi. Tabel 5 membandingkan penggunaan tanah dan kapasitas energi listrik yang dihasilkan untuk dua alternatif : tenaga air dan tenaga angin. Dalam kasus tenaga angin, tanah yang diperlukan sebagian besar masih dapat dipergunakan untuk pertanian. Ilustrasi seperti diperlihatkan oleh tabel 5 menunjukkan bahwa pemanfaatan energi angin cukup kompetitif ditinjau dari segi penggunaan tanah.

Tabel 5. Penggunaan Areal Tanah untuk instalasi SKEA dan Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA)

Faktor	PLTA	SKEA
1. Luas Areal Tanah	56.07 km ²	100 km ²
2. Daya Listrik yang dihasilkan	350 MW	800 MW
3. Angka Efektivitas	6.25 W/m ²	8 W/m ²

b. Teknologi

Dalam pertimbangan pemanfaatan energi angin untuk pembangkitan listrik skala besar (misalnya satu pusat dengan kapasitas 800 MW dengan menggunakan 16 tubin angin berkapasitas @ 5 MW), dipertimbangkan penggunaan produk teknologi maju, setaraf dengan teknologi pembangkit listrik yang konvensional atau lainnya. Dari segi pemakai, teknologi pembangkit listrik yang konvensional atau lainnya. Dari segi pemakai, teknologi sistem konversi energi angin skala besar ini akan beredar di pasaran sebagai hasil produksi negara maju dalam waktu yang tidak terlampau lama (2 - 4 tahun). Instalasi sistem konversi energi angin skala besar yang dikembangkan akhir-akhir ini cenderung untuk dapat dipelihara dengan mudah, misalnya dengan mengusahakan ditematkannya subsistem listrik dekat dengan permukaan tanah. Dua konfigurasi SKEA yang telah dikembangkan cukup maju adalah SKEA dengan turbin angin propeller dan SKEA dengan turbin angin Darrieus (berporos tegak). SKEA dengan turbin angin

Darrieus menggunakan generator listrik yang ditempatkan diatas permukaan tanah, sedangkan SKEA dengan turbin angin propeller dikembangkan dengan dua versi : satu versi menggunakan generator pada ketinggian poros propeller, versi lain menggunakan generator pada permukaan tanah;

Gambar 7 menunjukkan turbin angin propeller NASA Mod-O dengan daya 100 kW yang telah diuji, sedangkan gambar 8 menunjukkan turbin angin propeller yang sedang dibangun di negeri Belanda dengan daya 300 kW. Gambar 9 menunjukkan gambaran artis dari turbin angin propeller berdaya 3 MW yang sedang dikembangkan di Jerman Barat. Gambar 10 menunjukkan turbin angin Darrieus yang dicoba di Pulau Magdalen, Kanada, dengan daya 200 kW, sedangkan gambar 11 menunjukkan turbin angin Darrieus berdiameter 17 m dan dengan daya sekitar 50 kW yang telah diuji di Sandia Laboratories, Amerika Serikat. Gambar 12 menun-

