

DATA-DATA METEOROLOGI DAN GEOFISIKA DI INDONESIA KHUSUSNYA JAWA DALAM HUBUNGANNYA DENGAN PERSIAPAN LOKASI PLTN

Oleh
Drs. Susanto
Pusat Meteorologi dan Geofisika
Jakarta

1. PENDAHULUAN

Sebagaimana biasanya, pendirian sesuatu kegiatan, terutama usaha penghasil produksi seperti pabrik-pabrik, selalu memerlukan pemikiran tentang dimana sebaiknya kegiatan tersebut dilakukan.

Pada garis besarnya pemilihan tempat selalu didasarkan pada alasan-alasan teknis dan ekonomis, sehingga pembangunan dapat dipertanggung-jawabkan baik secara teknis maupun ekonomis bagi kelangsungan hidup dari usaha tersebut.

Makin rumit bentuk usaha yang akan dilaksanakan, makin banyak dan rumit pula persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi. Karena itu pemikiran-pemikiran serta penyelidikan-penyelidikan akan diperlukan lebih lama lagi dan perlu adanya persiapan-persiapan yang matang. Kerumitan akan bertambah lagi apabila usaha tersebut akan menyangkut masalah lingkungan dan keselamatan penduduk, terutama apabila impactnya meliputi daerah yang luas.

Pendirian suatu nuclear power plant tidak boleh semata-mata hanya didasarkan atas pemikiran ekonomis saja, misalnya tersedianya bahan baku serta daerah dan kekuatan pasaran, tetapi perlu lebih banyak difikirkan terhadap segi-segi teknis serta keselamatan penduduk dan pengaruh lingkungan.

Hal ini dapat lebih dijelaskan sebagai berikut:

— Segi teknis pada umumnya hanya ditekankan kepada masalah keselamatan dari bangunannya itu sendiri terutama terhadap faktor geologi dan seismik. Faktor ini akan banyak berbicara dalam masa pembangunannya sendiri. Dari segi inipun sudah diperhitungkan faktor geologi dan seismik dalam menentukan biaya pembangunan.

Misalnya bangunan harus di-design sedemikian rupa terhadap keadaan geologis dan seismisitas setempat, sehingga bangunan tidak akan mengalami under-design ataupun over-design.

Apabila bangunan under-design, ia akan mengandung resiko yang besar karena tidak mampunya menahan gaya-gaya luar yang bekerja, misalnya gaya-gaya gempa apabila terjadi gempa bumi yang tidak diperhitungkan sebelumnya. Secara teknis jelas bangunan yang demikian tidak dapat dipertanggung-jawabkan.

Apabila bangunan over-design berarti kekuatannya melebihi kekuatan yang semestinya diperbolehkan. Jika dilihat dari segi teknis saja, bangunan yang demikian dapat dibenarkan dan malahan dapat dinilai sebagai bangunan yang terlalu baik. Namun dilihat dari segi ekonomi, bangunan tersebut tidak dapat dipertanggung-jawabkan karena merupakan suatu pemborosan.

Jadi dalam kedua hal tersebut diatas, setiap bangunan harus dapat dipertanggung-jawabkan secara techno-ekonomis.

SOEHARTO W. :

1. Umumnya di Jawa sebelah selatan tanahnya lebih keras dari pada di utara, akan tetapi di sebelah utara juga ada beberapa daerah yang keras.
2. Bisa.

PLTN
Gleb
Dr. Soemto
Fakultas Meteorologi dan Geofisika
Jakarta

1. PENDAHULUAN

Sebagaimana diketahui, penelitian mengenai kegiatan, terutama yang berkaitan dengan produksi seperti pabrik-pabrik, selalu memerlukan penelitian tentang dampak terhadap kegiatan tersebut dilakukan.

Jika garis besarnya penelitian tersebut telah dilakukan pada kawasan-kawasan teknik dan ekonomis, sehingga pembangunan dapat dilaksanakan, walaupun pada saat ini belum mungkin untuk melakukan penelitian yang lebih mendalam dan menyeluruh.

Maka untuk kegiatan teknik yang akan dilaksanakan, maka harus dan harus pula memperhatikan-pertimbangan yang harus dijunjung. Karena itu penelitian-penelitian yang menyeluruh-pertimbangan akan diperlukan lebih lanjut dan perlu adanya penelitian-penelitian yang menyeluruh. Kemudian akan dilanjutkan lagi apabila sudah terdapat akan menyelenggarakan masalah lingkungan dan kesehatan penduduk, terutama apabila diperlukan meliputi daerah yang luas.

Penelitian secara menyeluruh yang tidak hanya sekedar hanya sekedar dapat dan akan memberikan gambaran yang menyeluruh terhadap faktor-faktor yang akan dan akan memberikan gambaran, tetapi perlu untuk dilakukan terhadap kegiatan teknik dan kesehatan penduduk dan kegiatan lingkungan.

Hal ini dapat lebih dijelaskan sebagai berikut:

Salah satu pada umumnya harus diperhatikan apabila masalah kesehatan dan lingkungan ini adalah lingkungan terhadap faktor geologi dan seismik. Faktor ini akan sangat berpengaruh dalam pembangunan yang menyeluruh. Hal ini juga sudah dipertimbangkan faktor-faktor geologi dan seismik dalam menentukan biaya pembangunan.

Misalnya bangunan harus di-design sedemikian rupa terhadap keadaan geologi dan seismik yang setempat, sehingga bangunan tidak akan mengalami under-design ataupun over-design.

Apabila bangunan under-design, ia akan mengakibatkan resiko yang besar karena tidak mempunyai margin yang besar yang berarti, misalnya biaya yang sangat mahal untuk biaya yang tidak dipertimbangkan sebelumnya. Demikian halnya apabila terjadi gempa bumi yang tidak dipertimbangkan sebelumnya, biaya teknik akan sangat mahal yang demikian tidak dapat dipertanggung-jawabkan.

Apabila bangunan over-design berarti konstruksinya melebihi ketahanan yang sebenarnya dipertimbangkan. Hal ini dilihat dari segi teknik saja, bangunan yang demikian dapat dibebankan dan mungkin dapat dilihat sebagai bangunan yang terlalu baik. Namun dilihat dari segi ekonomis, bangunan tersebut tidak dapat dipertanggung-jawabkan karena merupakan suatu pemborosan.

Jadi dalam kedua hal tersebut diatas setiap bangunan harus dapat dipertanggung-jawabkan secara techno-economic.

Dalam hal ini tentunya tidak setiap bangunan akan mempunyai batas-batas yang sama terhadap apa yang dikatakan sebagai over-design, meskipun terletak pada lokasi dengan kondisi geologi dan seismik yang sama. Bangunan yang mempunyai resiko yang besar terhadap lingkungan apabila terjadi kehancuran, akan diberikan safety factor yang lebih besar dari pada bangunan yang tidak banyak mempunyai impact terhadap lingkungan.

— Segi keselamatan penduduk dan pengaruh lingkungan mempunyai aspek-aspek yang luas karena dimensinya yang besar dan bersifat laten.

Bahaya yang ditimbulkan tidak selalu secara langsung dapat dirasakan dan kadang-kadang hanya diketahui pengaruhnya setelah jangka waktu yang lama.

Bahaya tersebut terutama disebabkan oleh penyebaran dari zat-zat pencemar (polutant) yang dikeluarkan sebagai zat-zat sisa dari pabrik atau nuclear power plant. Efek penyerapan dari zat-zat tersebut bersifat kumulatif.

Faktor-faktor utama yang menentukan sifat-sifat penyebaran dari zat pencemar ini adalah faktor meteorologi, terutama angin dan presipitasi (untuk daerah tropis terutama curah hujan).

Maksud penulisan dari kertas karya ini adalah untuk menyampaikan beberapa data geofisika (seismisitas) dan data meteorologi (angin, curahan hujan dan thunderstorm) seperti apa yang tersedia pada Pusat Meteorologi dan Geofisika pada saat ini. Disamping itu penulis juga mencoba untuk memberikan sekedar analisa serta kesimpulan tentang kumpulan dari data-data tersebut sesuai dengan kemampuan penulis sehingga didapatkan gambaran yang lebih konkrit.

Sesuai apa yang telah kami baca dalam surat pengantar Lokakarya, bahwa lokasi PLTN sudah ditentukan dipulau Jawa, maka pembahasan akan kami fokuskan pada masalah di pulau Jawa saja.

2. KEADAAN SEISMISITAS

Pulau Jawa terletak pada jalur gempa bumi Trans-Asiatic yang masuk ke Indonesia dari arah barat laut mulai dari ujung utara pulau Sumatra menyusur pantai barat Sumatra, pantai selatan pulau Jawa, Nusatenggara dan membelok ke utara ke arah laut Banda. Menurut teori lempengan (plate tectonics), pulau Jawa terletak pada pinggir dari Asian Plate yang bertemu dengan Indian - Australian Plate disebelah selatan pulau Jawa. Disepanjang daerah pertemuan tersebut terdapat suatu active subduction zone dan pegunungan-pegunungan disepanjang pulau Jawa merupakan akibat dari deformasi plastis karena desakan dan gerakan dari Indian-Australian Plate ke arah utara.

Pertemuan antara dua buah lempengan selalu merupakan tempat dimana tegangan-tegangan terkumpul. Pada saat-saat tertentu apabila tegangan tersebut telah cukup banyak dan apabila bagian-bagian kulit bumi sudah tidak mampu lagi memikul tegangan tersebut, maka terjadilah pergeseran-pergeseran (dislokasi) dari kulit bumi untuk mencari kesetimbangan yang baru.

Energi elastik yang terkumpul sebagai akibat dari adanya tegangan-tegangan sebelumnya akan dilepaskan sebagai enersi gelombang gempa-bumi, yang menjalar kesegala jurusan. Sumber-sumber gempa bumi atau hypocentre akan terdapat di bagian kulit bumi yang paling lemah ikatannya.

Sesuai dengan teori lempengan tersebut di atas, maka disebelah selatan pulau Jawa terdapat sumber-sumber gempa dangkal, didaratan pulau Jawa terdapat sumber-sumber gempa menengah dan disebelah utara pulau Jawa terdapat sumber-sumber gempa dalam. Banyaknya enersi yang dilepaskan oleh suatu sumber gempa, biasanya dinyatakan dengan kebesaran yang disebut Magnitude. Kebesaran Magnitude mem-

punyai skala dan yang sering dipakai adalah skala Richter.

Dalam bidang engineering, yang penting untuk diketahui adalah bukannya banyaknya enersi yang dikeluarkan oleh suatu sumber gempa, tetapi gaya-gaya atau percepatan tanah di suatu tempat yang ditimbulkan oleh suatu guncangan gempa.

Intensitas gempa adalah ukuran dari besar-kecilnya efek gempa disuatu tempat yang dapat dinyatakan baik secara kualitatif dengan suatu skala (misalnya skala Modified Mercalli) maupun kuantitatif (besarnya percepatan tanah). Gelombang yang menjalar dari suatu sumber gempa sesudah sampai pada lapisan atas atau lapisan deposit akan mengalami penguatan (amplification) karena adanya resonansi dalam lapisan tersebut. Makin tebal lapisan deposit, makin panjang natural period dari lapisan tersebut. Karena itu besar kecilnya percepatan tanah akan tergantung dari frekwensi spektrum dari gelombang gempa pada saat dipancarkan dan sifat-sifat fisis dari lapisan tanah setempat, di samping tentunya tergantung dari Magnitude gempa dan jarak hypocentre. Sifat-sifat fisis dari tanah yang penting adalah natural period atau predominant period dari lapisan deposit dan juga tebalnya lapisan tersebut.

Data-data mengenai sifat-sifat fisis tanah ini sampai sekarang belum pernah diadakan penyelidikan secara menyeluruh, kecuali di beberapa tempat tertentu saja yang dilakukan oleh pihak kontraktor asing di Jakarta yang melaksanakan pembangunan bangunan-bangunan tinggi. Namun demikian kita telah dihadapkan pada kebutuhan yang mendesak akan data-data "percepatan tanah maksimum diperkirakan" (expected maximum acceleration) di setiap tempat, terutama di pulau Jawa. Untuk inilah pusat Meteorologi dan Geofisika telah memberanikan diri untuk menyusun suatu peta percepatan tanah yang berdasarkan pada rumus empiris dari Kawasumi (Gb. 2).

Rumus ini berdasarkan pada data pengamatan di Jepang yang kemudian disusun dalam bentuk rumus empiris. Tentu saja ketetapan dari penggunaan rumus ini hanya akan didapatkan di Jepang. Namun demikian, menyadari akan kelemahan-kelemahan apabila rumus ini ditrapkan di Indonesia, penyusunan peta percepatan tanah dimaksudkan sebagai permulaan dan paling tidak akan dapat menggambarkan keadaan secara kualitatif. Bahwa penggambaran secara kualitatif ini dapat dibesarkan karena peta percepatan tanah tersebut sedikit banyak sesuai dengan peta intensitas yang telah diterbitkan sebelumnya, di mana penyusunannya didasarkan pada data pengamatan (Gb. 3).

Dari gmb. 2 dapat diketahui bahwa bagian selatan Pulau Jawa mempunyai seismisitas yang lebih tinggi dari pada dibagian utara. Percepatan tanah maximum yang paling besar harganya, yaitu 0,3 g atau kurang lebih 300 gal ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/det}^2$) terdapat didaerah Ujung-kulon, di daerah sekitar Cilacap dan di sebelah selatan Yogyakarta. Pada umumnya sepanjang pantai selatan pulau Jawa, seismisitasnya cukup tinggi. Namun demikian angka-angka yang pasti mengenai besarnya percepatan tanah baru akan diperoleh apabila pengamatan langsung dengan menggunakan accelerograph atau strong motion seismograph telah dilaksanakan

3. KEADAAN METEOROLOGI

Data-data meteorologi yang dapat kami sampaikan dan kami anggap banyak sekali pengaruhnya pada penentuan lokasi PLTN adalah data angin, curah hujan dari thunderstorms.

