



UNIVERSITAS INDONESIA

**LOKASI POTENSIAL PENGEMBANGAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN DI PULAU JAWA**

SKRIPSI

**AHMAD PRATAMA PUTRA
0304060088**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN GEOGRAFI
DEPOK
JULI 2009**

*Demi **angin** yang menerbangkan debu dengan kuat.
(Q.S. Adz-dzariyat : 60)*

*Dan di antara tanda-tanda kekuasaan-Nya adalah bahwa Dia mengirimkan **angin** sebagai pembawa berita gembira dan untuk merasakan kepadamu sebagian dari rahmat-Nya dan supaya kapal dapat berlayar dengan perintah-Nya dan juga supaya kamu dapat mencari karunia-Nya dan mudah-mudahan kamu bersyukur.
(Q.S. Arrum : 30)*

*Maka Kami meniupkan **angin** yang amat gemuruh kepada mereka dalam beberapa hari yang tidak baik, karena Kami hendak merasakan kepada mereka itu siksaan yang menghinakan dalam kehidupan dunia. Dan Sesungguhnya siksa akhirat lebih menghinakan sedang mereka tidak diberi pertolongan.
(Q.S. Fushillat : 16)*

Begitulah angin, mengajarkan banyak hikmah bagi orang yang berfikir. Seperti layaknya kehidupan, sesungguhnya kita memang tidak bisa mengelak dari kekuatan dan arah angin yang diciptakan ALLAH, tetapi kita dapat membuat layar untuk mengendalikannya sesuai keinginan kita.

(Ahmad Pratama)



UNIVERSITAS INDONESIA

**LOKASI POTENSIAL PENGEMBANGAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN DI PULAU JAWA**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains**

**AHMAD PRATAMA PUTRA
0304060088**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN GEOGRAFI
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya Saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah Saya nyatakan dengan benar**

Nama : Ahmad Pratama Putra

NPM : 0304060088

Tanda Tangan :

Tanggal : Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ahmad Pratama Putra

NPM : 0304060088

Program Studi : Geografi

Judul Skripsi : Lokasi Potensial Pengembangan Pembangkit Listrik
Tenaga Angin di Pulau Jawa

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Geografi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Drs. Sobirin, M.Si



Pembimbing II : Dra. Astrid Damayanti, MS



Penguji I : Drs. Hari Kartono, MS



Penguji II : Dr. Rokhmatulloh, M.Eng



Penguji III : Dr. Djoko Harmantyo, MS



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juli 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur Saya panjatkan kepada *Robbul 'Alamin*, ALLAH SWT, karena atas berkat izin dan rahmat-Nya Saya dapat menyelesaikan karya ilmiah ini. Penulisan karya ilmiah ini dilakukan dalam rangka penyusunan tugas akhir untuk menuntaskan pendidikan strata satu di Departemen Geografi FMIPA UI.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi Saya untuk menyelesaikan karya ilmiah ini dengan baik dan benar. Oleh karena itu Saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Drs. Sobirin, M.Si dan Dra. Astrid Damayanti, MS sebagai tempat bertanya dan selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan serta memberikan banyak pembelajaran kepada Saya dalam penyusunan karya ilmiah ini. Pembelajaran tersebut diantaranya cara berfikir ilmiah dari mencari masalah sampai menarik kesimpulan; cara menulis karya ilmiah yang benar; pengarahan untuk mengerti dan paham terkait materi serta konsep penelitian; dan cara berkomunikasi ilmiah.
- (2) Drs. Hari Kartono, MS; Dr. Rokhmatulloh, M.Eng; dan Dr. Djoko Harmantyo, MS selaku dosen penguji atas segala masukan dan saran terhadap skripsi ini.
- (3) Pihak Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika terutama Bapak Joko Wigianto (staf bagian data BMKG) yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data klimatologi yang Saya perlukan untuk penelitian ini.
- (4) Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional Rumpin Bogor terutama kepada Bapak Soeripno (Kepala Pusat Penelitian LAPAN) dan Bapak Agus Nurcahyo yang telah bersedia untuk menjadi tempat bertanya dan berdiskusi peneliti terkait teknologi turbin angin.
- (5) Badan Pertanahan Nasional terutama kepada Bapak Adi atas kesediaannya memberikan peta yang dibutuhkan oleh peneliti.
- (6) Kapten Marimun Kepala Landasan Udara Iswahyudi Magetan, Bapak Sugarin (Kepala Manajemen Data BMKG Tanjung Priok), dan Kepala

BMKG Bandara Soekarno-Hatta atas waktu diskusi data angin yang diberikan untuk verifikasi hasil penelitian ini.

- (7) Orang tua dan tiga adikku yang telah memberikan dukungan, semangat, doa, secercah harapan dan pengingat untuk segera menyelesaikan penulisan karya ilmiah ini.
- (8) Grup *thullabi* DPD PKS kota Depok khususnya kepada Bang Taufiq Ismail selaku guru spiritual yang telah memberikan motivasi, dukungan, semangat dan doa.
- (9) Awan, Arselan, Aji, Amri, Ari, dan semua teman-teman geografi yang telah memberikan dukungan terhadap penyusunan karya ini.

Tiada sesuatu yang dapat Saya berikan kecuali Saya berharap kepada ALLAH SWT yang Maha Memiliki semua ilmu agar berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan karya ilmiah ini.

Saya yakin bahwa dalam penulisan karya ilmiah ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran sangat Saya harapkan, agar di masa yang akan datang dapat menjadi lebih baik. Semoga karya ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 27 Juli 2009

Penulis,

Ahmad Pratama Putra

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas Akademik Universitas Indonesia, Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Pratama Putra
NPM : 0304060088
Program Studi : Geografi
Departemen : Geografi
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti, Noneksklusif (*Non-exclusive Royalti-Free Right*)** atas karya ilmiah Saya yang berjudul:

Lokasi Potensial Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Pulau Jawa

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihkan media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir Saya selama tetap mencantumkan nama Saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini Saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 27 Juli 2009

Yang Menyatakan

(Ahmad Pratama Putra)

ABSTRAK

Nama : Ahmad Pratama Putra
Program Studi : Geografi
Judul : Lokasi Potensial Pengembangan Pembangkit Listrik
Tenaga Angin di Pulau Jawa

Konsumsi listrik yang semakin meningkat di Pulau Jawa tidak diimbangi dengan ketersediaan energi fosil, sehingga diperlukan terobosan untuk dapat memanfaatkan energi yang dapat diperbaharui, salah satunya adalah energi angin. Berdasarkan faktor klimatologis dan bentuk medan, kecepatan angin rata-rata dan frekuensi kecepatan angin dianalisis secara spasial untuk mengidentifikasi lokasi-lokasi potensial pengembangan pembangkit listrik tenaga angin di Pulau Jawa. Hasil analisis menunjukkan bahwa lokasi yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi lokasi pembangkit listrik tenaga angin adalah wilayah dataran rendah pantai timur Surabaya-Sidoarjo, wilayah dataran rendah Madiun, dan wilayah plato selatan Gunung Kidul-Wonogiri dengan ciri-ciri lokasi memiliki kecepatan angin rata-rata lebih dari 2,5 m/dt dan memiliki frekuensi lebih dari 90 hari.

Kata kunci : analisis spasial; faktor klimatologis; lokasi potensial; Pulau Jawa; tenaga angin

ABSTRACT

Name : Ahmad Pratama Putra
School of : Geography
Title : Potential Location of Wind Power Generator Development in
Java Island

Electrical demand has increased in Java Island but not supported by fossil energy availability, therefore it is necessary to find alternative energy, e.g. wind energy. Depend on climatological and landform factors, average wind velocity and frequency are analyzed spatially for identifying potential locations of wind power generator development in Java Island. The result indicates that very potential location for developing location of wind power generator are eastern part of coastal area of Surabaya-Sidoarjo region, lowland of Madiun region, and southern part of plateau of Gunung Kidul-Wonogiri region that characterized by location with average wind velocity more than 2,5 m/s and frequency more than 90 days.

Key words : climatological factor; Java Island; potential location; spatial analysis; wind power

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR RUMUS	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Masalah.....	3
1.2.1 Perumusan Masalah	3
1.2.2 Pertanyaan Penelitian.....	3
1.3 Batasan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Energi Fosil.....	5
2.2 Energi Yang Dapat Diperbaharui.....	6
2.3 Energi Angin.....	7
2.4 Klimatologi	9
2.4.1 Suhu Udara	11
2.4.2 Tekanan Udara.....	13
2.4.3 Angin	14
2.5 Sistem Konversi Energi Angin.....	17
2.6 Bentuk Medan.....	18
2.7 Hasil Penelitian Terdahulu.....	19
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Variabel-variabel Penelitian.....	21
3.2 Jenis Data.....	22
3.3 Pengumpulan Data	23
3.4 Pengolahan Data	23
3.5 Verifikasi Hasil	26
3.6 Analisis Data.....	26
BAB IV GAMBARAN UMUM DAERAH PENELITIAN	28
4.1 Administrasi Pulau Jawa.....	28
4.2 Fisiografi Pulau Jawa.....	28
4.3 Iklim Pulau Jawa.....	30
4.3.1 Suhu Udara Pulau Jawa	31
4.3.2 Tekanan Udara Pulau Jawa.....	33
4.3.3 Kecepatan Angin Pulau Jawa	34

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	37
5.1 Stasiun Angin.....	37
5.2 Pola Kecepatan Angin.....	38
5.3 Frekuensi Kecepatan Angin.....	41
5.4 Potensi Energi Angin	43
5.4.1 Wilayah Kurang Potensial	44
5.4.2 Wilayah Cukup Potensial.....	45
5.4.3 Wilayah Sangat Potensial	49
BAB VI KESIMPULAN.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Laju Pertumbuhan Angin Dunia	8
Gambar 2.2 Perkembangan Pemanfaatan Tenaga Angin Dunia.....	8
Gambar 2.3 Fluktuasi Suhu Udara Harian	12
Gambar 2.4 Profil Suhu Udara dan Suhu Tanah Dekat dengan Permukaan.....	13
Gambar 2.5 Fluktuasi Kecepatan Angin Akibat Turbulensi Mekanis dan Turbulensi Termal.....	16
Gambar 2.6 SKEA LPN – 5.000 E	19
Gambar 3.1 Alur Pikir Penelitian.....	21
Gambar 3.2 Alur Kerja Penelitian.....	27
Gambar 4.1 Fluktuasi Suhu Maksimum dan Minimum Musiman Pada Ketinggian yang Berbeda di Indonesia	30
Gambar 5.1 Kecepatan Angin Rata-Rata di Semua Stasiun Angin Tahun 1975 – 2007.....	38
Gambar 5.2 Fluktuasi Suhu Udara Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 2007.....	39
Gambar 5.3 Fluktuasi Tekanan Udara Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 2007.....	39
Gambar 5.4 Fluktuasi Kecepatan Angin Rata-Rata Bulanan Pulau Jawa Pulau Jawa Tahun 2007.....	40
Gambar 5.5 Perubahan Tekanan Udara Musiman Antara Australia dan Asia....	41
Gambar 5.6 Variasi Frekuensi Kecepatan Angin Lebih dari 2,5 m/dt.....	42
Gambar 5.7 Daun-Daun, Ranting-Ranting Kecil Bergerak Terus dan Bendera Berkibar	47
Gambar 5.8 Wilayah Dataran Rendah Pantai Utara Bekasi – Karawang	48
Gambar 5.9 <i>Wind Rose</i> Stasiun Angin Soekarno Hatta.....	49
Gambar5.10 <i>Wind Rose</i> Stasiun Angin Tanjung Priok.....	49
Gambar 5.11 Wilayah Dataran Rendah Pantai Timur Surabaya – Sidoarjo	50

Gambar 5.12 <i>Wind Rose</i> Stasiun Angin Surabaya Perak.....	50
Gambar 5.13 <i>Wind Rose</i> Stasiun Angin Surabaya Juanda.....	51
Gambar 5.14 Wilayah Plato Selatan Gunung Kidul – Wonosari.....	51
Gambar 5.15 <i>Wind Rose</i> Stasiun Angin Adi Sucipto.....	52
Gambar 5.16 Wilayah Dataran Rendah Pedalaman Madiun	53
Gambar 5.17 Papan Peringatan Daerah Rawan Bencana Angin Topan	54
Gambar 5.18 <i>Wind Rose</i> Stasiun Angin Iswahyudi	54

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Cadangan Energi Fosil.....	6
Tabel 2.2 Potensi Energi yang Dapat Diperbaharui di Indonesia	7
Tabel 2.3 Skala Pemanfaatan Energi Angin	9
Tabel 2.4 Skala Gerak Dalam Atmosfer	11
Tabel 5.1 Nilai Potensi Energi Angin (P), Kecepatan Angin Tahun 2007 (V), dan Frekuensi Angin.....	46

DAFTAR RUMUS

Rumus 3.1 Kecepatan Angin Rata-Rata.....	24
Rumus 3.2 Kerapatan Udara	24
Rumus 3.3 Potensi Energi Angin.....	25
Rumus 3.4 Banyak Kelas Interval.....	25
Rumus 3.5 Panjang Kelas	25

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel

- Tabel 1 Lokasi Stasiun Angin di Pulau Jawa.
- Tabel 2 Suhu Udara Rata-Rata Bulanan Tahun 2007 Dalam Celcius.
- Tabel 3 Tekanan Udara Rata-Rata Bulanan Tahun 2007 Dalam Milibar.
- Tabel 4 Kecepatan Angin Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1975-2007 Pulau Jawa Dalam Meter/Detik.
- Tabel 5 Frekuensi Kecepatan Angin Tahun 2007.
- Tabel 6 Kecepatan Angin Rata-Rata (V), Suhu Udara (T), Tekanan Udara (p), Rapat Massa Udara (Rho), Potensi Energi Angin (P) Tahun 2007.
- Tabel 7 Derajat Kecepatan Angin Beaufort Berdasarkan Dampaknya Terhadap Vegetasi dan Bangunan Fisik atau Kondisi Permukaan Laut.

Lampiran 2 Peta

- Peta 1 Administrasi Pulau Jawa.
- Peta 2 Fisiografi Pulau Jawa.
- Peta 3 Ketinggian Pulau Jawa.
- Peta 4 Lereng Pulau Jawa.
- Peta 5 *Wind Rose* Musim Barat Pulau Jawa.
- Peta 6 *Wind Rose* Musim Timur Pulau Jawa.
- Peta 7 Arah Angin Musim Barat Pulau Jawa.
- Peta 8 Arah Angin Musim Timur Pulau Jawa.
- Peta 9 Kecepatan Angin Pulau Jawa.
- Peta10 Lokasi Potensial Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pulau Jawa.

Lampiran 3 Quesioner Verifikasi Lapang.

Lampiran 4 Foto-Foto Hasil Verifikasi Lapang.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi listrik nasional tahun 1990 s.d. tahun 2002 meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata sebesar 10% pertahun dari 27,7 TWh (1990) menjadi 87,1 TWh (2002). Sejalan dengan hal tersebut, produksi listrik PLN meningkat dari 23,29 TWh pada tahun 1990 menjadi 89,29 TWh atau meningkat dengan laju pertumbuhan rata-rata 8,8% per tahun. Produksi listrik PLN tersebut memerlukan bahan bakar fosil dan bahan bakar terbarukan sebesar 72,27 juta SBM pada tahun 1990 menjadi 178,69 Juta SBM pada tahun 2002 atau rata-rata meningkat sebesar 7,8% per tahun. Peningkatan kebutuhan listrik nasional diperkirakan dapat tumbuh rata-rata 6,5% per tahun hingga tahun 2020, maka pemanfaatan energi sebagai bahan bakar pembangkit listrik juga akan meningkat (Nurdyastuti, 2003, hlm. 65).

Meningkatnya konsumsi listrik nasional tidak berbanding lurus dengan ketersediaan energi yang ada. Berdasarkan *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun.

Penggunaan bahan bakar yang berasal dari fosil ini selain ketersediaannya terbatas, juga telah menimbulkan banyak masalah. Diantaranya masalah lingkungan, kesehatan, ekonomi, dan bahkan berpotensi menimbulkan konflik internasional akibat sengketa penguasaan lahan kaya sumber energi fosil. Eksploitasi sumber energi fosil yang tidak dapat diperbaharui juga telah menimbulkan perhatian atas kemungkinan habisnya sumber cadangan energi tersebut. Masalah lain yang timbul yaitu mengenai persebaran energi yang tidak merata, seperti yang terjadi pada distribusi listrik di beberapa daerah.

Salah satu usaha untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber-sumber energi yang berasal dari fosil dan untuk memberikan alternatif solusi dari

permasalahan di atas adalah dengan mengembangkan sumber-sumber energi yang dapat diperbaharui. Sumber energi yang dapat diperbaharui ini merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, mampu mengurangi dampak sosial, dan lebih murah, sehingga dapat dimanfaatkan dalam jangka waktu yang lama. Energi yang dapat diperbaharui meliputi energi air, panas bumi, matahari, angin, biogas, bio mass serta gelombang laut.

Beberapa kelebihan energi yang dapat diperbaharui diantaranya adalah sumbernya relatif mudah didapat; dapat diperoleh dengan gratis; minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar (Jarass, 1981, hlm. 2-3).

Salah satu energi dapat diperbaharui yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi yang sangat fleksibel. Pemanfaatan energi angin untuk pembangkit listrik dapat dilakukan di mana saja, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat diterapkan di laut, berbeda halnya dengan energi air.

Menurut BTM Consults ApS, kapasitas pembangkitan listrik tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2004 melebihi 20 persen per tahun. Dari kapasitas terpasang 5 GW pada tahun 1995 menjadi hampir 48 GW pada akhir tahun 2004, tersebar dalam 74.400 turbin angin di sekitar 60 negara (Nurdyastuti, 2003).

Berdasarkan *blueprint* pengelolaan energi nasional 2006-2025, “Pemanfaatan tenaga angin di Indonesia sampai tahun 2004, memiliki kapasitas terpasang mencapai 0,5 MW dari total 9,29 GW potensi yang ada.” Secara umum Indonesia termasuk negara dengan kecepatan angin minimum rata-rata 4 meter/detik (m/dt) yang secara ekonomis dapat dikembangkan sebagai penyedia jasa energi. Walaupun demikian terdapat beberapa wilayah dimana sumber energi angin kemungkinan besar layak dikembangkan antara lain Nusa Tenggara Timur (NTT), Nusa Tenggara Barat (NTB), Sulawesi Selatan dan Tenggara, Pantai Utara dan Selatan Jawa dan Karimun Jawa (Pralebda & Toekiran, 1980).

1.2 Masalah

1.2.1 Perumusan Masalah

Pulau Jawa sebagai pulau dengan kepadatan penduduk tertinggi di Indonesia memiliki kebutuhan akan energi yang juga besar. Kebutuhan bahan bakar untuk pembangkit listrik di Pulau Jawa pada tahun 2003 mencapai 74% terhadap total kebutuhan bahan bakar untuk pembangkit nasional. Kebutuhan bahan bakar untuk pembangkit listrik di Pulau Jawa meningkat rata-rata 4,6% per tahun selama kurun 2002-2020 (Nurdyastuti, 2003).

Kebutuhan energi di Pulau Jawa khususnya dan di Indonesia pada umumnya terus meningkat karena penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Sedangkan energi fosil yang selama ini merupakan sumber energi utama ketersediaannya sangat terbatas dan terus mengalami penurunan. Proses alam memerlukan waktu yang sangat lama untuk dapat kembali menyediakan energi fosil ini. Pemanfaatan tenaga angin untuk pembangkit energi listrik di Pulau Jawa dapat menjadi salah satu solusi untuk membantu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil tersebut. “Sementara itu, tenaga angin yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik yaitu tenaga angin dengan kecepatan angin lebih besar dari 2,5 m/dt dengan mempertimbangkan frekuensi angin pada kecepatan angin tersebut bertiup” (Soeripno, 2005b).

Kebutuhan energi listrik Pulau Jawa yang tidak berbanding lurus dengan ketersediaan energi fosil ini membuat lokasi-lokasi potensial pengembangan pembangkit listrik tenaga angin perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin di pulau ini lebih optimal. Oleh karena itu, studi potensi mengenai pemanfaatan energi angin untuk pembangkit tenaga listrik ini sangat dibutuhkan guna mengidentifikasi wilayah-wilayah berpotensi tersebut.

1.2.2 Pertanyaan Penelitian

Bagaimana kondisi fisik lokasi potensial di Pulau Jawa yang dapat dikembangkan menjadi pembangkit listrik tenaga angin?

1.3 Batasan

1. Daerah penelitian adalah Pulau Jawa.
2. Pembangkit listrik tenaga angin dalam penelitian ini adalah turbin angin jenis Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) LPN-5000E.
3. Potensi energi angin dalam penelitian ini adalah jumlah energi angin dalam satu tahun dengan memperhitungkan frekuensi kecepatan angin (Djojodiharjo, 1980).
 - a. Angin yang dimaksud adalah angin permukaan pada ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah.
 - b. Energi angin yang dimaksud adalah energi yang dihasilkan dari konversi kecepatan angin rata-rata dengan besaran m/dt ke besaran watt.
 - c. Frekuensi kecepatan angin yang dimaksud adalah lamanya angin berhembus pada kecepatan tertentu dengan satuan hari.
 - d. Kecepatan angin yang dimaksud adalah kecepatan angin rata-rata harian lebih dari 2,5 m/dt.
4. Lokasi potensial pembangkit listrik tenaga angin dalam penelitian ini adalah lokasi potensial pembangkit listrik yang memperhatikan faktor klimatologis dan bentuk medan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Fosil

Minyak bumi, gas alam, dan batubara merupakan elemen-elemen energi fosil pemasok energi yang selama ini menjadi andalan. Berdasarkan data menurut Nurdyastuti (2003), pada tahun 2002 total cadangan minyak bumi nasional mencapai sekitar 9,75 milyar barel minyak (*billion barrel oil*) dengan cadangan terbukti hanya sekitar 4,72 miliar barel. Pada tahun yang sama, produksi minyak bumi nasional mencapai 455,6 juta barel sehingga rasio antara cadangan terbukti dan produksi adalah sebesar 10 tahun. Pengelolaan sektor minyak bumi yang efektif merupakan salah satu hal yang diharapkan untuk menjaga ketahanan energi. Sepuluh tahun adalah waktu yang relatif singkat jika berbicara kesinambungan ketahanan energi untuk generasi yang akan datang.

Keterbatasan cadangan minyak bumi ini berimplikasi dengan peningkatan harga Bahan Bakar Minyak (BBM). Hal ini juga menyebabkan pemanfaatan BBM sebagai bahan bakar pembangkit listrik mengalami penurunan yang cukup signifikan. Belum lagi pemanfaatan BBM selama ini juga lebih diarahkan pada wilayah-wilayah yang belum tersedia jaringan transmisi atau pada wilayah yang terisolasi. Pada wilayah yang sudah tersedia jaringan transmisi, pemanfaatan BBM hanya sebagai bahan pengganti ketika alokasi gas bumi dan batubara belum tersedia.

Sumberdaya gas bumi cukup signifikan mencapai 178 TCF pada tahun 2002 dengan cadangan terbukti (R) sebesar 91,17 TCF. Hanya sekitar 6,6% sumberdaya gas bumi tersebut terdapat di Jawa, selebihnya terdapat di Sumatera (24,5%), Natuna (30,8%), Kalimantan Timur (25%), Papua (10,9%), dan Sulawesi (2,3%). Tingkat produksi (P) gas bumi pada tahun 2002 adalah sekitar 3 TCF, sehingga R/P mencapai 30 tahun. Jumlah cadangan gas yang relatif besar menyebabkan pemanfaatan gas bumi pada pembangkit listrik meningkat cukup pesat. Jenis pembangkit yang menggunakan gas bumi adalah PLTGU dan PLTG. Pengoperasian PLTGU untuk memenuhi beban dasar dan menengah, sedangkan pengoperasian PLTG untuk memenuhi beban puncak. Pemanfaatan gas bumi

sebagai bahan bakar akan meningkat seiring dengan tersedianya infrastruktur pipa gas yang menghubungkan antara sisi produsen dengan sisi konsumen. Sementara itu, sumberdaya batubara pada tahun 2002 mencapai 57 miliar ton dengan cadangan terbukti sekitar 12,47 miliar ton, sedangkan perkiraan cadangan yang ekonomis untuk diproduksi mencapai 6,9 miliar ton. Dengan tingkat produksi seperti tahun 2002, yaitu sekitar 100 juta ton, cadangan tersebut akan habis dalam 69 tahun. Pemanfaatan batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik diperkirakan akan terus meningkat mengingat biaya pembangkitan PLTU Batubara relatif lebih murah dibanding dengan jenis pembangkit lainnya. Kendala dari pemanfaatan batubara pada pembangkit listrik terutama di Jawa adalah ketersediaan pelabuhan penerima karena umumnya lahan di Pantura sudah ada kepemilikannya, sedangkan lahan di pantai selatan Jawa memerlukan biaya infrastruktur yang lebih mahal (Nurdyastuti, 2003, hlm. 67).

Tabel 2.1 Cadangan Energi Fosil.

Jenis Energi	Cadangan/Produksi	
	Indonesia	Dunia
Fosil		
Minyak	18 tahun	40 tahun
Gas	61 tahun	60 tahun
Batu bara	147 tahun	200 tahun

Sumber : *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025.

Tabel 2.1 memperlihatkan cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun. Prediksi ini mengindikasikan perlunya alternatif cara pengelolaan energi agar ketahanan energi dapat terus berlangsung untuk generasi mendatang.

2.2 Energi Yang Dapat Diperbaharui

Menurut Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), energi yang dapat diperbaharui adalah energi yang apabila dikelola dengan baik, sumber daya itu tidak akan habis. Berdasarkan data dalam Tabel 2.2, Indonesia memiliki peluang untuk mengelola energi dari sumberdaya alam yang tidak dapat diperbaharui. Jika hal ini berjalan dengan optimal dan efektif maka ketahanan energi yang berkesinambungan bukan sesuatu yang tidak mungkin terjadi di masa yang akan datang.

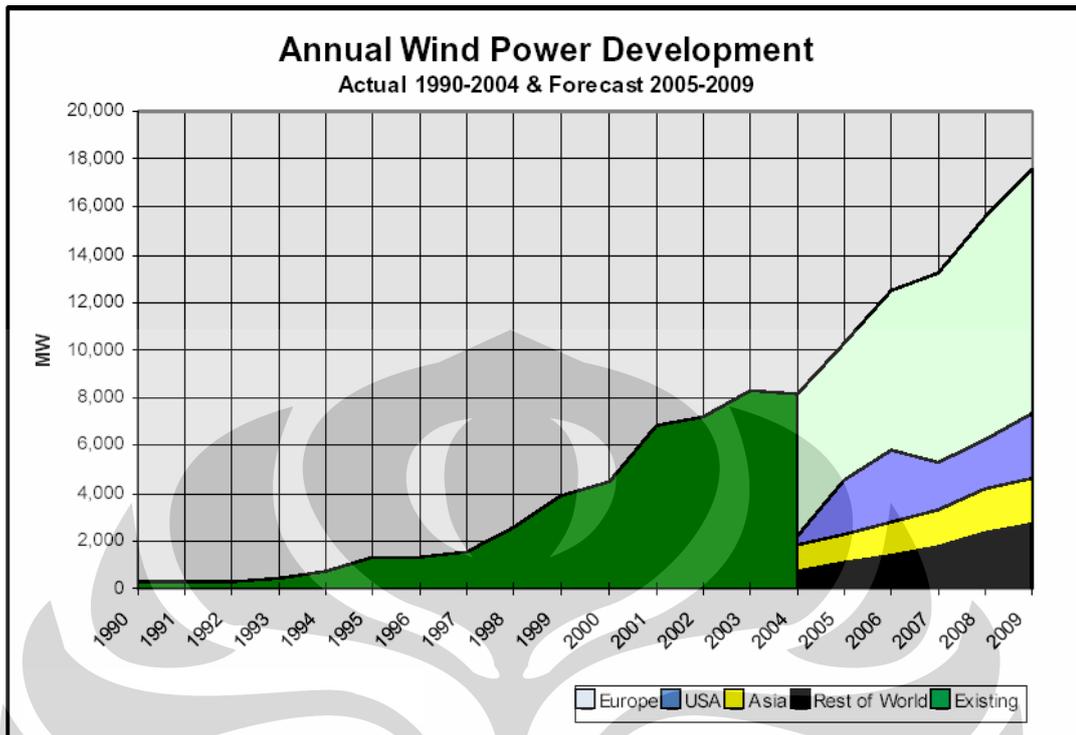
Tabel 2.2 Potensi Energi Yang Dapat Diperbaharui di Indonesia.

Jenis Energi	Sumber Daya	Setara	Kapasitas Terpasang
Air	845 x 10 ⁶ BOE	75,7 GW	4200 MW
Panas Bumi	219 x 10 ⁶ BOE	27 GW	800 MW
Mini/Mikrohidro	458 MW	458 MW	84 MW
Biomass	49,81 GW	49,8 GW	302,4 MW
Surya	4,8 kWh/m ² /hari		8 MW
Angin	9,29 GW	9,3 GW	0,5 MW

Sumber : Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025.

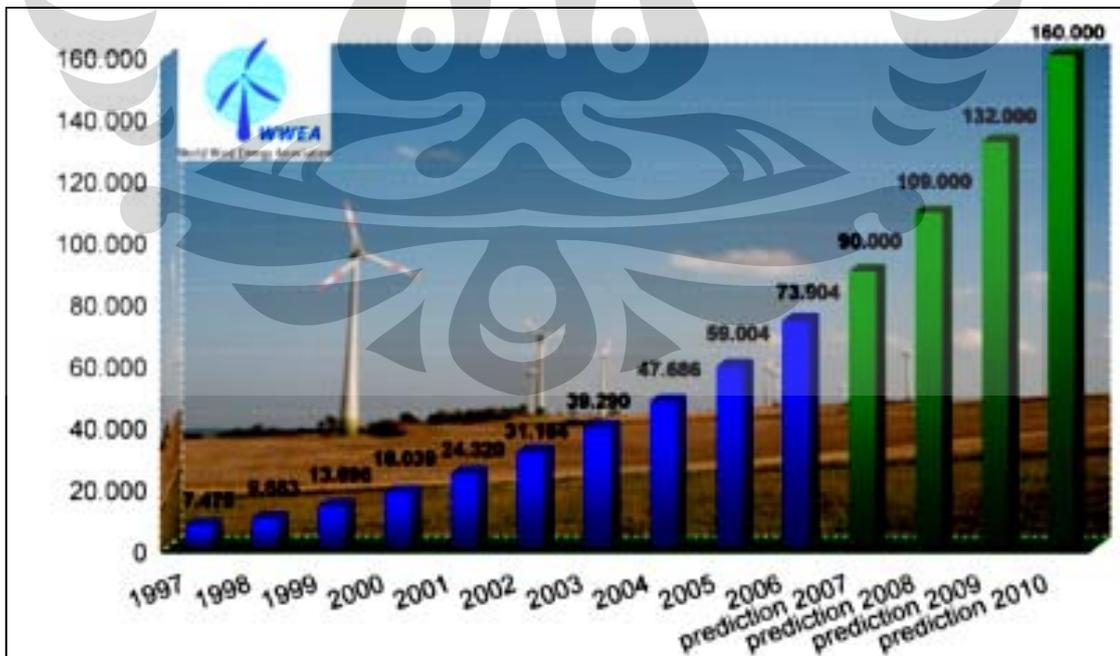
2.3 Energi Angin

Salah satu energi yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi yang dapat diperbaharui dan sangat fleksibel. Gambar 2.1 memperlihatkan laju pertumbuhan angin dunia aktual tahun 1990-2004 yang cukup signifikan. Eropa masih terdepan dalam pemanfaatan energi angin ini, diikuti dengan Amerika, dan Asia. Gambar 2.2 menjelaskan Tahun 1990 pemanfaatannya tidak mencapai 8.000 MW, namun di tahun 2006 mencapai lebih dari 70.000 MW.



Gambar 2.1 Laju Pertumbuhan Angin Dunia.

Sumber : BTM Consult Aps (2005) dalam Daryanto (2007).



Gambar 2.2 Perkembangan Pemanfaatan Tenaga Angin Dunia.

Sumber :Daryanto (2007, hlm. 6).