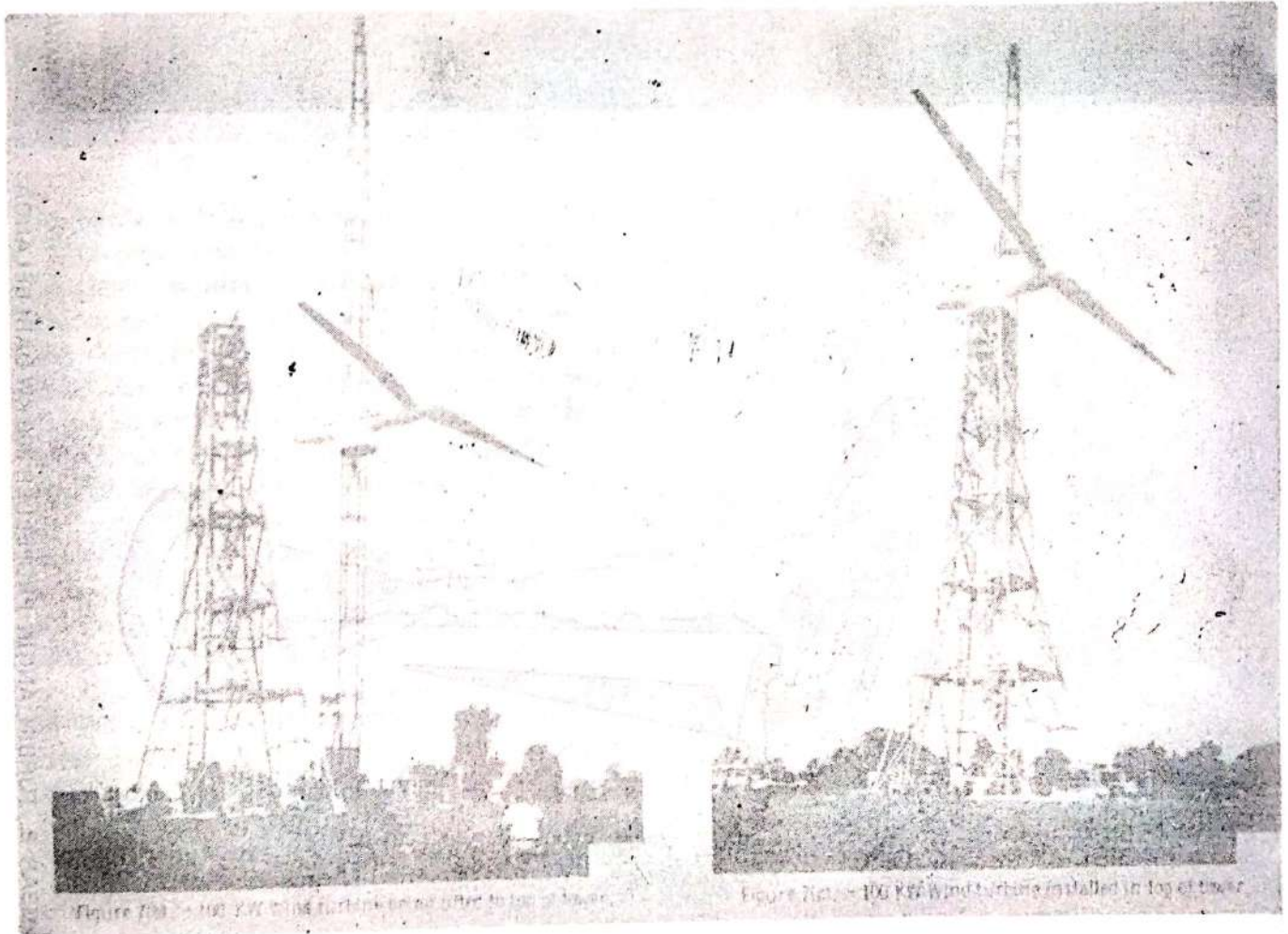
unjukkan turbin angin Darrieus yang sedang dikembangkan oleh LAPAN.

Di samping kemajuan yang telah dicapai, penanganan instalasi pembangkit listrik tenaga angin memerlukan persiapan dan pengenalan yang cermat. Usaha yang perlu dilakukan untuk mempersiapkan penggunaan energi angin guna pembangkitan listrik skala besar adalah mempersiapkan dan mengembangkan kemampuan teknologi dalam negeri, agar selain penguasaan operasi dan pemeliharannya, instalasi SKEA yang akan kita pergunakan hendaknya memiliki nilai lokal yang cukup tinggi.

