

**STUDI POTENSI ENERGI ANGIN DAERAH PANTAI PURWOREJO  
UNTUK MENDORONG PENYEDIAAN LISTRIK MENGGUNAKAN  
SUMBER ENERGI TERBARUKAN YANG RAMAH LINGKUNGAN**  
*(The Study of Wind Energy Potential at The Cost Area of Purworejo District  
To Stimulate The Electricity Utilization Using Environmentally Friendly  
Renewable Energy)*

**Samsul Kamal**

Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin-Industri FT UGM  
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta, Indonesia, 55281  
Email : samsulugm@yahoo.com; Telp. 081328767101

Diterima: 10 November 2006

Disetujui: 30 Januari 2007

**Abstrak**

Pemanfaatan energi angin di Indonesia, khususnya untuk pembangkit listrik masih berskala sangat kecil. Penggunaan energi angin saat ini masih terbatas terutama untuk tujuan penelitian yang sifatnya sporadis. Pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik guna keperluan masyarakat, masih terkendala oleh tidak cukupnya pengetahuan tentang sejauh mana teknologi turbin angin telah berkembang hingga sekarang, serta masih sangat terbatasnya pengetahuan dan informasi akan tempat-tempat yang mempunyai potensi energi angin yang tinggi. Pemerintah Propinsi Jawa Tengah melalui Pemerintah Daerah Kabupaten Purworejo merencanakan untuk mendorong penggunaan energi yang bersih atau bersahabat dengan lingkungan untuk penyediaan energi listrik yaitu menggunakan sumber energi angin. Studi ini bertujuan untuk mencari daerah dengan potensi energi angin yang tinggi. Berdasar pada pengukuran kecepatan, arah dan pola angin di Kertojayan yang berlokasi di 67° 49' 49,5" LS dan 109° 49' 45,6 " BT, menunjukkan bahwa angin di daerah tersebut mempunyai prospek yang baik untuk sumber energi listrik. Data yang terkumpul menunjukkan bahwa energi angin yang tersedia di daerah tersebut mempunyai potensi yang baik untuk menjadikannya sebagai daerah pembangkit energi listrik tenaga angin. Kecepatan angin rerata tahunan tercatat 6,06 m/dtk. yang memberikan rerata rapat daya sebesar 300,045 W/m<sup>2</sup>. Berdasar pada data yang ada dianjurkan untuk menggunakan mesin turbin angin berskala medium 100 kW setiap mesinnya dengan konstruksi arah tetap, guna memanfaatkan energi angin yang tersedia secara ekonomis.

Kata kunci : energi angin, pengukuran potensi, listrik kincir angin

**Abstrak**

*The use of wind energy in Indonesia, especially for electricity generation, is of a very small scale. Current application today is limited mainly in sporadic experimental purposes. The use of wind energy in electricity generation for public uses is hindered by lack of awareness in the current level of wind turbine technology as well as inadequate knowledge and information on site potential of high wind energy. The government of Central Java province through Purworejo district government plans to stimulate the use of clean energy for electric energy supply by using wind energy source. This study is to revisit the wind energy source at Purworejo cost area by collecting information on the prospective sites with high wind energy potential. Based on the speed, direction and characteristic of wind measured at Kertojayan located at latitude 67° 49' 49.5" S and longitude 109° 49' 45.6 " N , it is indicated that the site is a*

*prospective site location for electric wind energy area. The collected data were used to show that the available wind energy at measuring site is sufficient for the generation of electricity. The mean annual wind speed was found to be 6.06 m/s. The corresponding annual power density was found to be 300.045 W/m<sup>2</sup>. On the basis of the wind data, it is suggested to use the medium scale of 100 kW wind turbine machine per unit with fixed direction for harvesting the available wind energy economically.*