3.1. Data Angin

Data angin untuk seluruh Indonesia terdiri dari data arus angin (streamlines)

dengan daerah-daerah divergensi dan konvergensi, dan data windrose. Data tersebut diambil rata-rata tiga bulanan yaitu bulan-bulan Desember-Januari - Pebruari, Maret - April - Mei, Juni - Juli - Agustus dan September - Oktober - Nopember masing-masing untuk ketinggian 1000 ft, 3000 ft, 7000 ft dan 10.000 ft.

3.1.1. Data Arus Angin (Gmb. 4a s/d p)

Dari peta dapat diketahui bahwa pada umumnya pulau Jawa mengalami daerah konvergensi dalam bulan-bulan Desember s/d Mei dan daerah divergensi dalam bulan-bulan Juni s/d Nopember. Arus angin dalam bulan-bulan Desember s/d Pebruari rata-rata pada semua ketinggian adalah dari barat (barat daya, barat laut), dalam bulan-bulan Maret s/d Mei dari selatan tetapi sangat variabel (transisi dari musim kemarau), dalam bulan-bulan Juni s/d Agustus dari tenggara dengan ketetapan (constancy) yang besar sampai ketinggian 3000 ft (musim kemarau), dalam bulan-bulan September s/d Nopember dari arah tenggara sampai timur dan agak variabel (transisi dari musim kemarau ke musim hujan).

3.1.2. Data-data wind-rose (Gmb. 9a s/d p)

Peta ini menunjukkan frekwensi dari arah dan kecepatan angin masing-masing pada ketinggian 1000 ft, 3000 ft, 7000 ft dan 10.000 ft.

3.2. Data Curah Hujan

Peta curah hujan terakhir telah diterbitkan yaitu untuk perioda th. 1931 - 1960, terdiri dari volume I untuk pulau Jawa dan volume II untuk daerah-daerah di luar pulau Jawa.

Dalam peta tersebut dapat dilihat curah hujan rata-rata tahunan dan curah hujan rata-rata bulanan; karena kesulitan tehnik, peta tersebut tidak dapat dilampirkan dalam tulisan ini.

Untuk tidak terlalu mendetail, dapat kami simpulkan distribusi curah hujan ditentukan oleh :

- a. keadaan topografi dan orografi;
- b. pengaruh musim.

Untuk curah hujan rata-rata tahunan, pada umumnya maximum terdapat di daerah-daerah pegunungan. Namun demikian sel-sel curah hujan maximum ini berpindah-pindah sesuai dengan musim atau keadaan angin dan kelembaban udara yang berlaku.

3.3 Data Thunderstorms

Data thunderstorms ini masih sangat preliminair dan belum diterbitkan oleh Pusat Meteorologi dan Geofisika. Data ini diambil dari observasi selama 1950 - 1970 dan terdiri dari :

- a. Frekwensi dari thunder-days, yaitu jumlah thunder-days (hari cuaca buruk) dalam setiap bulan untuk beberapa tempat di pulau Jawa;
- b. Peta frekwensi dari thunder-days rata-rata setiap bulan diambil untuk bulan-bulan transisi, yaitu Desember - Januari - Pebruari dan September - Oktober - Nopember.

Thunder atau lightning adalah peristiwa peloncatan muatan listrik yang terjadi di dalam awan-awan jenis tertentu, terutama awan Cumulonimbus (Cb). Awan jenis ini terjadi karena pengangkatan udara setempat atau konveksi, karena itu disebut awan-awan konvektif yang mempunyai bentuk pertumbuhan keatas. Proses pertumbuhannya relatif sangat cepat di mana menyebabkan timbulnya arus-arus udara turbulen didalam awan yang telah berisi butir-butir air dan es. Turbulensi udara ini menyebabkan pemisahan muatan-muatan listrik di dalam awan yang menimbulkan loncatan-loncatan listrik pada saat-saat tertentu.

Awan-awan jenis konvektif merupakan typologi dari awan-awan di daerah tropis di mana pengangkatan udara lokal sering terjadi. Pengangkatan ini disebabkan oleh :

- a. Pengaruh thermis;
Pemanasan yang kuat di daerah tropis menimbulkan perbedaan suhu setempat dan menyebabkan pengangkatan udara.
- b. Pengaruh konvergensi;
Apabila udara dari dua arah bertemu, akan terjadi konvergensi yang menyebabkan pengangkatan udara.

Demikian pula apabila arus udara membelok, di mana kecepatan udara berkurang, maka akan terjadi pengangkatan udara di tempat pembelokan.
- c. Pengaruh orografi;
Apabila udara mengalir melewati pegunungan, pengangkatan udara akan terjadi.

Untuk Indonesia, pengangkatan udara terutama disebabkan oleh faktor-faktor a dan b.

Tumbuhnya awan-awan Cumulonimbus (Cb) yang akan menimbulkan thunderstorm ditentukan oleh kekuatan pengangkatan udara dan kelembaban udara. Mengingat faktor-faktor tersebut, maka kemungkinan terjadinya thunderstorm, terutama di pulau Jawa, akan sangat besar pada musim-musim transisi, yaitu dalam bulan-bulan Maret - April - Mei dan September - Oktober - Nopember. Hal ini disebabkan karena dalam musim-musim tersebut, kelembaban udara masih cukup tinggi dan pengaruh konvergensi sangat besar (angin variabel dan pada umumnya lemah).

Dari Gmb. 7 dan 8 dapat dilihat bahwa baik dalam transisi musim hujan ke musim kemarau maupun dalam transisi musim kemarau ke musim hujan, daerah dengan thunder-days paling besar terdapat di daerah Jawa Barat bagian utara (Purwakarta, Indramayu) di daerah Jawa Timur (Malang) dan agak kurang di daerah Jawa Tengah bagian tengah (Magelang).

Frekwensi thunder-days lebih besar dalam musim transisi Maret - April - Mei dari pada musim transisi September - Oktober - Nopember.

4. FAKTOR METEOROLOGI DALAM PENYEBARAN ZAT PENCEMAR.

Penyebaran zat pencemar di dalam atmosfera terjadi menurut dua proses, yaitu difusi molekuler dan percampuran udara. Proses difusi secara relatif tidak banyak mengambil peran di dalam penyebaran zat pencemar, karena sifatnya sangat terbatas. Proses percampuran udara disebabkan oleh faktor meteorologi. Proses-proses itu adalah adveksi atau perpindahan udara dalam arah horison-

tal, konveksi atau perpindahan udara dalam arah vertikal dan turbulensi atau pengadukan udara.

Pada dasarnya faktor-faktor meteorologi yang perlu diperhatikan ialah :

1. Angin

2. Stabilitas atmosfera.

4.1. Angin.

Perhatikan suatu sumber pencemar tunggal, misalnya cerobong asap dari suatu pabrik. Gejala pertama yang dapat dilihat adalah bahwa asap yang keluar dari cerobong akan bergerak mengikuti angin yang berhembus. Makin kuat angin makin tipis asap tersebut, karena makin besar volume yang ditempati oleh asap dalam waktu yang sama, sehingga konsentrasi menjadi berkurang. Apabila kebesaran-kebesaran lain sama, maka konsentrasi pada setiap titik dalam arah hembusan angin berbanding terbalik dengan kecepatan angin. Apabila angin berhembus secara merata dan pelan, maka bentuk kepulan asap akan menyerupai tabung yang makin membesar dalam arah kecepatan angin. Hal ini disebabkan karena proses difusi dari molekul-molekul. Batas kepulan asap akan jelas dan perubahan konsentrasi dari zat pencemar sangat tajam pada tepi tabung asap. Zat pencemar akan terpusat pada tabung kepulan itu saja.

Pada umumnya gerakan udara tidak bersifat merata atau streamline (didalam istilah fisika arus yang demikian disebut laminar), melainkan sedikit banyak mengalami turbulensi.

Turbulensi disebabkan karena dua faktor utama, yaitu :

1. Karena adanya rintangan-rintangan seperti pohon, bangunan dan permukaan yang tidak rata.
Makin besar kecepatan angin, apabila mengenai rintangan, makin besar turbulensi.
2. Instabilitas dari atmosfera.
Proses turbulensi akan menyebabkan penyebaran zat pencemar secara lebih meluas, tetapi akan menurunkan konsentrasi.

4.2. Stabilitas Atmosfera.

Penurunan Suhu Adiabatik.

Apabila sejumlah udara dinaikkan, maka suhunya akan turun. Penurunan suhu ini disebabkan karena pemuaiian udara dan berlangsung secara adiabatik. Proses adiabatik adalah proses di mana tidak ada pertukaran panas antara zat dengan sekelilingnya. Dalam gerakan-gerakan udara kearah vertikal, udara dianggap sebagai melakukan proses adiabatik (udara yang bergerak kearah horisontal tidak boleh dianggap sebagai melakukan proses adiabatik karena adanya pertukaran panas dengan permukaan bumi).

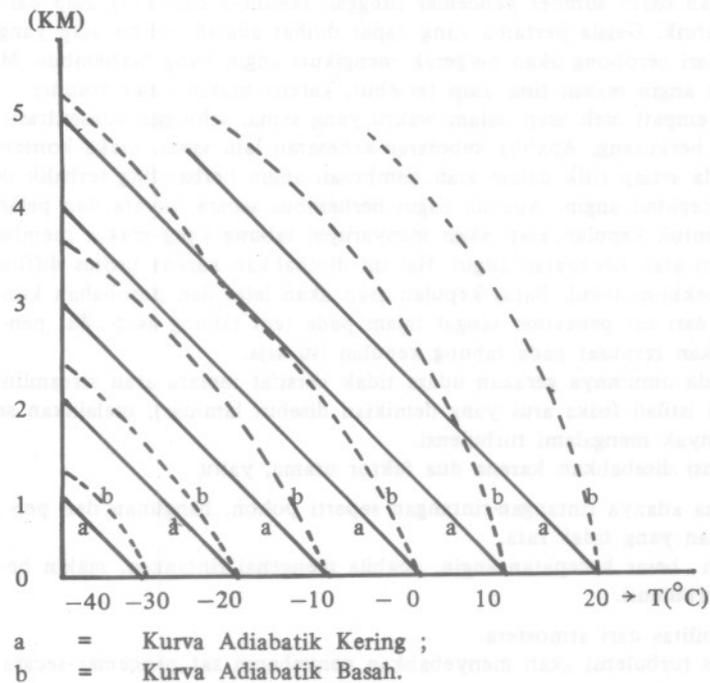
Gejala penurunan suhu adiabatik kearah vertikal ini disebut Penurunan Suhu Adiabatik atau Adiabatic Lapse Rate.

Ada dua kejadian yang perlu diperhatikan, yaitu :

- a. Apabila udara mempunyai kelembaban-nisbi atau relative humidity (RH) kurang dari 100%, maka penurunan suhu disebut Penurunan Suhu Adiabatik Kering (PSAK) atau Dry Adiabatic Lapse Rate dan besarnya kurang lebih $1^{\circ}/100$ m.

- b. Apabila udara mempunyai kelembaban-nisbi 100% (jenuh), maka penurunan suhu disebut penurunan Suhu Adiabatik Basah (PSAB) atau Wet Adiabatic Lapse Rate. PSAB harganya lebih kecil dari PSAK tetapi masih tergantung dari suhu.

Grafik yang menyatakan besarnya suhu terhadap ketinggian menurut kedua proses tersebut diatas masing-masing disebut Kurva Adiabatik Kering atau Adiabatik Kering dan Kurva Adiabatik Basah atau Adiabatik Basah.



KURVA PROSES DAN KURVA PENGAMATAN

PSAK dan PSAB didalam istilah thermodinamik disebut Kurva Proses, karena penurunan suhu disebabkan oleh proses penaikan udara.

Kedua macam kurva tersebut di tentukan secara teoritis menurut hukum thermodinamika.

Didalam atmosfer, pembagian suhu terhadap ketinggian pada umumnya ditentukan oleh keadaan atmosfera pada suatu saat. Apabila kita menaik-kan suatu balon yang dilengkapi dengan alat yang dapat mengukur suhu pada setiap ketinggian kemudian harga-harga tersebut digambarkan pada grafik ketinggian (h) vs suhu (T), maka kita mendapatkan suatu kurva yang disebut Kurva Pengamatan. Dalam keadaan yang sangat tertentu saja, Kurva Pengamatan dapat berimpit dengan Kurva Proses.

KESETIMBANGAN ATMOSFERA

Faktor utama yang menentukan kesetimbangan atmosfera adalah distribusi vertikal dari suhu. Distribusi vertikal dari suhu ini digambarkan dalam grafik sebagai kurva pengamatan.

Beberapa kemungkinan dapat terjadi, yaitu :

1. Penurunan suhu Pengamatan (Penurunan Suhu yang sesungguhnya) harganya lebih kecil dari PSAK maupun PSAB.
Atmosfera dalam keadaan stabil. Contoh atmosfer yang demikian misalnya pada waktu pagi, atau pada musim dingin di daerah lintang sedang apabila suatu massa udara dari daerah tropis menghembus di atasnya.
2. Penurunan Suhu Pengamatan harganya lebih besar dari PSAK maupun PSAB.
Atmosfera dalam keadaan instabil. Contoh atmosfera yang demikian misalnya pada waktu siang, atau musim panas di daerah lintang sedang apabila suatu massa udara dari daerah kutub menghembus di atasnya.
3. Penurunan Suhu harganya terletak antara PSAK dan PSAB. Ada dua kemungkinan yang dapat terjadi, yaitu :
 - a. Jika udara jenuh atau $RH = 100\%$, maka atmosfera dalam keadaan instabil;
 - b. Jika udara lembab atau kering (RH kurang dari 100%), maka atmosfera dalam keadaan stabil.

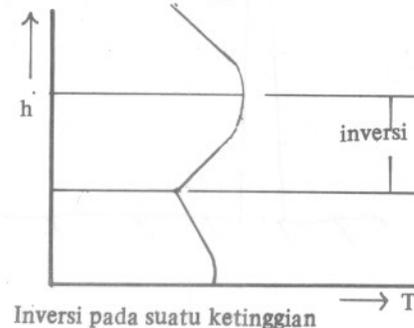
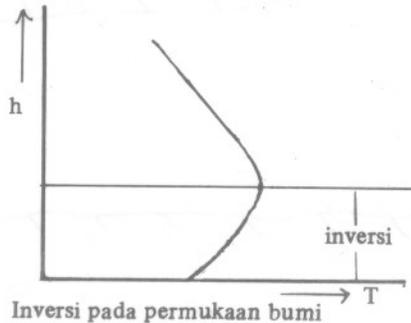
Dalam kedua hal tersebut di atas, kesetimbangan atmosfera disebut instabil-bersyarat.