Energi angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air untuk irigasi, pembangkit listrik, pengering atau pencacah hasil panen, aerasi tambak ikan/udang, pendingin ikan pada perahu-perahu nelayan dan lain-lain. Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi bahkan dapat diterapkan di laut, berbeda halnya dengan energi air.

Dalam usaha pemanfaatan energi angin menjadi energi listrik, biasanya menggunakan skala pemanfaatan energi angin (lihat Tabel 2.3). Hal ini memudahkan untuk menaksir potensi yang dapat dihasilkan oleh tenaga angin pada kecepatan tertentu. Pada umumnya dikelompokkan dalam skala kecil, menengah, dan besar sebagai berikut:

Tabel 2.3 Skala Pemanfaatan Energi Angin.

Kelas	Kapasitas	Kecepatan Angin	Daya Spesifik
	(kW)	(m/det)	(W/m ²)
Skala Kecil	s/d 10	2.5 - 4.0	< 75
Skala Menengah	10 – 100	4.0 - 5.0	75 – 150
Skala Besar	> 100	> 5.0	> 150

Sumber : Budiono (2002).

2.4 Klimatologi

Menurut Lakitan (2002), udara mempunyai sifat yang sangat dinamis. Suhu dan kelembaban udara akan berubah dari waktu ke waktu. Intensitas cahaya yang diteruskan ke permukaan bumi setelah melalui lapisan atmosfer akan pula selalu berubah, tergantung keadaan penyebaran dan ketebalan awan. Demikian pula halnya dengan kecepatan dan arah angin. Kondisi atmosfer yang dinamis, berubah-ubah dalam waktu singkat (dalam jam atau hari) ini disebut cuaca. Karakteristik cuaca pada suatu wilayah yang didasarkan atas data yang terkumpul selama kurun waktu yang lama (sekitar 30 tahun) disebut iklim. Berdasarkan

perbedaan karakteristik cuaca antar-wilayah di muka bumi, maka ahli-ahli klimatologi membuat klasifikasi iklim, membagi daratan bumi menjadi beberapa zona iklim, misalnya zona iklim tropika basah yang karakteristik utamanya adalah curah hujan tinggi, kelembaban udara tinggi, dan suhu rata-rata yang juga tinggi.

Kelembaban udara, curah hujan (intensitas dan distribusinya), dan angin (kecepatan dan arahnya) juga akan bervariasi antar wilayah. Cahaya, suhu, kelembaban udara, curah hujan, dan angin merupakan unsur-unsur iklim. Variasi dari unsur-unsur iklim ini dijadikan dasar klasifikasi iklim. Akan tetapi dalam klasifikasi iklim yang umum dilakukan adalah hanya dengan menggunakan data variasi untuk unsur-unsur iklim yang dominan, artinya unsur iklim yang mempunyai keragaman yang nyata (jelas) dan mempunyai pengaruh yang penting terhadap proses kehidupan manusia, hewan, atau tumbuhan

Aspek-aspek yang diuraikan di atas merupakan topik-topik yang relevan untuk dikaji dalam klimatologi maupun meteorologi. Yang membedakan antara klimatologi dengan meteorologi adalah pokok tulisan yang menjadi fokus kajian dari kedua cabang ilmu tentang atmosfer ini. Meteorologi menelaah tentang proses atau gejala fisika yang berlangsung secara dinamis pada lapisan atmosfer bumi, sedangkan klimatologi menelaah tentang karakteristik iklim antar wilayah. Dengan demikian, meteorologi lebih ditekankan pada perubahan-perubahan kondisi atmosfer yang terjadi dalam waktu singkat, misalnya fluktuasi harian unsur-unsur iklim, sedangkan klimatologi lebih ditekankan pada rata-rata dari unsur-unsur iklim yang menjadi ciri dari suatu wilayah. Informasi klimatologi dapat digunakan sebagai penduga keadaan suhu, kelembaban udara, intensitas cahaya, curah hujan, dan angin pada suatu wilayah pada waktu tertentu (Lakitan, 2002, hlm. 3).

Di dalam atmosfer terdapat gerak dan proses dengan skala yang sangat beraneka ragam mulai dari skala sangat kecil sampai yang paling besar yaitu skala global. Demikian pula di dalam atmosfer dapat berlangsung dengan skala waktu dari yang singkat sampai yang sangat lama. Kedua skala ruang dan waktu ini masing-masing jumlahnya tak terhingga banyaknya, bahkan merupakan spektrum yang kontinu.

Tabel 2.4 Skala Gerak Dalam Atmosfer.

Skala		Ukuran Panjang	Ukuran Waktu
Makro	Global	Global	Tahun - Bulan – Minggu
		1.000 - 10.000 km	
	Sinoptik	Benua	Minggu – Hari
		100 - 1.000 km	
Meso		Lokal	Hari - Jam – Menit
		0,1 - 100 km	
Mikro		Kecil	Menit – Detik
		1 - 100 m	

Sumber : Prawiwardoyo (1996, hlm. 67).

Penggolongan skala gerak dalam atmosfer dalam Tabel 2.4 sangat membantu dalam meninjau suatu gerak atau proses. Misalnya dalam pembicaraan mengenai proses global, tidak perlu memperhitungkan pengaruh lokal yang skalanya kecil dan variasinya singkat, begitupun sebaliknya.

Iklim akan mempengaruhi berbagai aspek kehidupan manusia dan organisme lain yang hidup di muka bumi. Oleh sebab itu, pengetahuan tentang iklim sangat dibutuhkan. Kebijakan untuk menghemat bahan bakar fosil melalui pengurangan pemakaiannya dalam aktivitas rumah tangga dan kantor menjadikan pengetahuan tentang iklim menjadi semakin penting dalam membuat rancangan bangunan fisik. Untuk memanfaatkan energi matahari secara efisien matahari perlu diketahui dengan persis posisi dan pergeseran garis edar matahari, sifat fisika cahaya, dan total energi radiasi matahari yang mungkin diterima. Untuk memanfaatkan energi angin sebagai energi terbarukan diperlukan rincian data iklim tentang kecepatan angin, arah angin, suhu, tekanan udara, dan lain-lain.

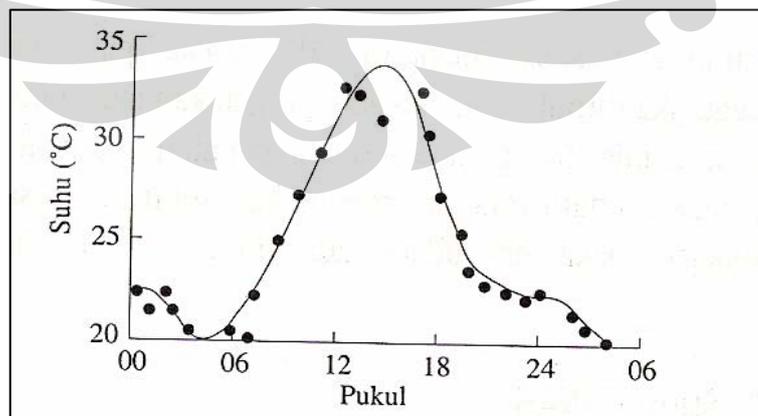
2.4.1 Suhu Udara

Suhu merupakan karakteristik *inherent* yang dimiliki oleh suatu benda yang berhubungan dengan panas dan energi. Jika panas dialirkan pada suatu benda, maka suhu benda tersebut akan meningkat, sebaliknya suhu benda tersebut akan turun jika benda yang bersangkutan kehilangan panas. Akan tetapi hubungan antara satuan panas (energi) dengan satuan suhu tidak merupakan suatu konstanta, karena besarnya peningkatan suhu akibat penerimaan panas dalam jumlah tertentu

akan dipengaruhi oleh daya tampung panas (*heat capacity*) yang dimiliki oleh benda penerima tersebut.

Suhu merupakan ukuran relatif dari kondisi termal yang dimiliki oleh suatu benda. Jika dua benda yang bersinggungan dan tidak terjadi perpindahan panas antara kedua benda tersebut, maka kedua benda ini disebut berada pada kondisi setara termal (*thermal equilibrium*). Postulat ini disebut Hukum Kesetaraan Termal (*the zeroth law of thermodynamics*) yang merupakan dasar dari konsep fisika tentang suhu. Berdasarkan konsep kesetaraan termal di atas, dikembangkan skala pengukuran suhu, misalnya skala suhu Celcius (di Amerika Serikat satuan skala suhu ini sering disebut *centigrade*). Untuk skala suhu ini, sebagai patokan digunakan panas atau energi yang dimiliki oleh air pada titik beku (diberi nilai 0) dan pada titik didih (diberi nilai 100) (Lakitan, 2002, hlm. 88).

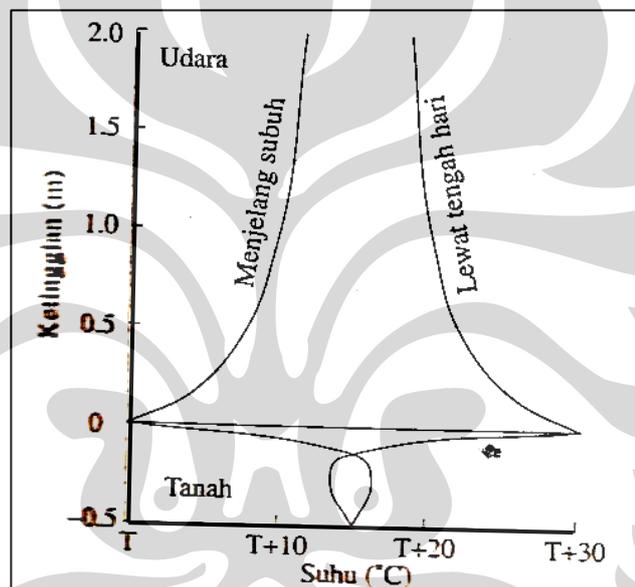
Suhu udara akan berfluktuasi dengan nyata selama setiap periode 24 jam. Fluktuasi suhu udara dan suhu tanah berkaitan erat dengan proses pertukaran energi yang berlangsung di atmosfer. Pada siang hari, sebagian dari radiasi matahari akan diserap oleh gas-gas atmosfer dan partikel-partikel padat yang melayang di atmosfer. Serapan energi radiasi matahari ini akan menyebabkan suhu udara meningkat. Suhu udara harian maksimum tercapai beberapa saat setelah intensitas cahaya maksimum tercapai (lihat Gambar 2.3). Intensitas cahaya maksimum tercapai pada saat berkas cahaya jatuh tegak lurus, yakni pada waktu tengah hari.



Gambar 2.3 Fluktuasi Suhu Udara Harian.

Sumber : Lakitan (2002, hlm. 89).

Permukaan bumi merupakan permukaan penyerap utama dari radiasi matahari. Oleh sebab itu permukaan bumi merupakan sumber panas bagi udara di atasnya dan bagi lapisan tanah di bawahnya. Pada malam hari, permukaan bumi tidak menerima masukan energi dari radiasi matahari, tetapi permukaan bumi tetap akan memancarkan energi dalam bentuk radiasi gelombang panjang, sehingga permukaan akan kehilangan panas, akibatnya suhu permukaan akan turun. Peran suhu tanah dekat dengan permukaan inilah yang menyebabkan fluktuasi suhu permukaan akan lebih besar dari fluktuasi udara di atasnya (lihat Gambar 2.4).



Gambar 2.4 Profil Suhu Udara dan Suhu Tanah Dekat Dengan Permukaan.

Sumber : Lakitan (2002, hlm. 89).

Profil suhu udara sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar di atas akan terganggu jika turbulensi udara atau pergerakan massa udara menjadi sangat aktif, misalnya pada kondisi kecepatan angin tinggi. Jika pergerakan massa udara tersebut melibatkan seluruh lapisan udara dekat dengan permukaan, maka suhu udara pada lapisan tersebut akan relatif homogen.

Suhu udara rata-rata akan berbeda dari tempat yang satu dengan tempat lainnya. Sebagai contoh, umumnya suhu udara akan semakin rendah pada tempat yang lebih tinggi. Suhu rata-rata akan pula lebih rendah pada lokasi yang jauh dari

Garis Ekuator dibandingkan dengan lokasi disekitar Garis Ekuator. Jadi terdapat gradasi suhu secara vertikal dan horizontal (Lakitan, 2002, hlm. 88).

Suhu rata-rata yang lebih rendah pada tempat yang lebih tinggi atau jauh dari Garis Ekuator merupakan fakta yang hampir selalu dapat dibuktikan. Hal ini merupakan karakteristik cuaca.

2.4.2 Tekanan Udara

Menurut Lakitan, tekanan udara berbeda antara lokasi yang satu dengan lokasi yang lain dan pada lokasi tertentu dapat berubah secara dinamis dari waktu ke waktu. Perbedaan atau perubahan tekanan udara ini terutama disebabkan oleh pergeseran garis edar matahari, keberadaan bentang laut, dan ketinggian tempat.

Pergeseran garis edar matahari akan menyebabkan fluktuasi suhu musiman, terutama untuk daerah garis lintang pertengahan. Suhu akan berpengaruh terhadap pemuaian dan penyusutan volume udara. Jika udara memuai, maka udara menjadi lebih renggang dan akibatnya tekanannya menurun; sebaliknya jika volume udara menyusut, maka kerapatan udara tersebut menjadi lebih tinggi dan akibatnya tekanannya akan meningkat.

Keberadaan bentangan laut besar perannya dalam mempengaruhi fluktuasi tekanan udara karena laut merupakan pemasok uap air ke udara (melalui proses evaporasi). Penambahan uap air ke udara akan menyebabkan tekanan udara tersebut meningkat.

Tekanan udara dipengaruhi oleh suhu. Suhu udara di daerah tropis menunjukkan fluktuasi musiman yang sangat kecil. Oleh sebab itu dapat dipahami jika tekanan udara di kawasan tropis relatif konstan. Tekanan udara yang tidak berfluktuasi secara nyata ini yang menyebabkan kecepatan angin di kawasan dekat garis ekuator seperti halnya Indonesia pada umumnya menjadi relatif lemah. Daerah dengan tekanan udara yang sama dihubungkan dengan garis isobar. Di wilayah Indonesia, garis isobar secara umum akan paralel dengan garis kontur

Tekanan udara diukur berdasarkan tekanan gaya pada permukaan dengan luas tertentu, misalnya 1 cm^2 . Alat untuk mengukur tekanan udara disebut dengan barometer. Persamaan Laplace menyatakan tekanan udara berkurang dengan bertambahnya ketinggian tempat (elevasi atau altitude). Hubungan antara tekanan

udara dengan ketinggian tempat ini dimanfaatkan dalam merancang alat untuk pengukuran ketinggian tempat yang disebut altimeter. Tekanan udara umumnya menurun sebesar 11 mbar untuk setiap bertambahnya ketinggian tempat sebesar 100 meter (Lakitan, 2002, hlm. 142).

2.4.3 Angin

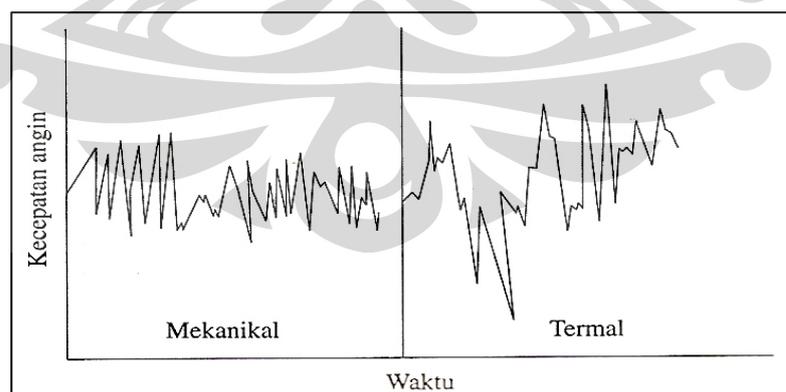
Atmosfer selalu ada dalam keadaan bergerak. Gerak atmosfer ada dua jenis, yaitu gerak nisbi terhadap permukaan bumi, yang dinamakan angin, dan gerak bersama-sama dengan bumi yang berotasi terhadap sumbunya. Jenis gerak terakhir ini berpengaruh terhadap arah angin nisbi terhadap permukaan bumi. Gerak atmosfer terhadap permukaan bumi mempunyai dua arah, ialah arah horizontal dan arah vertikal.

Menurut Prawirowardoyo (1996), gerak atmosfer ini, baik yang horizontal maupun yang vertikal, disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan radiasi bersih, kelembaban dan momentum di antara lintang rendah dan lintang tinggi di satu pihak dan di antara permukaan bumi dan atmosfer di lain pihak. Berbagai faktor yang mempengaruhi gerak atmosfer antara lain ialah topografi, distribusi antara permukaan daratan dan lautan, serta arus laut. Pada umumnya gerak atmosfer adalah horizontal, karena daerah yang diliputinya jauh lebih luas dan kecepatan horizontalnya jauh lebih besar dari pada vertikalnya. Meskipun demikian, tidaklah berarti bahwa gerak vertikal, yang meliputi daerah horizontal yang jauh lebih kecil, tidak penting. Daerah terakhir ini justru merupakan sumber pembentukan awan konvektif dan curahan yang berperan penting dalam menentukan cuaca dan iklim. Dengan demikian maka angin, yang didefinisikan sebagai gerak udara nisbi terhadap permukaan bumi dianggap hanya mempunyai satu arah, ialah arah horizontal.

Runtunan perubahan cuaca yang berlangsung dari saat ke saat, dari jam ke jam, dari hari ke hari, dari bulan ke bulan di atas permukaan bumi pada dasarnya adalah hasil dari gerak atmosfer atau gerak udara, yaitu gerak yang dihasilkan oleh berbagai gaya yang bekerja pada paket udara. Pada umumnya berbagai gaya yang bekerja pada paket udara adalah gaya gradien tekanan, gaya coriolis, gaya gesekan, dan gaya gravitasi. Gaya gravitasi adalah gabungan dari gaya gravitasi

atau gaya tarik bumi dan gaya sentrifugal yang disebabkan oleh rotasi bumi terhadap porosnya. Untuk gerak horizontal gaya gravitasi ini tidak berpengaruh, karena selalu diimbangi oleh komponen vertikal dari gaya gradien tekanan. Jadi dari keempat gaya tersebut di atas yang menghasilkan gerak horizontal linear adalah gaya gradien horizontal tekanan (Prawirowardoyo, 1996, hlm. 49)

Menurut Lakitan, Angin dalam pergerakannya tidak mengikuti garis lurus, tetapi akan berkelok-kelok sesuai dengan medan yang dilaluinya. Angin akan menghindar (berbelok ke arah lain) jika kekuatan dorongnya lebih rendah dari resistensi yang dimiliki oleh struktur fisik yang diterpanya. Dalam proses pergerakannya, kecepatan angin juga tidak stabil, dan akan berubah-ubah. Pergerakan angin akan lebih cepat jika resistensi media yang dilaluinya rendah. Fenomena arah dan kecepatan angin yang berubah-ubah ini disebut turbulensi. Variasi arah dan kecepatan angin dapat terjadi jika angin bergesekan dengan permukaan yang tidak licin (*smooth*), variasi yang diakibatkan oleh kekasaran permukaan disebut turbulensi mekanis. Turbulensi dapat pula terjadi pada saat udara panas pada permukaan bergerak ke atas secara vertikal, karena adanya resistensi dari lapisan udara di atasnya. Turbulensi yang disebabkan oleh perbedaan suhu lapisan atmosfer ini disebut turbulensi termal atau kadang disebut turbulensi konvektif. Fluktuasi kecepatan angin akibat turbulensi mekanis umumnya lebih kecil, tetapi frekuensinya lebih tinggi dibandingkan dengan fluktuasi kecepatan angin akibat turbulensi termal.



Gambar 2.5 Fluktuasi Kecepatan Angin Akibat Turbulensi Mekanis dan Turbulensi Termal.

Sumber : Lakitan (2002, hlm. 148).

Angin atau udara yang bergerak disebabkan oleh adanya gaya gradien tekanan udara. Menurut Pralebda dan Toekiran (1980), "Terdapat dua jenis gaya gradien yang mempengaruhi baik arah maupun kecepatan angin. Yang pertama adalah gaya gradien tekanan yang disebabkan oleh pola medan tekanan secara sinoptik dan gaya gradien tekanan udara lokal" (hlm. 7). Gaya gradien tekanan sinoptik menyebabkan perbedaan tekanan udara secara global di permukaan bumi. Secara sinoptik, keadaan angin di wilayah Indonesia, secara umum ditentukan oleh pola tekanan udara di Asia, Australia, dan Samudra Indonesia. Namun demikian ditinjau secara klimatologi perubahan tekanan udara di atas lautan jauh lebih kecil dibanding dengan di atas daratan.

Oleh karena itu tekanan udara di Asia dan Australia lebih banyak menentukan pola medan angin umum di Indonesia. Pada periode dimana lintasan matahari di permukaan bumi di sekitar garis balik utara dan selatan, perbedaan tekanan udara antara Asia dan Australia sangat besar. Oleh karena itu pada periode ini, yaitu antara bulan Desember-Januari-Februari dan Juni-Juli-Agustus, keadaan angin di wilayah Indonesia pada umumnya mempunyai kecepatan yang sangat besar. Sedangkan di musim-musim transisi yaitu bulan Maret-April-Mei dan September-Oktober-November frekuensi kecepatan angin yang sangat besar lebih sedikit (Pralebda & Toekiran, 1980, hlm. 7).

Gaya gradien tekanan udara lokal ditimbulkan oleh perbedaan tekanan udara secara lokal yang disebabkan oleh perbedaan kapasitas panas permukaan bumi dan proses pemanasan/pendinginan. Gaya ini akan menimbulkan angin lokal seperti angin laut, angin darat, angin gunung, angin lembah, dan lain-lain. Angin lokal ini dapat menambah atau mengurangi kecepatan angin umum yang disebabkan oleh gradien tekanan udara sinoptik, tergantung dari komponen arah kedua angin tersebut.

Gaya lain yang sangat mempengaruhi keadaan angin permukaan adalah gaya gesekan, dimana gaya ini tergantung dari kekasaran permukaan. Kekasaran permukaan itulah yang menjadi penghalang laju angin. Di daerah yang bergunung tinggi, angin pada umumnya lemah karena gesekan lebih besar.

Menurut Ramage (1971), Indonesia termasuk dalam daerah muson, dimana sifat angin permukaannya diantaranya adalah mempunyai kecepatan

tinggi dengan arah yang sangat persisten khususnya di luar perioda transisi. Tetapi karena orografi daerah Indonesia yang terdiri dari kepulauan dan bergunung tinggi, sifat angin muson menjadi banyak terganggu, sehingga hanya di pulau-pulau kecil dan daerah Indonesia bagian tenggara dimana terdapat kondisi angin muson paling ideal dibanding dengan daerah lain (Pralebda,1980).

Keberadaan dua benua yang mengapit kepulauan Indonesia, yakni Benua Asia dan Australia juga akan mempengaruhi pola pergerakan angin di wilayah Indonesia. Menurut Lakitan (2002), “Antara bulan Oktober sampai Maret, angin timur laut akan melintasi garis ekuator, yang disebut dengan muson timur laut (*northeast monsoon*). Sebaliknya, antara bulan April sampai September, angin akan bergerak dari arah tenggara, melintasi Benua Australia sebelum sampai ke wilayah Indonesia dan kemudian terus masuk ke wilayah utara Indonesia” (hlm.135). Pola pergerakan angin di wilayah Indonesia dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu pola angin musim barat yang berlangsung antara bulan Oktober sampai Maret dan pola angin musim timur yang berlangsung antara bulan Mei sampai September.

2.5 Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Berdasarkan wawancara dengan Soeripno (Mei 2009), dalam pengertian Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), SKEA terbagi menjadi dua yaitu kincir angin yang berfungsi untuk pemompaan dan turbin angin yang berfungsi sebagai pembangkit energi listrik. Turbin secara umum dikelompokkan dalam dua tipe:

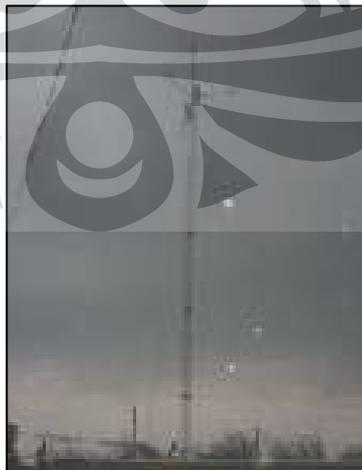
- VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) mempunyai sumbu perputaran vertikal terhadap tanah dan tegak lurus aliran angin.
- HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) mempunyai sumbu perputaran horizontal terhadap tanah dan sejajar dengan aliran angin.

HAWT memerlukan arah penempatan yang ditentukan berdasarkan arah angin dominan, sedangkan VAWT tidak memerlukan orientasi arah. Pada kecepatan angin yang sama, daya yang dihasilkan oleh VAWT lebih kecil dibandingkan dengan HAWT. Untuk hasil daya yang besar, VAWT memerlukan rotor yang sangat tinggi dan akan sangat sulit untuk melindunginya dari tekanan

angin yang sangat besar sepanjang hembusan. Oleh karena itu, VAWT hanya cocok untuk keperluan pembangkitan daya yang rendah, tetapi HAWT mengakibatkan kebisingan yang tinggi sehingga tidak dapat ditempatkan di dekat pemukiman atau perindustrian, sebaliknya VAWT hanya menimbulkan tingkat kebisingan yang rendah.

Salah satu turbin angin yang cocok sebagai pengembangan pembangkit energi listrik di Pulau Jawa adalah jenis LPN-5000E produksi Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional. Spesifikasinya adalah

- Daya *output* : 4.500 W / 5.000 W
- Posisi rotor : angin hulu (*upwind*)
- Diameter rotor : 5,0 m / 6 m
- Jumlah Sudu : 3 buah
- Bahan Sudu rotor : *glassfibre reinforce*
- Putaran rotor : 400 rpm
- Kecepatan Operasional
 - Kec. Awal (*cut-in*) : 2,5 m/dt
 - Kec. Batas (*cut-out*) : 60 m/dt
- Generator : tipe angular, magnet permanen
- Tegangan *output* : 24 V / 48 V
- Menara : tipe latis (10 – 30 m)
- Pondasi : blok setempat diperkuat rangka besi



Gambar 2.6 SKEA LPN-5000E.

Sumber : LAPAN.

2.6 Bentuk Medan

Salah satu unsur yang turut membentuk morfologi suatu wilayah adalah faktor bentuk medan. Menurut Dessauettes, “Bentuk medan adalah ekspresi dari korelasi antara dua unsur fisik yaitu faktor lereng dan faktor ketinggian.” Klasifikasi atas bentuk-bentuk medan yang ada pada umumnya terbagi atas unsur relief wilayah itu. Relief didefinisikan sebagai nilai elevasi atau beda tinggi antara titik tertinggi dan titik terendah yang ada di permukaan wilayah penelitian. Penggambaran relief dari suatu wilayah dapat digunakan untuk menggambarkan suatu kondisi bentuk medan juga (Nyoman, 1999).

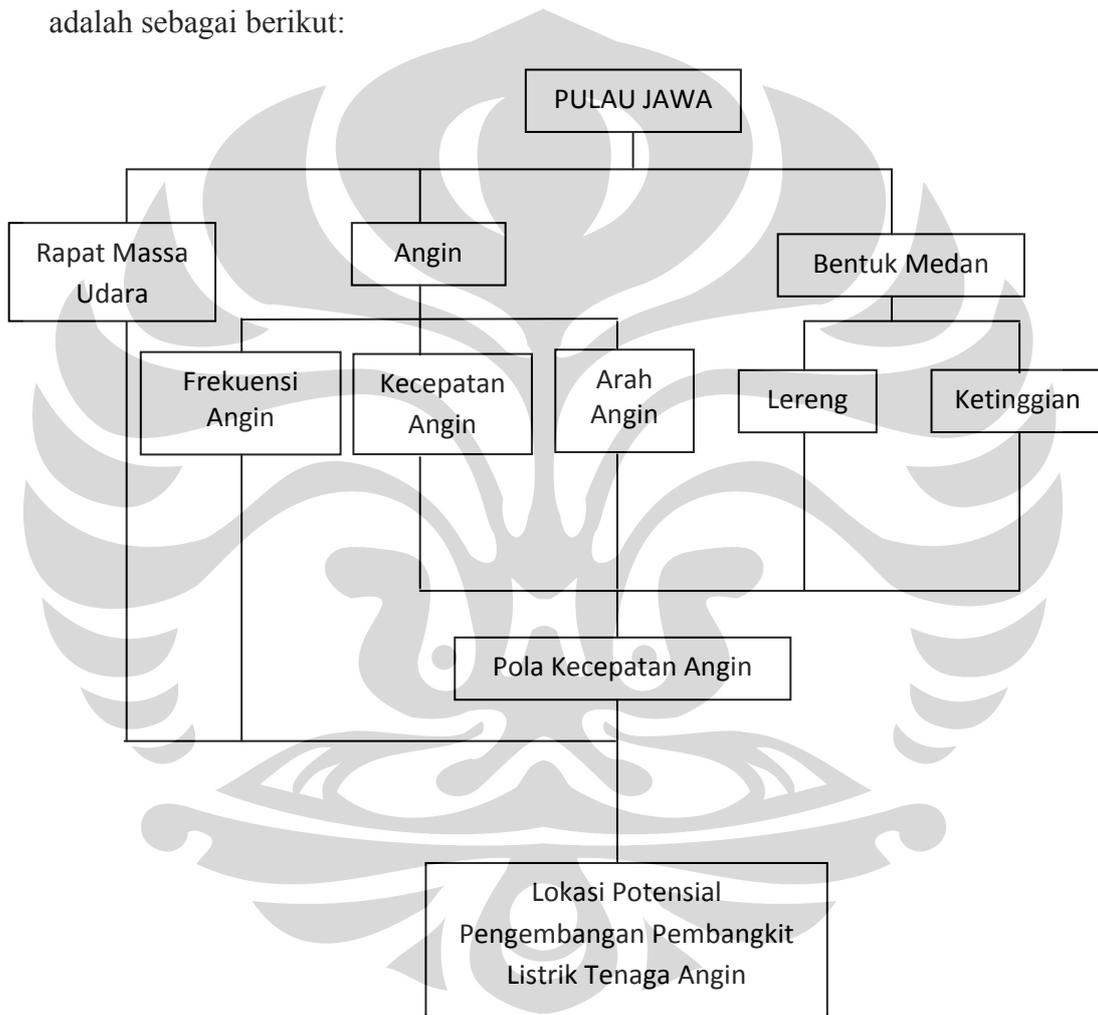
2.7 Hasil Penelitian Terdahulu

Usaha pemetaan potensi tenaga angin di Indonesia yang dilakukan oleh Gatot P. Pralebda dan Toekiran (1980) dapat disimpulkan berdasarkan perhitungan harga indeks hasil pengamatan angin permukaan di 50 stasiun meteorologi di Indonesia selama 5 tahun, daerah-daerah Nusa Tenggara, Maluku Tenggara, Pantai Utara Jawa dan pulau-pulau kecil di Laut Cina Selatan mempunyai potensi tenaga angin yang cukup besar dibanding dengan daerah yang lain. Kalianget dan Tegal mempunyai potensi tenaga angin yang sangat besar, maka tempat tersebut dapat dipergunakan sebagai tempat percobaan yang ideal untuk pemanfaatan tenaga angin. Penelitian ini baru menggambarkan kondisi angin permukaan pada siang hari karena data yang ada diperoleh dari hasil pengamatan siang hari. Oleh karena itu maka kondisi angin malam hari masih diperlukan pengamatan tersendiri.

Potensi energi angin di Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 m/dt. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah yang memiliki kecepatan angin lebih dari 5 m/dt diantaranya adalah Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa. Adapun kecepatan angin 4 m/dt hingga 5 m/dt tergolong berskala menengah dengan potensi kapasitas 10-100 kW (Soeripno, 2005a).

BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode deskriptif yang bersifat kuantitatif dan berbasis pada analisis spasial data sekunder. Namun demikian, penelitian ini juga melakukan verifikasi lapang untuk memperkuat validitas dari hasil penelitian ini. Alur pikir dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Alur Pikir Penelitian

3.1 Variabel-Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Kecepatan angin dengan parameter kecepatan angin rata-rata dalam satuan meter per detik (m/dt).
2. Arah angin dengan parameter derajat dan arah utara sebagai nol derajat.