*Keywords : wind energy, potential measurement, electric wind turbine.*

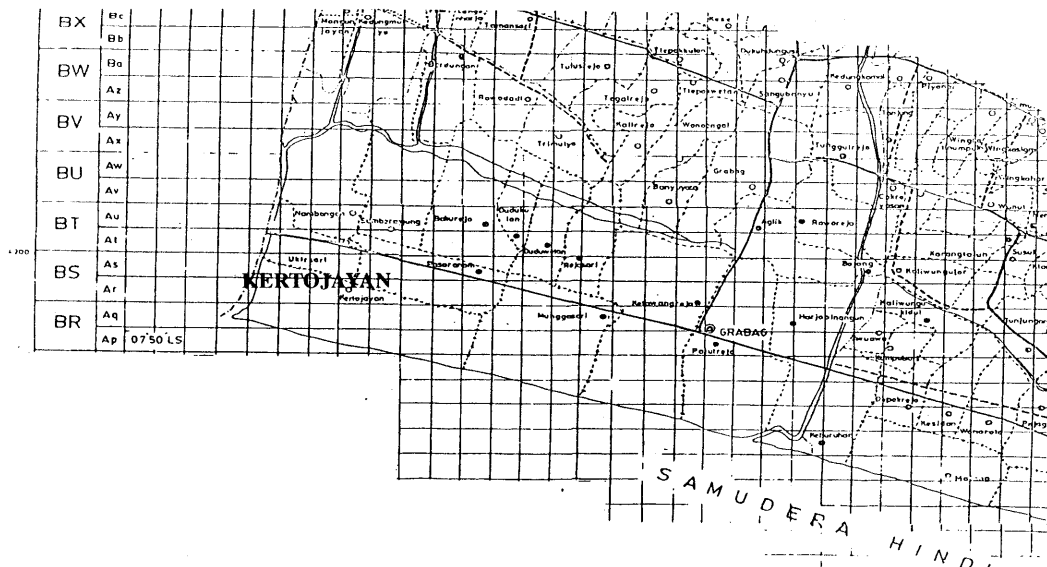
## PENGANTAR

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama manusia untuk memperoleh tujuan-tujuan kehidupan sosial, ekonomi dan lingkungan. Negara memandang energi untuk mengokohkan pembangunan berkelanjutan guna mendukung aktivitas ekonomi nasional. Dengan demikian mudah dimengerti kiranya bahwa kebutuhan energi disetiap negara selalu meningkat sejalan dengan peningkatan produk domestik bruto (*Gross National Product*, GNP) sebagaimana disampaikan oleh Anderson (1979). Kebutuhan energi dapat dipenuhi dari berbagai sumber energi primer yang dapat digolongkan menjadi dua jenis sumber. Pertama adalah sumber energi tak terbarukan (*non-renewable energy*) seperti misalnya minyak fosil, gas alam, batubara. Kedua adalah sumber energi terbarukan (*renewable energy*) seperti misalnya panas bumi (*geothermal*), air terjun atau hidro, angin, sinar matahari. Kedua sumber tersebut dapat dikonversikan menjadi energi terpakai (*used energy*) berupa listrik, panas maupun cahaya. Indonesia memiliki kedua jenis sumber energi tersebut dalam jumlah yang boleh dikatakan cukup banyak. Namun demikian pemenuhan kebutuhan energi listrik masih didominasi dari sumber energi tak terbarukan. Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2003) menunjukkan dari total energi yang diperlukan, sekitar 52 % nya adalah kebutuhan minyak bumi, 21,2 % adalah kebutuhan gas alam, 19 % batubara dan 4 % hidro serta 3,1 % panas bumi. Sementara itu pertumbuhan kebutuhan energi naik secara signifikan dengan rerata kenaikan sekitar 7 % setiap tahun.

Dari aspek lingkungan, proses konversi energi dari energi tak terbarukan menjadi energi terpakai/final menghasilkan polutan yang jauh lebih besar dibanding dari energi terbarukan. Perkiraan polutan yang dihasilkan adalah 860 g CO<sub>2</sub>, 10 g SO<sub>2</sub> dan 3 g NO<sub>x</sub> untuk setiap kWh listrik yang dihasilkan sebagaimana ditunjukkan oleh Renewable Energy World (2003). Karena itu, sejalan juga dengan Kyoto Protocol dan tanggung jawab pemerintah terhadap pelestarian lingkungan, Indonesia melalui *Director General for Electricity and Energy Utilization* (2005) mencanangkan kebijakan dan peraturan yang disebut Kebijakan Energi Nasional yang menargetkan setidaknya 5 % dari pembangkit energi ditahun 2020 harus berasal dari energi terbarukan.

Angin adalah energi terbarukan yang bebas polutan dengan potensi cukup baik di Indonesia. Kecepatan rerata bervariasi antara 3 hingga 6 m/detik, namun pemanfaatannya masih sangat kecil, yaitu baru sekitar 0,6 MW (Hanan Nugroho, 2005). Potensi energi angin di Indonesia umumnya terdapat di daerah pantai barat Jawa memanjang sampai dengan terutama bagian wilayah timur. Teknologi konversi energi angin menjadi listrik menunjukkan kecenderungan harga yang bersaing dan harga sekitar 2,62 cent \$ setiap kWh dengan harga instalasi sekitar 555 \$ setiap kW diprediksi dapat dicapai ditahun 2010, Wind Force 12 (2001).