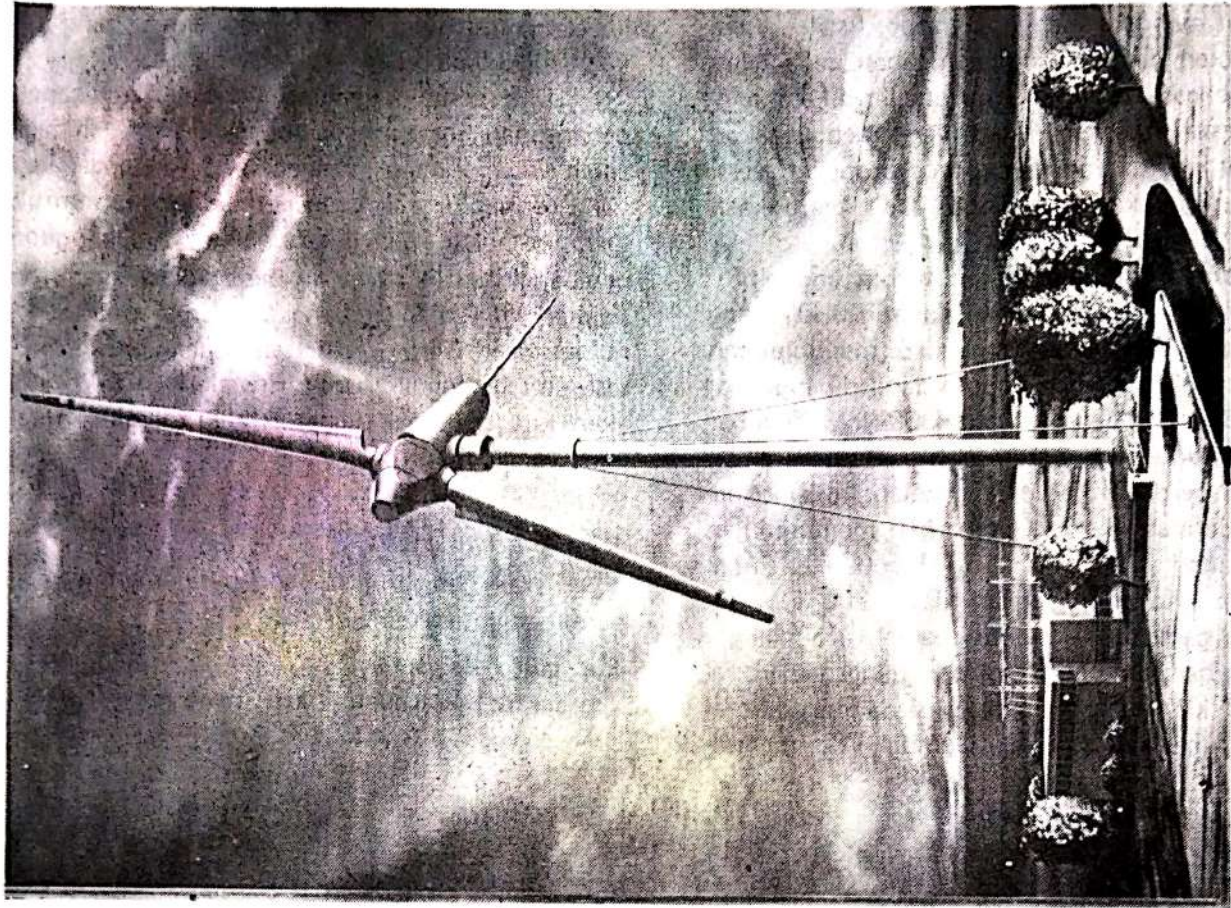
c. Faktor lingkungan

Faktor lingkungan yang perlu memperoleh perhatian antara lain adalah:

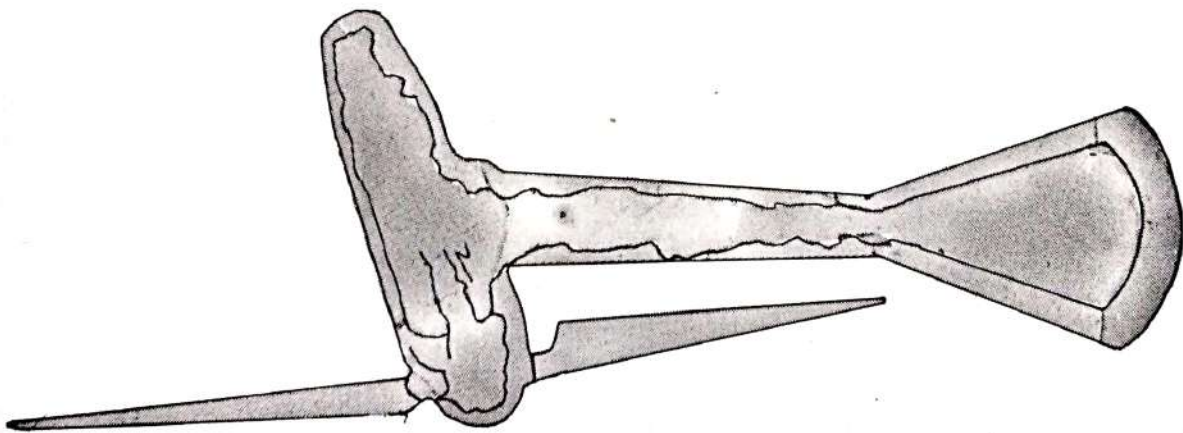
- a. faktor kebisingan
- b. faktor gangguan pada penerimaan siaran televisi



GAMBAR 7. TURBIN ANGIN PROPELLER NASA MOD-0

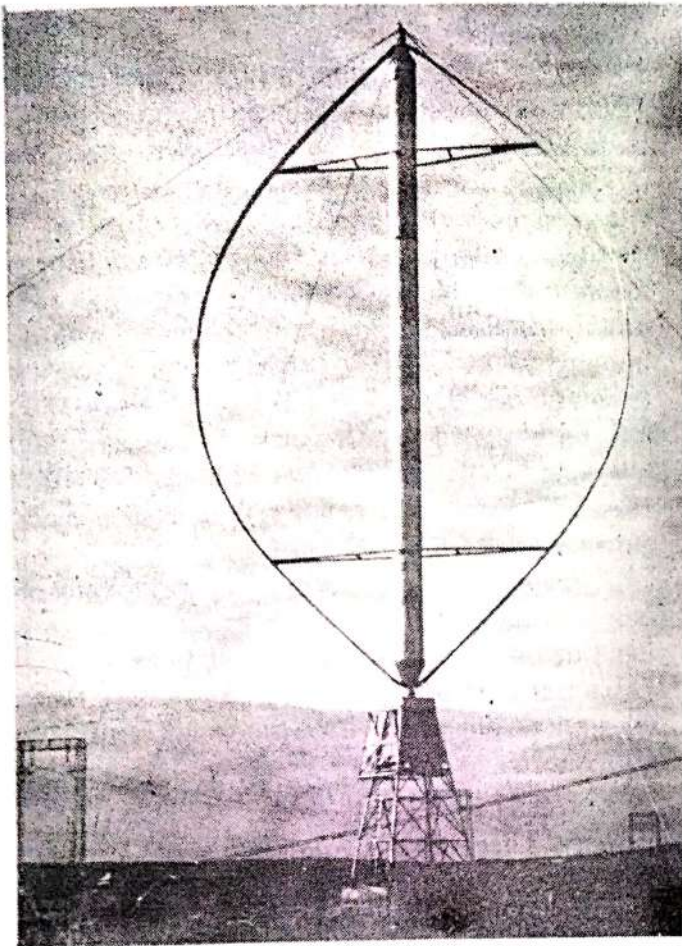


GAMBAR 9. TURBIN ANGIN PROPELLER 3 MW MENURUT PERENCA
NAAN M.A.N. (JERMAN BARAT)