4. Penurunan Suhu Pengamatan harganya sama atau mendekati harga dari PSAK atau PSAB, maka atmosfera mempunyai kesetimbangan indifferen (setiap udara yang dinaikkan atau diturunkan akan selalu berada di tempatnya yang baru).
Atmosfera yang demikian disebut atmosfera netral dan berlaku untuk :
 - a. Udara jenuh dengan penurunan suhu sama dengan PSAB.
 - b. Udara lembab atau kering dengan penurunan suhu sama dengan PSAK.

INVERSI

Inversi adalah keadaan dimana suhu di dalam atmosfera makin keatas makin tinggi, atau dengan perkataan lain penurunan suhu harganya negatif. Keadaan yang demikian adalah khusus, karena pada umumnya suhu didalam atmosfera makin keatas makin rendah.

Apabila inversi terjadi, atmosfera dalam keadaan sangat stabil. Inversi dapat terjadi baik pada permukaan bumi maupun pada sesuatu ketinggian.



Kesimpulan

Keadaan atmosfera yang instabil menyebabkan turbulensi dan akan menyebabkan penyebaran zat pencemar yang meluas, tetapi menurunkan kadar zat pencemar didalam atmosfera,

Keadaan atmosfera yang stabil, terutama pada inversi, akan menyebabkan penyebaran yang lambat dan menghasilkan kadar zat pencemar yang tinggi dalam daerah yang sempit.

4.3. Analisa Kualitatif

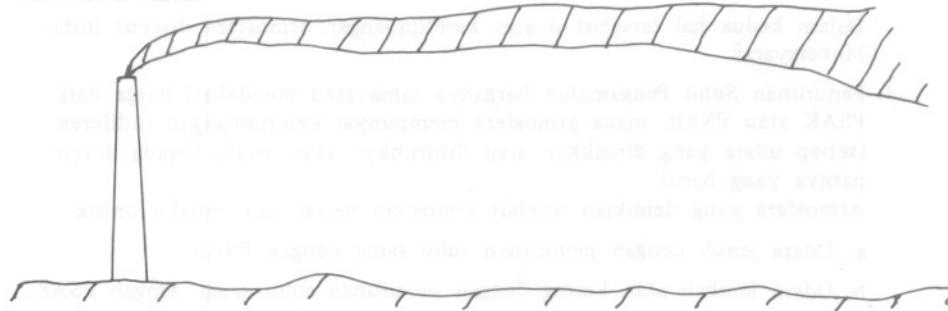
Beberapa pengaruh faktor-faktor meteorologi pada penyebaran zat pencemar telah diuraikan diatas.

Kiranya lebih mudah untuk diberikan gambaran secara kualitatif terlebih dahulu tentang penyebaran zat pencemar.

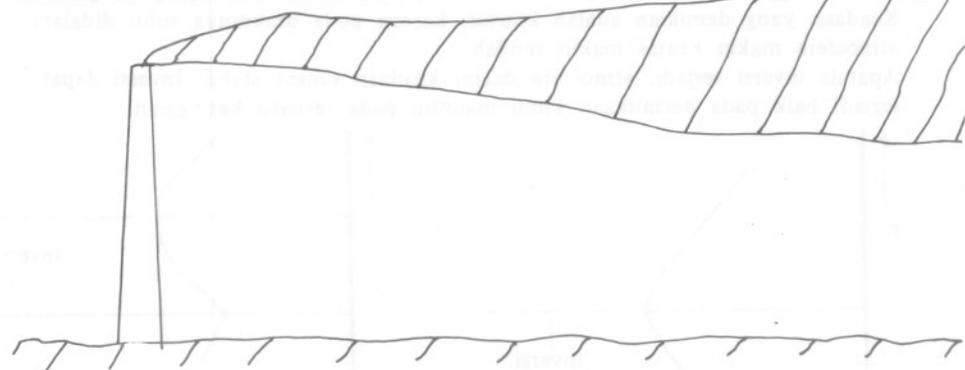
4.3.1. Untuk menyederhanakan persoalan, pertama-tama kita pandang suatu sumber tunggal dari zat pencemar, misalnya cerobong asap dari suatu pabrik.

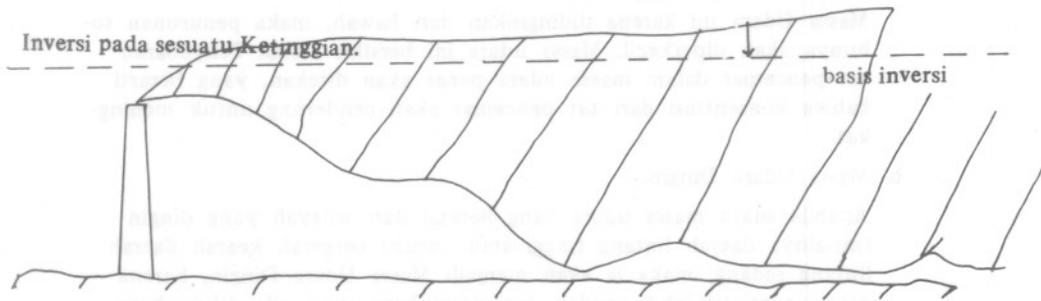
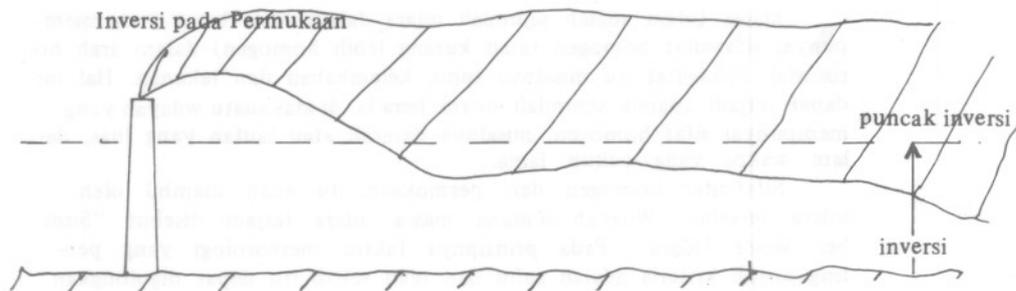
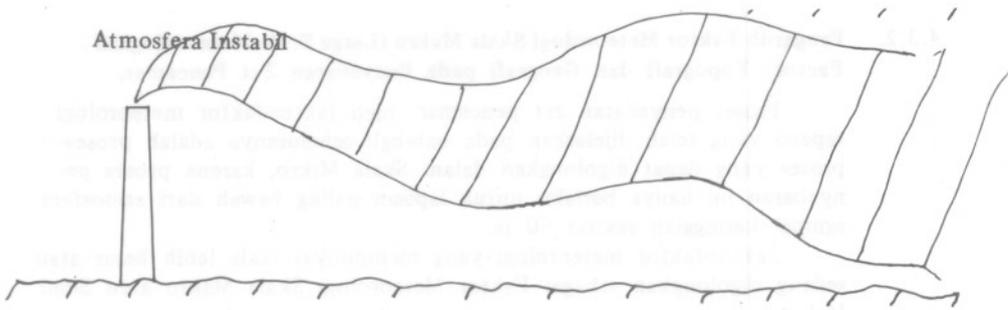
Gambar-gambar dibawah ini menunjukkan beberapa contoh dari penyebaran zat pencemar dalam berbagai keadaan atmosfera.

Atmosfera stabil.



Atmosfera Netral atau Indifferen.





4.3.2. Pengaruh Faktor Meteorologi Skala Makro (Large Scale Meteorological Factor), Topografi dan Geografi pada Penyebaran Zat Pencemar,

Proses penyebaran zat pencemar oleh faktor-faktor meteorologi seperti yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya adalah proses-proses yang dapat digolongkan dalam Skala Mikro, karena proses penyebaran ini hanya berlaku untuk lapisan paling bawah dari atmosfera sampai ketinggian sekitar 50 m.

Faktor-faktor meteorologi yang mempunyai skala lebih besar atau sedang digolongkan sebagai Faktor Meteorologi Skala Makro atau Semi Makro.

Faktor-faktor tersebut mempunyai pengaruh pada penyebaran Zat pencemar yang bersifat makro atau semi-makro pula dan perlu mendapat peninjauan tersendiri.

Pengaruh Massa Udara.

Massa Udara adalah sejumlah udara dalam skala besar yang mempunyai sifat-sifat homogen (atau kurang lebih homogen) dalam arah horisontal. Sifat-sifat itu misalnya suhu, kelembaban dan tekanan. Hal ini dapat terjadi apabila sejumlah udara berada di atas suatu wilayah yang mempunyai sifat homogen, misalnya daratan atau lautan yang luas, dalam waktu yang cukup lama.

Sifat-sifat homogen dari permukaan itu akan diambil oleh udara tersebut. Wilayah di mana massa udara terjadi disebut "Sumber Massa Udara". Pada prinsipnya faktor meteorologi yang penting untuk kriteria adalah suhu dan oleh sebab itu dapat digolongkan adanya dua jenis massa udara, yaitu :

a. Massa Udara Panas.

Apabila suatu massa udara yang bersumber di wilayah yang (misalnya daerah tropis) bergerak meninggalkan tempatnya kemudian berada di atas wilayah yang suhunya relatif lebih rendah dari massa udara tersebut (misalnya di daerah lintang sedang), maka ia berubah menjadi Massa Udara Panas.

Massa Udara ini karena didinginkan dari bawah, maka penurunan suhunya akan diperkecil. Massa udara ini bersifat stabil. Penyebaran zat pencemar dalam massa udara panas akan ditekan, yang berarti bahwa konsentrasi dari zat pencemar akan cenderung untuk meningkat.

b. Massa Udara Dingin.

Apabila suatu massa udara yang berasal dari wilayah yang dingin (misalnya daerah lintang tinggi atau kutub) bergerak ke arah daerah lintang sedang, maka ia akan menjadi Massa Udara Dingin, karena suhunya relatif lebih rendah dari permukaan yang ada dibawahnya. Massa Udara ini akan dipanasi dari bawah sehingga penurunan suhunya akan diperbesar. Massa Udara ini bersifat instabil. Penyebaran zat pencemar dalam massa udara dingin akan diperkuat yang berarti konsentrasinya cenderung untuk diturunkan.

Inversi Pada Antisiklon.

Antisiklon adalah daerah tekanan udara tinggi. Sifat-sifat dari anti-

siklon di samping tekanan udara yang tinggi adalah udara yang cerah, kering dan angin yang lemah.

Wilayah ini juga merupakan tempat di mana udara (dalam skala yang besar) bergerak turun kebawah atau subsidence. Gerakan turun ini menyebabkan pemanasan adiabatik dari udara. Biasanya gerakan ini akan terhenti pada ketinggian beberapa ratus meter diatas permukaan, karena udara yang ada di bawah menghalanginya. Maka akan terjadi inversi di lapisan atas.

Di bawah lapisan inversi, udara dapat instabil yang menyebabkan timbulnya percampuran atau mixing. Tebal lapisan percampuran ini tergantung dari tinggi rendahnya basis inversi. Hal ini sangat penting bagi penyebaran zat pencemar. Jika lapisan percampuran tipis atau basis inversi rendah, maka konsentrasi zat pencemar akan dibagi rata dalam volume yang kecil sehingga meningkatkan konsentrasi tersebut.

Daerah Tropis dan Daerah Kutub

Apabila di daerah lintang sedang, stabilitas atmosfera lebih banyak ditentukan oleh jenis massa udara, maka untuk daerah tropis stabilitas atmosfera terutama ditentukan oleh perbedaan suhu antara siang dan malam. Pada umumnya di daerah tropis keadaan atmosfera pada waktu malam adalah stabil dan pada waktu siang instabil. Perubahan stabilitas atmosfera yang cepat dan silih berganti ini menyebabkan tidak pernah terjadinya pengumpulan zat pencemar dalam waktu yang lama, sehingga penyebarannya dapat merata dalam volume yang besar. Sebaliknya di daerah lintang sedang pengumpulan zat pencemar dapat berlangsung sampai berhari-hari.

Jadi ditinjau dari segi penyebaran zat pencemar, daerah tropis lebih menguntungkan dari pada daerah lintang sedang.

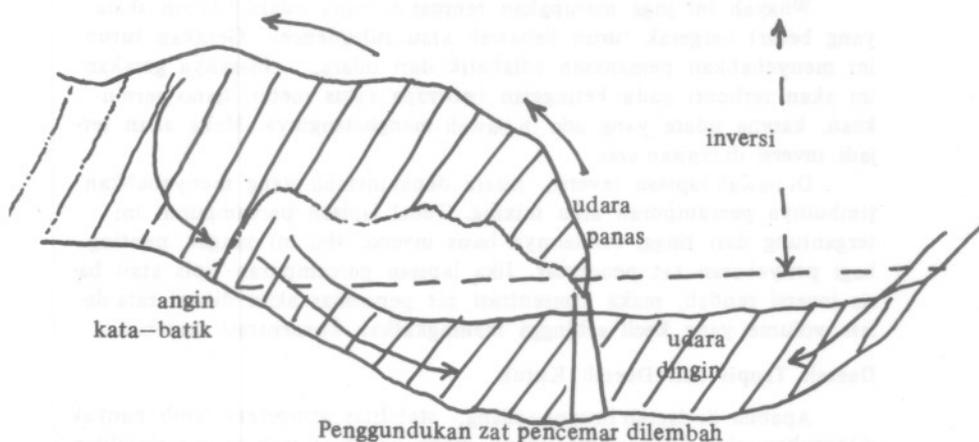
Di daerah kutub, keadaan inversi yang kuat dan lama sering terjadi, terutama sepanjang waktu malam-kutub (polar night). Keadaan ini menyebabkan pengumpulan zat pencemar dalam waktu yang lama dan konsentrasi dapat meningkat sampai tingkat yang membahayakan sehingga sering menimbulkan masalah yang sangat serius.

Pengaruh Lembah.