Desa Kertojayan merupakan salah satu desa di kawasan yang telah ditetapkan sebagai Kawasan Bahari Terpadu (KBT) oleh Pemerintah Daerah Kabupaten Purworejo untuk pengembangan industri kelautan.



**Gambar 1. Lokasi geografis studi**

Salah satu usaha untuk memenuhi kebutuhan energinya adalah dengan memanfaatkan energi angin. Pemanfaatan energi angin di suatu daerah/lokasi memerlukan kajian yang komprehensif agar karakteristik angin di daerah tersebut diketahui pola dan siklusnya. Tujuan studi ini adalah untuk melakukan evaluasi awal besaran kualitatif (*qualitative magnitude evaluation*) angin yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan potensi energi angin sebagai energi listrik di daerah pantai Purworejo.

## METODOLOGI

Angin adalah udara yang bergerak, yang dipengaruhi oleh gaya-gaya akibat tekanan, koriolis putaran bumi, inersial dan gesekan permukaan bumi. Evaluasi energi angin disuatu daerah / lokasi meliputi ; pola dan *magnitude* kecepatan angin, arah angin , rapat daya serta potensi energi tersedia dan dilakukan setidaknya selama satu (1) tahun, Freris (1990).

### Lokasi / site

Lokasi studi adalah di daerah pantai Purworejo yang terletak di desa Kertojayan, Kecamatan Grabag, Kabupataen Purworejo, pada posisi  $07^{\circ} 49' 49.5''$  LS dan  $109^{\circ} 49' 45.6''$  BT dengan ketinggian 3 m dpl. Lokasi

ini dipilih sebagai salah satu representasi daerah pantai Purworejo karena halangan (*terrain features*) angin yang relatif kecil, dekatnya dengan jaringan transmisi PLN serta dekat dengan kegiatan industri perikanan dan tempat pelelangan ikan (TPI). Selain itu, melalui wawancara awal, masyarakat di daerah tersebut juga tidak berkeberatan terhadap keberadaan kincir angin apabila akan dibangun di daerah tersebut, Laporan Akhir (2004)

### Peralatan / Instrumentasi

Peralatan pokok yang digunakan meliputi ; anemometer untuk mengukur kecepatan angin, *wind direction vane* untuk mendeteksi arah angin dilengkapi dengan *global positioning system* (GPS). Properti angin lainnya yang diukur adalah temperatur, menggunakan termometer, tekanan menggunakan barometer dan kelembaban menggunakan *humidity meter*. Semua peralatan pokok tersebut ditempatkan pada satu menara (*tower*) dengan posisi anemometer pada ketinggian 60 m, *Wind Direction Vane* pada ketinggian 25 m. Termometer, barometer dan *humidity meter* di tempatkan pada pada ketinggian 3 m dan mengikuti standard pengukuran *American Wind Energy Association*, AWEA. Untuk pengumpulan data digunakan *data logger NRG System* jenis

*Symphonie Logger* yang dilengkapi dengan *Signal Conditioning Moduls (SCM)*. *Card* penyimpan data yang digunakan adalah *Multi Media Card (MMC)* berkapasitas 16 *mega byte*. *Logger* tersebut adalah *programmable data logger* yang mampu mengambil pembacaan dan menyimpan data dari berbagai sensor yaitu anemometer, *wind direction vane*, termometer, barometer dan *humidity meter*.

Data yang terekam dari sensor disimpan dalam memorinya dan secara periodik dapat di *down load* ke dalam komputer guna analisa. Data angin pada studi ini berisi pencatatan rerata lima detik secara kontinyu dengan durasi setiap periode satu jam selama satu tahun (Oktober 2004 – September 2005).