GAMBAR 8. TURBIN ANGIN PROPELLER 300 KW DARI BELANDA

GAMBAR 7. TURBIN ANGIN PROPELLER NASA MOD. B



praktis tidak mempengaruhi iklim atau kondisi angin di daerah sekitarnya.

Mengenai keamanan atau bahaya kecelakaan, perlu dilakukan tindakan pemeriksaan berkala yang cukup baik pada instalasi SKEA. Mengingat iklim di Indonesia yang tropis, bahaya berterbangannya pecahan-pecahan es ke daerah sekitarnya tidak dijumpai. Instalasi SKEA skala besar merupakan bangunan tinggi, yang harus memiliki lampu peringatan untuk pesawat terbang.

5. PENILAIAN EKONOMI

Masalah utama yang akan dibahas disini adalah perkiraan harga investasi sistem konversi energi angin untuk pembangkitan listrik, harga listrik tenaga angin sesampai di tangan pemakai, dan aspek ekonomi lainnya. Dalam hubungan ini, akan dipergunakan hasil pengkajian yang telah dilakukan di luar negeri, misalnya yang telah diuraikan pada pustaka 11 sampai 14.

GAMBAR 10. INSTALASI TURBIN ANGIN DARRIEUS 200 KW DI PULAU MAGDALEN
←

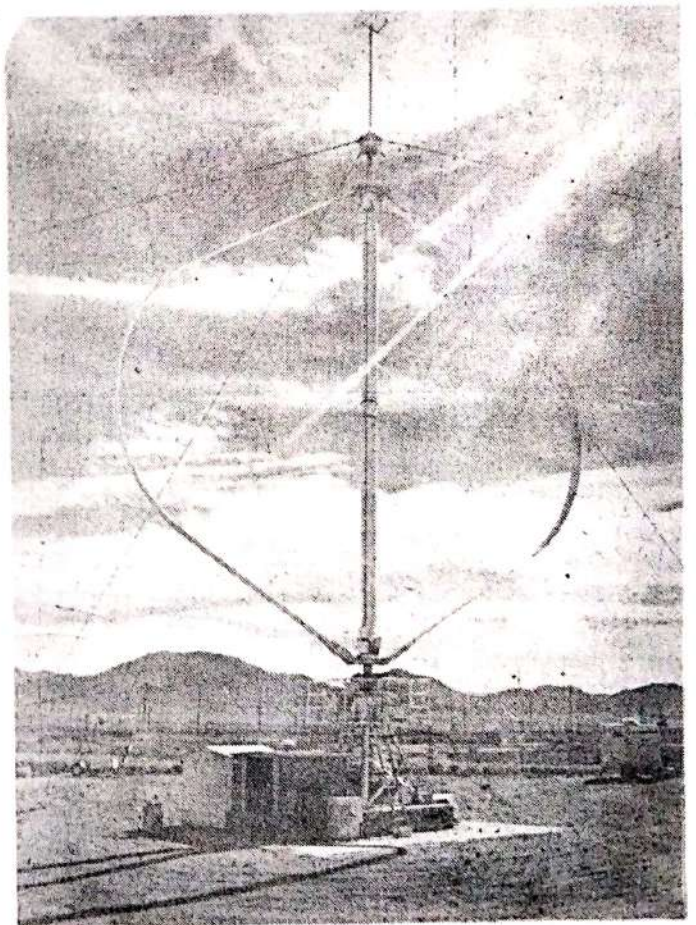
- c. faktor iklim (kelestarian kondisi angin)
- d. faktor keamanan.