3. Rapat massa udara dengan parameter rapat massa udara rata-rata bulanan dalam satuan kilogram per meter kubik (kg/m^3).
4. Lereng mengacu pada sistem klasifikasi lereng yang dikembangkan oleh Badan Pertanahan Nasional skala 1 : 250.000.
5. Ketinggian mengacu pada sistem klasifikasi ketinggian yang dikembangkan oleh Badan Pertanahan Nasional skala 1 : 250.000.
6. Bentuk medan mengacu pada fisiografi yang dibuat oleh I Made Sandy dalam buku Geografi Regional Republik Indonesia kemudian digeneralisasi menjadi empat bagian yaitu wilayah dataran rendah, wilayah plato, wilayah pegunungan, dan wilayah vulkanik.
7. Frekuensi angin dengan satuan hari.
8. Potensi energi angin dengan parameter *watt/day/year*.

3.2 Jenis data

Jenis data yang digunakan untuk penelitian ini adalah data sekunder yang meliputi:

1. Data kecepatan angin bulanan Pulau Jawa dalam meter/detik selama 33 tahun dari tahun 1975 sampai dengan tahun 2007.
2. Data suhu udara rata-rata bulanan Pulau Jawa dalam derajat celcius tahun 2007.
3. Data tekanan udara rata-rata bulanan Pulau Jawa dalam milibar tahun 2007.
4. Data arah angin harian di Pulau Jawa dalam derajat dan arah utara sebagai nol derajat tahun 2007.
5. Data frekuensi angin Pulau Jawa dalam satuan hari tahun 2007.
6. Data lokasi stasiun pencatat data angin (stasiun angin) di Pulau Jawa dalam koordinat lintang dan bujur.

Peta yang dibutuhkan untuk penelitian adalah:

1. Peta Administrasi Pulau Jawa
2. Peta Lereng Pulau Jawa
3. Peta Ketinggian Pulau Jawa
4. Peta Bentuk Medan Pulau Jawa

3.3 Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah data sekunder yang dikumpulkan dari instansi atau lembaga yang bertanggung jawab dalam pengelolaan data tersebut. Instansi tersebut diantaranya adalah:

1. Data kecepatan angin rata-rata bulanan di Pulau Jawa tahun 1975 sampai dengan tahun 2007 diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
2. Data suhu udara rata-rata bulanan di Pulau Jawa tahun 2007 diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
3. Data tekanan udara rata-rata bulanan di Pulau Jawa tahun 2007 diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
4. Data arah angin harian di Pulau Jawa tahun 2007 diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
5. Data frekuensi angin Pulau Jawa tahun 2007 diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
6. Data lokasi stasiun pencatat data angin di Pulau Jawa diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG).
7. Peta Administrasi Kabupaten di Pulau Jawa diperoleh dari peta Rupa Bumi Bakosurtanal skala 1 : 25.000 tahun 2001.
8. Peta Lereng di Pulau Jawa diperoleh dari Badan Pertanahan Nasional skala 1 : 250.000 tahun 2001.
9. Peta Ketinggian di Pulau Jawa diperoleh dari Badan Pertanahan Nasional skala 1 : 250.000 tahun 2001.
10. Peta Bentuk Medan di Pulau Jawa diperoleh dari hasil pengolahan peta dalam buku Geografi Regional Republik Indonesia karangan I Made Sandy.

3.4 Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya diolah dengan rincian pengolahan data sebagai berikut:

1. Menghitung distribusi kecepatan angin rata-rata tiap stasiun angin.

$$\text{Kecepatan angin rata-rata, } V = \frac{\sum V_i}{N} \dots\dots\dots(3.1)$$

(Djojodiharjo & Darwin, 1980)

- V = Kecepatan angin rata-rata
- V_i = Kecepatan per pengamatan
- N = Jumlah pengamatan

Rumus (3.1) digunakan untuk memperoleh gambaran fluktuasi kecepatan angin rata-rata yang berlangsung selama 33 tahun. Kemudian disusun diagram kecepatan rata-rata tahunan agar terlihat fluktuasi kecepatan rata-rata tahunan setiap stasiun angin di Pulau Jawa.

2. Menghitung kerapatan udara.

$$\text{Kerapatan udara, } \rho = \frac{p}{R \cdot T} \dots\dots\dots(3.2)$$

(Altin, 2005)

- ρ = kerapatan udara (kilogram/meter³)
- p = tekanan udara (pascal)
- *1 pascal (Pa) \equiv 1 N/m² \equiv 1 J/m³ \equiv 1 kg/(m·s²)
- R = konstanta gas 287,05 J kg⁻¹ K⁻¹
- T = temperatur udara (Kelvin)

3. Menghitung frekuensi angin 28 stasiun angin.

Frekuensi angin dihitung dengan memilah data kecepatan rata-rata harian tahun 2007 yang kecepataannya lebih dari 2,5 m/dt dan yang kecepataannya kurang dari sama dengan 2,5 m/dt dengan *software* WRplot.

4. Menentukan potensi energi angin 28 stasiun angin

$$\text{Potensi energi angin, } P = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot A \cdot v_i^3 \cdot T_i \dots\dots\dots(3.3)$$

(Soeripno, 1994)

P = potensi energi angin (*wattday / year*)

C = konstanta *betz*

Konstanta *Betz* adalah konstanta yang menunjukkan angka 16/27 (=59.3%) - batas *Betz* (*Betz limit*, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin (Daryanto, 2007, hlm. 11).

A = luas sapuan rotor (dianggap 1m²)

i = hari pemangatan

n = jumlah hari pengamatan dalam 1 tahun

v_i = kecepatan angin rata-rata harian (meter/detik)

ρ = kerapatan udara rata-rata (kilogram/meter³)

T_i = frekuensi angin (1 hari)

5. Memplot 54 lokasi stasiun angin di Pulau Jawa menggunakan software Arc.View 3.3.

6. Membuat klasifikasi penyajian data dalam bentuk distribusi frekuensi dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Menentukan rentang (*range*) yaitu data terbesar dikurangi dengan data terkecil.

b. Menentukan banyaknya kelas interval dengan aturan Sturges yaitu banyak kelas interval = 1 + (3,3) log n(3.4)

n = banyaknya data

c. Menentukan panjang kelas interval dengan cara :

$$\text{Panjang kelas} = \frac{\text{Rentang}}{\text{Banyak Kelas}} \dots\dots\dots(3.5)$$

(Raharjo, 2003)

7. Membuat isobar musim barat dan musim timur dengan mempertimbangkan wilayah ketinggian.
8. Membuat *windrose* musim barat dan musim timur 28 stasiun angin dengan *software* WRplot.
9. Membuat arah angin musim barat dan musim timur dengan bantuan isobar, *windrose* 28 stasiun, bentuk medan, dan turbulensi mekanik.
10. Membuat peta kecepatan angin (*Isowindspeed*) sesuai klasifikasi yang telah dibuat dengan mempertimbangkan ketinggian, lereng, bentuk medan, dan arah angin.
11. Membuat peta lokasi potensial pengembangan pembangkit listrik tenaga angin (*Isowindenergy*) dengan mempertimbangkan ketinggian, lereng, bentuk medan, dan arah angin.

3.5 Verifikasi Hasil

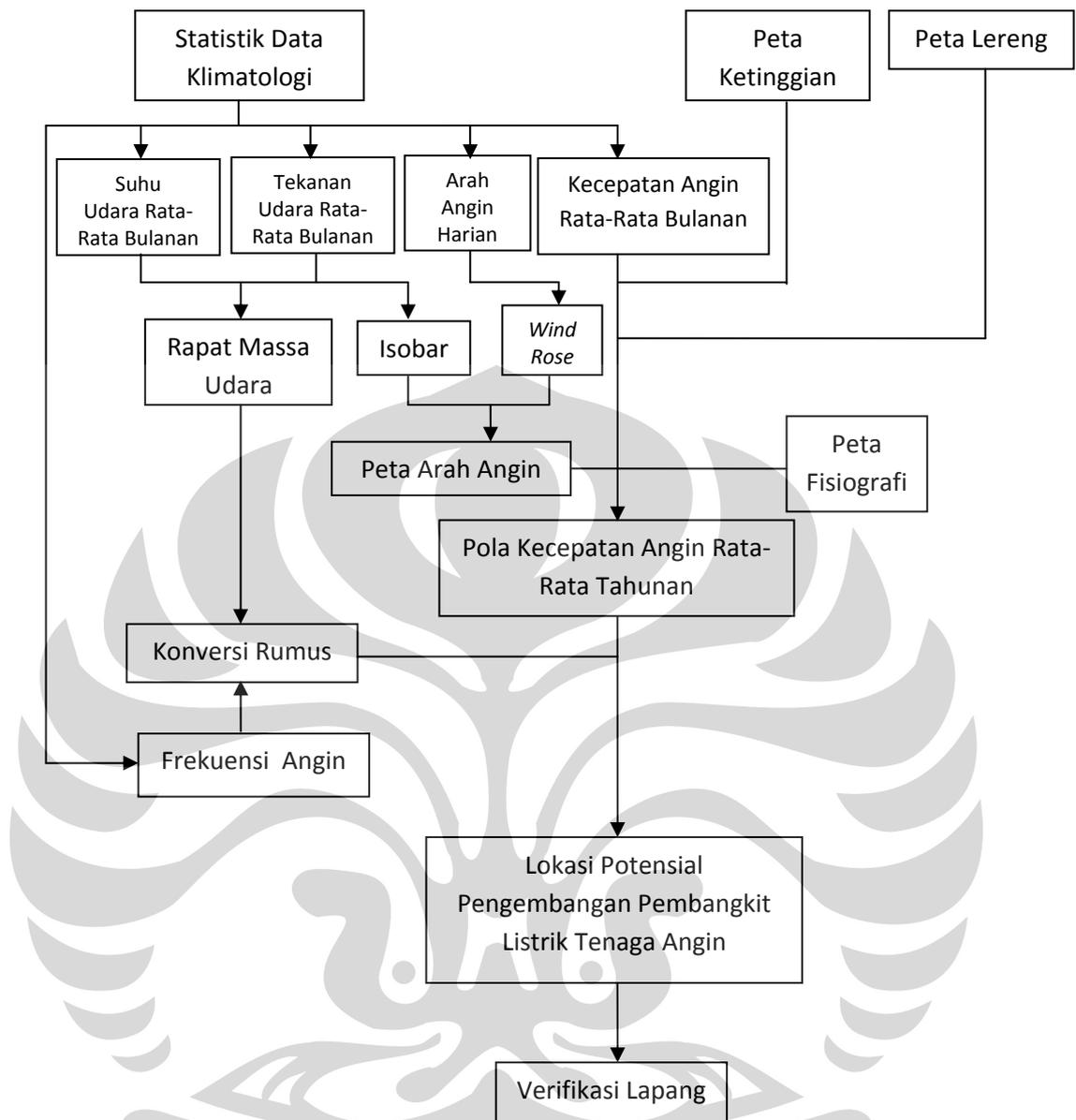
Verifikasi dilakukan untuk melihat validitas dari hasil penelitian ini. Verifikasi dalam penelitian ini dilakukan dengan dua cara yaitu

1. Wawancara dengan pertanyaan terbuka dan mengambil gambar di lapang yang kemudian dikuantifikasi dengan skala angin Beaufort (Mori et.al, 1977 dalam Lakitan, 2002, hlm. 154).
2. Mencari data sekunder di stasiun angin untuk kecepatan rata-rata satu tahun sebelum atau sesudah tahun 2007 kemudian dibandingkan dengan hasil penelitian ini.

Penentuan lokasi verifikasi mewakili wilayah yang teridentifikasi memiliki potensi untuk dijadikan lokasi pengembangan pembangkit listrik tenaga angin.

3.6 Analisis Data

Penelitian ini menggunakan analisis spasial deskriptif dengan unit analisis stasiun angin. Dalam penelitian ini akan dideskripsikan lokasi potensial pengembangan pembangkit listrik tenaga angin terkait dengan faktor klimatologis dan bentuk medan.



Gambar 3.2 Alur Kerja Penelitian

BAB IV

GAMBARAN UMUM DAERAH PENELITIAN

4.1 Administrasi Pulau Jawa

Lokasi Pulau Jawa terletak pada 105°20' - 114°37' BT dan 5°54' - 8°48'LS. Di sebelah utara berbatasan langsung dengan Laut Jawa, sebelah barat berbatasan dengan Selat Sunda, sebelah timur berbatasan dengan Selat Madura dan Selat Bali, sebelah selatan berbatasan dengan Samudera Hindia (lihat lampiran Peta 1).

Secara administrasi Pulau Jawa terdiri atas enam propinsi. Propinsi-propinsi tersebut diantaranya adalah Propinsi Banten dengan ibukotanya Serang, Propinsi DKI Jakarta dengan ibukotanya Jakarta, Propinsi Jawa Barat dengan ibukotanya Bandung, Propinsi Jawa Tengah dengan ibukotanya Semarang, Propinsi DI Yogyakarta dengan ibukotanya Yogyakarta, dan Propinsi Jawa Timur dengan ibukotanya Surabaya. Pulau Jawa terdiri atas 114 kabupaten/kota. Propinsi Banten terdiri atas enam kabupaten/kota, Propinsi DKI Jakarta terdiri atas lima kotamadya, Propinsi Jawa Barat terdiri atas 25 kabupaten/kota, Propinsi Jawa Tengah terdiri atas 35 kabupaten/kota, Propinsi DI Yogyakarta terdiri atas lima kabupaten/kota, dan Propinsi Jawa Timur terdiri dari 38 kabupaten/kota.

4.2 Fisiografi Pulau Jawa

Terdapat empat unsur utama sebagai pembentuk medan Pulau Jawa, yaitu (Sandy, 1996, hlm. 240-251): (1) Wilayah lipatan tersier selatan, dengan dataran-dataran rendah yang tercakup di antaranya; (2) Wilayah pegunungan tengah, yang sebenarnya merupakan sebuah depresi, tetapi karena tutupan bahan vulkanik, wilayah ini menjadi tinggi; (3) Wilayah lipatan utara; (4) Wilayah dataran alluvial yang terutama terdapat di pesisir utara Jawa Barat.

Di antara wilayah-wilayah fisiografi secara garis besar itu, terdapat bentuk-bentuk medan yang berbeda dengan bentuk umum wilayah yang bersangkutan, seperti misalnya dataran rendah Grajagan, Sukamade, Lumajang di wilayah lipatan selatan Jawa Timur. Dataran rendah Kedu selatan dan lembah Serayu, lembah Citanduy di Jawa Tengah dan Jawa Barat bagian Timur. Dataran

rendah yang luas-luas terdapat di daerah pedalaman Jawa Timur. Dataran rendah tidak nampak di pedalaman Jawa Barat. Tetapi sebaliknya dataran rendah yang luas terdapat di utara Jawa Barat, sedangkan di utara Jawa Tengah dataran rendah utaranya sempit.

Bagian timur Jawa Tengah dan di bagian utara Jawa Timur, dataran yang nampaknya rendah itu sebenarnya merupakan sinklinorium atau jajaran beberapa sinklinal dari wilayah lipatan utara, yang di kedua daerah itu sampai ke pantai dan malahan terus ke Madura. Kemudian di Jawa Barat sebagian wilayah lipatan utara itu tertutup oleh bahan vulkanik seperti *alluvial fan* Gunung Salak dan Gunung Gede antara Jakarta-Bogor dan endapan vulkanik Tangkuban Perahu di daerah Subang.

Merujuk pada klasifikasi fisiografi yang dibuat oleh Sandy (1996), maka dilakukan generalisasi menjadi empat kelas. Empat kelas fisiografi tersebut diantaranya adalah wilayah dataran rendah, wilayah pegunungan, wilayah plato, dan wilayah vulkanik. Wilayah dataran rendah Pulau Jawa pada umumnya terdapat di bagian utara pulau ini. Bagian selatan Pulau Jawa didominasi oleh wilayah plato kecuali di bagian selatan Jawa Tengah. Bagian tengah Pulau Jawa di dominasi oleh wilayah pegunungan dan vulkanik (lihat lampiran Peta 2).

Menurut Pannekoek (1949), Pulau Jawa mempunyai sifat fisiografi yang khas, hal ini disebabkan karena beberapa keadaan diantaranya adalah iklim tropis, merupakan geosinklinal muda dan jalur orogenesis dengan banyak vulkanisme yang kuat. Kekuatan inilah yang mengakibatkan Pulau Jawa mempunyai bentuk panjang dan sempit.

Pada dasarnya fisiografi Pulau Jawa dapat dibedakan menjadi tiga zona pokok yang memanjang sepanjang pulau. Ketiga zona ini sangat berbeda baik di Jawa Timur, Jawa Tengah, maupun Jawa Barat. Zona-zona tersebut dapat digolongkan sebagai berikut:

- a. Zona Selatan : Pada umumnya berupa Plato, berlereng (miring) ke arah selatan menuju Laut India dan di sebelah utara berbentuk tebing patahan. Di Jawa Tengah sebagian dari zona ini telah diganti oleh daratan alluvial.
- b. Zona Tengah : Di Jawa Timur dan sebagian Jawa Barat merupakan wilayah depresi. Di tempat-tempat tersebut muncul kelompok gunung

berapi yang besar. Di Jawa Tengah sebagian dari zona tengah ditempati oleh rangkaian Pegunungan Serayu Selatan, berbatasan di sebelah utaranya dengan depresi yang lebih kecil yaitu Lembah Serayu. Juga di bagian paling barat daerah Banten ditempati oleh bukit-bukit dan pegunungan.

- c. Zona Utara : Terdiri dari rangkaian gunung lipatan berupa bukit-bukit rendah atau pegunungan dan diselingi oleh beberapa gunung-gunung api yang berbatasan dengan dataran alluvial.

Topografi mempengaruhi arah jalannya suatu arus angin. Pengaruh topografi menentukan arah dan kekuatan arus angin setempat. Yang dimaksud dengan pengaruh topografi terhadap arus angin ialah pengaruh kondisi permukaan dan ketinggian yang berlaku terhadap gaya yang mempengaruhi arah dan kekuatan arus angin. Biasanya arus angin permukaan selalu mengikuti ketinggian permukaan yang terendah seperti lembah-lembah sungai, pegunungan sadel atau celah-celah angin. Jadi pengaruh muson tidak selalu mempengaruhi arah angin, terutama di daerah pegunungan di Pulau Jawa.

Berdasarkan sistem ketinggian yang dibuat oleh Badan Pertanahan Nasional (BPN), Pulau Jawa terbagi menjadi beberapa wilayah ketinggian diantaranya adalah wilayah ketinggian 0-100 mdpl , 100-400 mdpl, 400-800 mdpl, 800-1200 mdpl, dan lebih dari 1200 mdpl (lampiran Peta 3). Lereng di Pulau Jawa dibagi menjadi empat kelas lereng, diantaranya : 0-2 % , 2-15% , 15-40% , dan lebih dari 40% (lampiran Peta 4). Keempat kelas lereng dan ketinggian pada umumnya berkorelasi dengan generalisasi dari fisiografi yang dibuat berdasarkan fisiografi Sandy (1996).

4.3 Iklim Pulau Jawa

Secara klimatologis pola iklim di Pulau Jawa dipengaruhi oleh pergerakan angin *moonson*. Pola iklim yang dibentuk oleh pergerakan angin *moonson* ini dicirikan oleh bentuk pola hujan yang bersifat *unimodal* (satu puncak musim hujan).

Menurut Sandy (1996), hujan di Pulau Jawa dipengaruhi oleh bentuk Pulau Jawa yang memanjang dari barat ke timur dan juga letaknya yang di ujung perjalanan Daerah Konvergensi Antar Tropik (DKAT). Hal tersebut

mengakibatkan bagian di Pulau Jawa mendapatkan hujan yang sedikit. Menurut dalil umum tentang hujan di Indonesia, diketahui bahwa pantai barat sebuah pulau selalu dapat hujan lebih dari pantai timur. Kemudian, karena letaknya di ujung perjalanan DKAT, kesempatan Pulau Jawa untuk dilewati oleh equator termal ini hanya dua kali, yaitu pada bulan Januari dan kemudian awal Maret. Karena itu, sebagian besar tempat-tempat di Pulau Jawa mendapat hujan terbanyak pada bulan Januari, sedangkan maksimum sekunder terdapat pada bulan Maret. Untuk wilayah sepanjang pesisir utara, arah angin hampir sejajar dengan pantai. Akibatnya, tempat-tempat yang terletak di pesisir utara, mendapat hujan lebih sedikit dari tempat-tempat yang terletak lebih ke selatan. Namun demikian tempat-tempat yang terletak di pesisir utara, tetapi di bagian barat pulau, tetap lebih banyak hujannya dari pada tempat-tempat yang terletak di pesisir utara, tetapi terletak di ujung timur (hlm. 229-230).

Menurut Sandy (1996), hujan di Pulau Jawa juga dipengaruhi oleh arah hadapan lereng. Tempat-tempat yang menghadap angin (*exposure*) seperti Wanayasa (Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat) memperoleh hujan yang banyak yaitu sebanyak 4.543 mm setahun, sedangkan tempat lain di balik gunung dari Wanayasa yaitu kota Bandung hanya memperoleh 1.778 mm setahun. Di Jawa Tengah contoh *exposure* juga yaitu Petungkriyono di selatan Pekalongan, dengan 6.649 mm setahun. Akan tetapi pada tempat-tempat yang berada di balik Petungkriyono (yang mestinya merupakan lereng bayangan hujan dari Pegunungan Dieng) tetap memperoleh hujan banyak, yaitu tempat-tempat di Lembah Serayu. Hal ini disebabkan Lembah Serayu memperoleh angin dari arah Banyumas bukan dari Pekalongan.

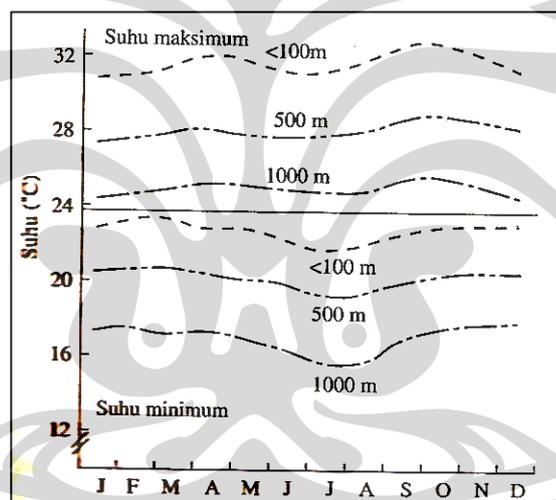
4.3.1 Suhu Udara Pulau Jawa

Fluktuasi suhu musiman untuk masing-masing lokasi di wilayah Indonesia sangat kecil. Hal ini disebabkan karena Indonesia terletak di daerah tropis. Oleh sebab itu, Indonesia disebut memiliki iklim *isothermal*. Variasi suhu di Indonesia lebih dipengaruhi oleh ketinggian tempat (*altitude*).

Menurut Oldemen Berdasarkan data yang dikumpulkan di 60 lokasi (Lakitan 2002, hlm. 102) terdapat hubungan antara suhu dengan ketinggian

tempat. Suhu maksimum di Indonesia menurun sebesar $0,6^{\circ}\text{C}$ untuk setiap kenaikan elevasi setinggi 100 meter, sedangkan suhu minimum menurun $0,5^{\circ}\text{C}$ per kenaikan elevasi 100 meter.

Suhu maksimum tertinggi umumnya tercapai pada sekitar bulan Oktober (pada akhir musim kemarau) dan suhu minimum terendah tercapai pada sekitar bulan Juli dan Agustus (lihat Gambar 4.1). Gambar 4.1 memperlihatkan suhu maksimum rata-rata di Indonesia umumnya tidak melebihi 32°C . Hal ini terjadi karena wilayah Indonesia sebagian besar merupakan wilayah lautan. Permukaan air yang luas akan berperan penting dalam memperkecil fluktuasi suhu, karena sebagian besar energi radiasi matahari terpakai untuk penguapan air (evaporasi), berbeda dengan lokasi yang terletak di tengah benua yang luas, misalnya bagian interior Benua Australia atau Gurun Gobi yang terletak di tengah daratan Cina.



Gambar 4.1 Fluktuasi Suhu Maksimum dan Minimum Musiman pada Ketinggian yang Berbeda di Indonesia.

Sumber : Lakitan (2002, hlm. 103).

Zone konvergensi antar tropik mempengaruhi variabilitas maupun distribusi suhu di Pulau Jawa. Distribusi temperatur selain dipengaruhi oleh ketinggian juga oleh arus angin yang berlaku pada saat itu. Variabilitas suhu tertinggi biasanya terjadi pada bulan-bulan Maret, April, Oktober dan November. Pada saat bulan-bulan itu posisi zone konvergensi antar tropik berkisar di atas

equator, dan di Pulau Jawa terjadi musim Pancaroba. Sedangkan variabilitas suhu terendah biasanya terjadi pada bulan Januari, yang mana pada saat itu terjadi musim hujan (Nirkaryanto, 1979).

Variasi suhu udara di Pulau Jawa tidak terlalu tinggi dengan rata-rata tahunan sebesar 26°C . Variasi suhu udara pada stasiun klimatologi yang dimiliki Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika mencatat bahwa suhu rata-rata bulanan tertinggi di Pulau Jawa berdasarkan data tahun 2007 adalah pada bulan Oktober yaitu sebesar $26,7^{\circ}\text{C}$ yang pada saat itu posisi zone konvergensi antar tropik berkisar di atas equator. Sedangkan suhu rata-rata terendah terjadi pada bulan Juli yaitu sebesar $25,5^{\circ}\text{C}$ (lihat lampiran Tabel 2).

4.3.2 Tekanan Udara Pulau Jawa

Menurut Nirkaryanto (1979), sistem isobar yang mempengaruhi Pulau Jawa berkisar rata-rata antara 1007-1013 milibar. Sistem ini merupakan bagian dari sistem isobar yang lebih global meliputi Asia dan Australia. Sistem isobar di Pulau Jawa dipengaruhi oleh topografi, sehingga merupakan ciri tersendiri yang bersifat setempat. Oleh karena itu di Pulau Jawa berlaku gradien tekanan yang juga bersifat setempat. Sistem isobar Pulau Jawa relatif sangat kecil dibandingkan dengan sistem isobar yang meliputi Asia dan Australia. Oleh karena itu, ketika gradien tekanan global akibat zone konvergensi antar tropik telah mencapai garis yang mantap diposisi paling selatan atau paling utara dari equator, maka arus angin muson pun akan mencapai pengaruh yang optimum di Jawa. Pengaruh ini mengabaikan pengaruh topografi sebagai tahanan atau *barrier* dan juga gradien tekanan setempat.

Jika sistem isobar di Asia dan Australia tidak mantap dan zone konvergensi antar-tropik mulai mendekati equator, maka akan timbul gejala-gejala naiknya variabilitas suhu dan arah angin yang tidak menentu. Hal ini yang menyebabkan musim pancaroba dimana pengaruh kekuatan angin muson menjadi lemah. Oleh karena itu, pengaruh topografi dan gradien tekanan setempat memegang peranan yang besar terhadap sistem isobar yang terjadi. Hal ini memacu gerakan arus angin setempat menurut kondisi faktor-faktor iklim dan topografi Pulau Jawa.

Sistem isobar di Benua Asia dan Australia inilah yang membuat pola pergerakan angin di wilayah Indonesia menjadi terbagi dua. *Windrose* musim barat dan musim timur Pulau Jawa (lihat lampiran Peta 5 dan Peta 6) menunjukkan arah angin di 28 stasiun angin Pulau Jawa bergerak dengan arah yang pada umumnya berlawanan. Pada musim barat arah angin yang tercatat oleh 28 stasiun angin di Pulau Jawa ini pada umumnya berasal dari arah utara dan barat Pulau Jawa. Begitupun sebaliknya untuk musim timur maka arah angin pada umumnya berasal dari arah timur Pulau Jawa. Pada Peta 7 dan Peta 8 arah angin cukup berbeda diantara dua musim pada wilayah dataran rendah. Namun, untuk daerah bergunung pada umumnya arah angin relatif konstan. Sehingga pada dataran rendah arah angin global lebih mempengaruhi arah angin yang terjadi di wilayah tersebut, sedangkan di daerah bergunung tinggi arah angin lokal lebih mempengaruhi arah angin yang terjadi di daerah tersebut.

Variasi tekanan udara rata-rata bulanan di Pulau Jawa berkisar antara 1000-1002 milibar berdasarkan data BMKG tahun 2007 (lampiran Tabel 3). Tekanan udara rata-rata tahunannya adalah sebesar 1001 milibar. Secara umum Nirkaryanto (1979) menjelaskan bahwa topografi Pulau Jawa mempengaruhi sistem distribusi tekanan menjadi dua sistem yang besar yakni sistem Jawa Barat dan sistem Jawa Timur. Pada sistem Jawa Barat terdapat dominasi tekanan rendah di dataran utara dan dominasi tekanan tinggi di sekitar Bandung. Pada sistem Jawa Timur terdapat dua tekanan rendah yakni di utara dan pegunungan selatan yang dibatasi oleh tekanan tinggi antara Semarang, Pegunungan Kendeng dan Surabaya. Adanya dominasi tekanan tinggi di daerah sekitar Bandung menunjukkan kemungkinan-kemungkinan, bahwa topografi Bandung sebagai daerah depresi yang dikelilingi pegunungan, secara terus menerus menampung angin turun secara mekanis, dari segala penjuru, baik pada musim angin barat maupun pada musim angin timur.

4.3.3 Kecepatan Angin Pulau Jawa

Angin di Indonesia tidak begitu pesat. Hal ini disebabkan potensi angin di Indonesia kurang menjanjikan, dimana rata-rata kecepatan angin pada ketinggian 24 meter di atas permukaan tanah sekitar 3,3 m/dt s.d. 6 m/dt. Hanya lokasi-lokasi

tertentu saja terutama daerah timur Indonesia yang bisa dikembangkan dengan skala besar, seperti di Route-Kupang yang pada ketinggian 24 m mempunyai kecepatan angin sebesar 6 m/dt. Pantai selatan Gunung Kidul, Baron, DI Yogyakarta adalah salah satu daerah yang telah terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB), tetapi kondisi angin yang tidak menentu menyebabkan PLTB ini sering berhenti beroperasi. Hal yang sama juga berlaku untuk wilayah yang lain, dimana sebagian besar mempunyai waktu mati angin yang cukup tinggi, yaitu sekitar dua bulan atau waktu operasi 300-310 hari per tahun. Mengingat kondisi tersebut, sebagian kincir angin yang ada tidak difungsikan sebagai pembangkit listrik tetapi berfungsi sebagai pompa air. Hal ini karena pada saat kincir berputar, air yang dihasilkan dapat disimpan di dalam tangki atau tandon penyimpanan sehingga dapat terus dimanfaatkan walaupun angin mati, sedangkan bila untuk membangkitkan listrik akan diperlukan *accu* dengan kapasitas yang sangat besar sehingga tidak mungkin dapat dilaksanakan. Sistem yang layak dan telah diterapkan di beberapa wilayah ialah sistem hibrid, yaitu kombinasi antara beberapa jenis pembangkit, seperti PV-diesel, bayu-diesel atau bayu-PV-diesel. Dengan hibrid, maka pada saat ada angin, diesel tidak dioperasikan, dan saat mati angin diesel diaktifkan, sedangkan waktu siang hari dimana beban kecil atau kosong listrik yang dihasilkan oleh PLTB dapat dipergunakan untuk memompa air (Nurdyastuti,2003).

Menurut Nirkaryanto (1979), berdasarkan sistem isobar, Pulau Jawa terbagi atas dua bagian besar sistem arus angin, yakni: (1) Arus angin di Jawa bagian barat meliputi Jawa Barat sampai daerah Cilacap yang kemudian untuk selanjutnya wilayah ini disebut sistem Jawa Barat; (2) Arus angin Jawa bagian timur meliputi daerah Jawa Timur sampai daerah Magelang (Jawa Tengah) yang kemudian untuk selanjutnya wilayah ini disebut sistem Jawa Timur. Wilayah diantara kedua sistem itu yang meliputi daerah Purwokerto sampai Magelang merupakan wilayah transisi yang dipengaruhi kedua belah pihak.