**Metode Evaluasi Potensi Angin**

Beberapa metode evaluasi dapat digunakan untuk mengestimasi potensi energi angin dari data yang diperoleh, antara lain menggunakan *energy pattern factor*, *direct use*, *bins* (kotak) dan statistik (Manwell *et al*, 2003). Sesuai dengan tujuan studi ini, maka metode kotak akan lebih sesuai untuk digunakan. Inti langkah metode kotak adalah pertama, data dipilah menjadi  $N_B$  kotak dengan julat  $w_i$  dan *mid point*  $m_i$ . Jika  $f_j$  adalah frekuensi kejadian data, maka jumlah observasi kecepatan angin dapat dinyatakan dengan,  $N$

$$N = \sum_{j=1}^{N_B} f_j \dots\dots\dots (1)$$

Sedang rerata kecepatan angin dari periode total pengumpulan data,  $\bar{U}$ , adalah

$$\bar{U} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_B} m_j f_j \dots\dots\dots (2)$$

Selanjutnya deviasi standar dari rerata kecepatan angin,  $\sigma_U$ , diungkapkan sebagai

$$\sigma_U = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left\{ \sum_{j=1}^{N_B} m_j^2 f_j - N \left( \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_B} m_j f_j \right)^2 \right\}} \dots (3)$$

Adapun rapat daya angin rerata, *wind power density*, atau daya angin yang dapat diharapkan setiap satuan luas,  $\bar{P}/A$  dapat diungkapkan dengan

$$\bar{P}/A = \left(\frac{1}{2}\right)\rho \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_B} m_j^3 f_j \dots\dots\dots (4)$$

Akhirnya *qualitative magnitute* dari sumber angin dapat diklasifikasikan menurut Manwell *et al* (2003) sebagai berikut

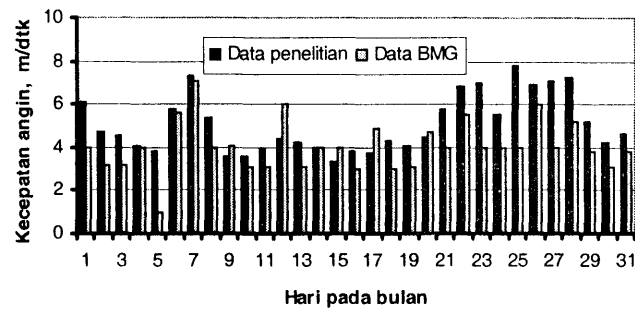
$$\begin{aligned} \bar{P}/A < 100 \text{ W/m}^2 &\Rightarrow \text{poor (jelek)} \\ \bar{P}/A \approx 400 \text{ W/m}^2 &\Rightarrow \text{good (baik)} \\ \bar{P}/A > 700 \text{ W/m}^2 &\Rightarrow \text{great (sangat baik)} \end{aligned} \dots\dots\dots (5)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Rekam data selama satu tahun dari bulan Oktober 2004 hingga September 2005 dapat dilihat pada Tabel 1, yang sudah disusun sesuai dengan metode kotak. Data angin direkam selama 24 jam setiap hari, setiap bulan selama satu tahun.

Sebagai verifikasi terhadap hasil tersebut, maka dilakukan perbandingan hasil pengukuran yang diperoleh, terhadap rekam data dari stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) seposisi daerah pantai yaitu Cilacap. Diambil sebagai contoh data bulan Oktober yang dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil perbandingan menunjukkan kesesuaian yang cukup baik.

Dari data yang diperoleh, pertama dapat diungkapkan distribusi kecepatan angin rerata bulanan, seperti dapat dilihat pada Gambar. 3. Dari data dapat diperoleh bahwa kecepatan rerata angin bulanan yang terekam adalah 6,06