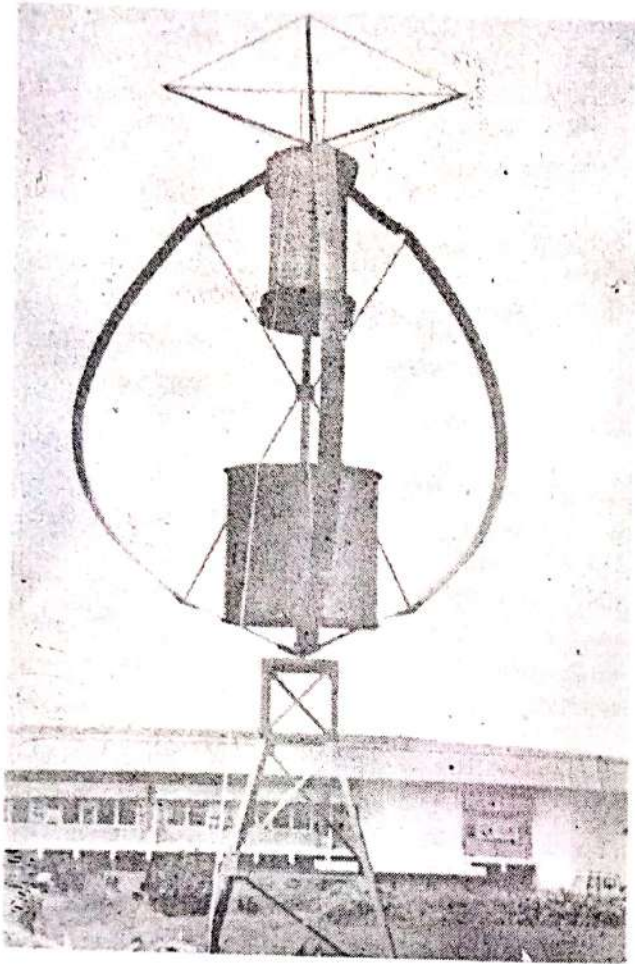
Data kuantitatif pada saat ini belum dapat disampaikan disini, tetapi beberapa komentar yang sifatnya kualitatif dapat dikemukakan disini. Faktor kebisingan dinilai tidak berbeda dengan sistem pembangkit listrik lainnya, hanya disini terdapat suara desis (atau dengung) rotor yang unik, yang merupakan faktor selera. Dengan meninjau kemajuan teknologi dalam penanganan kebisingan, walaupun masalah kebisingan ini masih timbul, hal tersebut akan dapat dipecahkan. Gangguan pada pesawat penerima televisi bersifat lokal.

Selanjutnya, dengan penempatan jarak instalasi SKEA yang dipergunakan dalam perhitungan diatas, berdasarkan hasil penelitian di Swedia⁽⁵⁾ dan Kanada⁽¹⁰⁾, adanya instalasi SKEA secara

GAMBAR 11.

TURBIN ANGIN DARRIEUS BERDIAMETER 17 M
DARI SANDIA LABORATOIES





GAMBAR 12. TURBIN ANGIN DARRIEUS LAPAN YANG SEDANG DIKEMBANGKAN

a. Harga investasi

Tabel 6 memperlihatkan biaya investasi awal (capital cost) dari turbin angin propeller dengan daya 500 dan 1500 kW, berdasarkan perkiraan dibuat oleh perusahaan Kaman dan General Electric yang dilaporkan kepada NASA (¹¹).

Berdasarkan laporan tersebut, yang dibuat dengan menggunakan nilai US \$ tahun 1975, biaya awal untuk instalasi turbin angin propeller yang dihubungkan ke jaringan listrik adalah \$ 450/kW (Kaman) dan \$ 481/kW (GE) untuk daya 1500 kW, sedangkan untuk instalasi dengan daya 500 kW diperoleh harga \$ 974/kW (GE) dan \$ 901/kW (Kaman). Kecepatan angin rata-rata yang dipergunakan adalah 8 m/det dan 5.4 m/det.

Tabel 7 memperlihatkan hasil studi yang diperoleh oleh Sandia Laboratories dengan bekerja sama dengan perusahaan konsultan industri Alcoa Laboratories dan A.T. Kearney, Inc. (¹²) Harga instalasi turbin angin Darrieus untuk daya 120 kW, bila dicapai sasaran produksi 100 MW per tahun, adalah \$ 68 800 (Kearney) dan \$ 69 400 (Alcoa), sedangkan untuk mesin dengan daya 1600 kW, dengan sasaran produksi yang sama, adalah \$ 619 100 (Kearney) dan \$ 714 000 (Alcoa). Kecepatan angin rata-rata yang dipergunakan adalah 6.7m/det.

Tabel 6. Harga Pembangkitan Energi Listrik dengan Daya 600 MW (dalam 10⁶ US\$)

Faktor	BBM	Batu-bara	Nuklir	Angin
Biaya awal (dalam 10 ⁶ US\$)	360	420	720	210
Annual Fixed Charged				
Rate : a. 10%	36.0	42.0	72.0	21.0
b. 15%	54.0	63.0	108.0	31.5
O & M	5.51	9.19	7.35	2.8
Biaya Bh. Bakar	103.59	65.77	29.39	—
Biaya Pembangkitan c/kWh				
a.	3.95	3.18	2.96	3.47
b.	4.43	3.75	3.93	3.89

Catatan:

Untuk minyak bumi, batu-bara dan tenaga nuklir, dipergunakan load factor sebesar 70%, sedangkan untuk tenaga angin dipikirkan masa angin bertiup selama 1154 jam.