Pada waktu malam dan udara cerah (tidak berawan), apabila angin menghembus dengan pelan, sering terjadi suatu keadaan di mana terdapat "angin katabatik" pada daerah lereng gunung. Udara di puncak gunung atau bagian atas dari lereng mengalami pendinginan yang kuat akibat penurunan suhu dari permukaan tanah. Berat jenis udara tersebut menjadi bertambah besar dan akhirnya karena beratnya ia "jatuh" kebawah menuruni lereng sebagai angin katabatik. Sering juga disebut angin jatuh atau fall-wind.

Jika suatu lembah dikelilingi oleh gunung-gunung, maka akan terjadi gerakan udara dari lereng ke lembah yang menyebabkan pengumpulan udara yang dingin di dalam lembah. Suhu udara di atasnya pada umumnya relatif menjadi lebih tinggi dari udara di bawah sehingga terjadi inversi di lembah. Kedua faktor ini, yaitu pengumpulan udara dari atas dan inversi, menyebabkan penggundukan tanah zat pencemar di dalam

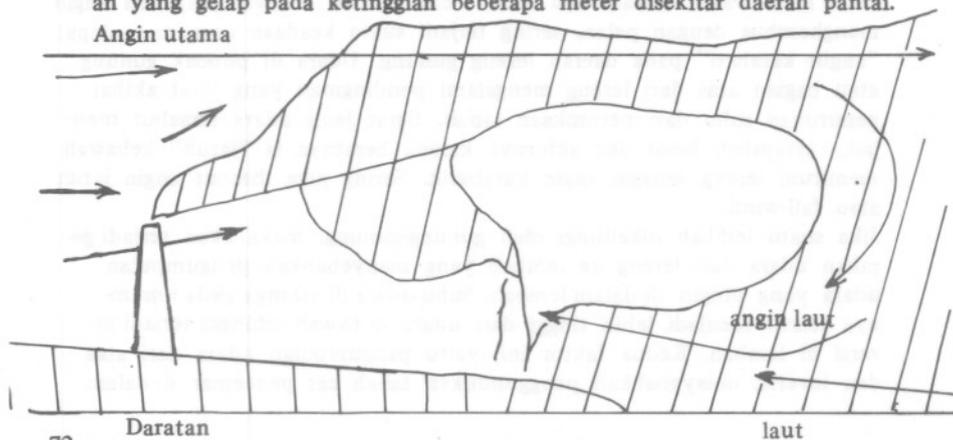
lembah yang kadang-kadang dapat menimbulkan suatu keadaan yang berbahaya karena konsentrasi zat pencemar yang meningkat.



Pengaruh Angin Laut.

Pada waktu siang dan keadaan udara yang cerah, suhu udara di daratan lebih tinggi dari pada di laut. Angin akan menghembus dari arah laut ke darat. Tergantung dari perbedaan suhu antara daratan dan laut, angin laut dapat masuk ke daratan sampai beberapa kilometer jauhnya. Apabila angin laut utama menghembus dari daratan ke laut (angin utama adalah angin yang ditentukan oleh perbedaan tekanan udara dalam sekala yang lebih besar), maka kedua angin akan bertemu di daratan yang jaraknya dari pantai tergantung dari perbedaan kekuatan antara kedua angin tersebut.

Angin yang bertemu bergerak ke atas dan akan dikompensir oleh gerakan udara kebawah di atas laut. Jika di daerah dekat pantai terdapat cerobong, maka akan terjadi penggundukan zat pencemar di tempat di mana kedua angin bertemu. Karena udara bergerak keatas, hanya sedikit zat pencemar yang terdapat didekat permukaan. Tetapi jika cerobong mengeluarkan asap hitam, hal ini akan menyebabkan pemandangan yang gelap pada ketinggian beberapa meter disekitar daerah pantai.



4.4. Peramalan Pencemaran Udara

Karena proses penyebaran zat pencemar di dalam udara sebagian besar ditentukan oleh faktor-faktor meteorologi, maka pada ahli meteorologi di samping tugasnya menyiapkan peramalan tentang keadaan atmosfera, kadang-kadang diminta pula untuk memberikan peramalan atau perkiraan tentang penyebaran zat pencemar pada suatu saat yang akan datang.

Peramalan tentang penyebaran zat pencemar dapat dilakukan dengan cara kualitatif maupun kuantitatif.

Peramalan kualitatif.

Pada dasarnya peramalan kualitatif hanya dapat memberikan perkiraan tentang penyebaran zat pencemar yang berasal dari sesuatu sumber tunggal ataupun dari banyak sumber, misalnya suatu daerah industri. Faktor-faktor meteorologi utama yang perlu diramalkan dan yang mempunyai pengaruh yang besar pada penyebaran zat pencemar adalah :

- a. Stabilitas atmosfera.
- b. Kecepatan angin.

Di samping itu juga kadang-kadang perlu diberikan perkiraan tentang tebalnya lapisan percampuran atau mixing depth.

Makin tipis lapisan percampuran, makin tinggi konsentrasi zat pencemar dapat diharapkan dan demikian sebaliknya.

Arah angin akan memberikan kearah mana zat pencemar akan dibawa dari sumbernya.

Juga perlu diperhatikan keadaan topografi dan geografi dari wilayah yang ditinjau dan kemungkinan terjadinya antisiklon.

Peramalan Kwalitatif.

Kadang-kadang diperlukan adanya perkiraan secara kuantitatif tentang tingkat atau besarnya konsentrasi dari zat pencemar dalam sesuatu perioda disesuatu tempat.

Namun sesuai dengan tujuan dari karangan ini, penulis tidak bermaksud untuk mendalami masalah analisa kuantitatif itu di sini.

Pada prakteknya, biasanya telah tersedia tabel-tabel tentang katagori stabilisasi. Di Inggris misalnya digunakan tabel berdasar kriteria Pasquill. Analisa kuantitatif ini memang sangat diperlukan bagi daerah atau negara yang industrinya telah padat.

LAMPIRAN I.

SKALA KEKUATAN GEMPA MENURUT MODIFIED MERCALLI INTENSITY (MMI) 1931

- I. — Getaran tidak dirasakan kecuali dalam keadaan luar biasa oleh beberapa orang.
- II. — Getaran dirasakan oleh beberapa orang. Benda-benda ringan yang tergantung bergoyang.
- III. — Getaran dirasakan nyata dalam rumah, terasa getaran seakan-akan ada truck lalu.
- IV. — Pada siang hari dirasakan oleh orang banyak dalam rumah; diluar oleh beberapa orang terbangun. Gubah pecah, jendela, pintu gemerincing; dinding berbunyi karena pecah-pecah.
- V. — Getaran dirasakan oleh hampir semua penduduk; orang banyak terbangun. Gubah pecah, jendela dsb. pecah; barang-barang terpelanting; pohon-pohon tiang-tiang dan lain-lain barang besar tampak bergoyang. Bandul lonceng dapat berhenti.
- VI. — Getaran dirasakan oleh semua penduduk; kebanyakan terkejut dan lari keluar; plester dinding jatuh dan cerobong asap dari pabrik rusak. Kerusakan ringan
- VII. — Tiap-tiap orang keluar rumah. Kerusakan ringan kepada rumah-rumah dengan bangunan dan konstruksi yang baik dan yang tidak baik; cerobong asap pecah/retak-retak. Terasa oleh orang yang naik kendaraan.
- VIII. — Kerusakan pada bangunan-bangunan dengan konstruksi yang kuat. Retak-retak pada bangunan yang kuat; dinding dapat lepas dari rangka rumah; cerobong asap dari pabrik-pabrik dan monumen-monumen roboh. Air menjadi keruh.
- IX. — Kerusakan pada bangunan-bangunan yang kuat; rangka-rangka rumah menjadi tidak lurus; Banyak retak-retak pada bangunan-bangunan yang kuat. Rumah tampak agak berpindah dari pondamennya. Pipa-pipa dalam tanah putus.
- X. — Bangunan dari kayu yang kuat rusak; rangka-rangka rumah lepas dari pondamennya; tanah terbelah; rail melengkung; tanah longsor di tiap-tiap sungai dan di tanah-tanah yang curam. Air bah.
- XI. — Bangunan-bangunan hanya sedikit yang tetap berdiri. Jembatan rusak; terjadi lembah. Pipa dalam tanah tidak dapat dipakai sama sekali; tanah terbelah, rail melengkung.
- XII. — Hancur sama sekali. Gelombang tampak pada permukaan tanah. Pemandangan gelap. Benda-benda terlempar ke udara.

LAMPIRAN II.

KONVERSI ANTARA SKALA MODIFIED MERCALLI
INTENSITY (MMI) DENGAN SKALA ROSSI FOREL (RF)

Modified Mercalli Intensity (MMI)	Rossi - Forel (RF)
(1931)	(1873)
I	I
II	II
III	III
IV	IV
V	V - VI
VI	VII
VII	VIII
VIII	IX
IX	X
X	X
XI	X
XII	X

LAMPIRAN III.

HUBUNGAN ANTARA I (INTENSITAS DALAM SKALA MMI)
DENGAN α (PERCEPATAN TANAH)

Berdasar Rumus Richter

$$\text{Log } \alpha = \frac{I}{3} - 0.5$$

I	α (dlm. cm/det ²)
II	0.001 g
III	0.003 g
IV	0.007 g
V	0.018 g
VI	0.032 g
VII	0.069 g
VIII	0.149 g
IX	0.323 g
X	0.695 g
XI	1.497 g
XII	3.226 g

g = percepatan gravitasi bumi (980 cm/det²).

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. R. SOETADI, Geophysical Notes No. 2, L.M.G., 1962
"Seismic Zones in Indonesia"
2. SULAIMAN ISMAIL, Geophysical Notes No. 6, L.M.G., 1971.
"Percepatan Maximum dan Frekwensi Gempa Bumi di Indonesia".
3. Dr. F.H. SCHMIDT, Verhandelingen No. 45, L.M.G., 1952,
"Upper winds over Indonesia and Western New Guinea",
4. Meteorological Notes No. 9, Vol. I, L.M.G., 1973
"Peta Hujan Indonesia".
5. Naskah Geophysical Notes, L.M.G.,
"Frequency of Thunder Days and Thunder Days Map".
6. Ir. WIRATMAN W., L.P.M.B., 1971,
"Perencanaan Bangunan Tahan Gempa".
7. A.S. FORSDYKE, W.M.O. Technical Note No. 114.
"Meteorological Factors in Air Pollution".

DISKUSI

VINCENT T. RADJA :

Apakah ada limit jarak suatu tanjung terhadap epicentrum suatu gempa ?

SUSANTO :

Tidak, yang menjadi masalah bagi building construction adalah besarnya per-
cepatan tanah di tempat pembangunan, yang mana tergantung dari berbagai
faktor diantaranya :

- a) kekuatan (magnitude) gempa
- b) jarak epicentre
- c) kedalaman sumber gempa
- d) kondisi tanah setempat, terutama predominant period.

SUPARTOMO :

1. Data angin yang di publikasikan L.M.G. pada ketinggian berapakah angin
tersebut diukur, kalau dibutuhkan data angin dengan ketinggian > 1000
ft apakah harus permintaan khusus ?
2. Percepatan gempa hasil Rumus Richter dan cara Kawasumi : apa beda-
nya dan lebih baik mana yang dipakai ?

SUSANTO :

- 1) Data angin terdiri dari :
 - a. Data angin permukaan (surface wind),
dengan angin permukaan dimaksudkan angin pada ketinggian $\pm 10m$,
dimana faktor gesekan dengan permukaan sudah dianggap tidak ada
(sesuai spiral Eckmann)
 - b. Data angin atas,
biasanya dinyatakan dalam bentuk streamlines atau wind-roses pada
ketinggian tertentu misalnya 1000 ft., 3000 ft., 5000 ft., 7000 ft.,
10.000 ft., dan seterusnya.
Untuk tempat-tempat tertentu dapat diinterpolir dari peta-peta2 ter-
sebut atau jika dikehendaki dengan permintaan khusus sepanjang da-
ta-datanya tersedia dan dapat dilayani.
- 2) Menurut hemat kami reliabilitynya sama, karena dua-duanya bersifat em-
piris dan dikembangkan di luar daerah Indonesia.

IYOS SUBKI :

Apakah rumus-rumus Richter ataupun Kawasumi itu (untuk α) tidak di mo-
difikasi oleh macam lapisan geologi ? Mohon penjelasan.

SUSANTO :

Memang perlu dimodifikasi.

Untuk menentukan harga α (percepatan tanah) dapat dipergunakan berba-
gai macam rumus, baik empiris maupun semi-empiris, misalnya :

- a) Rumus Kawasumi (empiris)

- b) Rumus Richter (empiris)
- c) Rumus Kanai (semi-empiris/fisis).

Apabila diketahui harga predominant period dari lapisan atas, lebih baik digunakan rumus Kanai.

Penyusunan rumus empiris untuk Indonesia baru dapat dilakukan, apabila telah ada cukup data observasi tentang percepatan tanah dengan alat accelerometer atau strongmotion seismograph.

Data-data ini sampai saat ini belum tersedia.

MURSID DJOKOLELONO :

Apakah ada data-data mengenai pengaruh Tsunami pada pantai Pulau Jawa ?

SUSANTO :

Sepanjang pengetahuan saya belum pernah ada data (laporan) tentang terjadinya tsunami di pantai Pulau Jawa. Tetapi hal ini tidak menutup kemungkinan terjadinya tsunami, terutama sekali di pantai selatan pulau Jawa. Hal ini disebabkan karena gempa-gempa dangkal banyak bersumber di laut sebelah selatan pulau Jawa. Pantai yang berbentuk teluk (huruf V) akan lebih banyak kemungkinan mengalami tsunami dari pada pantai berbentuk lurus.