**Gambar 2. Perbandingan data harian dari penelitian terhadap data harian BMG pada bulan Oktober 2004.**

**Tabel 1. Hasil pengukuran kecepatan**

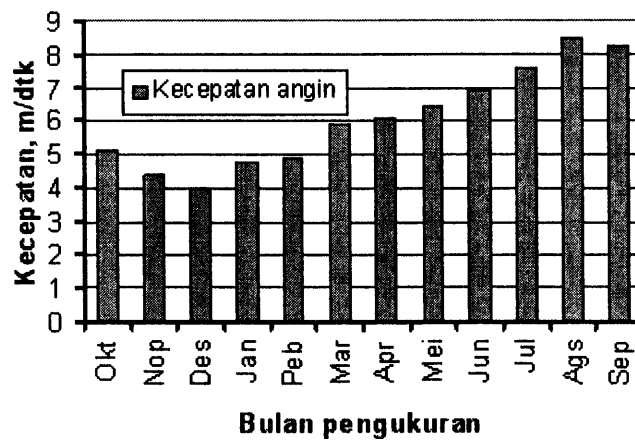
Kelas Interval m/dtk	Harga Tengah $m_i$	Frekuensi $f_i$	$f_i / N$	$(f_i/N) \times (m_i)^3$
0 - 1	0,5	244	0,030168	0,003771
1 - 2	1,5	365	0,045128	0,152307
2 - 3	2,5	768	0,094955	1,483672
3 - 4	3,5	772	0,095450	4,092418
4 - 5	4,5	871	0,107690	9,813251
5 - 6	5,5	970	0,119930	19,953353
6 - 7	6,5	862	0,106577	29,268708
7 - 8	7,5	772	0,095450	40,267968
8 - 9	8,5	611	0,075544	46,393459
9 - 10	9,5	601	0,074307	63,708964
10 - 11	10,5	598	0,073936	85,590162
11 - 12	11,5	321	0,039688	60,360487
12 - 13	12,5	105	0,012982	25,355468
13 - 14	13,5	72	0,008902	21,902258
14 - 15	14,5	52	0,006429	19,599610
15 - 16	15,5	40	0,004945	18,414562
16 - 17	16,5	35	0,004327	19,437425
17 - 18	17,5	13	0,001607	8,6125156
18 - 19	18,5	10	0,001236	7,8258855
19 - 20	19,5	5	0,000618	4,5823924
20 - 21	20,5	1	0,000123	1,0596603

Rapat Daya Energi Angin Rerata (*Average Wind Power Energy*)  $\bar{P}/A = 300,045 \text{ W/m}^2$

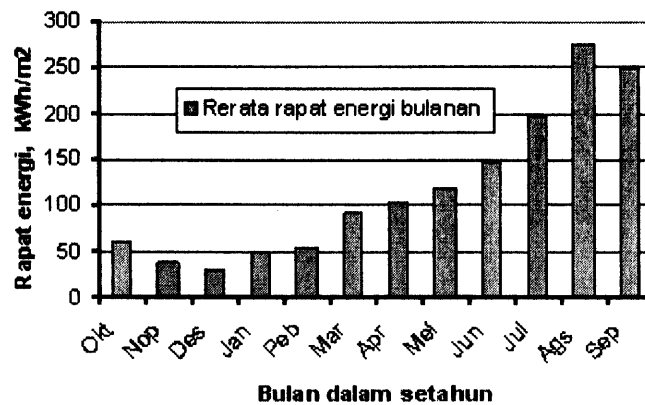
Prediksi Rapat Produksi Energi Listrik Rerata dalam Setahun =  $1,426 \text{ MWjam/m}^2$

m/detik. Rentang kecepatan angin adalah terendah sekitar 4 m/detik pada Desember 2004 hingga tertinggi sampai dengan sekitar 8,5 m/detik pada bulan Agustus 2005. Bulan-bulan Oktober sampai dengan Pebruari merupakan bulan dengan angin yang relatif tenang (*calm*) sementara bulan Maret sampai dengan September kecepatan angin relatif cukup besar (*windy*). Bulan Oktober sampai dengan Pebruari biasanya adalah musim penghujan (*rainy season*). Aspek ini kiranya dapat juga

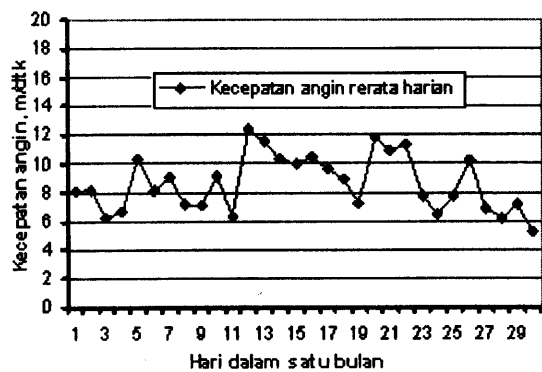
dihubungkan dengan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang lain (*energy mixed*), misal tenaga air (*micro hydro*) dimana saat tersebut terjadi penambahan supply air karena cuaca hujan, sementara energi angin saat tersebut sedikit menurun sehingga tenaga air dapat mencukupkannya begitu sebaliknya. Selanjutnya dengan menggunakan data kecepatan tersebut dapat diprediksi rerata rapat energi bulanan, sebagaimana terlihat pada Gambar. 4.