Sistem arus angin Jawa Barat terbagi dua juga yakni: (a) Sistem arus selatan yang meliputi daerah Pandeglang sampai dengan daerah Cilacap; (b) Sistem arus utara yang meliputi daerah Serang sampai dengan daerah Cilacap. Jadi Cilacap merupakan daerah pertemuan dari kedua sistem tersebut. Perbatasan

antara kedua sistem itu sebagian besar merupakan daerah orografi dan mempunyai beberapa celah angin seperti celah Pandeglang, celah Bogor, celah Cianjur, celah Sumedang, celah Majalengka dan celah Kuningan.

Sistem arus angin Jawa Timur juga terbagi dua yakni: (a) Sistem arus utara yang meliputi wilayah antara Semarang sampai dengan Madura; (b) Sistem arus selatan yang meliputi wilayah antara daerah Magelang sampai dengan daerah Banyuwangi. Kedua sistem ini dibatasi oleh tekanan tinggi yang biasanya berkisar antara Semarang, Pegunungan Kendeng dan Surabaya. Celah angin yang terdapat disini ialah celah Magetan, celah Bengawan Solo, celah Nganjuk dan celah Kali Brantas.

Data kecepatan angin rata-rata tahunan diperoleh dari hasil pengolahan data kecepatan angin rata-rata bulanan BMKG dari tahun 1975-2007. Dari hasil pengolahan tersebut (lampiran Tabel 4) dapat diamati bahwa kecepatan maksimum rata-rata tahunan dari tahun 1975-2007 terdapat pada stasiun pengamatan Tanjung Priuk (kode 17) sebesar 3,82 m/dt dan kecepatan minimum rata-rata tahunannya terdapat pada stasiun pengamatan Darmaga Bogor (kode 6) sebesar 0,94 m/dt.

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Stasiun Angin

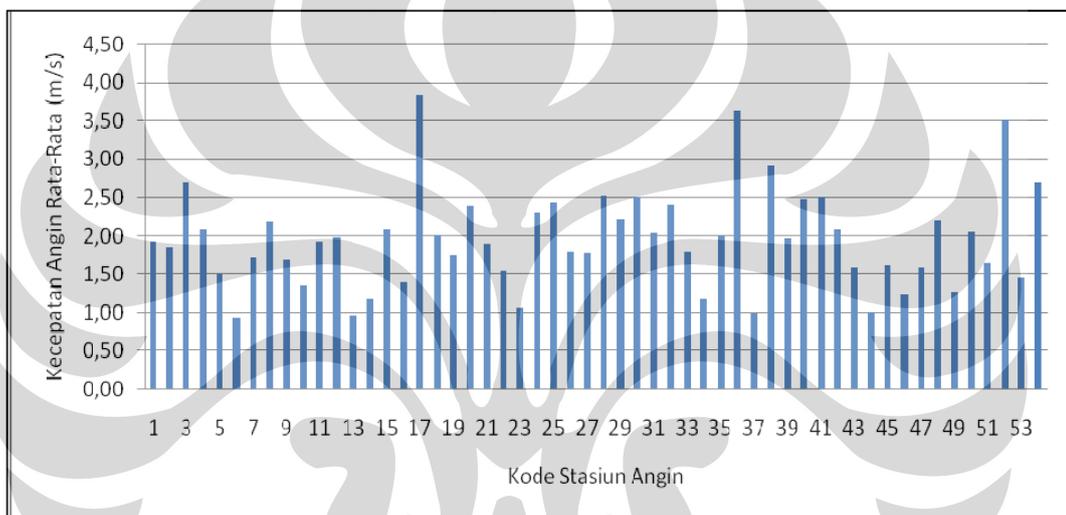
Stasiun angin yang merupakan stasiun pencatat data angin yang diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) rata-rata memiliki ketinggian 10 meter di atas permukaan tanah. Biasanya stasiun pencatat data angin ini bergabung dengan pencatat data klimatologi lainnya. Terdapat 54 lokasi stasiun angin di Pulau Jawa yang datanya masih dianggap relevan untuk penelitian ini. Stasiun angin tersebut diantaranya tiga stasiun angin di propinsi Banten, 13 stasiun angin di propinsi Jawa Barat, tiga stasiun angin di Propinsi DKI Jakarta, 16 stasiun angin di Propinsi Jawa Tengah, 17 stasiun angin di Propinsi Jawa Timur, dan dua stasiun angin di Propinsi DI Yogyakarta. Lebih spesifik mengenai stasiun angin di Pulau Jawa dapat dilihat dalam lampiran Tabel 1.

Dari ketersediaan data 33 tahun rentang pengamatan stasiun angin tersebut (tahun 1975-2007), pengamatan paling sedikit (selama lima tahun pengamatan) terdapat di stasiun angin Surabaya Juanda, sedangkan untuk pengamatan terbanyak (selama 32 tahun) terdapat pada stasiun angin Curug Tangerang, Husein Sastranegara, Jakarta Observatorium, Semarang Ahmad Yani, dan Surabaya Perak. Jika dirata-ratakan jumlah total 967 tahun pengamatan dari 54 stasiun angin tersebut, maka setiap stasiun rata-rata memiliki ketersediaan data sebanyak 18 tahun pengamatan.

Dari 33 tahun data kecepatan angin rata-rata bulanan terdapat satu tahun yaitu tahun 2007 yang memiliki kecepatan angin rata-rata harian. Data kecepatan angin harian hanya meliputi 28 stasiun angin dari 54 stasiun angin di Pulau Jawa diantaranya tiga stasiun di Propinsi Banten, tujuh stasiun di Propinsi Jawa Barat, tiga stasiun di Propinsi DKI Jakarta, empat stasiun di Propinsi Jawa Tengah, dan 10 stasiun di Propinsi Jawa Timur, dan satu stasiun di Propinsi DI Yogyakarta.

5.2 Pola Kecepatan Angin

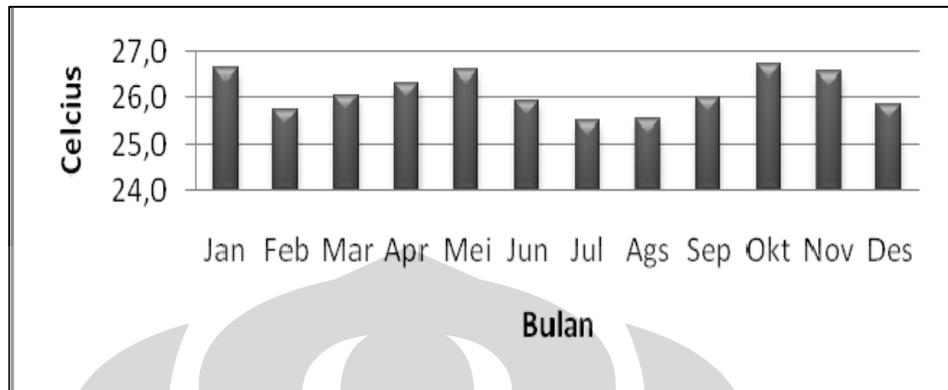
Data kecepatan angin rata-rata tahunan diperoleh dari hasil pengolahan data kecepatan angin rata-rata bulanan BMKG dari tahun 1975-2007. Dari hasil pengolahan menggunakan rumus (3.1) dapat diamati bahwa kecepatan rata-rata tahunan tertinggi dari tahun 1975-2007 terdapat pada stasiun pengamatan Tanjung Priuk (kode 17) sebesar 3,82 m/dt dan kecepatan rata-rata tahunan terendahnya terdapat pada stasiun pengamatan Darmaga Bogor (kode 6) sebesar 0,94 m/dt (lampiran Tabel 4 dan Gambar 5.1).



Gambar 5.1 Kecepatan Angin Rata-Rata di Semua Stasiun Tahun 1975 - 2007

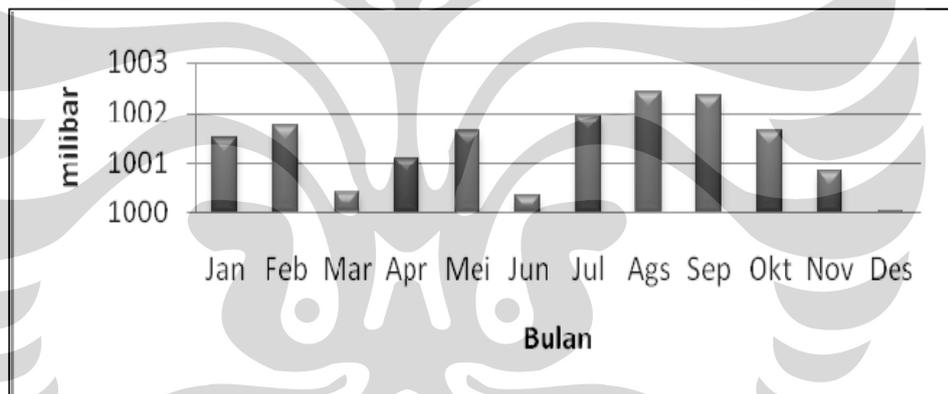
Sumber : Pengolahan Data (2009).

Jika merujuk pada penelitian yang dilakukan Budiono, 2002 maka hasil pengolahan data kecepatan angin di Pulau Jawa tersebut termasuk skala kecil ($< 4\text{m/dt}$). Kecepatan angin dipengaruhi oleh gradien tekanan udara. Semakin besar perubahan tekanan udara maka gradien tekanannya juga semakin besar. Sementara itu, tekanan udara dipengaruhi oleh suhu. Suhu udara rata-rata bulanan di daerah tropis Pulau Jawa menunjukkan fluktuasi musiman yang relatif kecil berkisar antara $25,5^{\circ}\text{C}$ – $26,7^{\circ}\text{C}$ (Gambar 5.2). Oleh sebab itu dapat dipahami jika tekanan udara rata-rata bulanan di Pulau Jawa relatif konstan berkisar antara 1000–1002 milibar (Gambar 5.3). Tekanan udara yang tidak berfluktuasi secara nyata ini yang menyebabkan kecepatan angin di Pulau Jawa pada umumnya menjadi relatif rendah.



Gambar 5.2 Fluktuasi Suhu Udara Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 2007.

Sumber : Pengolahan Data (2009).



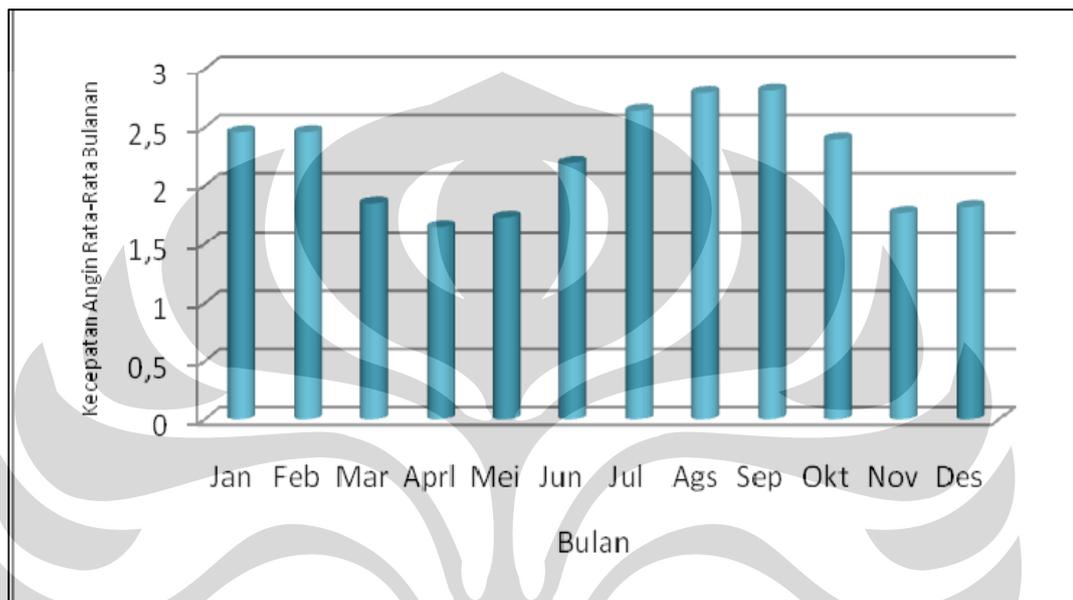
Gambar 5.3 Fluktuasi Tekanan Udara Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 2007.

Sumber : Pengolahan Data (2009).

Jika diamati grafik kecepatan angin rata-rata bulanan tahun 2003-2006 (Gambar 5.4) maka diperoleh bahwa kecepatan angin rata-rata bulanan yang bernilai rendah berada pada bulan-bulan yang merupakan musim transisi yaitu bulan Maret, April, Mei, November, dan Desember. Akan tetapi, kecepatan angin mulai bernilai tinggi ketika bulan Januari dan Juli.

Hal ini sesuai dengan apa yang ditulis oleh Nirkaryanto (1979), bahwa sistem isobar di Pulau Jawa merupakan bagian dari sistem isobar yang lebih global yang meliputi Asia dan Australia. Sebagaimana diketahui bahwa Pulau Jawa relatif kecil jika dibandingkan dengan sistem isobar yang meliputi Asia dan

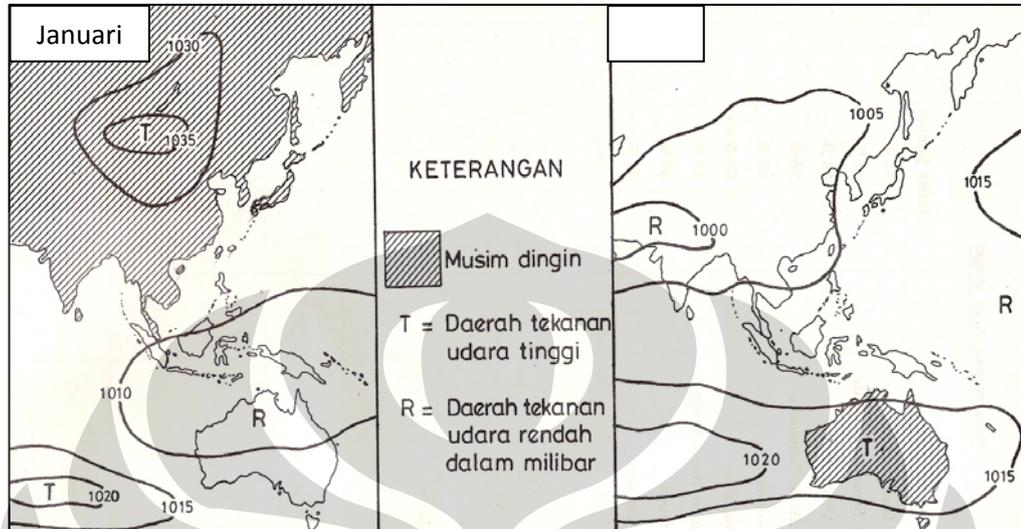
Australia. Oleh karena itu, jika gradien tekanan global akibat zona konvergensi antar tropik telah mencapai garis mantap di posisi paling selatan atau paling utara dari equator, maka kecepatan angin muson akan mencapai pengaruh yang optimum di Pulau Jawa. Pengaruh ini mengabaikan pengaruh topografi sebagai tahanan atau *barrier* serta gradien tekanan setempat.



Gambar 5.4 Fluktuasi Kecepatan Angin Rata-Rata Bulanan Pulau Jawa Tahun 2003-2006.

Sumber : Pengolahan Data (2009).

Hal tersebut juga sesuai dengan apa yang digambarkan oleh B. Haurwitz dan J.M. Austin bahwa pada bulan Juli tekanan udara paling rendah itu sampai pada ujung perjalanannya yang paling utara, dan pada bulan Januari dia sampai pada ujung perjalanannya yang paling selatan (lihat Gambar 5.5). Sebagai akibatnya, angin berhembus dari zone bertekanan tinggi ke zone tekanan rendah secara bergiliran yang kemudian dikenal dengan angin musim barat dan angin musim timur. Arah dan kekuatan angin musim ini senantiasa berubah, baik pada satu lapis ketinggian maupun pada beberapa lapis ketinggian (Sandy,1987).



Gambar 5.5 Perubahan Tekanan Udara Musiman Antara Asia dan Australia

Sumber : B. Haurwitz dan J.M Austin dalam Sandy (1987, hlm. 17)

Berdasarkan hal tersebut, klasifikasi dilakukan dengan distribusi frekuensi yang digeneralisasi untuk mempermudah membedakan kecepatan angin antara satu lokasi dengan lokasi lainnya di Pulau Jawa. Klasifikasi yang menggunakan rumus (3.4) dan (3.5) menghasilkan empat kelas klasifikasi untuk mempermudah melihat pola kecepatan angin di Pulau Jawa, yaitu kurang dari 1,5 m/dt; 1,5-2,5 m/dt; 2,6-3,0 m/dt; dan lebih dari 3,0 m/dt.

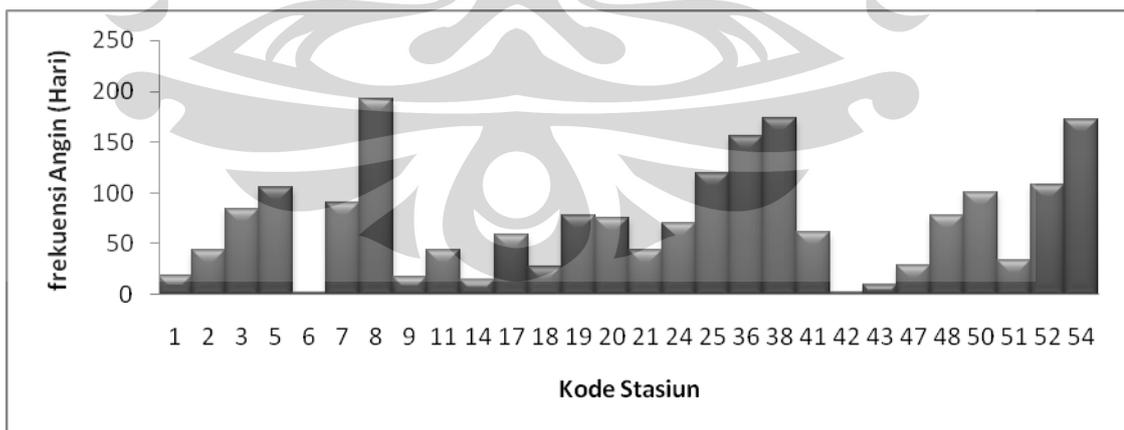
Berdasarkan peta kecepatan angin hasil klasifikasi tersebut (lampiran Peta 9) maka secara umum Pulau Jawa didominasi oleh angin dengan kecepatan 1,5 – 2,5 m/dt. Angin dengan kecepatan 2,6-3,0 m/dt terdapat di daerah pantai utara Pulau Jawa bagian barat dan bagian timur. Angin dengan kecepatan lebih dari 3,0 m/dt terdapat di sebelah utara Kabupaten Bekasi dan Karawang yang meliputi Teluk Jakarta serta Tanjung Karawang di Propinsi Jawa Barat. Di propinsi Jawa Timur angin dengan kecepatan lebih dari 3,0 m/dt terdapat di Kota Surabaya, Kabupaten Sidoarjo, Ngawi, dan Madiun.

5.3 Frekuensi Kecepatan Angin

Frekuensi kecepatan angin dalam batasan penelitian ini diartikan sebagai lamanya angin bertiup dalam kecepatan angin tertentu. Kecepatan awal angin (*cut-in*) yang dapat memutar turbin angin untuk menghasilkan listrik adalah yang kecepatannya dimulai dari 2,51 m/dt. Idealnya memang menghitung frekuensi dengan ukuran jam atau bahkan menit tiap ukuran satuan kecepatan angin agar lebih akurat. Namun data yang didapatkan adalah kecepatan angin harian tahun 2007. Oleh karena kajian ini berskala makro sinoptik, maka ukuran hari tidak terlalu bermasalah.

Frekuensi merupakan salah satu variabel penentu suatu lokasi layak atau tidak dikembangkan menjadi lokasi untuk pembangkit listrik tenaga angin. Hal ini dikarenakan fluktuasi kecepatan angin yang tidak selalu konstan dari hari ke hari. Variabel ini berperan dalam menentukan lokasi yang lebih potensial antara satu stasiun angin dengan stasiun angin lainnya yang mewakili suatu daerah dalam sebuah wilayah kecepatan angin yang sama.

Berdasarkan data kecepatan angin rata-rata harian tahun 2007 maka frekuensi angin terendah terdapat pada stasiun angin Darmaga Bogor (kode 6) sedangkan frekuensi angin tertinggi terdapat pada stasiun angin Husein Sastra Negara Bandung (kode 8). Lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran Tabel 5.



Gambar 5.6 Variasi Frekuensi Kecepatan Angin Lebih dari 2,5 m/dt.

Sumber : Pengolahan data (2009).

Gambar 5.6 menunjukkan variasi yang beragam frekuensi kecepatan angin yang lebih dari 2,5 m/dt. Berarti lamanya angin bertiup di Pulau Jawa pada kecepatan lebih dari 2,5 m/dt tidak konstan. Frekuensi angin yang tidak konstan disebabkan oleh perubahan gradien tekanan udara yang tidak konstan. Dalam hal ini perubahan gradien tekanan lokal memegang peranan penting.

5.4 Potensi Energi Angin

Potensi energi angin dipengaruhi oleh kecepatan angin dan frekuensi angin. Pada penelitian ini kecepatan angin yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik harus lebih dari 2,5 m/dt. Kecepatan angin merupakan variabel utama dalam menentukan energi angin. Kecepatan angin merupakan salah satu unsur iklim dan penelitian ini ditekankan pada kajian klimatologi yang menelaah karakteristik iklim antar wilayah. Oleh karena itu data kecepatan angin yang disajikan dalam penelitian ini adalah data kecepatan angin rata-rata dari tahun 1975 sampai dengan tahun 2007.

Untuk membuat peta kecepatan angin diperlukan bantuan arah angin. Arah angin digunakan untuk menentukan kemana angin dengan kecepatan tertentu bergerak ketika bertemu dengan *barrier* (penghalang) berupa bentuk medan yang lebih tinggi. Peta arah angin didapatkan dengan bantuan *wind rose* 28 stasiun (lihat lampiran Peta 5 dan Peta 6) untuk melihat arah angin dominan selama satu tahun yang dibagi menjadi dua musim di suatu stasiun angin. Selain itu, diperlukan juga *isobar* (garis tekanan udara) dengan data tekanan udara bulanan tahun 2007 Pulau Jawa (lampiran Tabel 3) serta Peta Wilayah Ketinggian (lampiran Peta 3) untuk menentukan kemana angin akan bergerak. Pada pembuatan Peta Arah Angin (lampiran Peta 7 dan Peta 8) ini digunakan turbulensi mekanik yang memiliki fluktuasi lebih kecil tetapi frekuensinya lebih sering terjadi daripada turbulensi termal.

Peta Arah Angin ini (lampiran Peta 7 dan Peta 8) dan Peta Fisiografi (lampiran Peta 2) serta data kecepatan angin rata-rata tahun 1975-2007 (lampiran Tabel 4) dijadikan alat bantu dalam membuat peta Kecepatan Angin (lampiran Peta 9). Peta Kecepatan Angin tersebut menunjukkan wilayah mana saja di Pulau Jawa yang memungkinkan untuk dijadikan lokasi pembangkit listrik tenaga angin,

yaitu yang memiliki kecepatan lebih dari 2,5 m/dt. Pembahasan penelitian ini fokus pada 28 stasiun yang memiliki data frekuensi kecepatan angin dan berada pada wilayah kecepatan angin yang lebih dari 2,5 m/dt.

Sebelum menentukan energi angin ditentukan rapat massa udara yang sangat terkait dengan suhu dan tekanan udara berdasarkan rumus (3.2). Hal ini dilakukan karena setiap stasiun angin memiliki ketinggian dari permukaan laut yang berbeda sehingga dapat dipastikan memiliki rapat massa udara yang berbeda. Walaupun pada akhirnya tidak jauh berbeda nilai antara satu stasiun angin dengan stasiun angin lainnya dikarenakan variasi suhu dan tekanan yang juga tidak terlalu jauh berbeda. Setelah itu dilakukan perhitungan nilai potensi energi angin dengan menggunakan rumus (3.4). Hasil dari perhitungan matematis tersebut dapat dilihat dalam lampiran Tabel 6.

5.4.1 Wilayah Kurang Potensial

Berdasarkan Peta Kecepatan Angin (lampiran Peta 9), wilayah yang kurang potensial untuk dijadikan pembangkit listrik tenaga angin terdapat pada wilayah dengan kecepatan angin rata-rata kurang dari sama dengan 2,5 m/dt. Pada wilayah tersebut meliputi 22 stasiun angin di Pulau Jawa diantaranya adalah Serang (kode 3), Curug Tangerang (kode 2), Atang Sanjaya (kode 5), Darmaga (kode 6), Kalijati Subang (kode 7), Husein Sastranegara (kode 8), Jatiwangi (kode 9), Tasikmalaya (kode 11), Citeko (kode 14), Observatorium (kode 18), Halim Perdana Kusuma (kode 19), Cilacap (kode 20), Tegal (kode 21), Semarang Ahmad Yani (kode 24), Semarang Maritim (kode 25), Abdurrahman Saleh (kode 41), Karang Kates (kode 42), Banyuwangi (kode 43), Pacitan (kode 47), Tretes (kode 48), Karangploso (kode 50), dan Sawahan (kode 51).

Meskipun dalam lampiran Tabel 5 dan Tabel 6 dapat ditemukan bahwa stasiun Husein Sastra Negara (kode 8) dan Semarang Maritim (kode 25) memiliki kecepatan angin rata-rata tahun 2007 lebih besar dari 2,5 m/dt serta memiliki frekuensi kecepatan angin yang berkecepatan lebih dari 2,5 m/dt selama 193 hari untuk stasiun angin Husein Sastra Negara (terbesar di tahun 2007 dari 28 stasiun pengamatan dalam penelitian ini) dan 120 hari untuk stasiun Semarang Maritim, namun kedua stasiun tersebut penulis kategorikan dalam wilayah yang kurang

potensial. Hal ini disebabkan bahwa data tahun 2007 tersebut adalah data faktual untuk tahun 2007. Dasar utama yang penulis jadikan pijakan untuk menentukan lokasi potensial yang dapat dikembangkan untuk pembangkit listrik tenaga angin pada penelitian kali ini adalah kecepatan angin rata-rata tahun 1975 sampai dengan 2007 (33 tahun), representatif untuk kajian klimatologi.

Belum tentu kejadian tahun 2007 tersebut akan terjadi untuk tahun berikutnya atau sebelumnya dengan sama persis. Ini terbukti ketika dilakukan verifikasi hasil penelitian bahwa kecepatan rata-rata harian tahun 2006 stasiun Semarang Maritim hanya sebesar 1,9 m/dt dan frekuensi kecepatan angin lebih dari 2,5 m/dt tidak lebih dari 84 hari. Begitu juga untuk satu tahun setelahnya (tahun 2008), kecepatan rata-rata harian tahun 2008 stasiun angin Semarang Maritim hanya sebesar 2,0 m/dt dan frekuensi kecepatan angin lebih dari 2,5 m/dt hanya 84 hari. Padahal dalam lampiran Tabel 5, stasiun angin Semarang Maritim memiliki kecepatan angin rata-rata tahun 2007 sebesar 2,51 m/dt dan memiliki frekuensi kecepatan angin selama 120 hari.

5.4.2 Wilayah Cukup Potensial

Berdasarkan lampiran Peta 9, wilayah yang memungkinkan untuk dijadikan lokasi potensial pengembangan pembangkit listrik tenaga angin mencakup enam stasiun Tanjung Priuk (kode17), Soekarno-Hatta (kode3), Iswahyudi (kode36), Surabaya-Perak (kode 38), Surabaya Juanda (kode 52), dan Adi Sucipto (kode 54). Sehingga untuk menentukan lokasi potensial untuk dijadikan pembangkit listrik tenaga angin di Pulau Jawa cukup dengan fokus pada enam stasiun tersebut. Pengwilayahan dilakukan dengan memperhatikan bentuk medan dan kecepatan angin sebagai batas pengaruh dari stasiun angin, sehingga dihasilkan Peta Lokasi Potensial Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin lihat lampiran Peta 10.

Berdasarkan Tabel 5.1, maka pada enam stasiun tersebut dilakukan klasifikasi dengan menggunakan distribusi frekuensi rumus (3.4) dan (3.5). Hasil distribusi frekuensi menurut aturan sturges menghasilkan empat kelas klasifikasi, namun sesuai kebutuhan penelitian ini, maka dilakukan generalisasi menjadi dua kelas. Kelas pertama dengan frekuensi kecepatan angin kurang dari sama dengan

90 hari disebut dengan kelas cukup potensial dan kelas kedua dengan frekuensi angin lebih dari 90 hari disebut dengan kelas sangat potensial.

Tabel 5.1 Nilai Potensi Energi Angin (P), Kecepatan Angin Tahun 2007 (V), dan Frekuensi Angin.

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun Angin	V(m/s)	Frekuensi >2,5 m/dt		P (Wd/Thn)
				Persen (%)	Hari	
3	96749	SOEKARNO-HATTA	1,8	23,3	84	1905
17	96741	TANJUNG PRIOK	1,59	16,4	59	2277
36	96881	ISWAHYUDI MADIUN	2,26	43,2	156	5416
38	96933	SURABAYA-PERAK	2,51	48,1	173	3306
52	96935	SURABAYA / JUANDA	2,18	30,1	108	2562
54	96853	ADI SUCIPTO	2,51	47,8	172	3638

Sumber : Pengolahan Data (2009).

Berdasarkan data frekuensi angin tahun 2007, maka wilayah yang cukup potensial untuk dikembangkan menjadi lokasi pengembangan pembangkit listrik tenaga angin diantaranya dataran rendah pantai utara Tangerang dan dataran rendah pantai utara Tangerang-Jakarta-Bekasi-Karawang. Dari Tabel 5 dan 6 dapat diamati bahwa stasiun Tanjung Priok (kode 17) dan stasiun Soekarno-Hatta (kode 3) memiliki kecepatan angin rata-rata tahun 2007 yang kurang dari 2,5 m/dt dan hanya memiliki frekuensi angin selama kurang dari 90 hari, dikategorikan berada pada wilayah yang cukup potensial untuk dikembangkan pembangkit listrik tenaga angin. Karena dua variabel tersebut, tentunya kedua stasiun tersebut memiliki nilai potensi energi angin yang lebih kecil dari beberapa stasiun yang dikategorikan berada pada wilayah kurang potensial.

Hal ini sudah terjawab pada pembahasan pada wilayah kurang potensial mengenai studi kasus di stasiun Husein Sastra Negara dan stasiun Semarang Maritim. Hasil verifikasi juga menguatkan hal tersebut. Data kecepatan angin tahun 2008 pada stasiun Tanjung Priok menunjukkan bahwa kecepatan rata-rata pada tahun 2008 sebesar 2,4 m/dt dan memiliki frekuensi angin selama 124 hari, berarti mengalami kenaikan potensi energi angin dari tahun sebelumnya.



Gambar 5.7 Daun-Daun, Ranting-Ranting Kecil Bergerak Terus dan Bendera Berkibar.