MOCH. MOCHTAR :

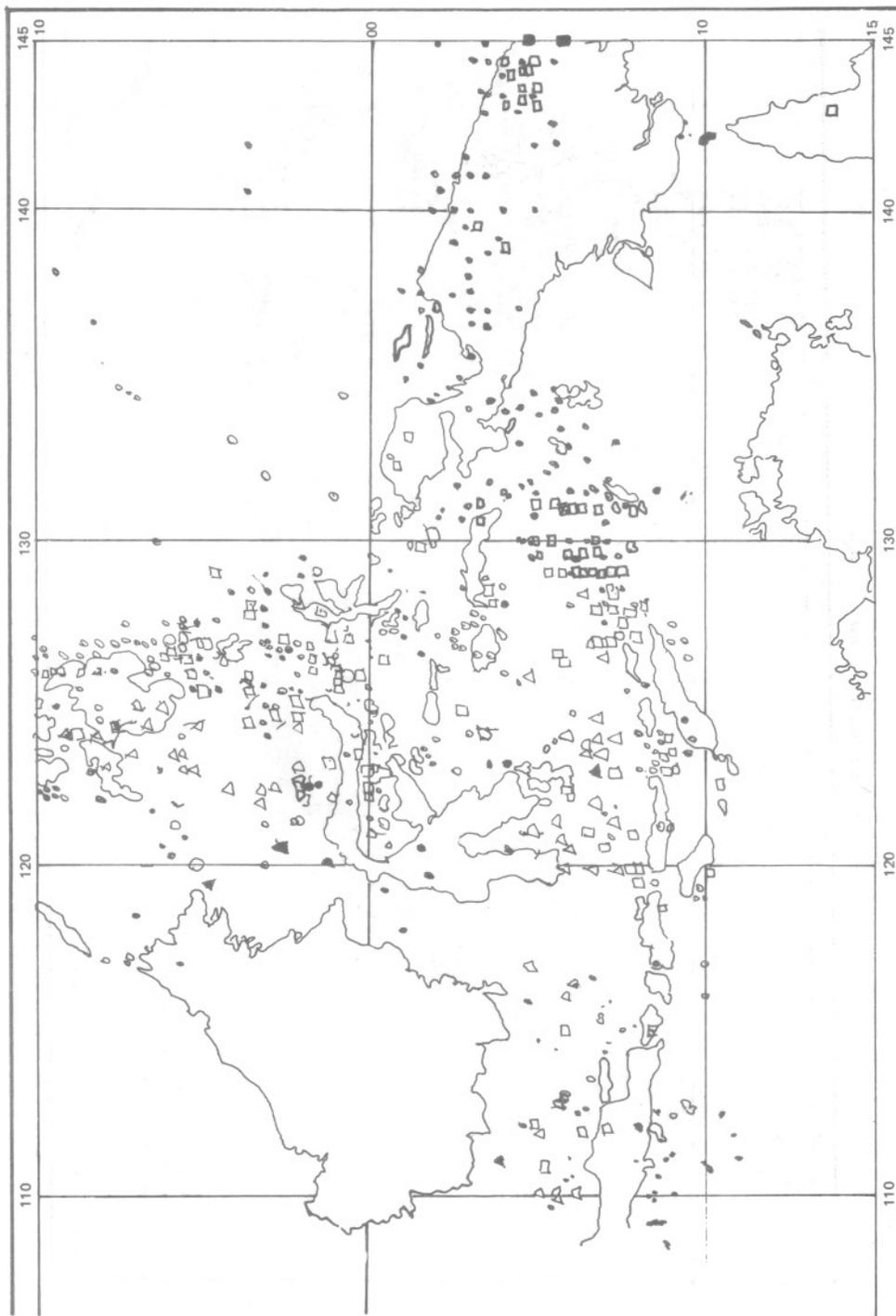
Sampai di mana kebenaran dari pada coefisien gempa daerah Cilacap 0,3 ?

SUSANTO :

Menurut peta yang didasarkan pada rumus Kawasumi, daerah Cilacap memang termasuk daerah Seismisitas tinggi dengan percepatan tanah (horizontal) maksimum sebesar 0,3 g atau 300 cm/det^2 .

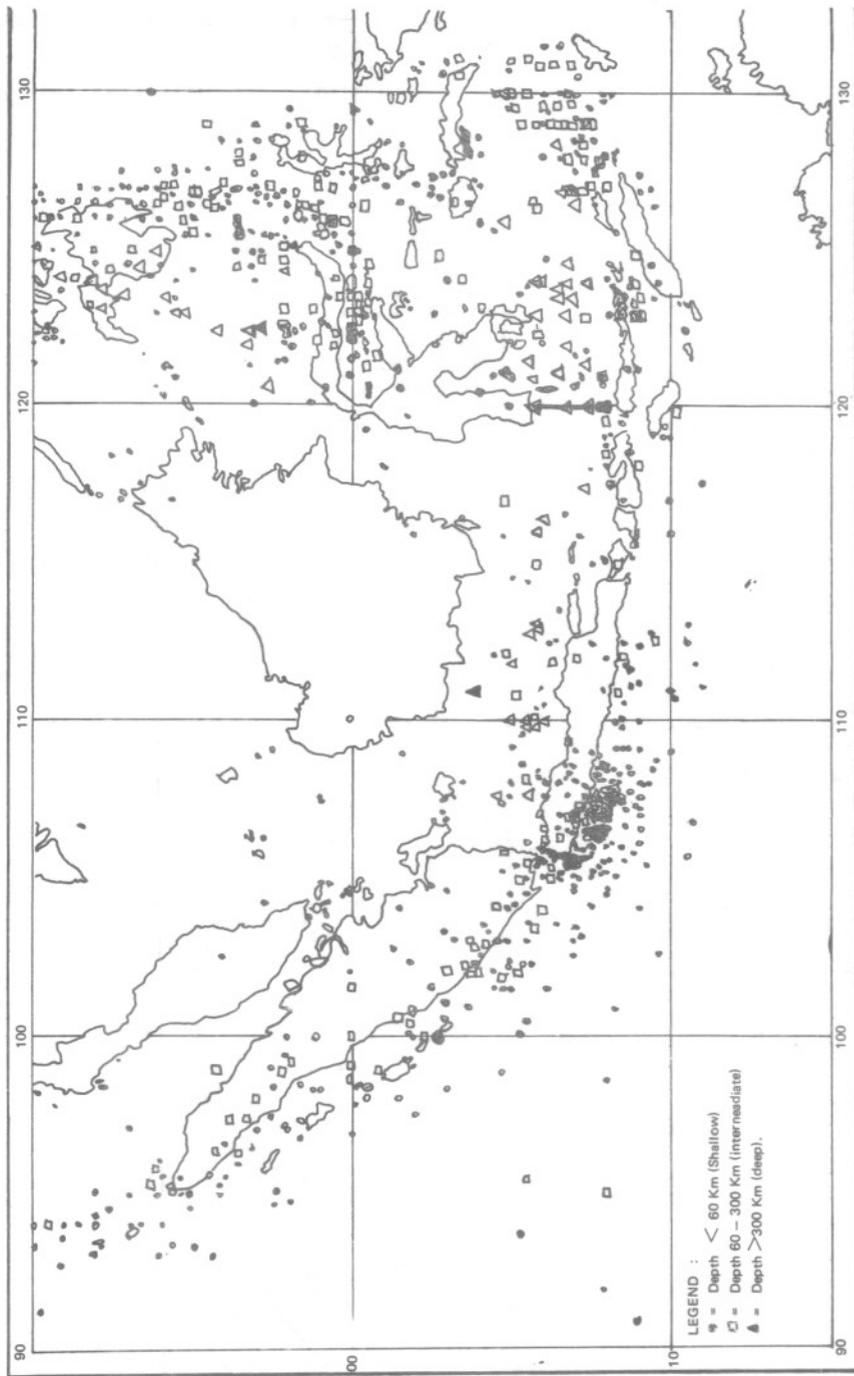
Namun harga-harga yang lebih tepat perlu diukur harga predominant period dari lapisan tanah, kemudian menggunakan rumus Kanai.

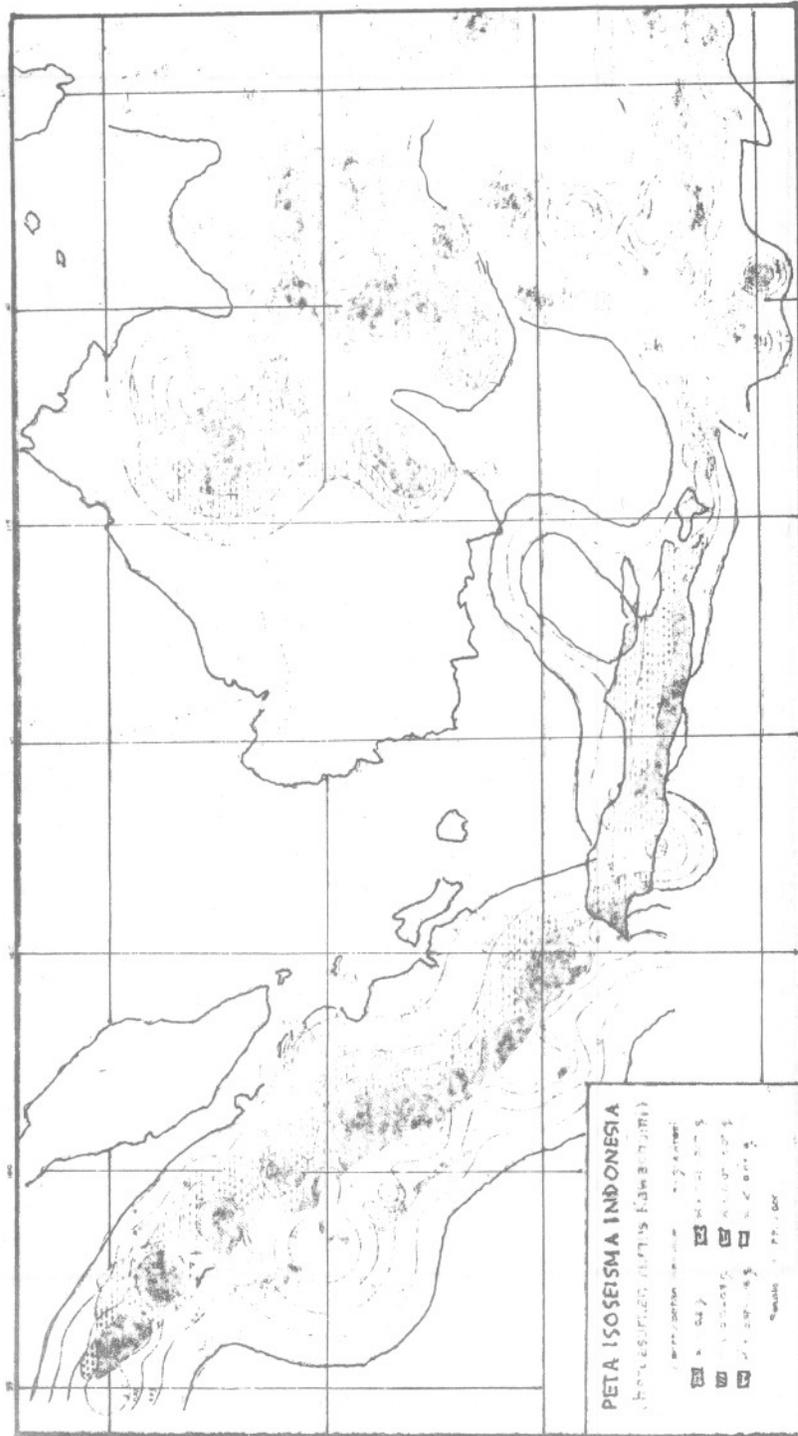
MAP OF EPICENTERS (1900 - 1960)