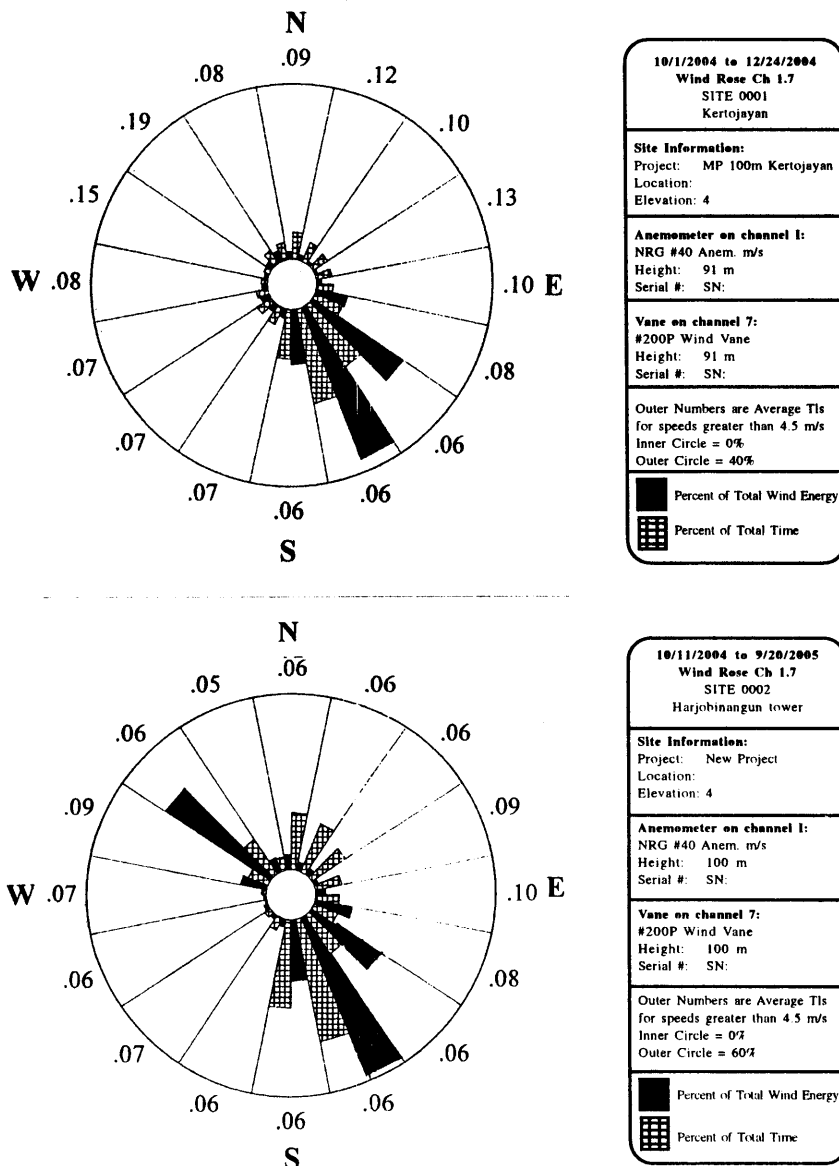
Gambar 3. Distribusi kecepatan angin rerata tiap bulan selama satu tahun (Okt. 04 – Sept.05)



Gambar 4. Rapat Energi Bulanan



Gambar 5. Fluktuasi Kecepatan Angin Harian Bulan Agustus 2005.



Gambar 6. Rekam arah angin (wind rose) 2004-2005

**Tabel 2. Rekomendasi kapasitas daya**

<i>Wind Velocity (mean) m/s]</i>	<i>Capacity kW</i>	<i>Scale</i>
2,5 - 4,0	s.d 10	<i>small</i>
4,0 - 5,0	10 - 100	<i>medium</i>
> 5	> 100	<i>large</i>