Sumber : Verifikasi Lapang (2009)

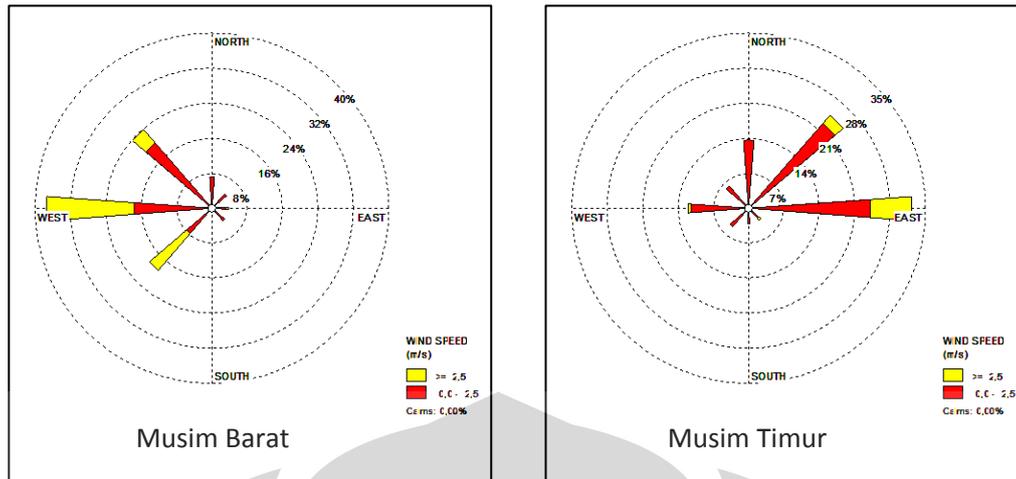
Verifikasi lapang yang dilakukan di daerah Bekasi menunjukkan bahwa keadaan disana memiliki derajat kecepatan angin ke-3 berkisar antara 3,4 – 5,4 m/dt sesuai dengan derajat kecepatan angin Beaufort (lihat lampiran Tabel 7) berdasarkan dampaknya terhadap vegetasi. Sesuai dengan rata-rata kecepatan angin tahun 1975-2007 pada stasiun angin Tanjung Priok sebesar 3,82 m/dt (lihat kembali lampiran Tabel 4). Hal ini juga di perkuat dengan wawancara lima warga sekitar dengan kategori sudah tinggal di daerah tersebut lebih dari 20 tahun di titik-titik yang berbeda yaitu dekat dengan laut, jauh dari laut (dekat dengan pemukiman), dan kawasan pabrik. Hasil wawancara tersebut menegaskan bahwa angin yang biasa bertiup di daerah tersebut adalah angin yang menggerakkan ranting-ranting dedaunan dan membuat bendera berkibar. Walaupun sesekali (frekuensinya dapat mencapai lima tahun sekali) angin membuat genting rumah terlempar dan pohon tumbang. Secara umum di daerah ini angin akan lebih cepat di daerah yang dekat dengan laut yang seringkali mengakibatkan gelombang ombak meninggi dan air permukaan laut naik selain hal itu disebabkan oleh gaya gravitasi bulan yang terkait dengan pasang surut air laut.



Gambar 5.8 Wilayah Dataran Rendah Pantai Utara Bekasi-Karawang

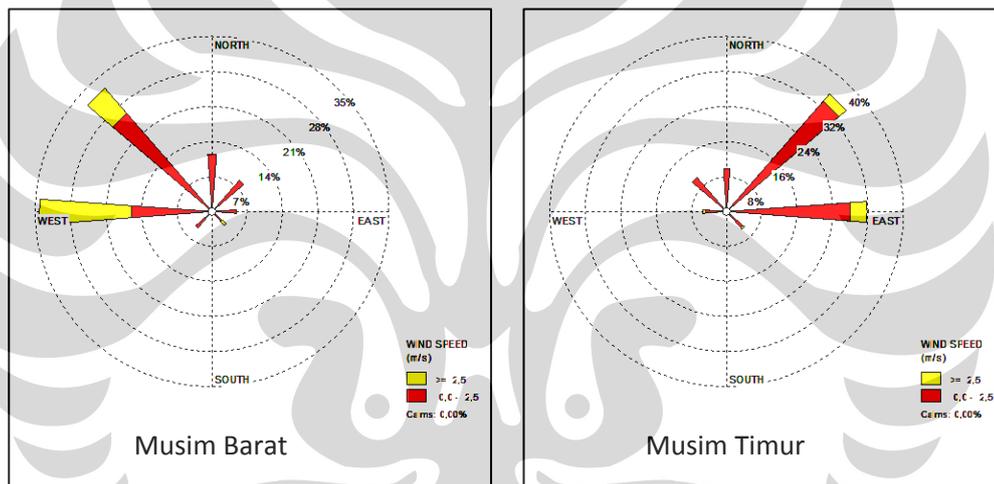
Sumber: SRTM DEM IV.

Berdasarkan Gambar 5.8 di atas, wilayah tersebut memiliki morfologi menjorok ke utara dibanding pantai utara Pulau Jawa lainnya. Hal ini membuka peluang wilayah ini mendapat pasokan arus angin muson barat maupun muson timur sebagai akibat dari gradien tekanan sinoptik ditambah dengan gradien tekanan lokal seperti angin laut yang dapat menambah kecepatan angin pada wilayah ini. Peta Arah Angin (lampiran Peta 7 dan Peta 8) menunjukkan angin yang bertiup di wilayah yang terwakili oleh stasiun Tanjung Priok dan Soekarno-Hatta ini selama satu tahun didominasi oleh angin yang bergerak dari arah barat pada musim barat (Oktober sampai Maret) dan dari arah timur pada musim timur (April sampai September). Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 menunjukkan bahwa pada wilayah ini angin sangat dipengaruhi oleh gradien tekanan sinoptik. Dari gambar tersebut pasokan angin didominasi oleh angin dari arah barat maupun timur sebagai akibat dari arus angin yang ditimbulkan oleh perbedaan gradien tekanan sinoptik antara Asia dengan Australia.



Gambar 5.9 *Wind Rose* Stasiun Angin Soekarno Hatta.

Sumber: Pengolahan Data (2009).



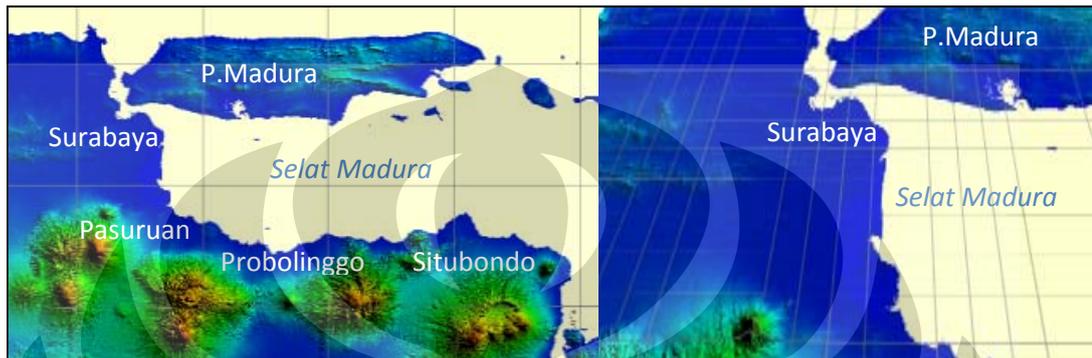
Gambar 5.10 *Wind Rose* Stasiun Angin Tanjung Priok.

Sumber: Pengolahan Data (2009).

5.4.3 Wilayah Sangat Potensial

Wilayah sangat potensial bercirikan memiliki kecepatan angin lebih dari 2,5 m/dt dan frekuensi anginnya bertiup selama lebih dari 90 hari. Berdasarkan data frekuensi angin tahun 2007, maka wilayah yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi lokasi pengembangan pembangkit listrik tenaga angin diantaranya wilayah dataran rendah pantai timur Surabaya-Sidoarjo, wilayah dataran rendah Madiun dan wilayah plato selatan Gunung Kidul-Wonogiri. Berdasarkan Tabel 5.1 maka stasiun-stasiun angin yang berada di wilayah ini diantaranya stasiun angin Iswahyudi Madiun (kode 36), stasiun angin Surabaya

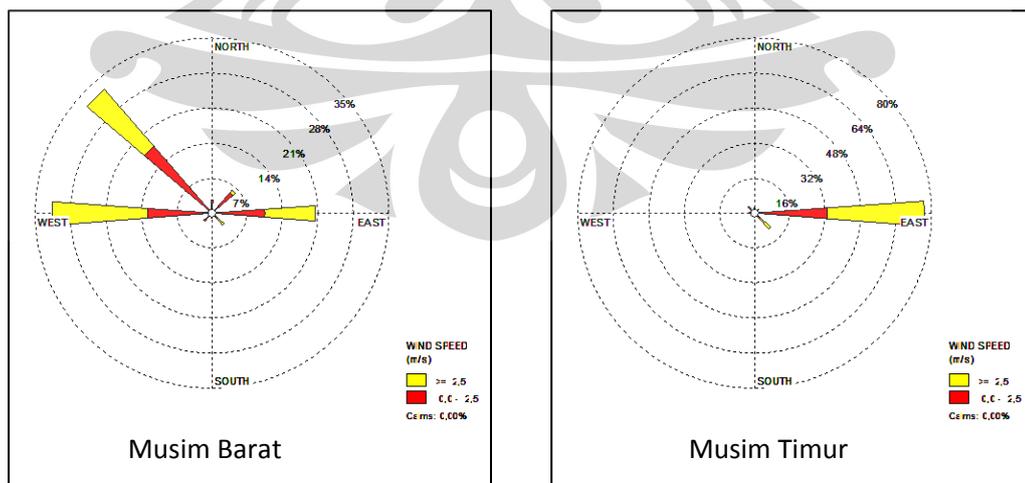
Perak (kode 38), stasiun angin Surabaya Juanda (kode 52), dan stasiun angin Adi Sucipto (kode 54). Dari keempat stasiun tersebut stasiun dengan nilai absolut potensi energi angin terbesar terdapat pada stasiun angin Iswahyudi Madiun sebesar 5.416 Wd/year. Sedangkan nilai terendah pada wilayah yang sangat potensial ini terdapat pada stasiun angin Surabaya Juanda sebesar 2.562 Wd/year.



Gambar 5.11 Wilayah Dataran Rendah Pantai Timur Surabaya-Sidoarjo.

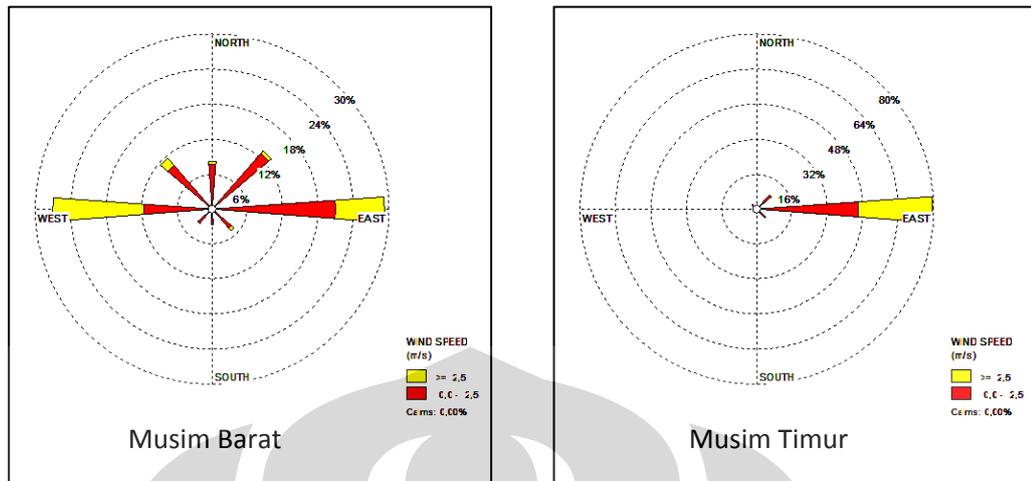
Sumber: SRTM DEM IV .

Pada Gambar 5.11 di atas memperlihatkan wilayah sangat potensial energi angin di bagian timur Jawa Timur. Wilayah energi angin yang sangat potensial ini terdapat di kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo. Wilayah ini berada di tepi pantai Selat Madura yang tegak lurus angin muson timur dari Australia serta diapit oleh Pulau Madura dan pantai utara Pasuruan-Probolinggo-Situbondo.



Gambar 5.12 Wind Rose Stasiun Angin Surabaya Perak.

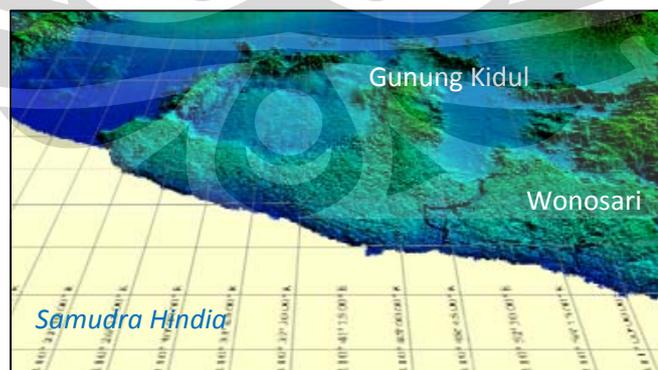
Sumber: Pengolahan Data (2009).



Gambar 5.13 *Wind Rose* Stasiun Angin Surabaya Juanda.

Sumber: Pengolahan Data (2009).

Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 memperlihatkan bahwa wilayah ini mendapat pasokan penuh arus angin muson timur pada musim timur sebagai akibat dari gradien tekanan sinoptik yang tertahan oleh pegunungan jika bergerak ke arah Pasuruan-Probolinggo-Situbondo. Angin yang tertahan oleh pegunungan tersebut akan mengarah ke Surabaya. Pada musim barat di wilayah ini pasokan angin tidak penuh dari arah barat, tetapi wilayah ini juga mendapat pasokan angin dari arah timur akibat gradien tekanan lokal seperti angin laut mengalahkan arus angin dari arah barat pada wilayah ini.

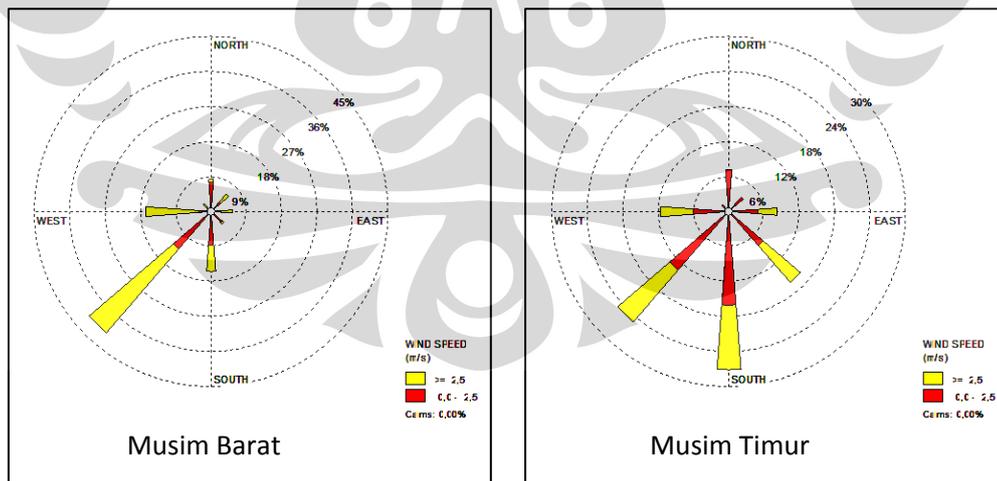


Gambar 5.14 Wilayah Plato Selatan Gunung Kidul – Wonosari

Sumber: SRTM DEM IV

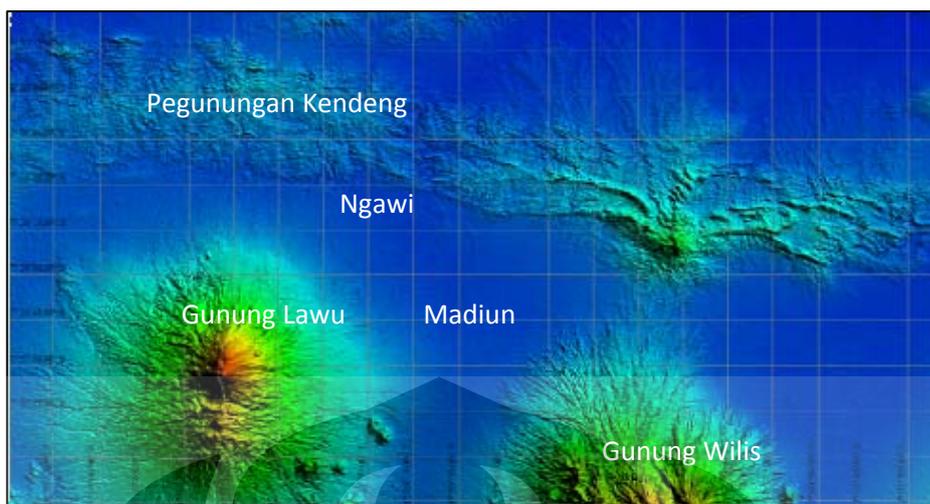
Wilayah plato selatan Gunung Kidul-Wonosari merupakan wilayah sangat potensial untuk dikembangkannya pembangkit listrik tenaga angin (Gambar 5.14). Wilayah ini memiliki variasi dataran tinggi (plato). Wilayah ini merupakan wilayah bentuk medan pegunungan Sewu dalam fisiografi I Made Sandy (1996). Wilayah ini berkategori sangat potensial diprediksi karena dipengaruhi tekanan gradien lokal.

Berdasarkan Gambar 5.15, menunjukkan arah angin dominan pada musim timur dan musim barat di wilayah ini berasal dari arah Samudera Hindia. Sehingga faktor yang paling mempengaruhi pasokan arus angin di wilayah ini adalah perbedaan gradien tekanan lokal yang angin laut dari arah selatan, barat daya, dan tenggara. Perbedaan gradien tekanan lokal ini yang menimbulkan variasi fluktuasi mekanis dan termal kecepatan angin. Namun fluktuasi mekanis lebih dominan karena didominasi oleh celah yang berada di antara tahanan atau *barrier*. Banyak celah tersebut yang membuat turbulensi fluktuasi termal berupa angin gunung dan angin lembah dapat berubah gerakannya menjadi turbulensi mekanis seiring dengan bentuk medan di wilayah ini yang nampak bervariasi dari ketinggian berdasarkan Gambar 5.14. Sehingga angin bertiup kencang pada celah-celah yang terdapat pada wilayah ini.



Gambar 5.15 Wind Rose Stasiun Angin Adi Sucipto.

Sumber : Pengolahan Data (2009).



Gambar 5.16 Wilayah Dataran Rendah Pedalaman Madiun.

Sumber: SRTM DEM IV.

Gambar 5.16 menunjukkan wilayah sangat potensial untuk dikembangkan menjadi lokasi pembangkit listrik tenaga angin. Wilayah ini berada di antara pegunungan. Di sebelah utara terdapat wilayah lipatan Kendeng, sebelah tenggaranya adalah wilayah wilayah volkanik Wilis, dan sebelah barat dayanya dibatasi oleh wilayah volkanik Lawu.

Kecepatan angin tahunan yang bertiup di wilayah dataran rendah Madiun yang terwakili oleh stasiun angin Iswahyudi tidak termasuk yang paling tinggi di wilayah sangat potensial dalam lampiran Peta 10. Namun, frekuensi kecepatan angin yang bertiup lebih dari 2,5 m/dt di wilayah ini besar serta tidak yang terbesar juga di wilayah sangat potensial ini. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa fluktuasi kecepatan angin di wilayah ini lebih tinggi daripada di wilayah lain.

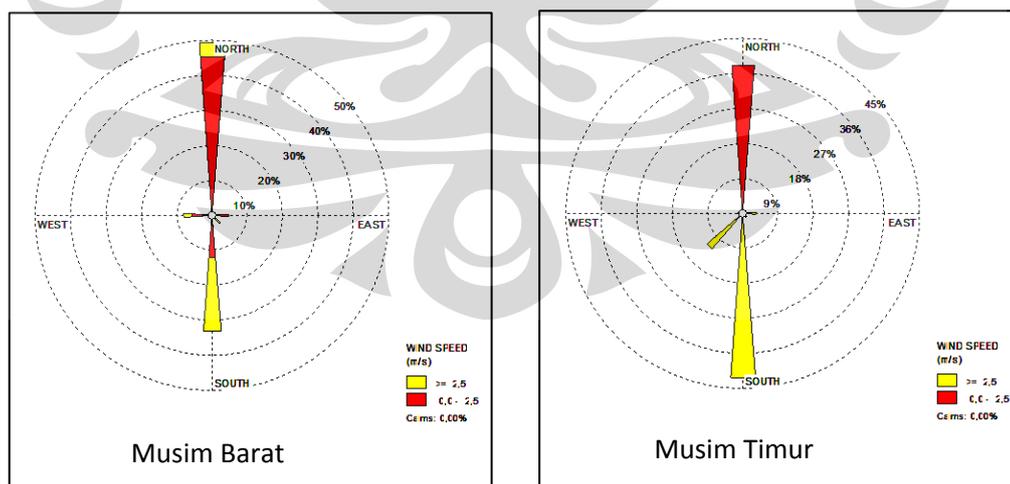
Hasil verifikasi lapang juga membuktikan bahwa wilayah dataran rendah Madiun yang terdiri atas Kabupaten Madiun, Ngawi, dan Magetan memiliki kecepatan angin yang tinggi. Gambar 5.17 menunjukkan papan peringatan daerah rawan bencana angin topan di Kabupaten Magetan tepatnya di Desa Ngiwen, Takeran, dan Kawedanan. Hal ini juga diperkuat dari hasil wawancara dengan warga yang sudah tinggal lebih dari 20 tahun di desa-desa tersebut.

Di daerah ini sering terjadi angin kencang – Angin Puting Beliung dalam bahasa masyarakat sekitar – minimal dua tahun sekali. Kejadian terakhir adalah dua tahun yang lalu (tahun 2007). Angin ini bertiup sekitar 10 menit tetapi merobohkan pohon dan membuat genting-genting beberapa rumah terbang. Begitu juga hasil wawancara dengan Kapten Marimun, Ah. Md. Met. (6 Juli 2009), “Angin kencang biasa terjadi di awal kedatangan hujan pada musim hujan, dapat mencapai 12,5 m/dt dan datang dari arah selatan”.



Gambar 5.17 Papan Peringatan Daerah Rawan Bencana Angin Topan.

Sumber : Verifikasi Lapangan (2009).



Gambar 5.18 Wind Rose Stasiun Angin Iswahyudi.

Sumber : Pengolahan Data (2009).

Berada di antara wilayah yang lebih tinggi ini membuat wilayah dataran rendah Madiun menjadi tempat mengalirnya angin yang masuk melalui celah-celah di antara pegunungan tersebut, diantaranya adalah celah yang terdapat di Pegunungan Kendeng dan celah di antara Gunung Wilis dan Gunung Lawu Gambar 5.18 menunjukkan bahwa pasokan angin di wilayah ini yang tercatat pada stasiun angin Iswahyudi pada umumnya berasal dari arah utara dan selatan wilayah ini baik pada musim barat maupun musim timur.

Oleh karena itu kecepatan dan arah angin di wilayah ini lebih dominan dipengaruhi oleh kecepatan dan arah angin yang disebabkan oleh perbedaan tekanan gradien lokal. Banyaknya celah ini menimbulkan turbulensi angin yang tinggi. Sangat mungkin terjadi angin putar kencang (Angin Puting Beliung) karena faktor bentuk medan ini. Hal ini terjadi karena fluktuasi mekanis kecepatan angin yang datang dari arah utara dan selatan ditambah dengan angin gunung yang datang dari rangkaian pegunungan tersebut, sehingga stasiun angin yang berada pada wilayah tersebut mencatat bahwa rata-rata kecepatan angin mencapai 3,63 m/dt.

Wilayah yang cukup dan sangat potensial pada umumnya berada di daerah dataran rendah pantai. Berbatasan langsung dengan garis pantai (lihat lampiran Peta 8). Fisiografinya berupa dataran rendah dan memiliki ketinggian kurang dari 100 mdpl dari permukaan laut dan memiliki lereng kurang dari 2 %. Wilayah ini dapat menjadi potensial karena pengaruh bentangan laut akibat lokasinya dekat dengan permukaan laut. Menurut Lakitan (2002), keberadaan bentangan laut besar perannya dalam mempengaruhi fluktuasi tekanan udara karena laut merupakan pemasok uap air ke udara (melalui proses evaporasi). Penambahan uap air ke udara akan menyebabkan tekanan udara tersebut meningkat sehingga menyebabkan perbedaan tekanan antara lokasi yang satu dengan lokasi lainnya.

BAB VI

KESIMPULAN

Berdasarkan kecepatan angin rata-rata dan frekuensi kecepatan angin di Pulau Jawa, maka disimpulkan bahwa:

1. Lokasi yang cukup potensial untuk dikembangkan menjadi lokasi pembangkit listrik tenaga angin adalah wilayah dataran rendah pantai utara Tangerang-Jakarta-Bekasi-Karawang, dengan ciri-ciri lokasi memiliki kecepatan angin rata-rata lebih dari 2,5 m/dt dan memiliki frekuensi kurang dari sama dengan 90 hari.
2. Lokasi yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi lokasi pembangkit listrik tenaga angin adalah wilayah dataran rendah pantai timur Surabaya-Sidoarjo, wilayah dataran rendah Madiun, dan wilayah plato selatan Gunung Kidul-Wonogiri, dengan ciri-ciri lokasi tersebut memiliki kecepatan angin rata-rata lebih dari 2,5 m/dt dan memiliki frekuensi lebih dari 90 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Altin, Muhammad Massinai. (2005). *Analisis Liputan Awan Berdasarkan Citra Satelit Penginderaan Jauh*. 28 Juni 2009. [Http://oc.its.ac.id/ambilfile.php?idp=490](http://oc.its.ac.id/ambilfile.php?idp=490)
- DESDM. *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*. 16 September 2008. [Http://www.esdm.go.id/publikasi/lainlain/doc_download/714-blue-print-pengelolaan-energi-nasional-pen.html](http://www.esdm.go.id/publikasi/lainlain/doc_download/714-blue-print-pengelolaan-energi-nasional-pen.html)
- Budiono, Chayun. (2002). *Tantangan dan Peluang Pengembangan Sistem Energi Terbaru di Indonesia*. 7 September 2008. [Http://www.elektroindonesia.com/technopreneurship/makalah/chayun-budiono.pdf](http://www.elektroindonesia.com/technopreneurship/makalah/chayun-budiono.pdf)
- Daryanto Y. (2007). *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Yogyakarta : Balai PPTAGG . 7 September 2008. [Http://elkace.files.wordpress.com/2008/02/kincir_angin.pdf](http://elkace.files.wordpress.com/2008/02/kincir_angin.pdf)
- Djojodiharjo, Harijono. (1980). *Program Penelitian dan Pengembangan Energi Angin*. Jakarta : LAPAN.
- Djojodiharjo, Harijono & Darwin Sebayang. (1980). *Analisis Data Angin di Beberapa Tempat di Indonesia*. Jakarta : LAPAN.
- Jarass, L. (1981). *Wind Energy* (pp. 2-3). Berlin : Springers-Verlag.
- Keraf, Gorys. (1994). *Komposisi*. Jakarta : Ikrar Madiriabadi.
- Lakitan, Benyamin. (2002). *Dasar-Dasar Klimatologi*. Jakarta : PT Raja Grafindo Persada.
- Nirkaryanto. (1979). *Angin Ribut di Jawa*. Jakarta : Publikasi Geografi no.2.
- Nurdyastuti, Indyah. (2003). *Analisis Hasil Pemanfaatan Energi Pada Pembangkit Tenaga Listrik di Indonesia*. 14 Oktober 2008. [Http://www.geocities.com/markal_bppt/publish/slistrk/slnurd.pdf](http://www.geocities.com/markal_bppt/publish/slistrk/slnurd.pdf)

Nyoman, Ngakan. (1999). *Unit-Unit Geomorfologi Batur Anyar*. Jakarta : Skripsi Jurusan Geografi, FMIPA UI.

Pannekoek, A.J. (1949). *Outline of The Geomorphology of Java* (Budio Basri, Penerjemah) (pp. 1-2).

Pralebda, Gatot P. & Toekiran. (1980). *Usaha Pemetaan Potensi Tenaga Angin di Indonesia*. Jakarta : LAPAN.

Prawirowardoyo, Susilo. (1996). *Meteorologi*. Bandung : ITB.

Pusat Pembinaan dan Pengembangan Bahasa Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. (2005). *Pedoman Umum Ejaan Bahasa Indonesia Yang Disempurnakan*. Jakarta : Balai Pustaka.

Raharjo, Marsudi. (2003). *Stasistika*. Yogyakarta : Dirjen Pendidikan Dasar dan Menengah PPPGT Matematikap4tkmatematika. 20 Februari 2009.[Http://org/ downloads/sma/Statiska.pdf](http://org/downloads/sma/Statiska.pdf)

Rahayu, Sri & Soeripno. (1993). *Analisis Data Angin Desa Bulak Baru Jepara Juli – Desember 1992*. Jakarta : LAPAN.

Sandy, I.Made. (1983). *Aturan Menulis dan Menulis Dengan Aturan*. Jakarta : Jurusan Geografi FMIPA UI.

_____. (1987). *Iklim Regional Indonesia*. Jakarta : Jurusan Geografi FMIPA UI.

_____. (1996). *Geografi Regional Republik Indonesia*. Jakarta : Jurusan Geografi FMIPA UI PT. Indograph Bakti.

Soeripno. (1994). *Analisis Data Angin Desa Bulak Baru Jepara Oktober 1993 – Juni 1994*. Jakarta : LAPAN.

_____. (2005a). *Angin Sebagai Energi Alternatif*. Rumpin : LAPAN.

_____. (2005b). *Spesifikasi Sistem Konversi Energi Angin LAPAN*. Rumpin : LAPAN.

Vosburgh, Paul N. (1983). *Commercial Applications of Wind Power* (pp.35)
Wokingham : Van Nostrand Reinhold Company Inc.





Tabel 1 Lokasi Stasiun Angin di Pulau Jawa.

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun Angin	Koordinat	Elevasi	Alamat Stasiun Angin
Propinsi Banten					
1	96737	SERANG	6 ⁰ 7' LS 106 ⁰ 8' BT	40	STAMET SERANG
2	96739	CURUG TANGERANG	6 ⁰ 14' LS 106 ⁰ 39' BT	46	BANDARA BUDIARTO CURUG
3	96749	SOEKARNO-HATTA	6 ⁰ 7' LS 106 ⁰ 39' BT	8	
Propinsi Jawa Barat					
4	09008	CIBINONG	6 ⁰ 28' LS 106 ⁰ 52' BT	125	KEB. PERCOB. TANAMAN CIBINONG
5	96755	ATANG SANJAYA BOGOR	6 ⁰ 33' LS 106 ⁰ 54' BT	171	BANDARA ATANG SENJAYA BOGOR
6	96753	DARMAGA BOGOR	6 ⁰ 30' LS 106 ⁰ 45' BT	250	STA. KLIMAT I DERMAGA KP 76
7	96773	KALIJATI-SUBANG	6 ⁰ 33' LS 107 ⁰ 40' BT	110	BANDARA KALIJATI
8	96781	HUSEIN SASTRANEGARA	6 ⁰ 54' LS 107 ⁰ 35' BT	740	BANDARA HUSEIN S. NEGARA
9	96791	JATIWANGI	6 ⁰ 45' LS 108 ⁰ 16' BT	50	STA. METEO JATIWANGI
10	09023	CIREBON JAWA BARAT	6 ⁰ 41' LS 108 ⁰ 33' BT	3	JL. SILIWANGI 95 CIREBON
11	09025	TASIKMALAYA	7 ⁰ 29' LS 108 ⁰ 35' BT	150	BANDARA TASIKMALAYA
12	09028	KUNINGAN-CIREBON	6 ⁰ 58' LS 108 ⁰ 24' BT	545	KEB. PERCOBAAN KUNINGAN
13	09412	CIKUMPAI	6 ⁰ 28' LS 107 ⁰ 30' BT		KEC. CEMPAKA, PURWAKARTA
14	96751	CITEKO	6 ⁰ 42' LS 106 ⁰ 51' BT	920	STN.MET.CITEKO,CISARUA BOGOR
15	96785	LEMBANG	6 ⁰ 50' LS 107 ⁰ 37' BT	1241	KEB.PERC.MARGAHAYU II LEMBANG
16	09420	JATISARI	6 ⁰ 21' LS 107 ⁰ 30' BT	28	JL. RAYA KALIASIN KARAWANG
Propinsi DKI Jakarta					
17	96741	TANJUNG PRIOK	6 ⁰ 7' LS 106 ⁰ 59' BT	2	STA. MET MARITIM TG. PRIOK
18	96745	JAKARTA OBSERVATORIUM	6 ⁰ 11' LS 106 ⁰ 50' BT	8	JL. ANGKASA I NO. 2 JAKARTA
19	96747	HALIM PERDANA KUSUMA	6 ⁰ 15' LS 106 ⁰ 54' BT	30	BANDARA HALIM PERDANA KUSUMA
Propinsi Jawa Tengah					
20	96805	CILACAP	7 ⁰ 44' LS 109 ⁰ 1' BT	6	STA. METEO CILACAP

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006).

Tabel 1a Lokasi Stasiun Angin di Pulau Jawa (Lanjutan).