TABEL 7

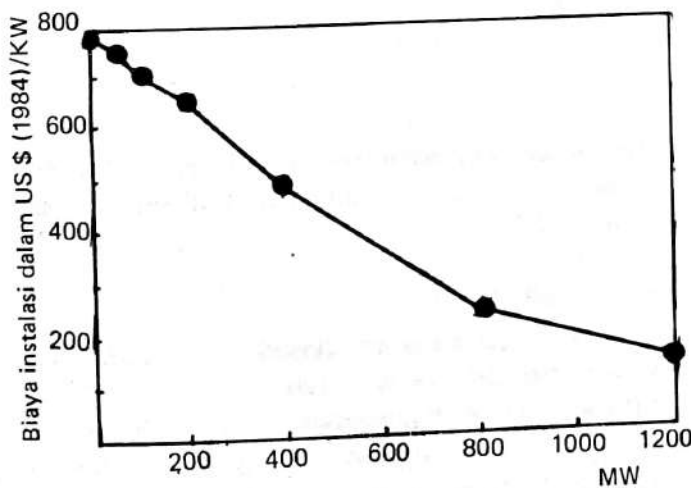
PERKIRAAN JADWAL KEGIATAN PERINTISAN APLIKASI SKEA UNTUK PEMBANGKITAN LISTRIK SKALA BESAR

Kegiatan	Waktu	TAHUN KE-1*)	TAHUN KE-2	TAHUN KE-3	TAHUN KE-4
1. Perancangan Kegiatan dan Pengusulan biaya		█			
2. Evaluasi Potensi Energi Angin:		█			
a. Survei Pendahuluan		█			
b. Instalasi Menara Pengukuran		█			
10 stasion awal		█			
20 stasion gelombang kedua		█	█		
30 stasion gelombang ketiga		█	█	█	
c. Pengumpulan dan Evaluasi Data		█	█	█	
3. Pembangunan Stasion SKEA Pembangkit Listrik Skala Besar untuk Percontohan (Pilot Plant)					
a. perancangan		█			
b. pengadaan dan instalasi		█	█		
c. pengujian dan evaluasi		█	█	█	
4. Kaji Keterlaksanaan Pemanfaatan SKEA sebagai salah satu sumber tenaga listrik nasional menjelang tahun 1990.					
- tahap I:					
kaji perancangan		█			
- tahap II:					
kaji lanjutan dengan memanfaatkan data 2 c dan 3 c yang dihimpun				█	
- tahap III:					
penyusunan rekomendasi dan perancangan jaringan nasional.					█

*) tahun ke-1 dapat dimulai pada tengahan kedua tahun anggaran 1980/1981 (jadi pada akhir bulan April 1981).

Gambar 13 memperlihatkan perkiraan harga instalasi SKEA berdasarkan harga US \$ tahun 1984 sebagai fungsi daya total yang dihasilkan, bila dipergunakan turbin angin propeller, ber-

dasarkan studi NASA (¹³). Untuk daya sebesar 1200 MW, dicapai biaya awal sebesar \$ 130/kW.

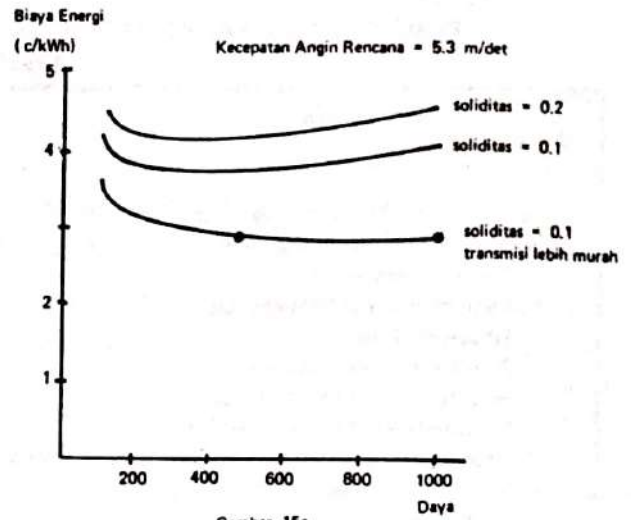
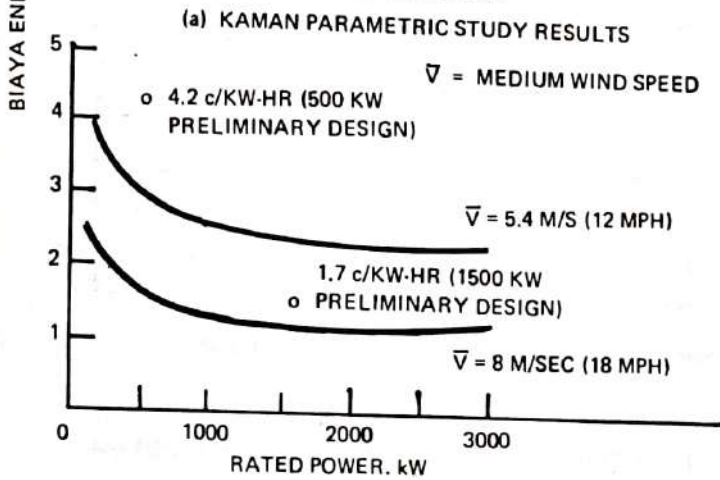
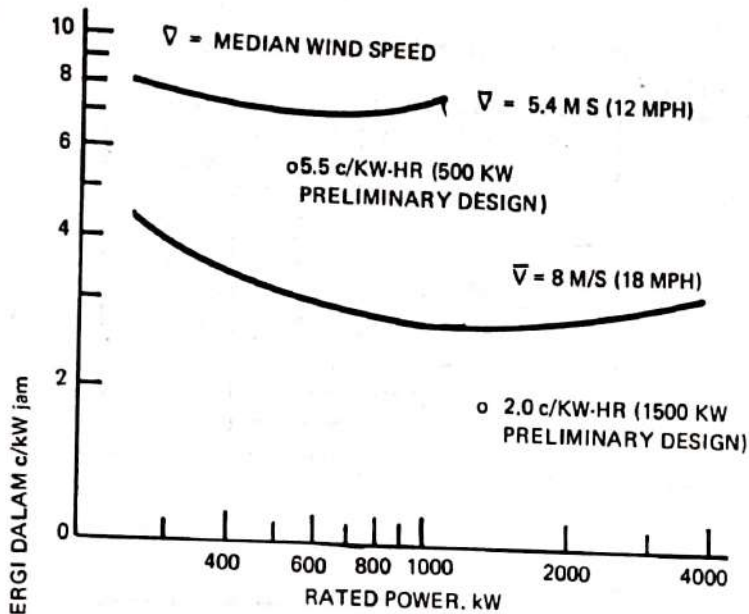