Dapat dimengerti kiranya bahwa pola rapat energi akan mengikuti pola kecepatan angin. Berdasar data terekam, fluktuasi kecepatan angin dalam sehari (*diurnal wind speed*) dapat diperlihatkan polanya pada bulan Agustus 2005 sebagaimana terdapat pada Gambar 5. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan angin harian relatif cukup tinggi dan merata. Selanjutnya, dengan menggunakan data Tabel 1 dan ungkapan persamaan (2) dan (4) serta waktu pengamatan selama satu tahun, maka

dapat diperoleh  $\frac{\bar{P}}{A}$  atau rapat daya rerata  $300,045 \text{ W/m}^2$  serta produksi rapat energi listrik rerata selama setahun diprediksi sekitar  $1,426 \text{ MWjam/m}^2$ . Dengan demikian, berdasar pada *qualitative magnitude* dari Manwell *et al* (2003) sebagaimana tertera pada persamaan (5), potensi angin di Kertojayan masuk dalam kategori baik (*good*) karena nilai  $\frac{\bar{P}}{A}$  mendekati nilai  $400 \text{ W/m}^2$ . Untuk arah angin, hasil rekam data arah angin yang tertera pada *wind rose*, Gambar 6, menunjukkan bahwa prosentase total energi dan waktu terbesar angin adalah pada arah tenggara.

Walaupun teknologi konstruksi kincir angin saat ini tidak begitu mempersoalkan arah karena mekanisme kontrol arah otomatis yang ada, namun turbin angin dengan arah yang ditetapkan (*fixed direction*) sesuai dengan *wind rose* akan dapat lebih ekonomis harga konstruksinya.

Berbagai ukuran/kapasitas daya kincir angin sekarang sudah mudah diperoleh. Pertimbangan konstruksi, kehandalan, serta keekonomian operasi dan perawatan harus dipertimbangkan.

Berbagai pengalaman pelaksanaan lapangan, Khennas (2003), memberikan skala perkiraan awal kapasitas daya mesin konversi kincir angin yang ekonomis berdasar kecepatan angin rerata sebagaimana terlihat pada Tabel 2.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari studi ini dapat diperoleh bahwa energi angin di daerah pantai Purworejo dengan titik pengukuran di desa Kertojayan mempunyai kecepatan rerata tahunan sebesar  $6.06 \text{ m/detik}$ . Kecepatan angin ini memberikan potensi rapat energi listrik sebesar  $300,045 \text{ W/m}^2$  dengan potensi rapat produksi energi listrik sekitar  $1,426 \text{ MWjam/m}^2$ . Berdasar pada rapat energi yang ada, maka potensi energi listrik dari angin di daerah pantai Purworejo tergolong kategori baik.

Sesuai dengan rekam data arah angin *wind rose*, persentase total energi dan waktu terbesar adalah pada arah tenggara.

Pemanfaatan energi angin direkomendasi untuk skala menengah (*medium*) dengan kapasitas daya sekitar  $100 \text{ kW}$  setiap unit agar diperoleh keekonomian hasil energi listrik yang cukup ekonomis. Penggunaan konstruksi kincir angin dengan arah tetap (*fixed direction*) dapat dipertimbangkan untuk mengurangi biaya konstruksi. Untuk pemanfaatan yang melibatkan banyak unit kincir angin, pertimbangan lingkungan seperti habitat jalan burung, pemandangan dan *noise* perlu diperhatikan.



### UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini dilakukan dengan melibatkan berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih antara lain kepada : Balitbang Propinsi Jawa Tengah, Lembaga Penelitian Universitas Negeri Semarang dan PT. Cerah Sempurna Semarang.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, L.L., dan Tillman, D.A., 1979, *Synthetic Fuels From Coals* John Wiley & Sons, New York.
- Director General for Electricity and Energy Utilization, 2005, *Indonesia Government Policy on Renewable Energy World Renewable Energy Regional Congress and Exhibition* Jakarta 17-21 April, METI, WRE.
- Freris, L., L., 1990, *Wind Energy Conversion System*, Prentice Hall
- Hanan Nugroho, 2005, *Financing Renewable Energy Utilization in Indonesia : Notes World Renewable Energy Regional Congress and Exhibition* Jakarta 17-21 April 05, METI, WREN.
- Khennas, S., Dunnet, S., dan Piggot, H., 2003, *Small Wind System for Rural Energy Services* ITDG Publishing
- Laporan Akhir, 2004, *Penelitian Survey Pengkajian dan Pelaksanaan Energi Angin* Lembaga Penelitian Universitas Negeri Semarang.
- Manwell, J.F., Mc Gowan, J.G., dan Rogers A.,L., 2003, *Wind Energy Explained, Theory, Design and Application*, John Wiley & Sons Ltd, August 2003.
- Renewable Energy World, Review Issue 2003, *Review Issue 2003-2004*, Vol.6
- Wind Force 12 , 2001, *A Blueprint to Achieve 12% World's Electricity from Wind Power by 2020* EWEA (European Wind Energy Association)