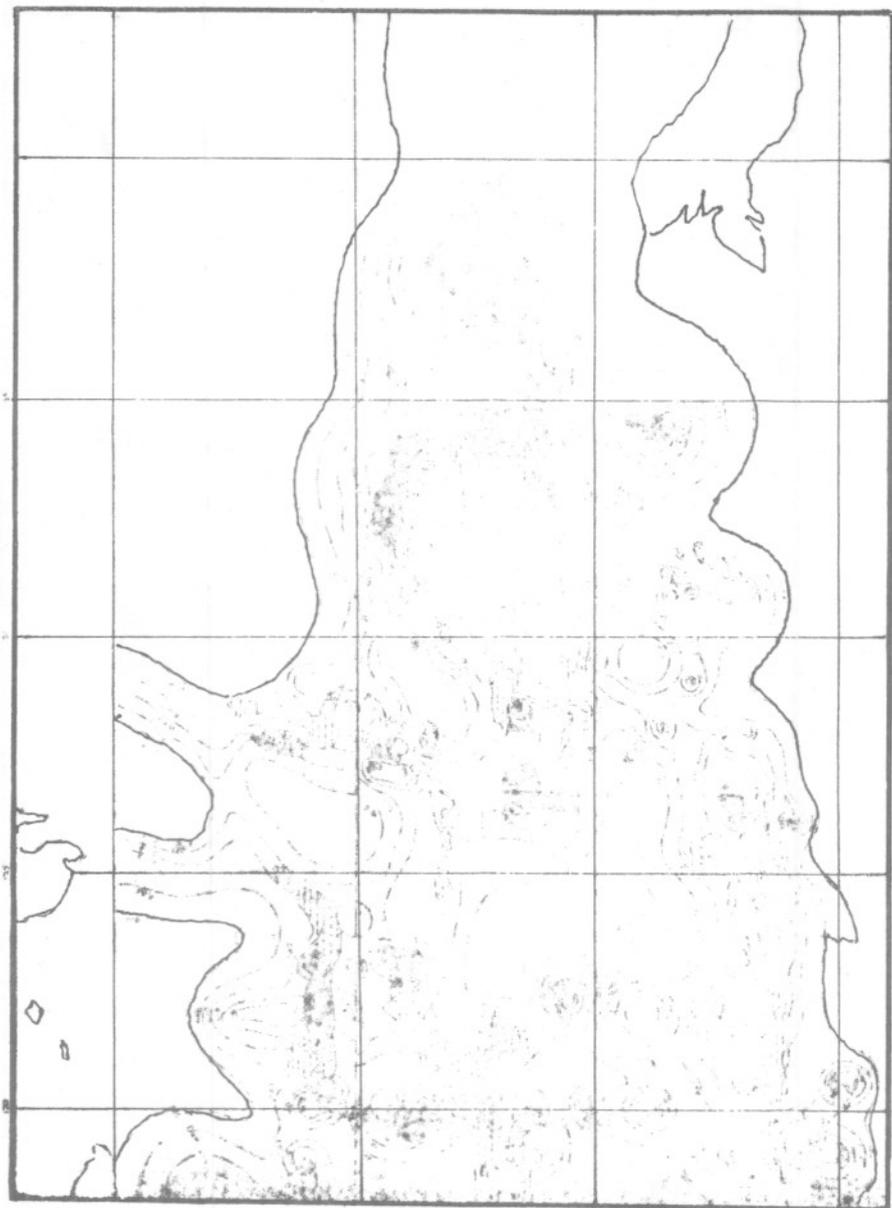
Gambar 1

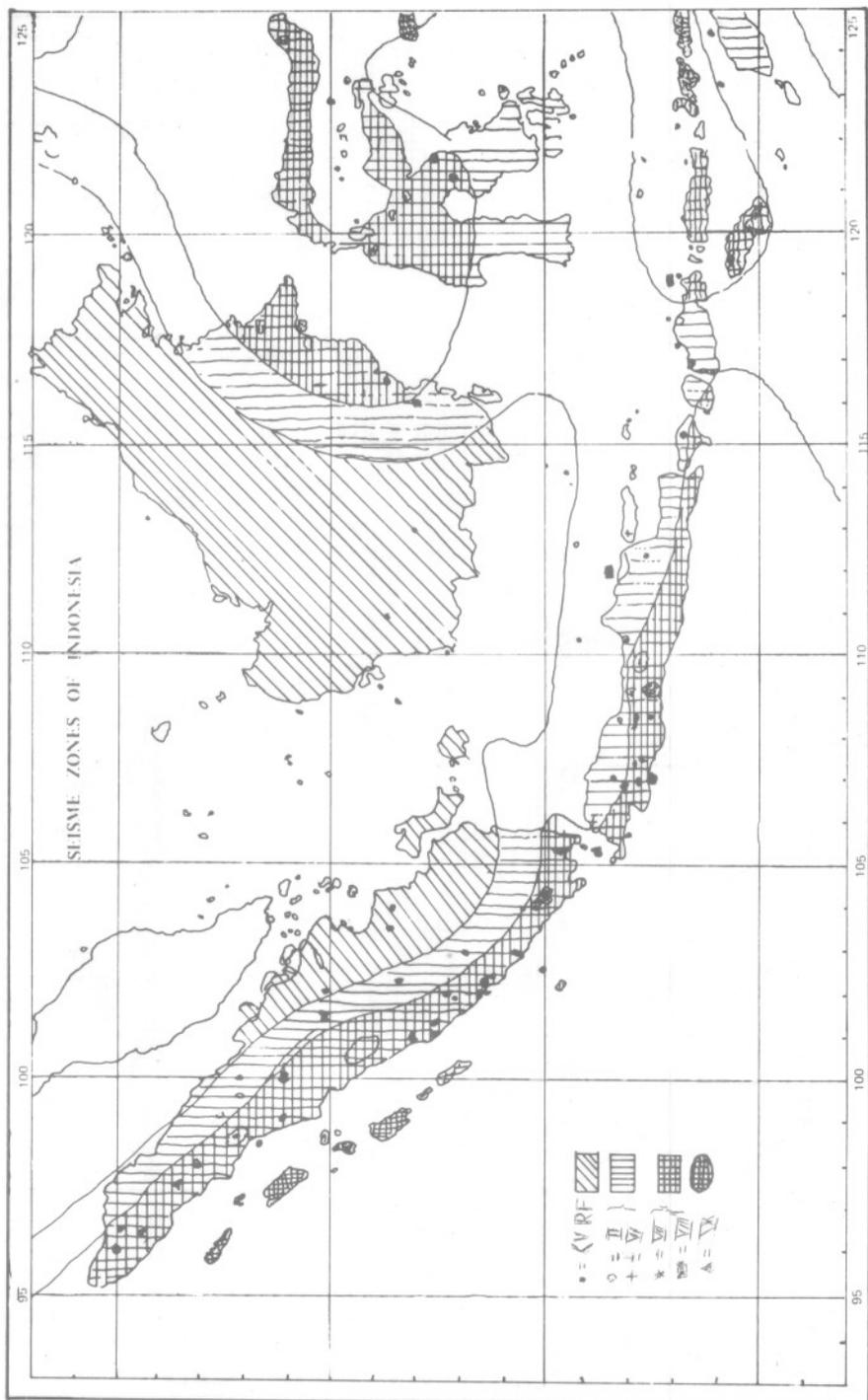
MAP OF EPICENTERS (1900 - 1960)



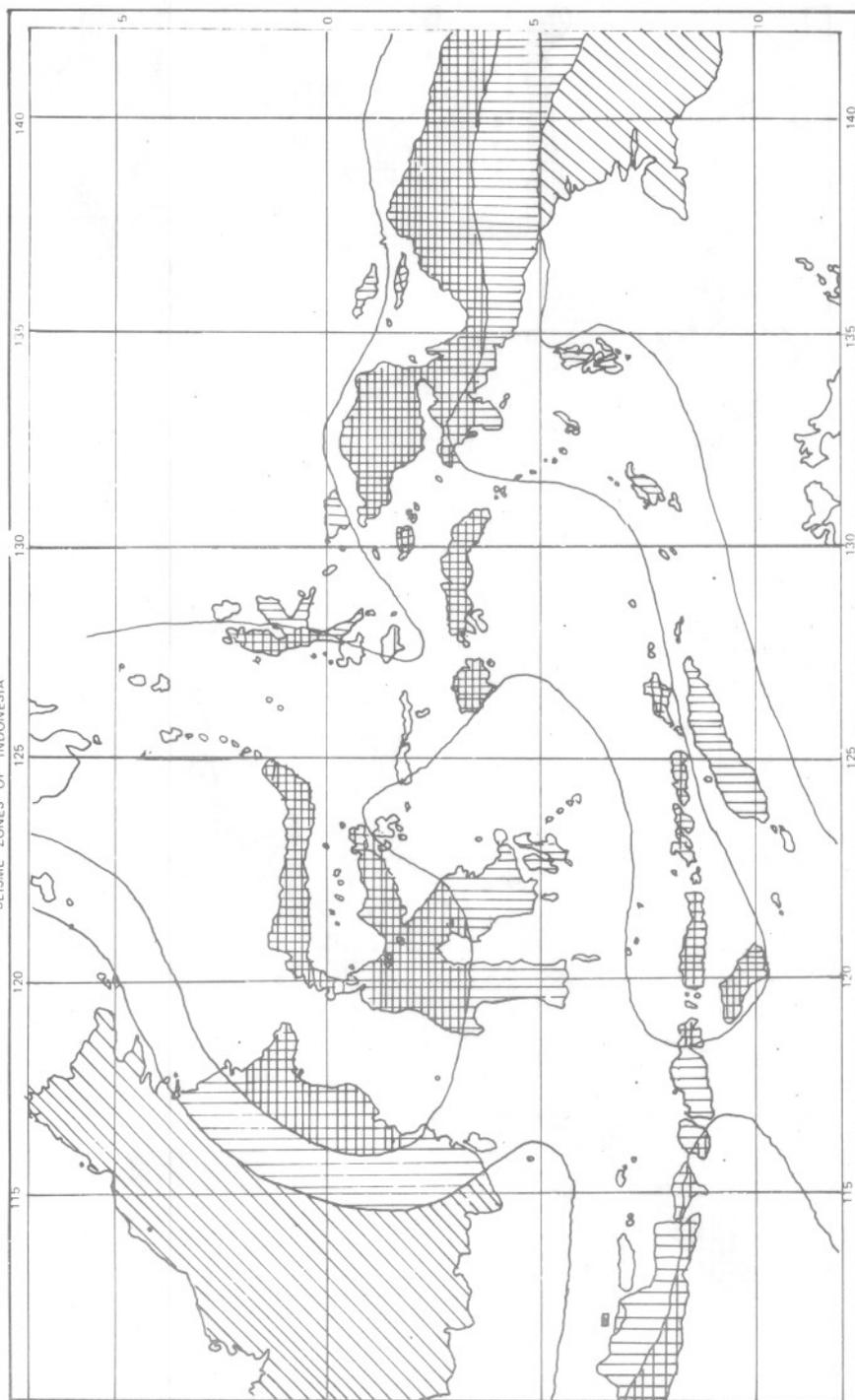


GMB 2

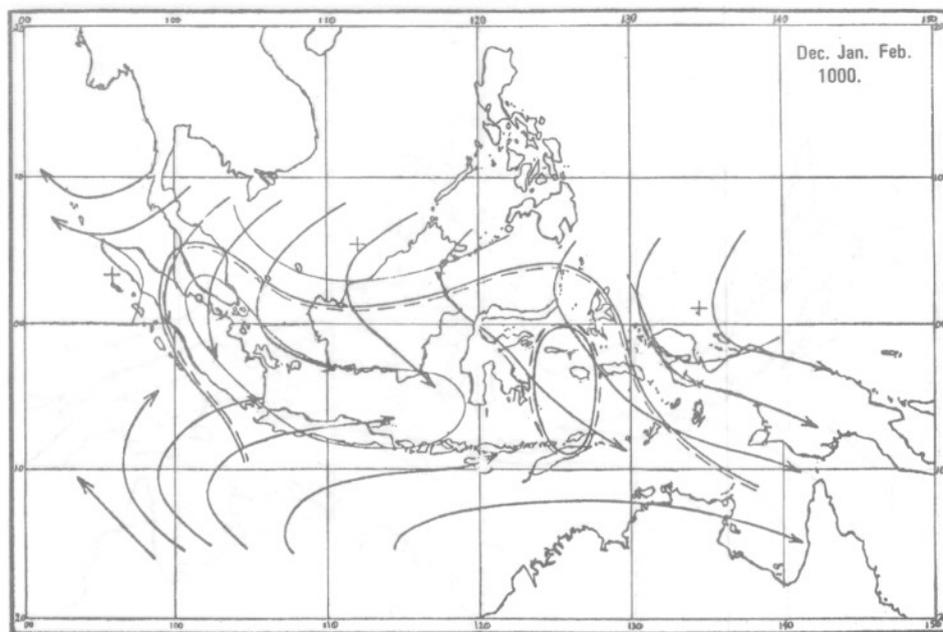




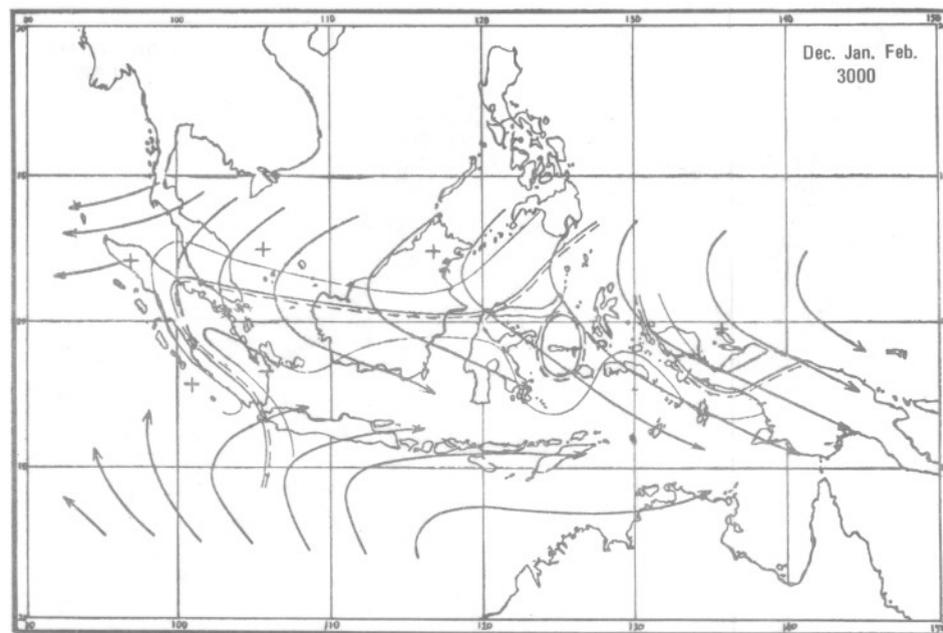
SEISMI ZONES OF INDONESIA
SEISME ZONES OF INDONESIA



GMB 4

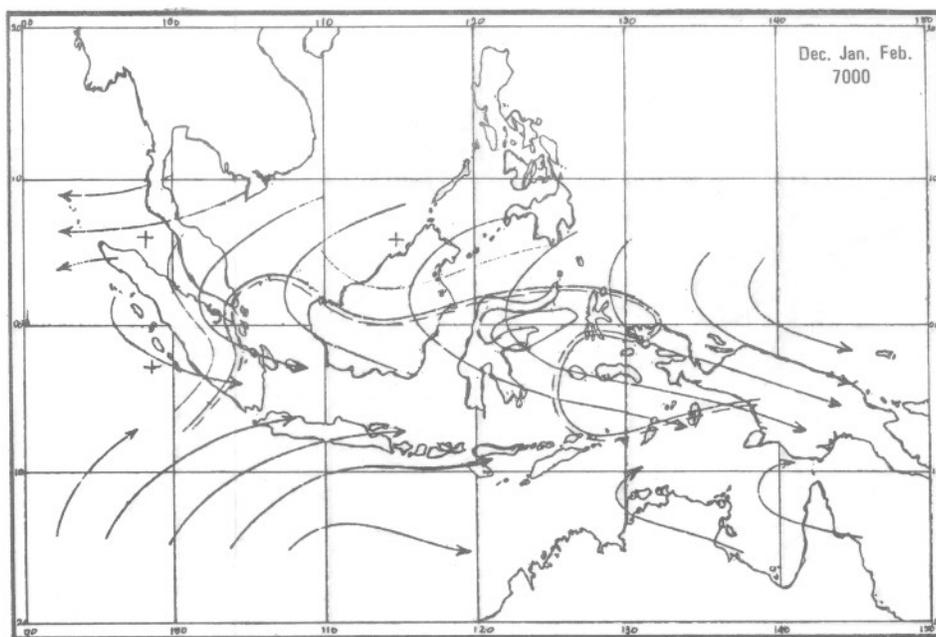


(a)

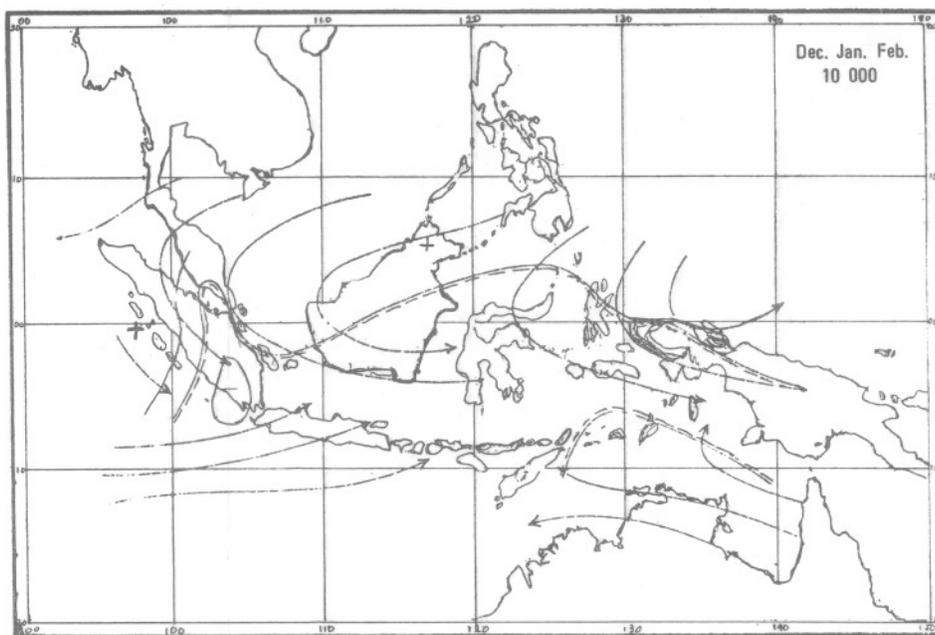


b. Average streamlines and divergence and convergence areas.