GAMBAR 13.

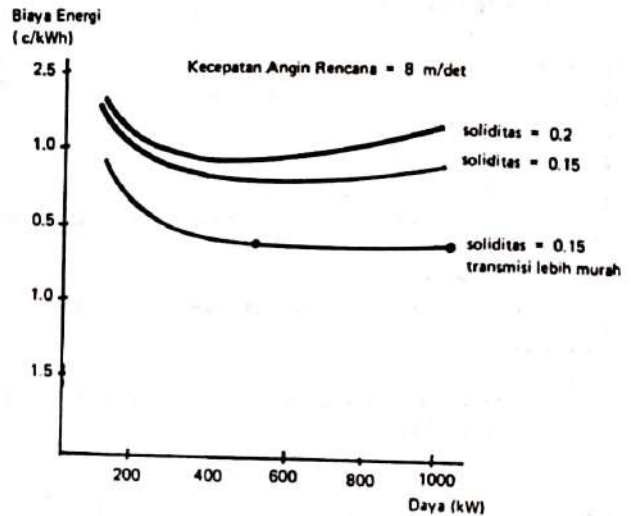
BIAYA AWAL (INVESTASI) INSTALASI SKEA SEBAGAI FUNGSI BESARNYA DAYA INSTALASI

b. Biaya energi

Berdasarkan perkiraan biaya tahunan sebesar 16% dari biaya Investasi awal, yang dipergunakan untuk bunga modal, operasi, pemeliharaan, pajak dan sebagainya, diperoleh biaya energi sebesar 1.7 c/kWh (GE) dan 2.04 c/kWh (Kaman) untuk turbin angin propeller (¹¹). Gambar 14 menunjukkan biaya energi sebagai fungsi dari daya yang dihasilkan dan kecepatan angin, untuk turbin angin propeller. Gambar 15 memperlihatkan biaya energi untuk turbin angin Darrieus (¹⁴), sebagai fungsi dari daya yang dihasilkan, kecepatan angin rencana dan soliditas rotor. Biaya energi berkisar antara 1.5 c/kWh sampai 4.5 c/kWh (dalam hal kecepatan angin rendah dan soliditas rotor tinggi). Pustaka 12 selanjutnya menyimpulkan, bahwa SKEA Darrieus dengan konfigurasi yang optimum, yang



Gambar 15a



Gambar 15b

Biaya Energi terhadap Daya Rencana untuk Turbin Angin Darrieus

diproduksi dengan menggunakan teknologi yang sudah ada, dapat menyediakan listrik kepada pemakai dengan biaya energi antara 4 sampai 6 c/kWh. Dengan perbaikan perancangan struktur, harga ini dapat dikurangi sampai 12 c/kWh.

Berdasarkan informasi diatas, berikut ini dibuat suatu studi perbandingan, yang membandingkan biaya investasi dan biaya energi untuk pembangkitan listrik skala besar (MW), dengan menggunakan empat alternatif: minyak bumi, batu-bara, energi nuklir dan energi angin.

Dapat disimpulkan bahwa baik biaya awal maupun biaya energi untuk kasus energi angin adalah 3.89 c/kWh dibandingkan dengan 4.43 c/kWh untuk minyak bumi, 3.75 c/kWh untuk batubara dan 3.93 c/kWh untuk energi nuklir, untuk biaya modal tahunan sebesar

15 %. Dalam pertimbangan penggunaan energi angin, dianggap masa angin bertiup efektif sebanyak 1150 jam setahun.