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun Angin	Koordinat	Elevasi	Alamat Stasiun Angin
21	96797	TEGAL	6 ⁰ 51' LS 109 ⁰ 9' BT	10	JL. PANCASILA 2 TEGAL
22	11033	GAMER PEKALONGAN	6 ⁰ 53' LS 109 ⁰ 42' BT	4	BALAI BENIH GAMER
23	11034	SEMPOR	7 ⁰ 29' LS 109 ⁰ 19' BT	114	PROY. SERBAGUNA KEDU SELATAN
24	96839	SEMARANG AHMAD YANI	6 ⁰ 59' LS 110 ⁰ 22' BT	3	BANDARA AHMAD YANI
32	96837	SEMARANG MARITIM	6 ⁰ 57' LS 110 ⁰ 26' BT	1	STA. METEO MARITIM SEMARANG
26	11038	KLEDUNG	7 ⁰ 23' LS 110 ⁰ 1' BT	1399	KEB. BIBIT PURNOMOSARI KLEDUNG
27	11040	CANDI	7 ⁰ 3' LS 110 ⁰ 6' BT	270	PROY. REST. CANDI BOROBUDUR
28	11041	UNGARAN	7 ⁰ 7' LS 110 ⁰ 23' BT	320	SPMA UNGARAN
29	11042	GETAS	7 ⁰ 19' LS 110 ⁰ 28' BT	300	GETAS SALATIGA
30	96845	ADI SUMARMO SURAKARTA	7 ⁰ 38' LS 110 ⁰ 55' BT	104	BANDARA ADI SUMARMO SURAKARTA
31	11049	COLO KUDUS	6 ⁰ 40' LS 110 ⁰ 55' BT	700	DIPERTA KAB. KUDUS
32	11050	RENDOLE PATI	6 ⁰ 43' LS 111 ⁰ 1' BT	17	KPP / TC RENDOLE PATI
33	11423	BEJI	6 ⁰ 26' LS 110 ⁰ 48' BT	20	KEC. BANGSRI, JEPARA
34	11426	BOJONGSARI	7 ⁰ 25' LS 109 ⁰ 18' BT	68	KEC. KEBUN BARU, BANYUMAS
35	11429	NGAMBAK KAPUNG	7 ⁰ 1' LS 110 ⁰ 37' BT	24	KEC. KEDUNG JATI, PURWODADI
Propinsi Jawa Timur					
36	96881	ISWAHYUDI MADIUN	7 ⁰ 37' LS 111 ⁰ 31' BT	110	BANDARA ISWAHYUDI
37	12065	SELOREJO	7 ⁰ 53' LS 112 ⁰ 21' BT	637	BENDUNGAN SELOREJO MALANG
38	96933	SURABAYA-PERAK	7 ⁰ 13' LS 112 ⁰ 43' BT	3	STA METEO JL. TANJUNG SADARI
39	12068	PASURUAN	7 ⁰ 38' LS 112 ⁰ 49' BT	4	JL. PAHLAWAN 25 PSURUAN
40	12070	UNBRA-MALANG	7 ⁰ 57' LS 112 ⁰ 37' BT	505	JL. MAJEN. HARYONO MALANG
41	96947	ABD. RAHMAN SALEH MALANG	7 ⁰ 58' LS 112 ⁰ 42' BT	526	BANDARA ABD. RAHMAN SALEH
42	96949	KARANG KATES	8 ⁰ 9' LS 112 ⁰ 27' BT	285	PROY. SERBAGUNA BRANTAS

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006).

Tabel 1b Lokasi Stasiun Angin di Pulau Jawa (Lanjutan).

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun Angin	Koordinat	Elevasi	Alamat Stasiun Angin
43	96987	BANYUWANGI	8 ⁰ 13' LS 114 ⁰ 23' BT	5	STA. METEO BANYUWANGI
44	12084	JATIROTO	8 ⁰ 10' LS 113 ⁰ 20' BT	29	JL. MERAK I TROMOLPOS 32 SBY
45	12085	SUMBER ASIN	8 ⁰ 14' LS 112 ⁰ 43' BT	550	POS SUBER MANJING
46	12413	CINDOGO	7 ⁰ 53' LS 113 ⁰ 58' BT		
47	96857	PACITAN	8 ⁰ 12' LS 111 ⁰ 3' BT	1	
48	96945	TRETES	7 ⁰ 42' LS 112 ⁰ 38' BT	832	STN.GEOF.TRETES,PASURUAN
49	12507	PG. WRINGIN ANOM	8 ⁰ 0' LS 114 ⁰ 0' BT		
50	96943	KARANGPLOSO	7 ⁰ 45' LS 113 ⁰ 23' BT		STN. MET KARANG PLOSO, MALANG
51	12524	SAWAHAN (GEOFISIKA)	7 ⁰ 44' LS 111 ⁰ 56' BT	175	
52	96935	SURABAYA / JUANDA	7 ⁰ 22' LS 112 ⁰ 46' BT	3	
Propinsi DI Yogyakarta					
53	13045	UGM JOGJA	7 ⁰ 46' LS 110 ⁰ 23' BT	137	FAK PERTANIAN UGM BULAKSUMUR
54	96853	ADI SUCIPTO (DI JOGYAKARTA)	7 ⁰ 47' LS 110 ⁰ 26' BT	107	BANDARA ADISUCIPTO

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006).

Tabel 2 Suhu Udara Rata-Rata Bulanan Tahun 2007 Dalam Celcius.

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Suhu Udara Tahun 2007 Dalam Celcius												Rata- Rata
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
1	96737	SERANG	27,3	26,8	27,1	27,3	27,3	26,8	26,7	26,9	27,4	27,5	27,4	26,7	27,1
2	96739	CURUG TANGERANG	27,3	26,3	26,7	26,8	27,3	27,0	26,6	26,8	26,9	26,6	26,5	25,8	26,7
3	96749	JAKARTA SOEKARNO-HATTA	27,8	26,7	27,3	27,4	27,9	27,6	27,6	27,6	28,1	28,0	28,0	26,9	27,6
5	96755	ATANG SANJAYA BOGOR	26,6	25,4	25,5	26,8	25,9	25,8	25,5	26,1	26,3	26,3	26,4	24,8	25,9
6	96753	DARMAGA	26,7	25,6	26,2	26,4	26,6	26,3	26,2	26,2	26,6	26,7	26,5	25,7	26,3
7	96773	KALIJATI-SUBANG	28,2	26,3	26,9	26,5	27,5	27,4	27,4	27,7	28,5	28,8	27,8	27,4	27,5
8	96781	HUSEIN SASTRANEGARA	25,8	23,3	24,9	23,3	23,6	21,1	22,8	23,4	22,1	22,9	24,2	23,8	23,4
9	96791	JATIWANGI	27,1	26,1	26,6	27,1	28,1	27,6	27,5	28,1	29,2	29,3	27,7	27,2	27,6
11	09025	TASIKMALAYA	27,1	26,4	26,2	26,1	26,6	25,5	25,3	24,2	25,0	26,1	26,2	26,0	25,9
14	96751	CITEKO	21,8	20,7	21,4	21,7	22,3	21,9	21,8	21,6	21,8	21,8	21,6	20,8	21,6
17	96741	TANJUNG PRIOK	29,3	27,5	28,6	28,8	29,2	28,8	28,8	28,7	29,0	29,1	28,6	27,5	28,7
18	96745	OBSERVATORIUM	28,6	27,1	28,0	28,3	28,9	28,6	28,8	28,7	28,9	28,9	28,6	27,6	28,4
19	96747	HALIM PERDANA KUSUMA	28,6	26,6	28,2	28,2	28,8	28,1	28,5	28,8	30,0	29,0	29,1	28,2	28,5
20	96805	CILACAP	28,1	27,5	27,4	27,8	28,1	27,1	26,4	25,6	25,7	26,9	27,1	27,5	27,1
21	96797	TEGAL	28,1	26,9	27,3	27,9	28,5	27,5	27,2	27,1	27,5	28,3	28,0	27,2	27,6
24	96839	SEMARANG AHMAD YANI	28,1	27,3	27,4	28,0	28,8	28,4	28,1	28,1	28,6	28,8	28,0	27,2	28,0
32	96837	SEMARANG MARITIM	28,1	27,2	27,6	28,5	29,3	28,4	28,4	28,8	29,4	29,5	28,6	27,2	28,4
36	96881	ISWAHYUDI MADIUN	28,5	27,5	26,0	27,2	26,9	27,1	25,9	25,7	27,0	28,1	28,7	26,2	27,1
38	96933	SURABAYA-PERAK	29,1	28,1	28,3	28,9	29,2	28,4	28,0	28,0	28,5	29,7	29,5	27,8	28,6
41	96947	ABD. RAHMAN SALEH MALANG	21,2	21,6	22,4	21,7	21,2	20,4	18,4	19,9	19,8	21,7	22,1	22,2	21,0
42	96949	KARANG KATES	23,1	23,2	23,9	24,1	24,7	22,9	21,2	21,7	21,6	23,3	23,5	23,1	23,0
43	96987	BANYUWANGI	27,8	27,4	27,0	27,7	27,5	26,6	25,9	25,3	26,1	27,7	28,1	27,8	27,1
47	96857	PACITAN	24,9	24,8	24,7	24,8	25,0	23,2	22,9	21,7	22,5	24,0	24,9	25,2	24,0
48	96945	TRETES	22,5	22,1	22,1	22,5	22,9	22,3	21,6	22,0	22,9	24,2	23,3	22,4	22,6
50	96943	KARANGPLOSO	24,5	24,5	24,2	24,9	24,5	23,8	22,9	22,5	23,6	25,6	24,9	24,6	24,2
51	12524	SAWAHAN (GEOFISIKA)	21,8	21,3	21,8	21,6	21,8	21,4	19,8	19,9	20,7	22,0	22,3	22,2	21,4
52	96935	SURABAYA/JUANDA	29,2	27,4	27,5	28,1	28,4	27,8	27,3	27,0	27,5	28,8	28,9	27,6	27,9
54	96853	ADI SUCIPTO	28,5	28,4	27,8	28,2	28,5	27,5	26,8	27,1	27,4	28,4	27,3	27,3	27,8

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006).

Tabel 3 Tekanan Udara Rata-Rata Bulanan Tahun 2007 Dalam Milibar.

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Tekanan Udara Tahun 2007 Dalam Milibar												Rata-Rata
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
1	96737	SERANG	1008,8	1008,8	1008,0	1008,5	1008,8	1007,4	1009,0	1009,2	1009,1	1008,5	1008,2	1007,1	1008,5
2	96739	CURUG TANGERANG	1011,1	1011,0	1010,0	1010,3	1010,5	1009,1	1010,7	1011,0	1010,9	1010,4	1009,9	1009,1	1010,3
3	96749	JAKARTA SOEKARNO-HATTA	1010,6	1010,1	1009,3	1009,8	1010,0	1008,4	1010,1	1010,3	1010,1	1009,7	1009,2	1008,3	1009,7
5	96755	ATANG SANJAYA BOGOR	1010,6	1011,1	1009,6	1010,2	1010,3	1008,8	1010,4	1010,8	1010,8	1010,3	1009,7	1009,2	1010,2
6	96753	DARMAGA	1012,3	1012,2	1011,0	1008,9	1011,5	1010,3	1011,8	1012,0	1011,9	1011,5	1011,0	1010,1	1011,2
7	96773	KALIJATI-SUBANG	1010,2	1011,0	1009,8	1010,6	1010,5	1008,8	1010,3	1010,6	1010,3	1009,8	1007,3	1008,4	1009,8
8	96781	HUSEIN SASSTRANEGARA	873,2	877,7	873,2	873,2	873,2	873,2	874,2	873,2	879,1	879,1	876,9	877,0	875,3
9	96791	JATIWANGI	1010,7	1010,6	1009,4	1010,0	1010,5	1008,9	1010,6	1010,7	1010,3	1009,3	1008,9	1008,6	1009,9
11	09025	TASIKMALAYA	1010,0	1009,9	1009,0	1008,3	1010,5	1009,2	1011,0	1011,9	1011,5	1010,3	1010,0	1007,9	1010,0
14	96751	CITEKO	891,8	892,7	892,0	892,6	891,6	892,5	891,2	893,7	892,7	892,0	892,0	891,9	892,2
17	96741	TANJUNG PRIOK	1010,4	1010,3	1009,3	1009,8	1010,1	1008,5	1009,8	1009,9	1010,1	1009,6	1009,1	1008,2	1009,6
18	96745	OBSERVATORIUM	1010,5	1010,3	1009,4	1009,8	1010,1	1008,4	1010,2	1010,5	1010,3	1009,9	1009,4	1008,8	1009,8
19	96747	HALIM PERDANA KUSUMA	1012,0	1013,4	1011,3	1011,5	1011,4	1010,0	1011,6	1011,8	1011,6	1011,1	1010,3	1009,4	1011,3
20	96805	CILACAP	1010,1	1009,7	1008,6	1009,5	1010,0	1009,0	1011,1	1012,1	1011,9	1010,7	1009,6	1007,6	1010,0
21	96797	TEGAL	1009,8	1010,0	1008,6	1009,4	1009,7	1008,3	1010,2	1010,4	1010,1	1009,3	1008,7	1007,6	1009,3
24	96839	SEMARANG AHMAD YANI	1010,5	1010,6	1009,3	1009,9	1010,2	1008,8	1010,5	1011,0	1010,5	1009,7	1009,3	1008,1	1009,9
32	96837	SEMARANG MARITIM	1010,2	1010,3	1008,8	1009,5	1010,0	1008,7	1010,4	1010,6	1010,2	1009,7	1009,0	1008,0	1009,6
36	96881	ISWAHYUDI MADIUN	1010,1	1010,4	1009,5	1010,4	1011,4	1009,9	1012,4	1012,8	1012,3	1011,0	1010,0	1009,6	1010,8
38	96933	SURABAYA-PERAK	1010,0	1009,8	1009,2	1010,2	1010,8	1009,2	1011,2	1011,6	1011,0	1010,1	1009,3	1008,2	1010,1
41	96947	ABD. RAHMAN SALEH MALANG	1014,2	1014,3	1012,5	1013,5	1014,8	1013,4	1014,5	1015,8	1015,8	1015,2	1014,7	1012,5	1014,3
42	96949	KARANG KATES	1012,4	1011,6	1010,5	1011,8	1012,9	1010,9	1013,4	1013,9	1013,6	1012,9	1011,5	1009,9	1012,1
43	96987	BANYUWANGI	1009,5	1009,4	1007,9	1009,9	1010,8	1009,7	1011,7	1012,6	1012,0	1010,7	1009,3	1007,3	1010,1
47	96857	PACITAN	1010,8	1010,0	1009,1	1010,4	1010,7	1009,7	1011,5	1012,3	1012,8	1011,8	1011,3	1009,2	1010,8
48	96945	TRETES	1009,7	1009,9	1008,6	1009,8	1010,4	1009,0	1010,5	1010,7	1010,3	1010,0	1009,1	1007,9	1009,7
50	96943	KARANGPLOSO	1011,6	1011,4	1010,0	1011,4	1011,9	1010,5	1012,1	1012,8	1012,4	1011,5	1010,9	1009,2	1011,3
51	12524	SAWAHAN (GEOFISIKA)	1011,4	1011,7	1010,3	1011,7	1012,6	1011,5	1011,9	1012,1	1012,0	1011,6	1010,6	1009,6	1011,4
52	96935	SURABAYA/JUANDA	1009,6	1010,1	1009,0	1009,9	1010,7	1009,1	1011,1	1011,4	1010,8	1009,9	1009,0	1007,8	1009,9
54	96853	ADI SUCIPTO	1009,9	1009,4	1008,1	1009,1	1009,5	1008,5	1010,5	1010,9	1010,7	1009,7	1009,0	1007,5	1009,4

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006).

Tabel 4 Kecepatan Angin Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1975-2007 Pulau Jawa Dalam Meter/Detik.

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/Detik											
			1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
Propinsi Banten														
1	96737	SERANG	2,15	1,71	1,41	1,63	1,71		3,04	2,72	2,53	2,36	3,00	2,81
2	96739	CURUG TANGERANG	3,64	2,91	2,57	2,53	2,57	1,90	1,94	1,65	1,40	1,75	2,02	1,74
3	96749	SOEKARNO-HATTA											1,80	2,23
Propinsi Jawa Barat														
4	09008	CIBINONG												
5	96755	ATANG SANJAYA BOGOR			2,70	1,82	1,80	1,85	1,54		1,47	1,63	1,65	1,54
6	96753	DARMAGA BOGOR	0,70	0,64					1,03	1,03			0,90	0,93
7	96773	KALIJATI-SUBANG				1,03	1,54	1,46	1,78	1,60	1,54		1,71	1,83
8	96781	HUSEIN SASSTRANEGARA	2,79	2,81	2,91	2,61	2,53	2,74	1,34	2,88	2,06	2,28	2,49	2,68
9	96791	JATIWANGI	2,23	1,89	2,53	2,53	2,36		1,78		1,92		1,84	1,93
10	09023	CIREBON JAWA BARAT												
11	09025	TASIKMALAYA	2,01	2,14	1,89	1,59	1,50	1,33	2,32	1,90	2,06	3,20	2,91	4,34
12	09028	KUNINGAN-CIREBON												
13	09412	CIKUMPAI											0,77	0,90
14	96751	CITEKO												
15	96785	LEMBANG												
16	09420	JATISARI				1,80			1,52	2,74				0,51
Propinsi DKI Jakarta														
17	96741	TANJUNG PRIUK	2,79	4,20	3,94	4,54	2,61	3,37	4,00	3,96	4,92	4,70	4,01	5,54
18	96745	JAKARTA OBSERVATORIUM	2,47	2,68	2,73	2,55	2,42	2,57	2,18	2,14	1,50	1,03	1,80	1,50
19	96747	HALIM PERDANA KUSUMA	2,23	2,10	1,71	1,93	2,53	1,80	2,71	2,46	1,67	1,59	1,37	1,22
Propinsi Jawa Tengah														
20	96805	CILACAP	3,22	3,39	2,66	2,27	2,27	1,94	2,19	2,72	1,82		3,73	2,46
21	96797	TEGAL	1,20	2,74	2,67	1,84	1,93			3,60	2,31		2,57	2,23
22	11033	GAMER PEKALONGAN												

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006) & Pengolahan Data (2009).

Tabel 4a Kecepatan Angin Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1975-2007 Pulau Jawa Dalam Meter/Detik (Lanjutan).

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/Detik											
			1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
23	11034	SEMPOR										0,61	2,06	
24	96839	SEMARANG AHMAD YANI	3,95	2,60	2,51	2,38	2,32	2,01	2,32	2,21	2,35	1,89	1,54	1,49
25	96837	SEMARANG MARITIM	4,02	4,16	4,16	3,69	3,43		3,76	3,66	1,93	1,73	1,64	1,89
26	11038	KLEDUNG	0,86		1,80	1,60		0,69	0,74	1,23				
27	11040	CANDI									1,54	0,56		
28	11041	UNGARAN												
29	11042	GETAS												
30	96845	ADI SUMARMO SURAKARTA			2,01	1,67	2,36		2,79	2,88	2,57	2,66	2,53	2,99
31	11049	COLO KUDUS						3,17	3,30	3,98	3,64	2,69	1,03	1,08
32	11050	RENDOLE PATI	4,42							3,28	2,74	4,07		
33	11423	BEJI											1,29	0,94
34	11426	BOJONGSARI										0,90		1,07
35	11429	NGAMBAK KAPUNG												
Propinsi Jawa Timur														
36	96881	ISWAHYUDI MADIUN	5,70	6,26	6,00	3,90	4,46		4,02	3,94	3,30		3,39	
37	12065	SELOREJO			1,23	1,63	1,59	0,60	0,86	0,91	0,98	0,51	0,51	0,60
38	96933	SURABAYA-PERAK	3,19	3,14	2,85	2,66	3,00	2,47	2,57	3,11	2,96	2,99	2,43	3,13
39	12068	PASURUAN		0,87					1,48			2,83	1,76	2,36
40	12070	UNBRA-MALANG		1,93	1,97	2,24		3,32			3,94	3,09	3,34	3,19
41	96947	ABD. RAHMAN SALEH MALANG	1,73		2,57	2,69	1,41		2,11		1,94	3,34	4,30	4,82
42	96949	KARANG KATES												
43	96987	BANYUWANGI							2,57	1,59	2,10		1,36	1,45
44	12084	JATIROTO							0,64	1,29		0,94		0,63
45	12085	SUMBER ASIN						4,46						
46	12413	CINDOGO									0,77			
47	96857	PACITAN									2,36	2,11	1,80	

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006) & Pengolahan Data (2009).

Tabel 4b Kecepatan Angin Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1975-2007 Pulau Jawa Dalam Meter/Detik (Lanjutan).

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/Detik											
			1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
48	96945	TRETES												
49	12507	PG. WRINGIN ANOM												
50	96943	KARANGPLOSO												
51	12524	SAWAHAN (GEOFISIKA)												
52	96935	SURABAYA / JUANDA												
Propinsi DI Yogyakarta														
53	13045	UGM JOGJA	0,56				0,51				3,34			
54	96853	ADI SUCIPTO	2,36	2,49	2,01	1,67	1,63	1,40	2,32	3,37	3,76	4,02	3,91	4,04
Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/Detik											
			1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Propinsi Banten														
1	96737	SERANG	2,78	2,52	2,53		2,57	2,53				1,21	1,39	1,34
2	96739	CURUG TANGERANG	1,57	1,49	0,91	1,43	1,39	1,43	0,90	1,65		1,91	1,95	2,69
3	96749	SOEKARNO-HATTA		2,83	3,04	2,97	2,91	2,66		2,98		3,16	2,82	2,60
Propinsi Jawa Barat														
4	09008	CIBINONG						5,94	5,23	0,66		1,04	1,30	1,13
5	96755	ATANG SANJAYA BOGOR	1,67	1,93	1,54	1,83						1,13	1,30	1,17
6	96753	DARMAGA BOGOR	0,90	1,03	1,24	1,03	0,51	1,12	0,84			1,00	1,04	1,00
7	96773	KALIJATI-SUBANG	2,23	1,93	1,29	1,65						1,60	1,47	0,95
8	96781	HUSEIN SASTRANEGARA	3,60	0,94	3,34	2,11	0,79	0,51	0,84	1,54		2,30	2,47	1,82
9	96791	JATIWANGI	1,96	2,01	1,84	1,67	1,97	1,89		1,97		1,60	1,86	1,21
10	09023	CIREBON JAWA BARAT										1,30	1,56	1,39
11	09025	TASIKMALAYA	2,88		2,91	2,42		0,69	0,51	0,69		1,39	3,16	1,13
12	09028	KUNINGAN-CIREBON										1,21	1,73	2,82
13	09412	CIKUMPAI	0,98	0,96	0,79		0,69	0,51	0,51	0,51		1,56	1,52	0,39
14	96751	CITEKO					1,16	1,37	1,20			1,21	1,34	1,08

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006) & Pengolahan Data (2009).

Tabel 4c Kecepatan Angin Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1975-2007 Pulau Jawa Dalam Meter/Detik (Lanjutan).

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/Detik											
			1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
15	96785	LEMBANG										2,30	2,30	1,69
16	09420	JATISARI	0,69	1,71	0,51		1,41					1,52	1,52	0,95
Propinsi DKI Jakarta														
17	96741	TANJUNG PRIUK	3,89		5,76	5,09	3,53	2,79	3,74			4,38	3,25	2,82
18	96745	JAKARTA OBSERVATORIUM	2,01	1,90	1,80	5,10	1,80	1,29	0,86	1,03		2,17	1,89	1,17
19	96747	HALIM PERDANA KUSUMA	1,12	1,44	1,41	1,23	1,24	1,20	1,41			1,26	1,65	1,56
Propinsi Jawa Tengah														
20	96805	CILACAP	3,64	2,83		1,68	1,97	1,85	1,16	1,66	1,20	2,25	2,86	1,84
21	96797	TEGAL	2,23	1,87		1,59	1,63	1,41	1,76	1,82	1,03	1,65	1,82	2,08
22	11033	GAMER PEKALONGAN										1,34	1,60	1,30
23	11034	SEMPOR					0,64	0,61		0,67	0,51	1,56	1,95	0,61
24	96839	SEMARANG AHMAD YANI	1,66	1,54		1,69	2,53	2,50	1,63	2,49	1,54	2,73	2,75	2,56
25	96837	SEMARANG MARITIM	1,89	2,14	2,10	2,23	2,19	2,47				1,86	2,04	1,47
26	11038	KLEDUNG						2,83		3,43		1,86	1,91	1,69
27	11040	CANDI	2,31	2,23	1,54	2,10	1,87	1,49	0,86	1,49		2,21	2,21	1,86
28	11041	UNGARAN										2,56	2,60	2,21
29	11042	GETAS										2,17	2,12	1,99
30	96845	ADI SUMARMO SURAKARTA	3,51	3,22	2,91	1,87	1,46		1,07		2,01			
31	11049	COLO KUDUS		0,86	1,09				0,64	2,19	1,24	1,86	1,86	1,82
32	11050	RENDOLE PATI		0,86								1,82	1,73	1,82
33	11423	BEJI										1,91	1,86	1,82
34	11426	BOJONGSARI	0,86	1,54	1,68	1,80	1,67			0,91		1,21	1,56	0,56
35	11429	NGAMBAK KAPUNG				0,86						2,17	2,21	1,95
Propinsi Jawa Timur														
36	96881	ISWAHYUDI MADIUN	3,26	3,43	3,30	4,58	3,94	3,40		4,68		2,73	3,90	1,56
37	12065	SELOREJO	1,80							0,79				

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006) & Pengolahan Data (2009).

Tabel 4d Kecepatan Angin Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1975-2007 Pulau Jawa Dalam Meter/Detik (Lanjutan).

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/Detik												
			1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
38	96933	SURABAYA-PERAK	3,43	2,58	2,34	3,00	1,93	2,19	3,77	2,76		2,90	3,13	2,33	
39	12068	PASURUAN		2,53	2,01	2,29	2,01			1,11		1,86	2,08	1,60	
40	12070	UNBRA-MALANG	3,45	3,14	3,13	3,04	3,09			1,16		1,95	1,39	1,39	
41	96947	ABD. RAHMAN SALEH MALANG	4,34	4,37	2,74	2,37	2,52	2,19		1,29					
42	96949	KARANG KATES										1,65	1,21	1,17	
43	96987	BANYUWANGI	1,73	1,59		2,01	1,67	2,12		0,69		1,56	1,56	1,47	
44	12084	JATIROTO				0,84	0,69			0,60		1,69	1,30	1,00	
45	12085	SUMBER ASIN										1,43	0,48	1,08	
46	12413	CINDOGO										1,78	1,65	1,17	
47	96857	PACITAN	2,47			2,34	1,65								
48	96945	TRETES										2,47	2,60	1,99	
49	12507	PG. WRINGIN ANOM				0,82						1,78	1,56	1,13	
50	96943	KARANGPLOSO					2,10	2,06		1,50		2,47	2,77	2,12	
51	12524	SAWAHAN (GEOFISIKA)										2,04	2,17	1,65	
52	96935	SURABAYA / JUANDA													
Propinsi DI Yogyakarta															
53	13045	UGM JOGJA								0,51	1,03		1,52	1,21	1,43
54	96853	ADI SUCIPTO	3,79	3,09	2,57										
Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/ Detik							n	rata-rata				
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005			2006	2007		
Propinsi Banten															
1	96737	SERANG	1,65	1,52	1,30	1,21	1,44	1,30	1,15	1,58	1,01	28	1,93		
2	96739	CURUG TANGERANG	2,60	2,45	2,30	1,45	1,77	1,30	1,02	1,57	1,14	32	1,86		
3	96749	SOEKARNO-HATTA	3,47	2,99	2,77	2,32	2,76	2,68	2,32	2,66	1,80	20	2,69		
Propinsi Jawa Barat															
4	09008	CIBINONG	1,47	1,43	1,39	1,23						10	2,08		

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006) & Pengolahan Data (2009).

Tabel 4e Kecepatan Angin Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1975-2007 Pulau Jawa Dalam Meter/Detik (Lanjutan).

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/ Detik									n	rata-rata
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
5	96755	ATANG SANJAYA BOGOR	1,86	1,34	1,34	0,95	0,51	0,97	1,41	1,12	1,53	25	1,50
6	96753	DARMAGA BOGOR	1,52	1,52	1,30	1,13	0,41	0,74	0,71	0,84	0,40	25	0,94
7	96773	KALIJATI-SUBANG		1,39	1,39	1,42	1,82	3,01	2,40	2,71	1,83	23	1,72
8	96781	HUSEIN SASTRANEGARA	2,38	2,21	1,99	2,17	3,08	1,64	2,41	1,13	2,75	32	2,19
9	96791	JATIWANGI	1,34	1,60	1,60	1,60	0,67	0,67	0,80	1,10	0,85	28	1,69
10	09023	CIREBON JAWA BARAT	1,34	1,30	1,30	1,28						7	1,35
11	09025	TASIKMALAYA	1,08	1,30	1,17	1,28	2,68	2,38	1,71	1,87	1,30	30	1,92
12	09028	KUNINGAN-CIREBON	2,38	2,08	2,04	1,51						7	1,97
13	09412	CIKUMPAI	0,65	1,56	1,73	1,42						16	0,97
14	96751	CITEKO	1,52	1,47	1,34	1,18	0,87	0,99	0,95	1,23	0,81	15	1,18
15	96785	LEMBANG	2,12		1,99	2,08						6	2,08
16	09420	JATISARI	1,13	1,60	1,78	1,47						15	1,39
Propinsi DKI Jakarta													
17	96741	TANJUNG PRIUK	5,29	5,11	4,68	4,51	2,96	2,96	2,03	1,72	1,59	30	3,82
18	96745	JAKARTA OBSERVATORIUM	2,15	1,97	1,91	1,69	2,17	2,55	2,56	1,64	1,18	32	2,01
19	96747	HALIM PERDANA KUSUMA	1,52	1,82	1,78	1,65	1,81	2,50	2,29	2,45	1,65	31	1,75
Propinsi Jawa Tengah													
20	96805	CILACAP	2,21	2,12	1,99	1,86	3,31	3,34	2,98	2,98	1,60	31	2,39
21	96797	TEGAL	2,25	2,77	1,08	1,80	1,69	1,31	1,31	1,49	1,27	29	1,89
22	11033	GAMER PEKALONGAN	1,65	1,86	1,73	1,32						7	1,54
23	11034	SEMPOR	0,61	1,43	1,34	1,13						13	1,06
24	96839	SEMARANG AHMAD YANI	3,12	3,60	2,75	3,32	2,12	2,00	1,90	2,07	1,57	32	2,30
25	96837	SEMARANG MARITIM	1,43	1,60	1,56	1,69		1,13	2,49	3,21	2,51	28	2,43
26	11038	KLEDUNG	2,21	2,21	1,91	1,89						15	1,79
27	11040	CANDI	2,08	1,73	2,04	1,94						17	1,77
28	11041	UNGERAN	2,99	2,69	2,34	2,27						7	2,52

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006) & Pengolahan Data (2009).

Tabel 4f Kecepatan Angin Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1975-2007 Pulau Jawa Dalam Meter/Detik (Lanjutan).