(b)

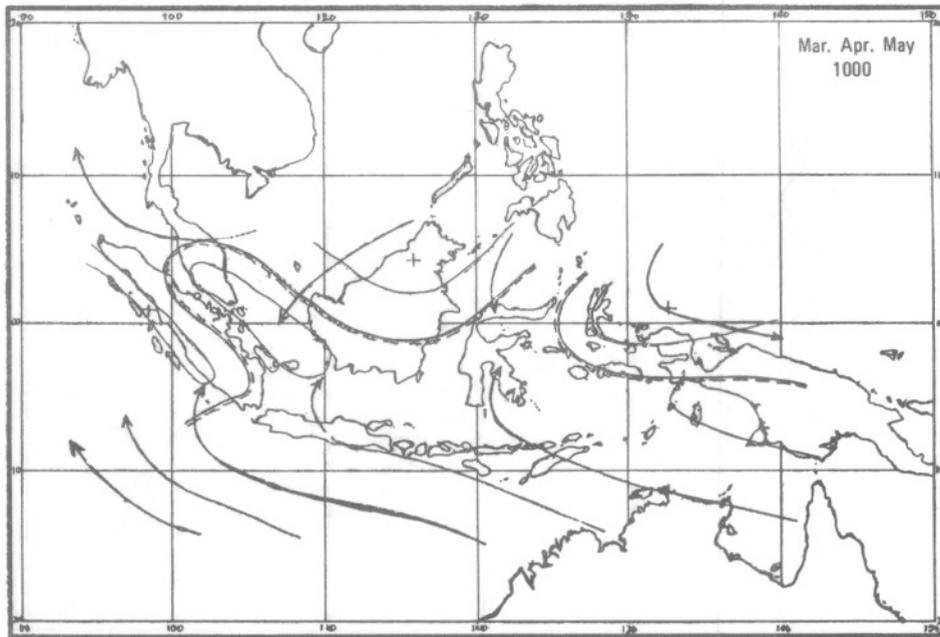


(c)

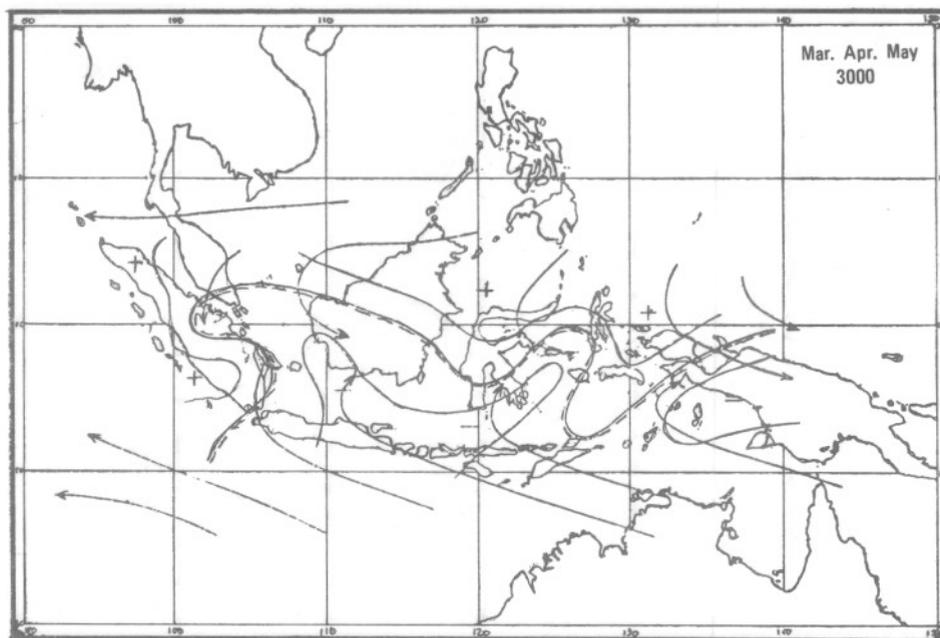


b. Average streamlines and divergence and convergence areas.

(d)

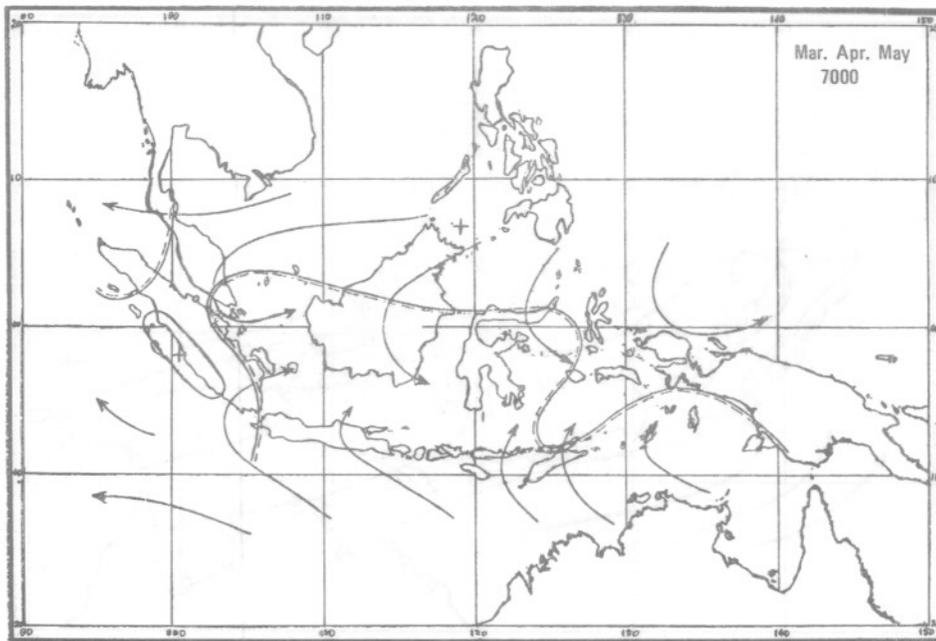


(e)

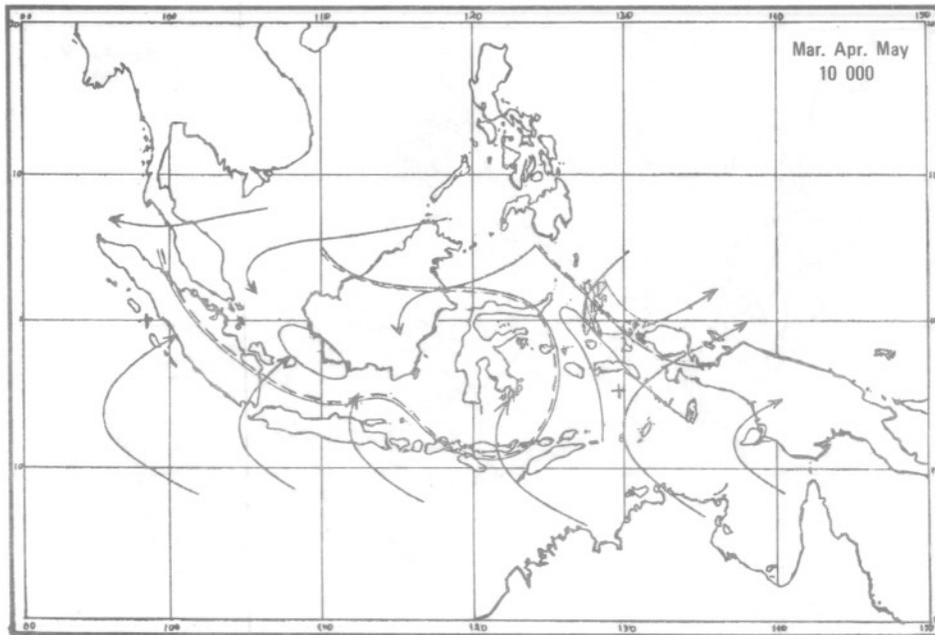


b. Average streamlines and divergence and convergence areas.

(f)

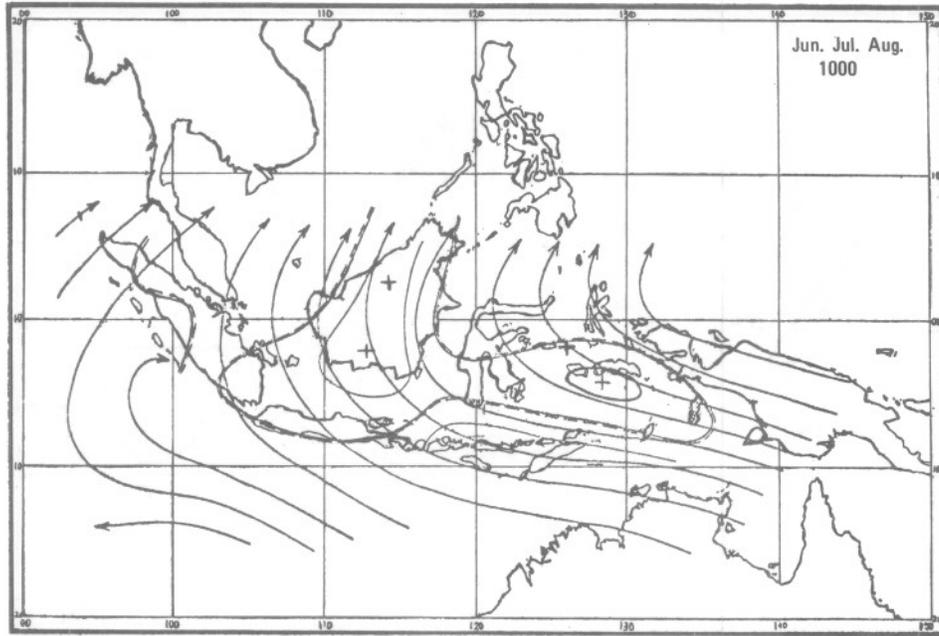


(g)

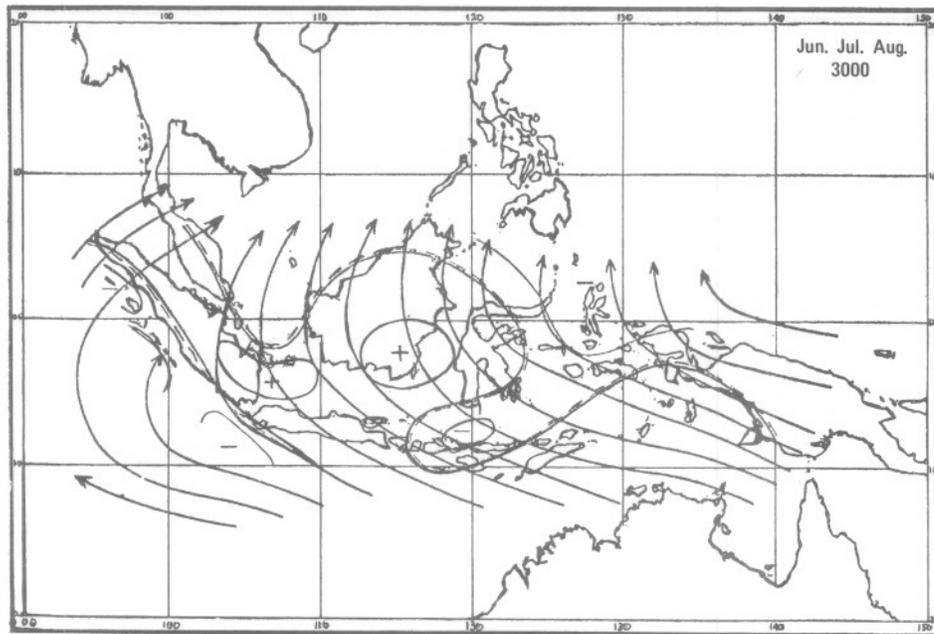


b. Average streamlines and divergence and convergence areas.