6. KESIMPULAN

Dari pembahasan diatas, yang diusahakan untuk memperkirakan batas bawah yang cukup cermat dengan menggunakan data yang masih terbatas, dapat ditarik kesimpulan berikut :

- a. pada berbagai tempat di Indonesia di kenali adanya potensi energi angin dengan intensitas diatas 1500 kWh/m²/tahun, yang cukup baik untuk pembangkitan listrik skala besar, seperti di Cilaut-Eureun (Pameungpeuk), Denpasar dan Penfui (Kupang).

b. dengan survei dan analisa data angin yang lebih terarah ke pemanfaatan energi angin, yaitu dengan pengamatan selama 1 - 2 tahun secara sinambung dan intensif (untuk memperhitungkan daya angin akibat gust), pada berbagai ketinggian sampai 100 m, dan pada daerah yang dikenal berangin cukup besar, kemungkinan akan diperolehnya lebih banyak lokasi yang energi anginnya cukup potensial, serta peta energi angin yang lebih optimistik dibandingkan dengan taksiran saat ini, cukup besar.

c. pemanfaatan energi angin untuk pembangkitan listrik skala besar dinilai kompetitif, mengingat :

- (i) teknologi SKEA yang sudah cukup dikembangkan.
- (ii) biaya energi yang cukup rendah, baik dinilai dari biaya investasi awal maupun dari biaya operasi dan pemeliharaan,
- (iii) penggunaan areal tanah untuk instalasi SKEA masih dalam batas yang dapat diterima, antara lain cukup kompetitif dibandingkan dengan penggunaan areal tanah untuk pembangkitan listrik tenaga air.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. Harijono Djojodihardjo, Pemanfaatan Tenaga Angin Untuk Pemompaan Air dan Pembangkitan Tenaga Listrik, Kertas kerja pada Lokakarya Pengembangan Energi Non-Konvensional, Departemen Pertambangan dan Energi, Direktorat Jenderal Ketenagaan, 28 - 29 Januari 1980.
2. Harijono Djojodihardjo, Program Penelitian dan Pengembangan Energi Angin LAPAN, kertas kerja pada Lokakarya/Diskusi Ilmiah Pengembangan Pemanfaatan Energi Angin, LAPAN, Jakarta, 27 - 28 Mei 1980,
3. Harijono Djojodiharjo dan Darwin Sebayang, Analisa Data Angin di Beberapa Daerah di Indonesia, kertas kerja pada Lokakarya/Diskusi Ilmiah Pengembangan Pemanfaatan Energi Angin, LAPAN, Jakarta 27 - 28 Mei 1980.
4. Harijono Djojodihardjo dan Don Anzaldi Salim, Analisa Data Angin di Cilaut-Eureun untuk Pemanfaatan Energi, majalah LAPAN no.5 tahun II, bulan Mei-Juni-Juli, 1977.
5. O. Ljungstrom, Large Scale Wind Energy Conversion System (WECS) Design and Installation as Affected by Site Wind Energy Characteristics, Grouping Arrangement and Social Acceptance, Proceeding of the International Symposium on Wind Energy Systems, Cambridge, September 7-9, 1976, The British Hydromechanics Research Association, Cranfield, Bedford, England, 1977.
6. Anonymous, MAN Turns the Wind into Energy. MAN Publication, 1980.
7. Frank: R.Eldridge, Wind Machine, The MITRE Corporation, 1975.
8. Budi Sudarsono, The Case for Nuclear Energy in Indonesia, presented at the Technical Discussions on Energy, Seventh General Assembly of WFEO/FMOI, Jakarta, November 16-17, 1979.
9. Anonymous, 1979 Annual Report, Hawaii Natural Energy Institute, University of Hawaii at Manoa, Honolulu, Hawaii, 1979.
10. R.J. Templin, An Estimate of the Interaction of Windmills in Widespread Arrays, National Aeronautical Establishment Laboratory, Tech. Rep. LTRLA - 171, 1974.
11. Ronald L. Thomas, Large Experimental Wind Turbines - Where We Are How, Proceedings of Vertical Axis Wind Turbine Technology Workshop, May 17-20, 1965, Sandia Laboratories, Albuquerque, New Mexico.
12. W.N. Sullivan, Economic Analysis of Darrieus Vertical Axis Wind Turbine Systems for the Generation of Utility Grid Electrical Power, Sandia Laboratories Energy Report, August 1979 .
13. L.V. Divone, Recent Developments in Wind Energy, Proc. Second International Symposium on Wind Energy Systems, October 3 - 6, 1978, Amsterdam, the Netherlands.
14. R.H. Braasch, Vertical Axis Wind Turbine Program, Proc. Vertical Axis Wind Turbine Technology Workshop, May 17-19, 1976, Sandia Laboratories, Albuquerque, New Mexico.