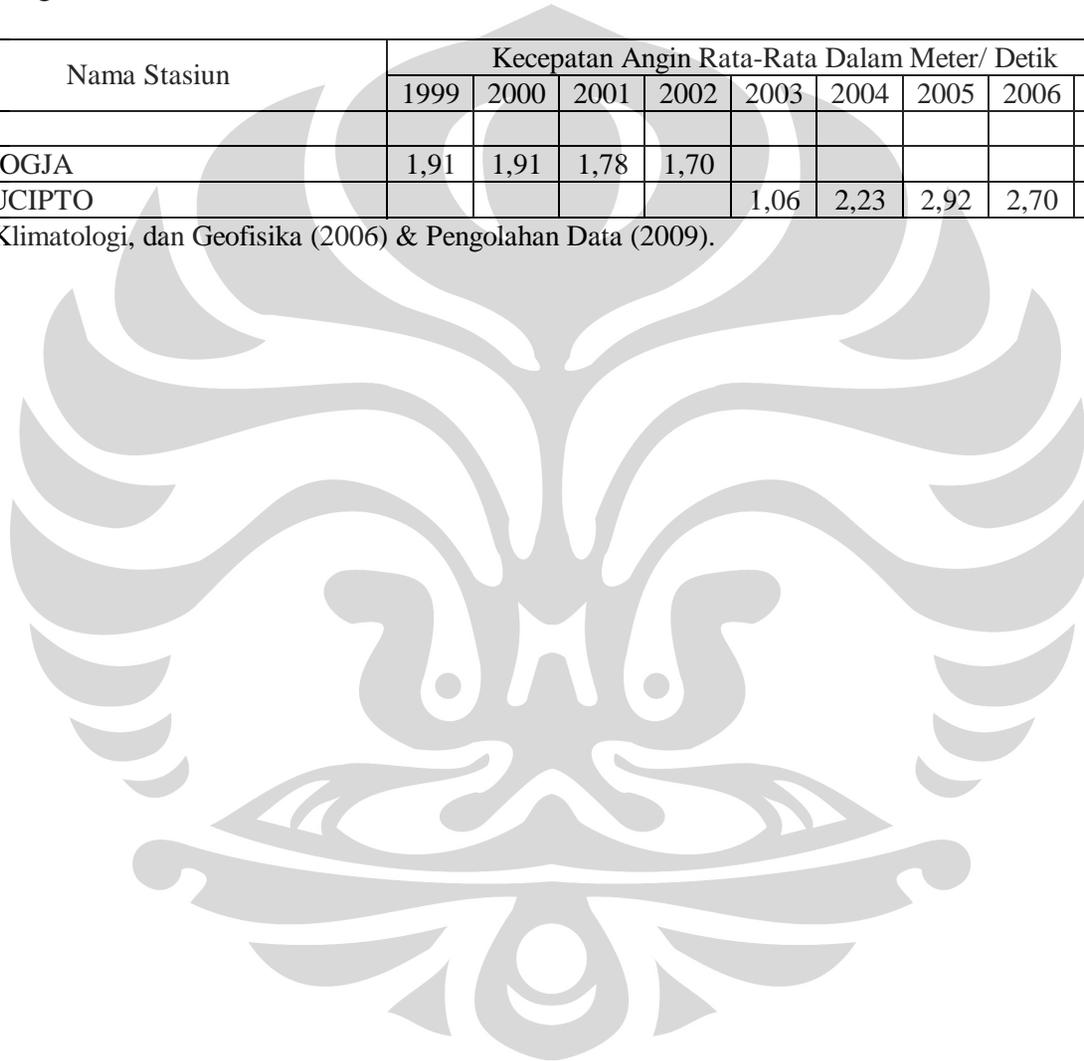
Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/ Detik									n	rata-rata
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007		
29	11042	GETAS	2,69	2,43	2,17	1,99						7	2,22
30	96845	ADI SUMARMO SURAKARTA					2,23	3,33	2,64	3,60		20	2,52
31	11049	COLO KUDUS	2,21	2,04	1,99	1,89						19	2,03
32	11050	RENDOLE PATI	2,21	2,08	1,99	1,89						12	2,41
33	11423	BEJI	2,30	2,17	1,99	1,89						9	1,80
34	11426	BOJONGSARI	0,52	1,34	1,13	0,99						15	1,18
35	11429	NGAMBAK KAPUNG	2,47	2,17	2,12	1,99						8	1,99
Propinsi Jawa Timur													
36	96881	ISWAHYUDI MADIUN	2,90	2,60	1,60	1,51	3,89	2,86	2,65	5,63	2,26	28	3,63
37	12065	SELOREJO										12	1,00
38	96933	SURABAYA-PERAK	2,52	1,77	2,31	2,21	3,65	4,46	3,91	4,66	2,51	32	2,90
39	12068	PASURUAN	2,82	1,47	2,25	1,94						17	1,96
40	12070	UNBRA-MALANG	3,08	1,30	1,26	1,70						21	2,48
41	96947	ABD. RAHMAN SALEH MALANG					1,58	2,30	2,09	0,97	1,00	21	2,51
42	96949	KARANG KATES	10,10	1,99	1,00	1,56		1,16	1,57	1,22	0,30	11	2,08
43	96987	BANYUWANGI	1,34	1,32		1,32	1,86	1,61	1,52	1,52	1,10	22	1,59
44	12084	JATIROTO	0,74	1,13	1,08	1,51						14	1,01
45	12085	SUMBER ASIN	1,82	1,17	1,08	1,51						8	1,63
46	12413	CINDOGO	0,95	0,95	1,30	1,37						8	1,24
47	96857	PACITAN					1,54	1,15	0,98	0,70	0,39	11	1,59
48	96945	TRETES	3,08	2,56	2,30	2,13		2,90	0,84	1,43	1,97	11	2,21
49	12507	PG. WRINGIN ANOM	0,91	1,21	1,30	1,42						8	1,27
50	96943	KARANGPLOSO	1,60	1,65	1,86	1,70		0,85	3,41	2,76	1,80	14	2,05
51	12524	SAWAHAN (GEOFISIKA)	2,25	1,73	1,56	1,61		0,90	1,22	1,55	1,37	11	1,64
52	96935	SURABAYA / JUANDA					3,45	3,75	4,15	3,96	2,18	5	3,50

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006) & Pengolahan Data (2009).

Tabel 4g Kecepatan Angin Rata-Rata Pulau Jawa Tahun 1975-2007 Pulau Jawa Dalam Meter/Detik (Lanjutan).

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun	Kecepatan Angin Rata-Rata Dalam Meter/ Detik								n	rata-rata	
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006			2007
Propinsi DI Yogyakarta													
53	13045	UGM JOGJA	1,91	1,91	1,78	1,70						12	1,45
54	96853	ADI SUCIPTO					1,06	2,23	2,92	2,70	2,51	20	2,69

Sumber : Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (2006) & Pengolahan Data (2009).



Tabel 5 Frekuensi Kecepatan Angin Tahun 2007.

Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun Angin	V(m/s)	Frekuensi >2,5 m/s		Frekuensi ≤ 2,5 m/s	
				Persen (%)	Hari	Persen (%)	Hari
Propinsi Banten							
1	96737	SERANG	1,01	5,2	19	94,8	341
2	96739	CURUG TANGERANG	1,14	12,1	44	87,9	316
3	96749	SOEKARNO-HATTA	1,8	23,3	84	76,7	276
Propinsi Jawa Barat							
5	96755	ATANG SANJAYA BOGOR	1,53	29,4	106	70,6	254
6	96753	DARMAGA BOGOR	0,4	0,5	2	99,5	358
7	96773	KALIJATI-SUBANG	1,83	25,1	90	74,9	270
8	96781	HUSEIN SASTRANEGARA	2,75	53,5	193	46,5	167
9	96791	JATIWANGI	0,85	4,9	18	95,1	342
11	9025	TASIKMALAYA	1,3	12,1	44	87,9	316
14	96751	CITEKO	0,81	4,1	15	95,9	345
Propinsi DKI Jakarta							
17	96741	TANJUNG PRIOK	1,59	16,4	59	83,6	301
18	96745	JAKARTA OBSERVATORIUM	1,18	7,6	27	92,4	333
19	96747	HALIM PERDANA KUSUMA	1,65	21,7	78	78,3	282
Propinsi Jawa Tengah							
20	96805	CILACAP	1,6	20,8	75	79,2	285
21	96797	TEGAL	1,27	12,1	44	87,9	316
24	96839	SEMARANG AHMAD YANI	1,57	19,5	70	80,5	290
25	96837	SEMARANG MARITIM	2,51	33,2	120	66,8	240
Propinsi Jawa Timur							
36	96881	ISWAHYUDI MADIUN	2,26	43,2	156	56,8	204
38	96933	SURABAYA-PERAK	2,51	48,1	173	51,9	187
41	96947	ABD. RAHMAN SALEH MALANG	1	17,2	62	82,8	298
42	96949	KARANG KATES	0,3	0,8	3	99,2	357
43	96987	BANYUWANGI	1,1	2,7	10	97,3	350
47	96857	PACITAN	0,39	8,1	29	91,9	331
48	96945	TRETES	1,97	21,7	78	78,3	282
50	96943	KARANGPLOSO	1,8	27,9	100	72,1	260
51	12524	SAWAHAN (GEOFISIKA)	1,37	9,5	34	90,5	326
52	96935	SURABAYA / JUANDA	2,18	30,1	108	69,9	252
Propinsi DI Yogyakarta							
54	96853	ADI SUCIPTO	2,51	47,8	172	52,2	188

Sumber : Pengolahan Data (2009).

Tabel 6 Kecepatan Angin Rata-Rata (V), Suhu Udara (T), Tekanan Udara (p), Rapat Massa Udara (Rho), Potensi Energi Angin (P) Tahun 2007.

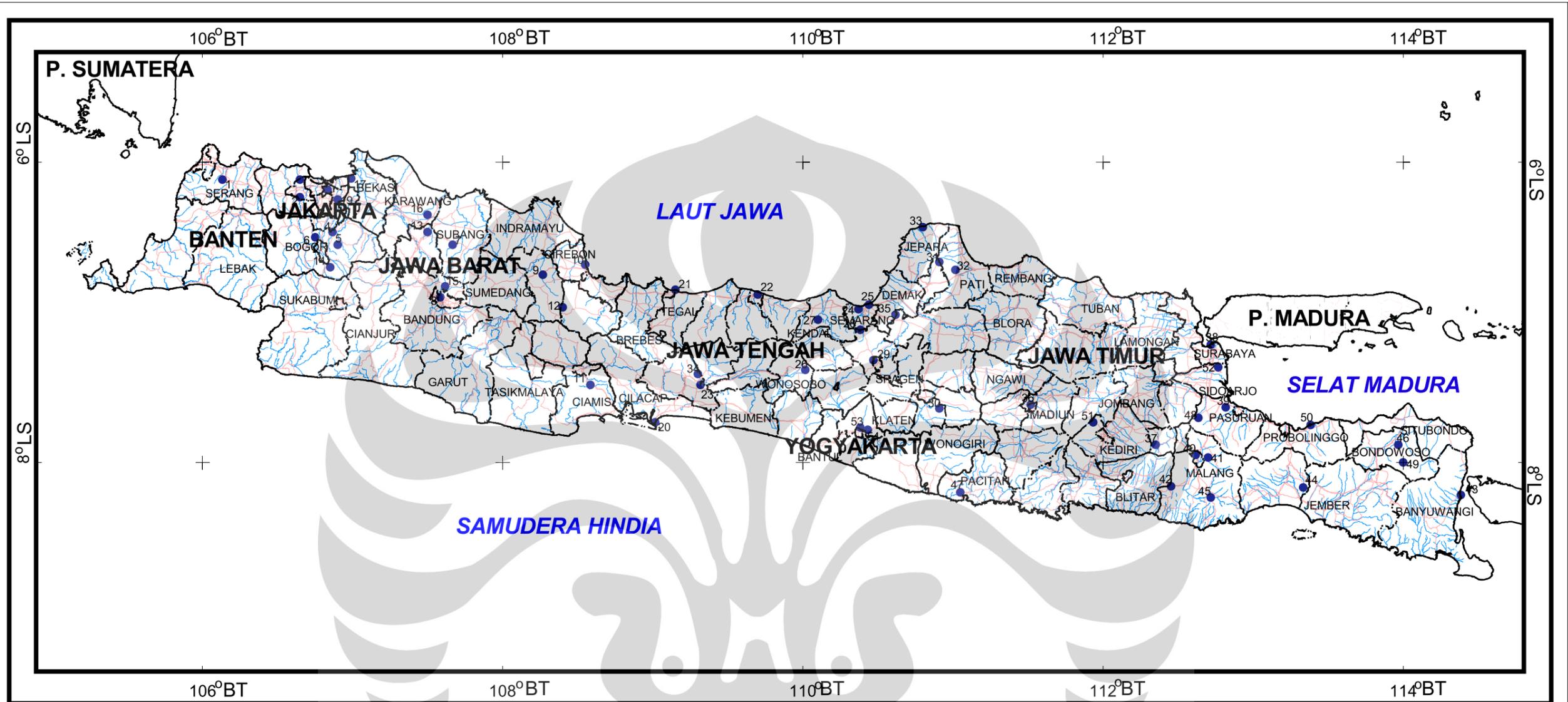
Kode di Peta	No Stasiun	Nama Stasiun Angin	V(m/s)	T (°K)	p(Pascal)	Rho (Kg/m ³)	P (Wd/year)
Propinsi Banten							
1	96737	SERANG	1,01	300,1	100845,9	1,17	324
2	96739	CURUG TANGERANG	1,14	299,7	101032,4	1,17	901
3	96749	SOEKARNO-HATTA	1,8	300,6	100965,8	1,17	1905
Propinsi Jawa Barat							
5	96755	ATANG SANJAYA BOGOR	1,53	298,9	101015,6	1,18	1585
6	96753	DARMAGA BOGOR	0,4	299,3	101119,9	1,18	14
7	96773	KALIJATI-SUBANG	1,83	300,5	100980,7	1,17	2149
8	96781	HUSEIN SASSTRANEGARA	2,75	296,4	87527,2	1,03	5903
9	96791	JATIWANGI	0,85	300,6	100988,6	1,17	286
11	9025	TASIKMALAYA	1,3	298,9	100995,6	1,18	461
14	96751	CITEKO	0,81	294,6	89223,6	1,06	205
Propinsi DKI Jakarta							
17	96741	TANJUNG PRIOK	1,59	301,7	100959,4	1,17	2277
18	96745	JAKARTA OBSERVATORIUM	1,18	301,4	100980,4	1,17	570
19	96747	HALIM PERDANA KUSUMA	1,65	301,5	101128,2	1,17	939
Propinsi Jawa Tengah							
20	96805	CILACAP	1,6	300,1	100999,6	1,17	1048
21	96797	TEGAL	1,27	300,6	100933,7	1,17	632
24	96839	SEMARANG AHMAD YANI	1,57	301	100987,1	1,17	1473
32	96837	SEMARANG MARITIM	2,51	301,4	100961,6	1,17	5724
Propinsi Jawa Timur							
36	96881	ISWAHYUDI MADIUN	2,26	300,1	101081,2	1,17	5416
38	96933	SURABAYA-PERAK	2,51	301,6	101006,6	1,17	3306
41	96947	ABD. RAHMAN SALEH MALANG	1	294	101425,9	1,2	2007
42	96949	KARANG KATES	0,3	296	101211,3	1,19	77
43	96987	BANYUWANGI	1,1	300,1	101007,6	1,17	189
47	96857	PACITAN	0,39	297	101079,9	1,19	597
48	96945	TRETES	1,97	295,6	100965,8	1,19	1798
50	96943	KARANGPLOSO	1,8	297,2	101130,8	1,19	1415
51	12524	SAWAHAN (GEOFISIKA)	1,37	294,4	101140	1,2	520
52	96935	SURABAYA / JUANDA	2,18	300,9	100986,6	1,17	2562
Propinsi DI Yogyakarta							
54	96853	ADI SUCIPTO	2,51	300,8	100939,4	1,17	3638

Sumber : BMKG (2006) dan Pengolahan Data (2009).

Tabel 7 Derajat Kecepatan Angin Beaufort Berdasarkan Dampaknya Terhadap Vegetasi dan Bangunan Fisik atau Kondisi Permukaan Laut.

Derajat kecepatan angin	Interpretasi kecepatan angin		Kecepatan angin yang sesuai pada ketinggian 10 di atas permukaan tanah (m/sec)
	Kondisi di atas tanah	Kondisi di atas laut	
0	Tenang; asap naik tegak lurus	Licin seperti cermin	0,0 – 0,5
1	Arah angin dapat diketahui dari pergerakan asap, tetapi penunjuk arah angin tidak bergerak	Riak mulai kelihatan, tetapi tidak berbusa	1,6 – 3,3
2	Wajah dapat merasakan angin. Daun-daun bergerak. Penunjuk arah angin mulai bergerak	Riak-riak terjadi di seluruh permukaan air, tetapi puncaknya licin dan tidak terputus	1,6 – 3,3
3	Daun-daun ranting-ranting kecil bergerak terus dan bendera berkibar	Riak-riak menjadi lebih besar dan puncaknya pecah. Busa mulai kelihatan. Gelombang putih kelihatan di sana-sini	3,4 – 5,4
4	Debu pasir terangkat dan kertas-kertas terbawa. Ranting-ranting bergerak	Gelombang belum tinggi tetapi punggungnya menjadi lebih besar. Gelombang putih menjadi banyak	5,5 – 7,9
5	Semak-semak dengan daun-daun mulai terayun. Riak-riak terjadi di tambak dan rawa	Punggung gelombang menjadi lebar dan jelas. Gelombang putih terjadi di seluruh permukaan air (percikan air mulai terjadi)	8,0 – 10,7
6	Dahan-dahan bergerak. Kawat-kawat transmisi listrik bersiul. Payung sulit digunakan	Gelombang-gelombang besar mulai terjadi. Laut menjadi putih dengan gelombang air. Puncak gelombang terjadi di mana-mana (percikan air selalu terjadi)	10,8 – 13,8
7	Seluruh pohon bergerak. Berjalan menyongsong angin menjadi sulit	Laut menjadi ganas, puncak gelombang besar pecah dan menjadikan putih dengan gelembung yang mengalir terbawa angin	13,9 – 17,1

Sumber : Mori et. Al (1977) dalam Lakitan (2002).



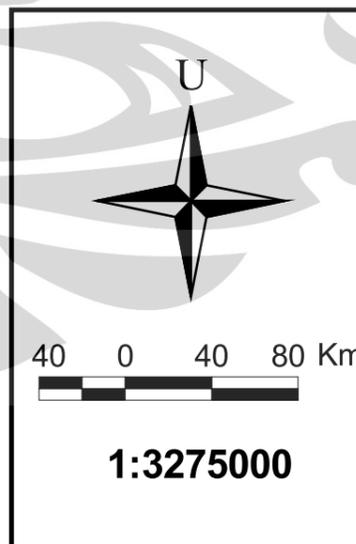
PETA 1

ADMINISTRASI PULAU JAWA

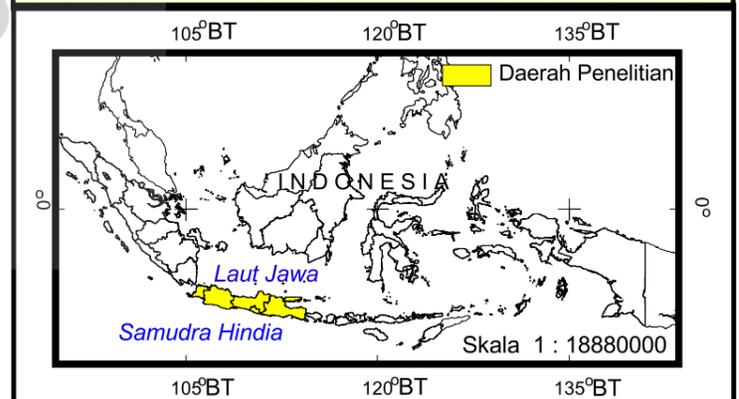
KETERANGAN

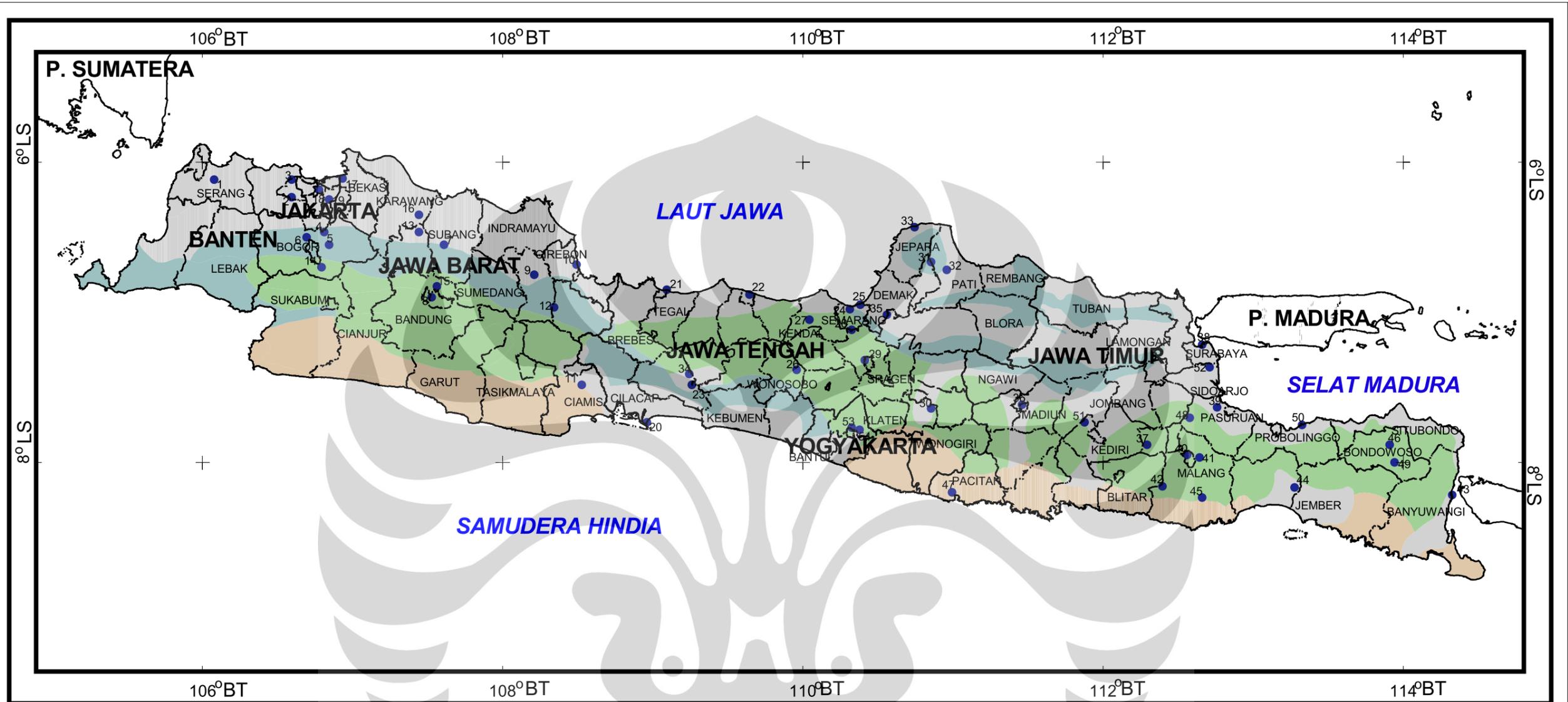
- Batas Propinsi
- Batas Kabupaten/Kota
- Jalan
- Sungai
- Stasiun Angin
- 1, 2, ... Kode Stasiun Angin

Sumber :
 BAKOSURTANAL, 2001
 BMKG, 2006
 Pengolahan Data, 2009



INSET





PETA 2

FISIOGRAFI PULAU JAWA

KETERANGAN

Fisiografi

- Wilayah Dataran Rendah
- Wilayah Pegunungan
- Wilayah Plato
- Wilayah Vulkanik

- Batas Propinsi
- Batas Kabupaten/Kota
- Stasiun Angin
- 1, 2, ... Kode Stasiun Angin

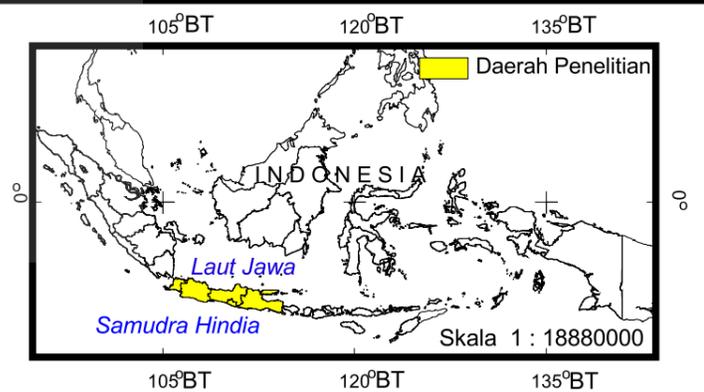
Sumber :
 BAKOSURTANAL, 2001
 Geografi Regional Indonesia, Sandy (1996)
 Pengolahan Data, 2009

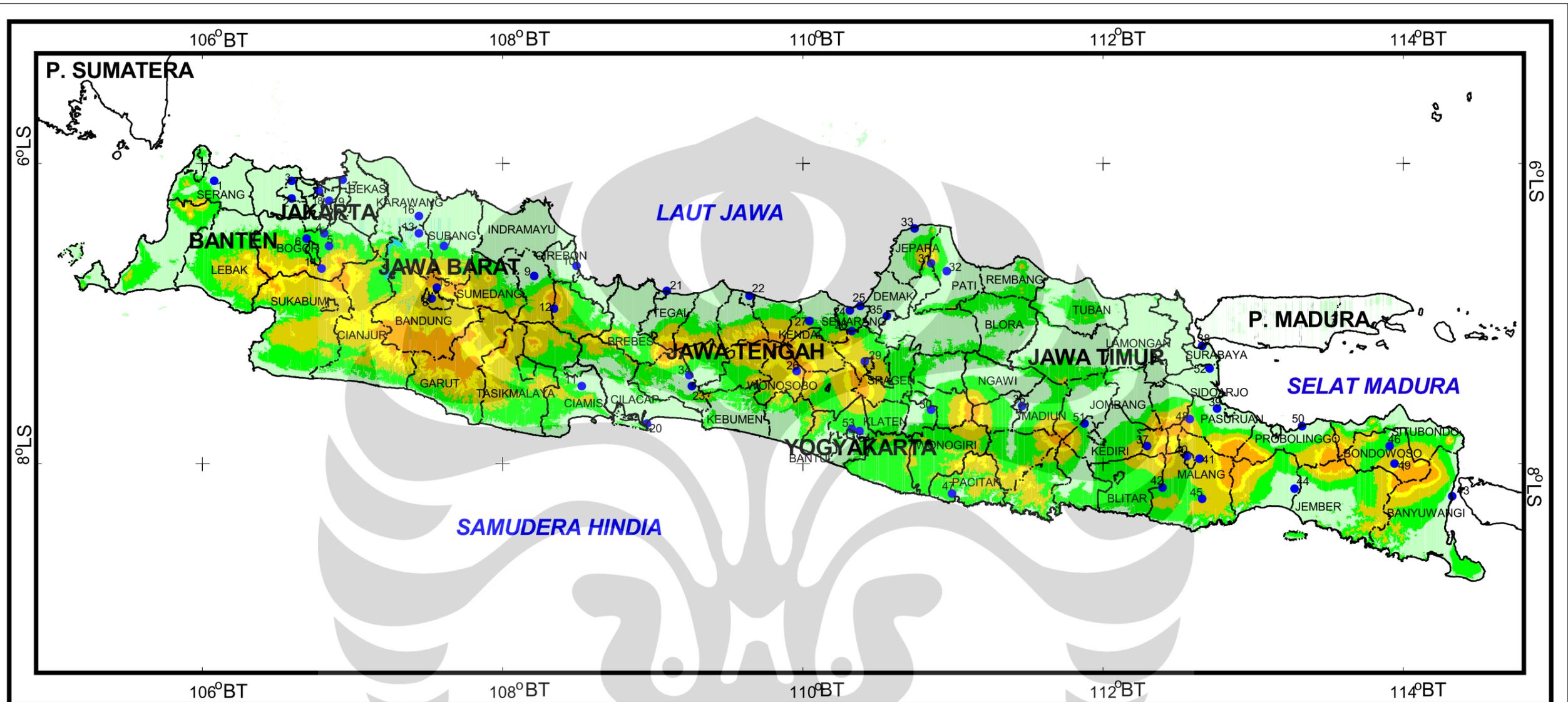


40 0 40 80 Km

1:3275000

INSET





PETA 3

KETINGGIAN PULAU JAWA

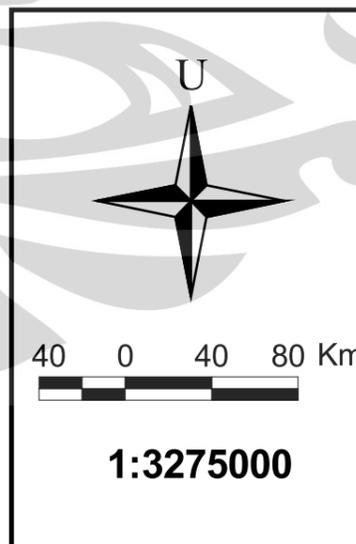
KETERANGAN

Wilayah Ketinggian

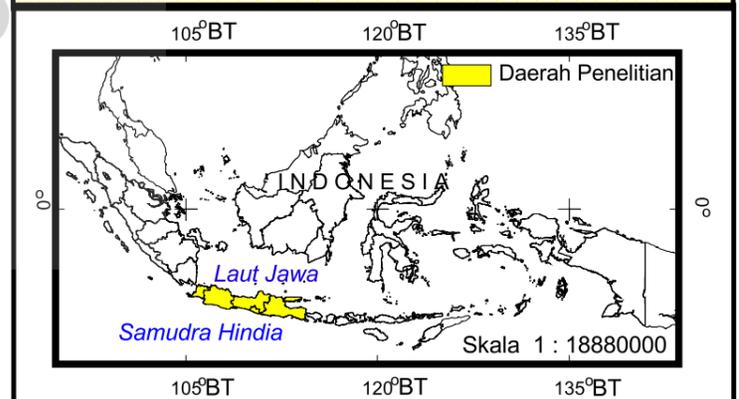
- 0-100 M dpl
- 100-400 M dpl
- 400-800 M dpl
- 800-1200 M dpl
- Lebih dari 1200 M dpl
- Danau / Waduk

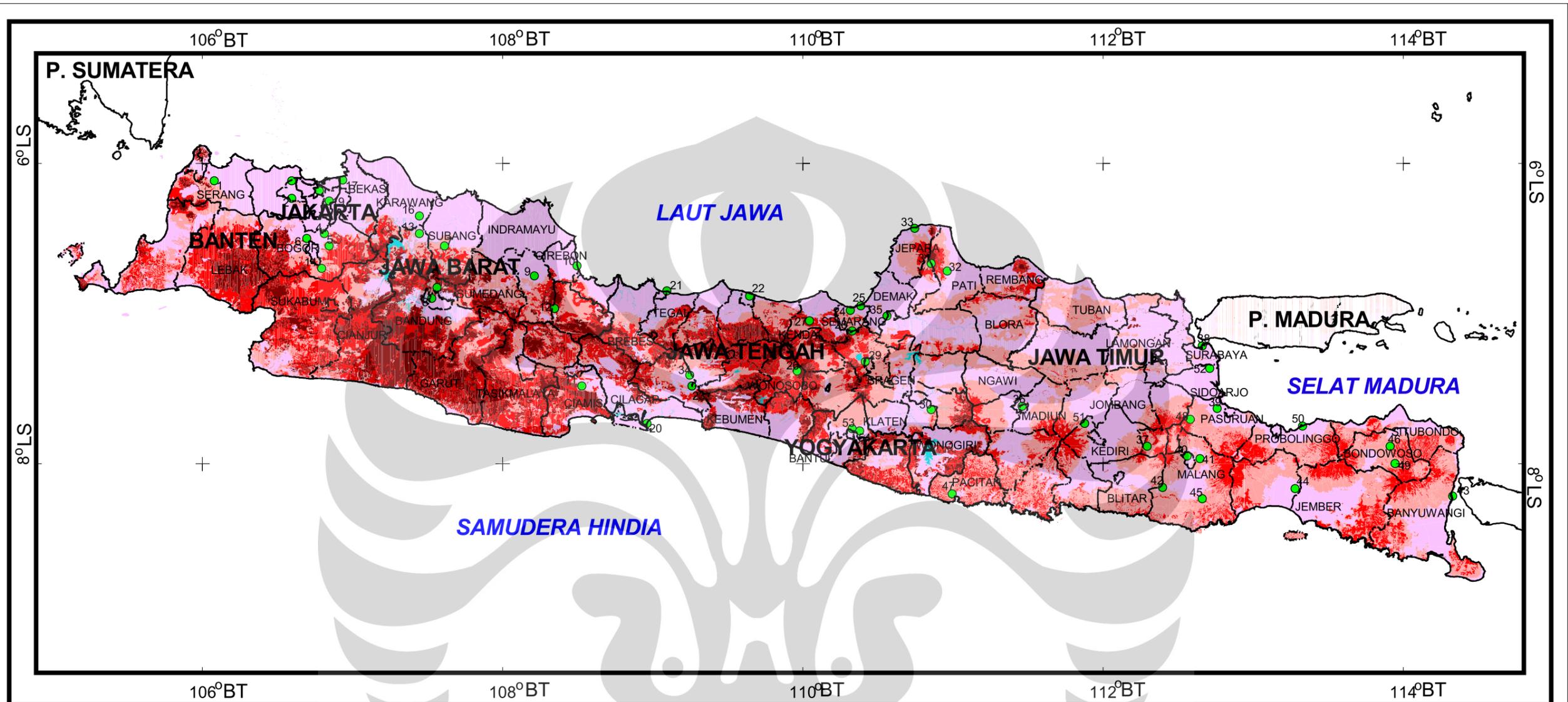
- Batas Propinsi
- Batas Kabupaten/Kota
- Stasiun Angin
- 1, 2, ... Kode Stasiun Angin

Sumber :
 Badan Pertanahan Nasional (BPN), 2001
 BMKG, 2006
 Pengolahan Data, 2009



INSET





PETA 4

LERENG PULAU JAWA

KETERANGAN

Lereng

- 0-2%
- 2-15%
- 15-40%
- Lebih dari 40%
- Sungai/Danau

- Batas Propinsi
- Batas Kabupaten/Kota
- Stasiun Angin
- 1, 2, ... Kode Stasiun Angin

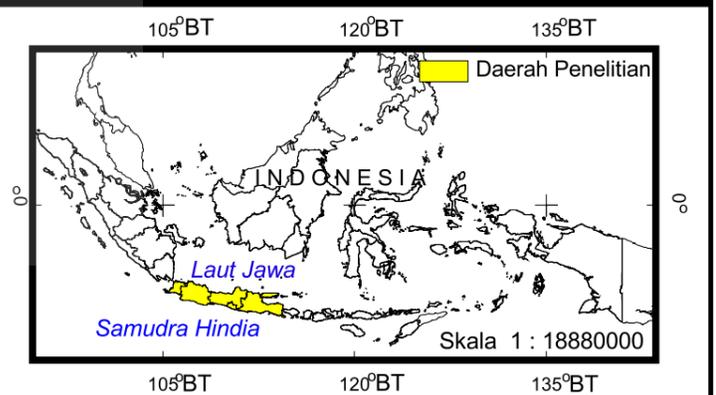
Sumber :
 Badan Pertanahan Nasional, 2001
 BMKG, 2006
 Pengolahan Data, 2009

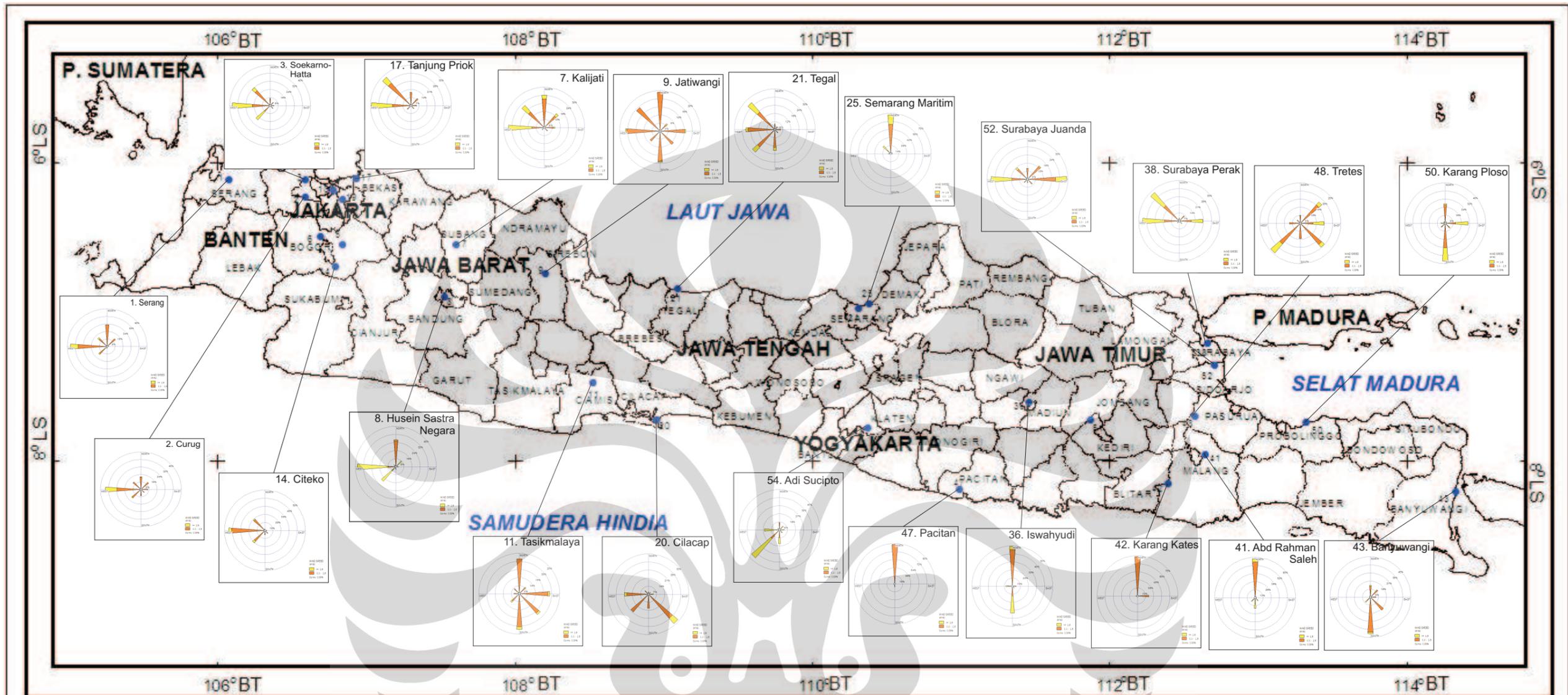


40 0 40 80 Km

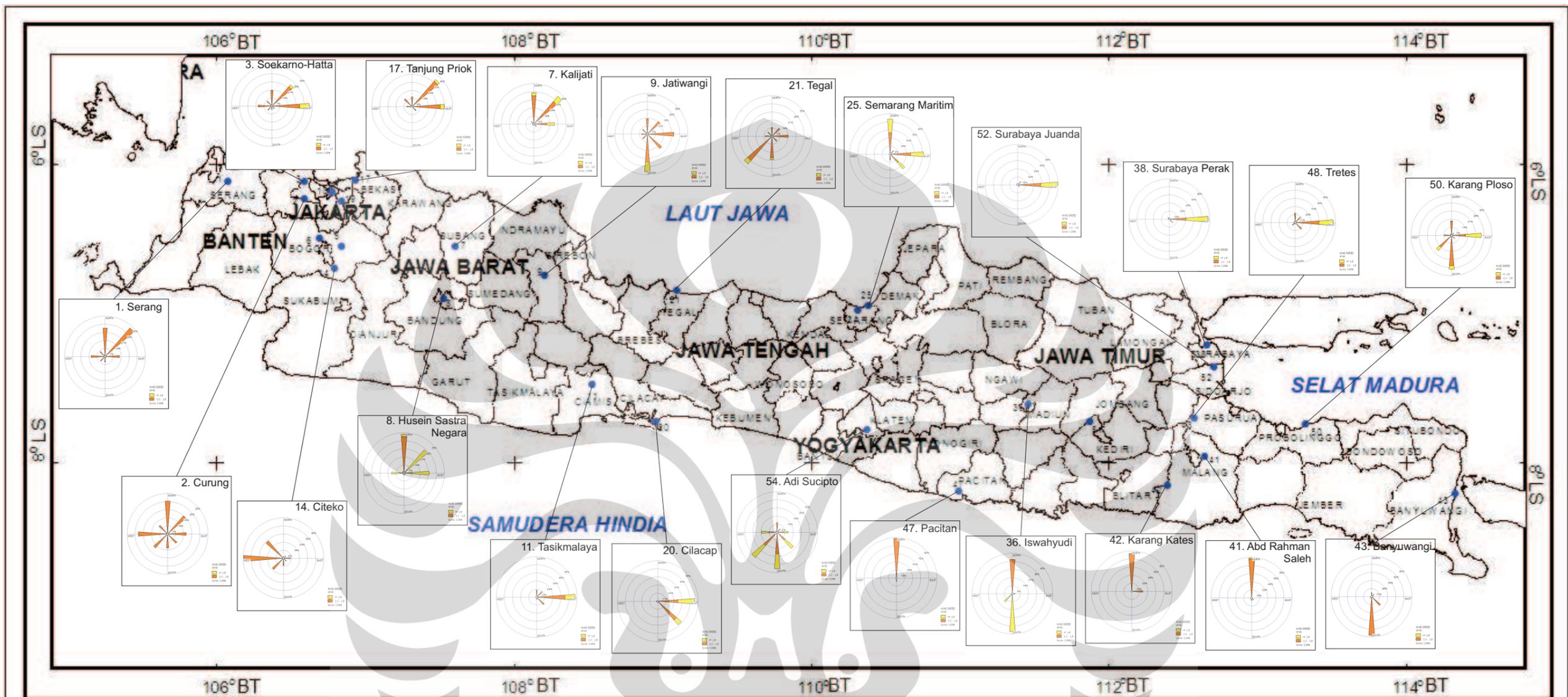
1:3275000

INSET





PETA 5	WIND ROSE MUSIM BARAT PULAU JAWA		<p>40 0 40 80 Km</p> <p>1:3275000</p>	INSET
KETERANGAN - - - Batas Propinsi - - - Batas Kabupaten/Kota ● Stasiun Angin 1, 2, ... Kode Stasiun Angin		<p>Wind Rose</p> <p>Sumber: BAKOSURTANAL, 2001 BMKG, 2006 Pengolahan Data, 2009</p>		<p>Daerah Penelitian</p> <p>Skala 1 : 18880000</p>



PETA 6

WIND ROSE MUSIM TIMUR PULAU JAWA

KETERANGAN

- Batas Propinsi
- Batas Kabupaten/Kota
- Stasiun Angin
- 1, 2, ... Kode Stasiun Angin



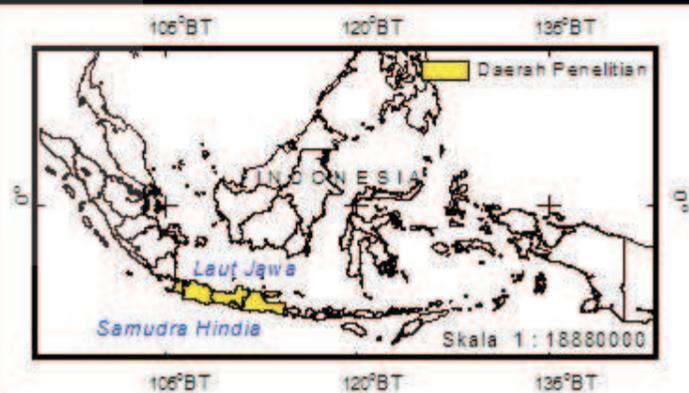
Sumber:
BAKOSURTANAL, 2001
BMKG, 2006
Pengolahan Data, 2009

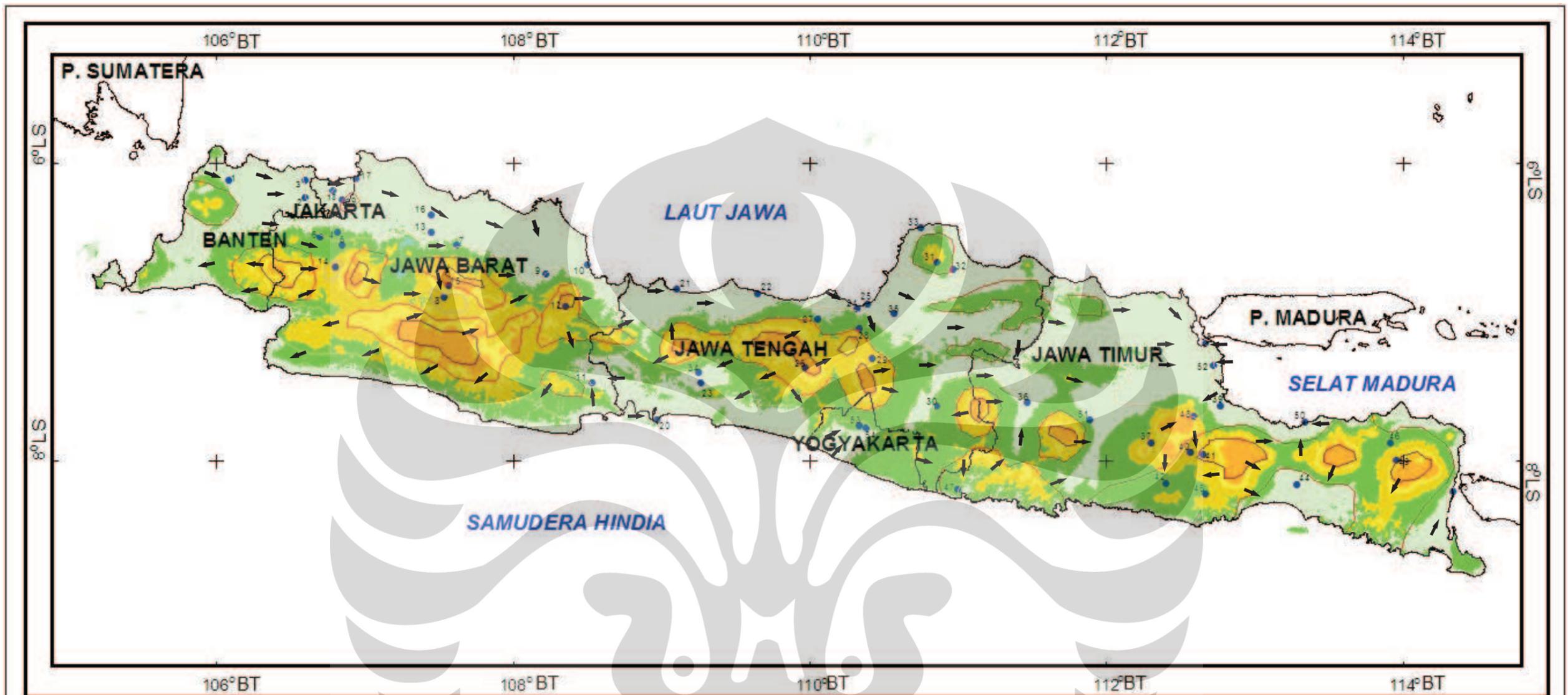


40 0 40 80 Km

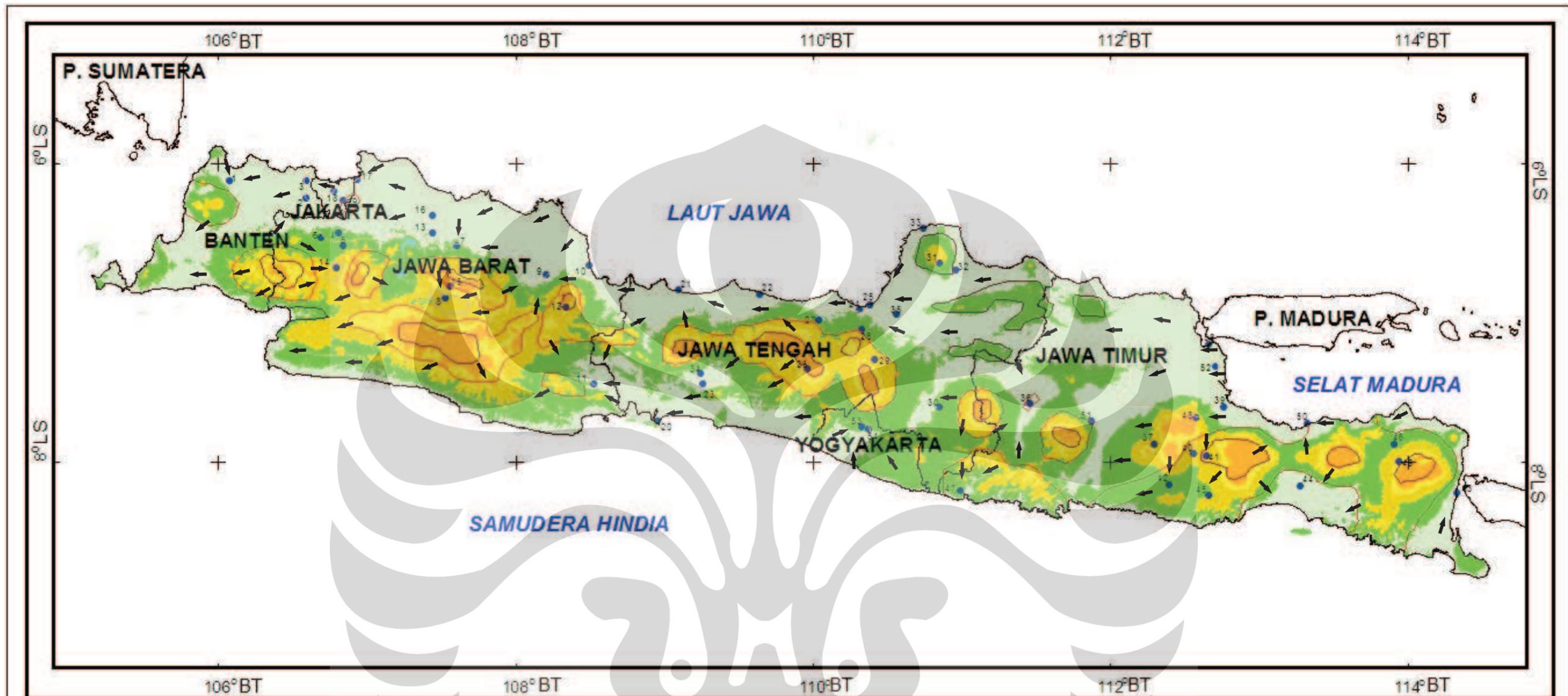
1:3275000

INSET

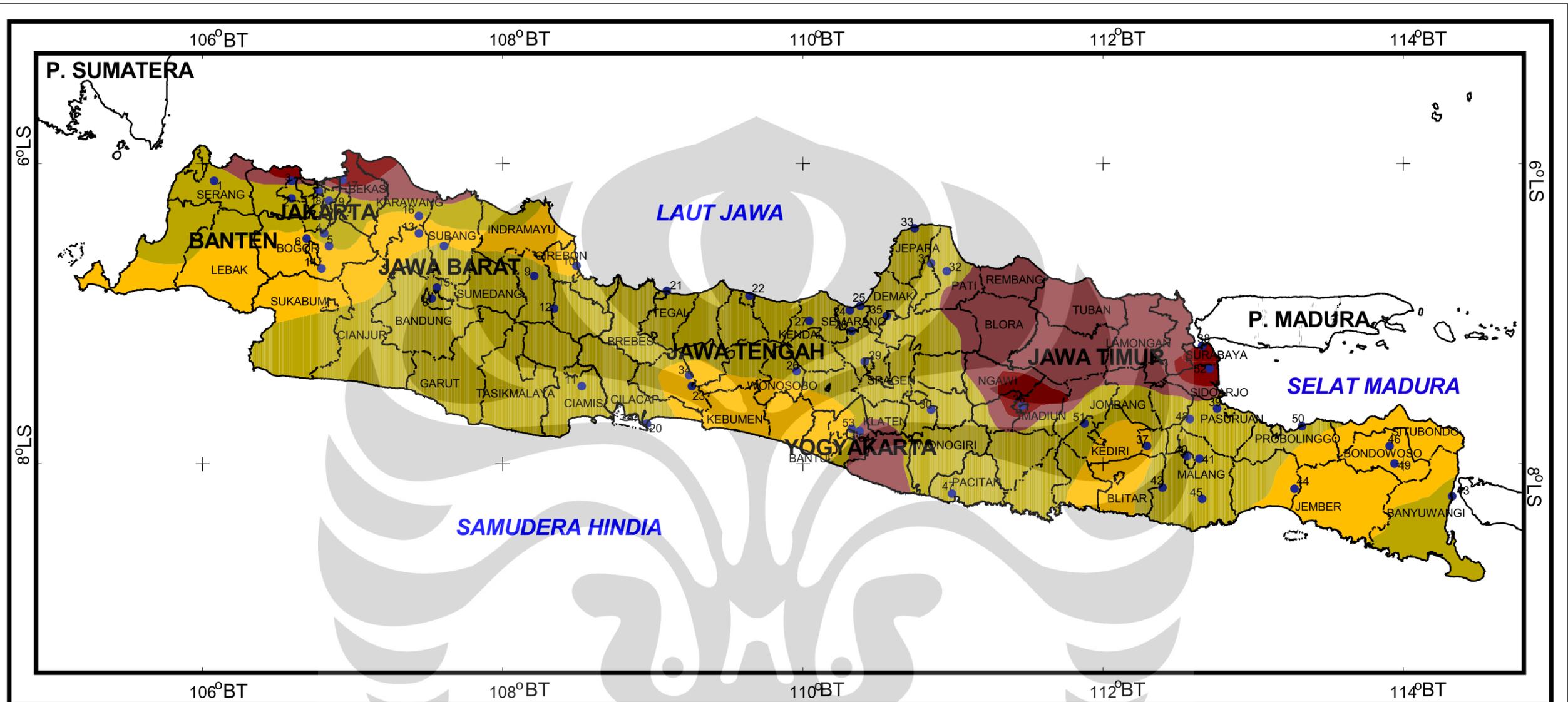




PETA 7	ARAH ANGIN MUSIM BARAT PULAU JAWA			INSET
KETERANGAN Wilayah Ketinggian 0-100 M dpl 100-400 M dpl 400-800 M dpl 800-1200 M dpl Lebih dari 1200 M dpl Danau / Waduk	Isobar 900 milibar 1010 milibar 1012 milibar 1014 milibar Arah Angin	--- Batas Propinsi - - - Batas Kabupaten/Kota ● Stasiun Angin 1, 2, ... Kode Stasiun Angin Sumber : BAKOSURTANAL, 2001 BMKG, 2006 Pengolahan Data, 2009		



PETA 8	ARAH ANGIN MUSIM TIMUR PULAU JAWA	<p style="text-align: center;">1:3275000</p>	INSET
<p>KETERANGAN</p> <p>Wilayah Ketinggian</p> <ul style="list-style-type: none"> 0-100 M dpl 100-400 M dpl 400-800 M dpl 800-1200 M dpl Lebih dari 1200 M dpl Danau / Waduk 	<p>Isobar</p> <ul style="list-style-type: none"> 900 milibar 1010 milibar 1012 milibar 1014 milibar Arah Angin <p> Batas Propinsi Batas Kabupaten/Kota Stasiun Angin 1, 2, ... Kode Stasiun Angin </p> <p>Sumber : BAKOSURTANAL, 2001 BMKG, 2006 Pengolahan Data, 2009</p>		<p style="text-align: right;">Skala 1 : 18880000</p>



PETA 9

KECEPATAN ANGIN PULAU JAWA

KETERANGAN

Wilayah Kecepatan Angin

- < 1.5 m/dt
- 1.5-2.5 m/dt
- 2.6-3.0 m/dt
- > 3.0 m/dt

- Batas Propinsi
- Batas Kabupaten/Kota
- Stasiun Angin
- 1, 2, ... Kode Stasiun Angin

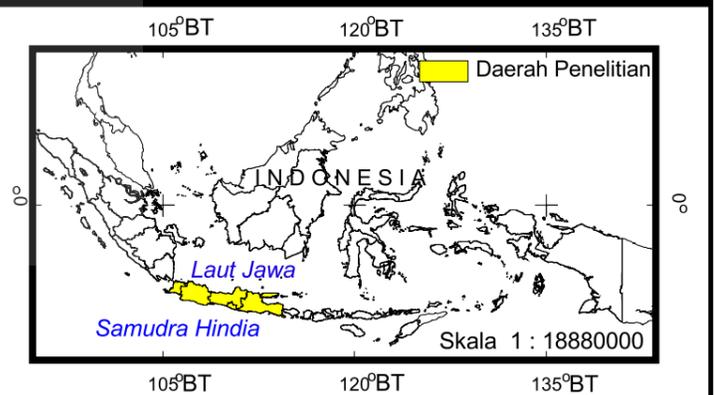
Sumber :
 BAKOSURTANAL, 2001
 BMKG, 2006
 Pengolahan Data, 2009

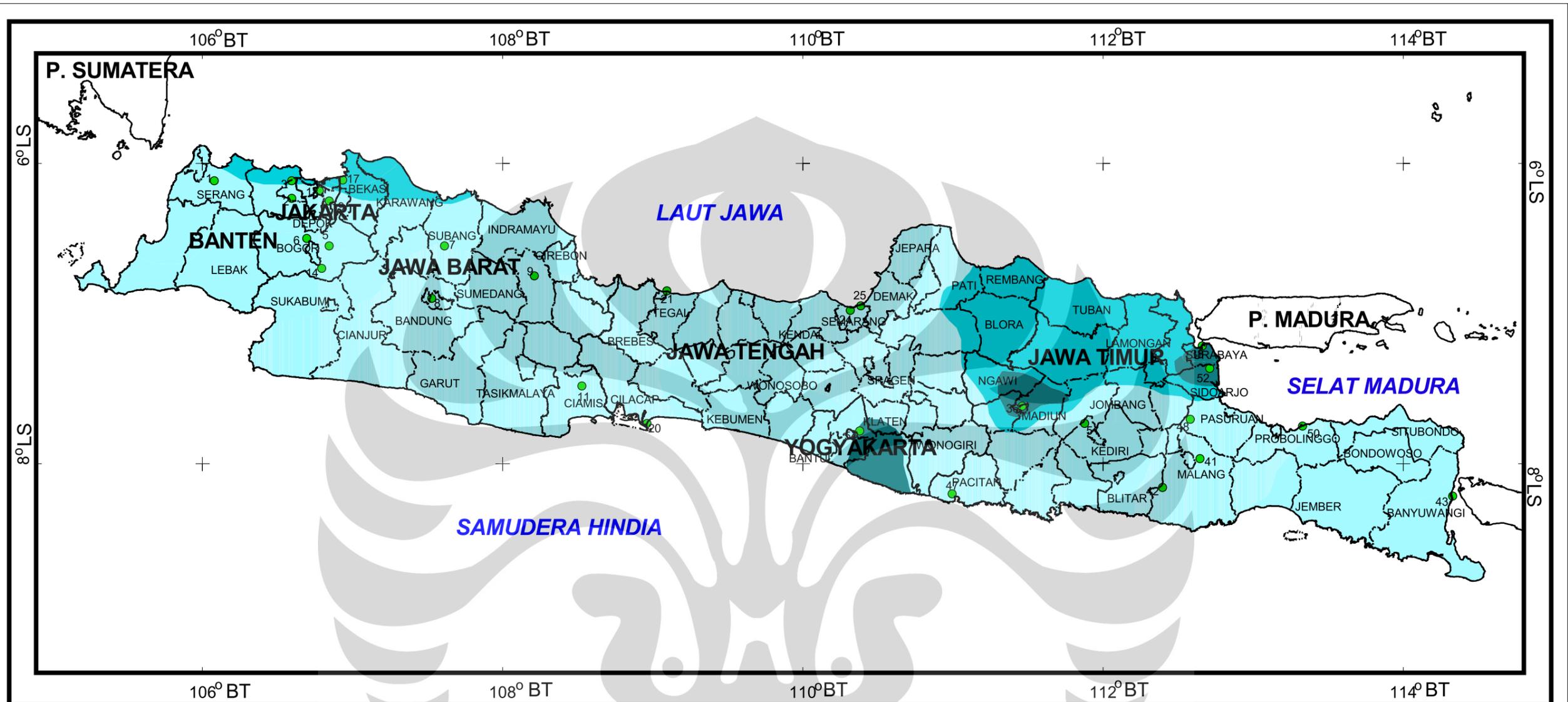


40 0 40 80 Km

1:3275000

INSET





PETA 10 LOKASI POTENSIAL PENGEMBANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN PULAU JAWA

KETERANGAN

-----	Batas Propinsi
-----	Batas Kabupaten/Kota
●	Stasiun Angin
1, 2, ...	Kode Stasiun Angin

Potensi Energi Angin

Light Blue	Kurang Potensial
Medium Blue	Cukup Potensial
Dark Blue	Sangat Potensial

Sumber :
BAKOSURTANAL, 2001
BMKG, 2006
Pengolahan Data, 2009

U

40 0 40 80 Km

1:3275000

INSET

105°BT 120°BT 135°BT

0° 10°S

INDONESIA

Laut Jawa

Samudra Hindia

Daerah Penelitian

Skala 1 : 18880000

105°BT 120°BT 135°BT

Lampiran 3 Questioner Verifikasi Hasil Penelitian
Lokasi Potensial Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Pulau Jawa

Profil Responden

1. Nama Lengkap :
2. Usia :
3. Jenis Kelamin : L / P
4. Alamat :
Koordinat : Lintang =
Bujur =
5. Lama Tinggal :
6. Profesi :
7. Instansi :

Daftar Pertanyaan

Keadaan Angin

1. Bagaimana keadaan angin ketika pagi, siang, sore pada umumnya?
Pagi :
Siang :
Sore :
(merujuk pada lampiran skala angin beaufort)
2. Pernah atau tidak terjadi angin kencang atau angin ribut ? Kapan terjadinya dan seperti apa bahayanya?

Pemanfaatan Angin

3. Angin di daerah ini dimanfaatkan atau tidak? Sebutkan!
(Misal untuk pemompaan, pembangkit listrik, kincir-kincir angin, dll)
4. Di daerah ini terdapat kincir angin atau tidak? Dimana ? Sebutkan!
5. Di daerah ini terdapat turbin angin atau tidak ? Dimana? Sebutkan Jenis Apa!
6. Turbin atau kincir pernah rusak atau tidak?Efektif bekerjanya pada bulan-bulan apa?

Lampiran 4 Foto-Foto Hasil Verifikasi Lapang



Foto 1 Stasiun Meteorologi Tanjung Priuk.



Foto 2 Keadaan Bentuk Medan Bekasi – Karawang.



Foto 3 Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta.
Keterangan foto diisi dengan keadaan medan yang di foto dan sekitar foto



Foto 4 Bentuk Medan Sekitar Bandara Soekarno - Hatta

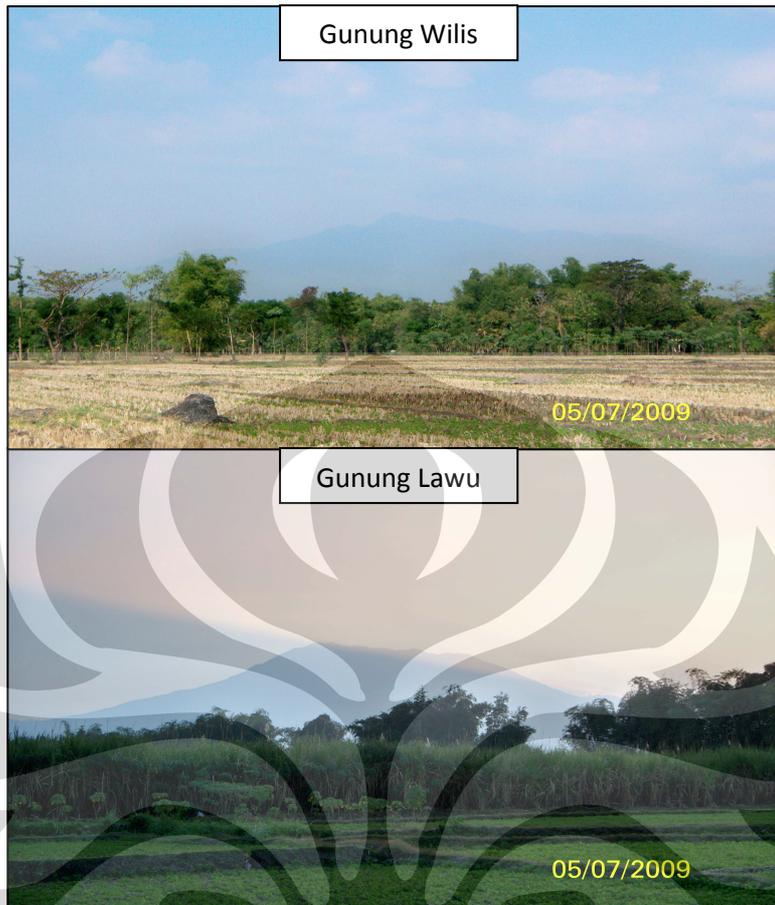


Foto 5 Gunung Wilis dan Gunung Lawu dari Kabupaten Magetan