(h)

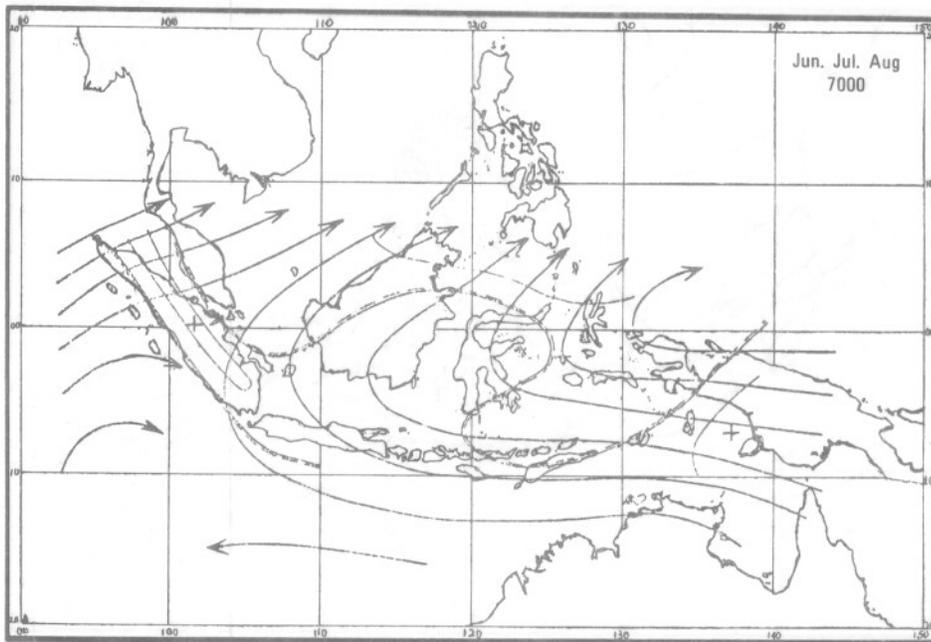


(i)

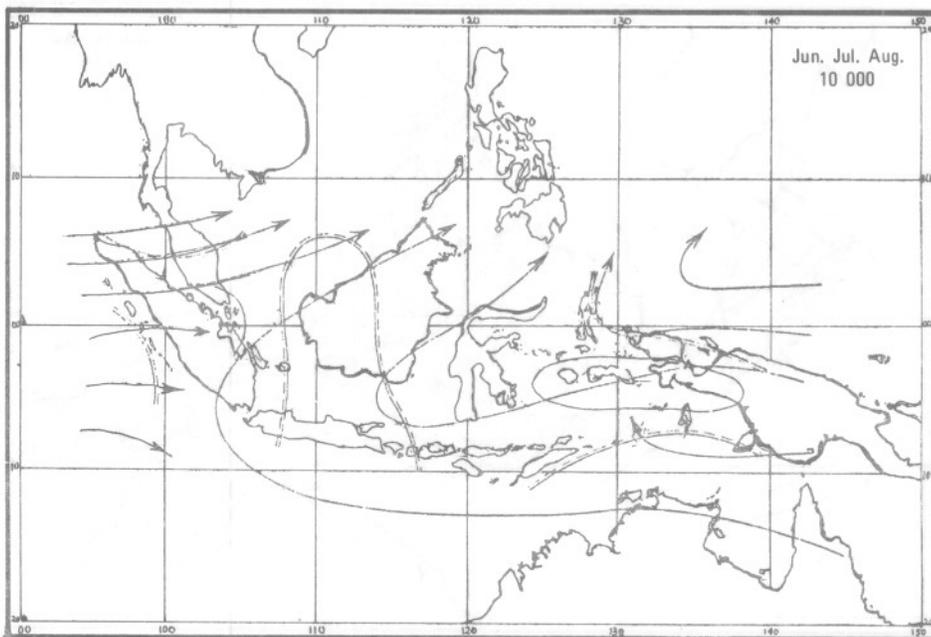


b. Average streamlines and divergence and convergence areas.

(j)

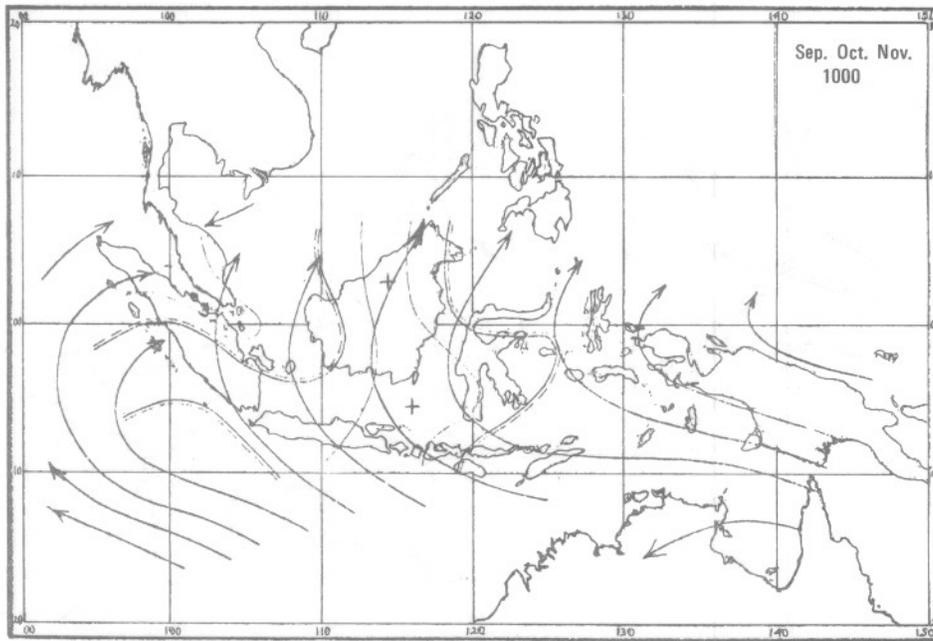


(k)

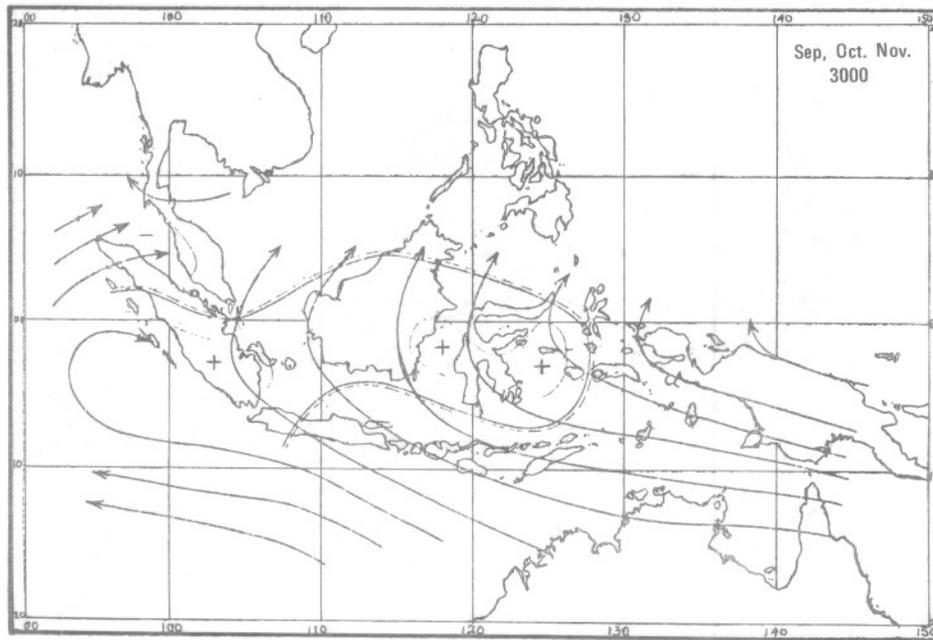


b. Average streamlines and divergence and convergence areas.

(l)

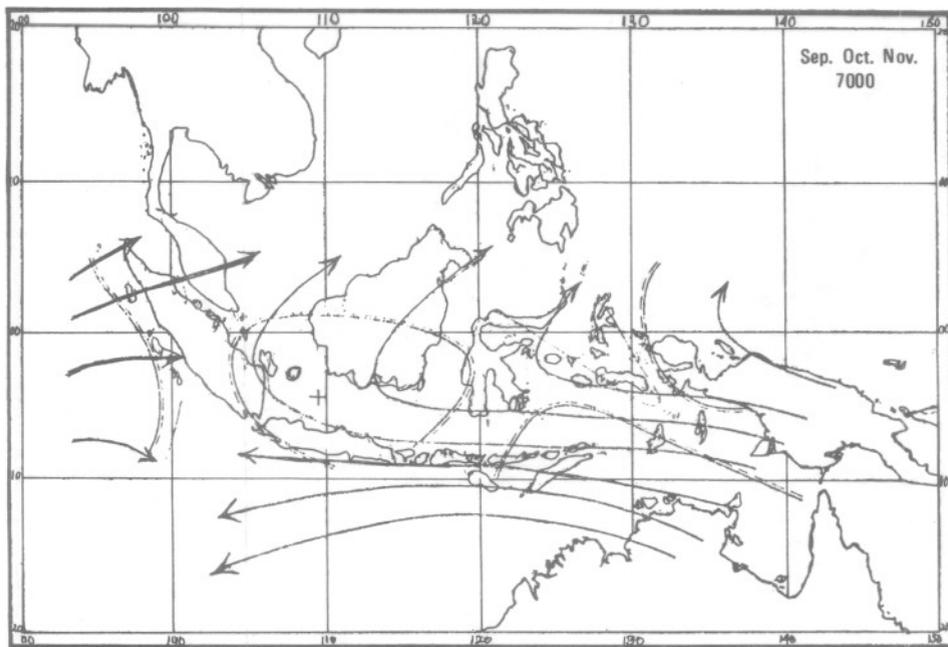


(m)

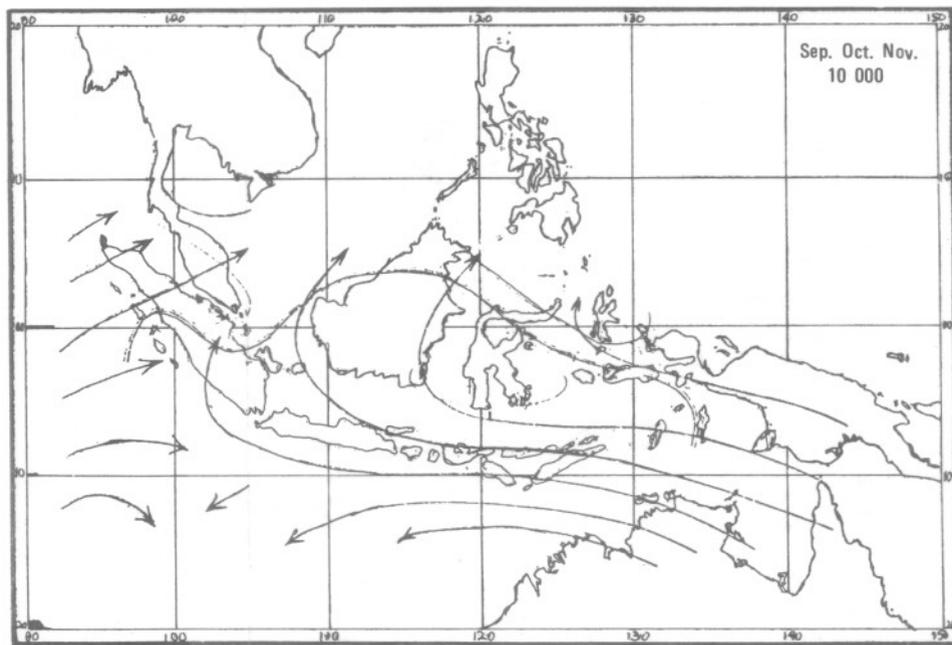


b. Average streamlines and divergence and convergence areas.

(n)

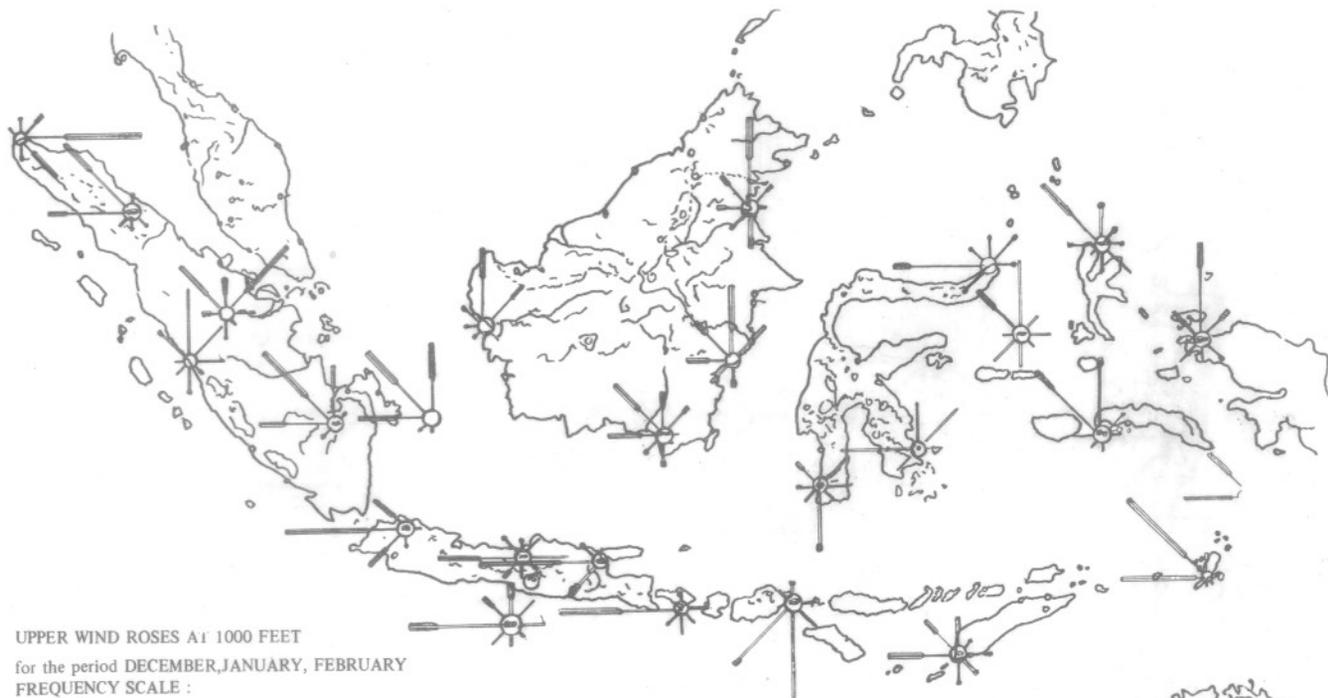


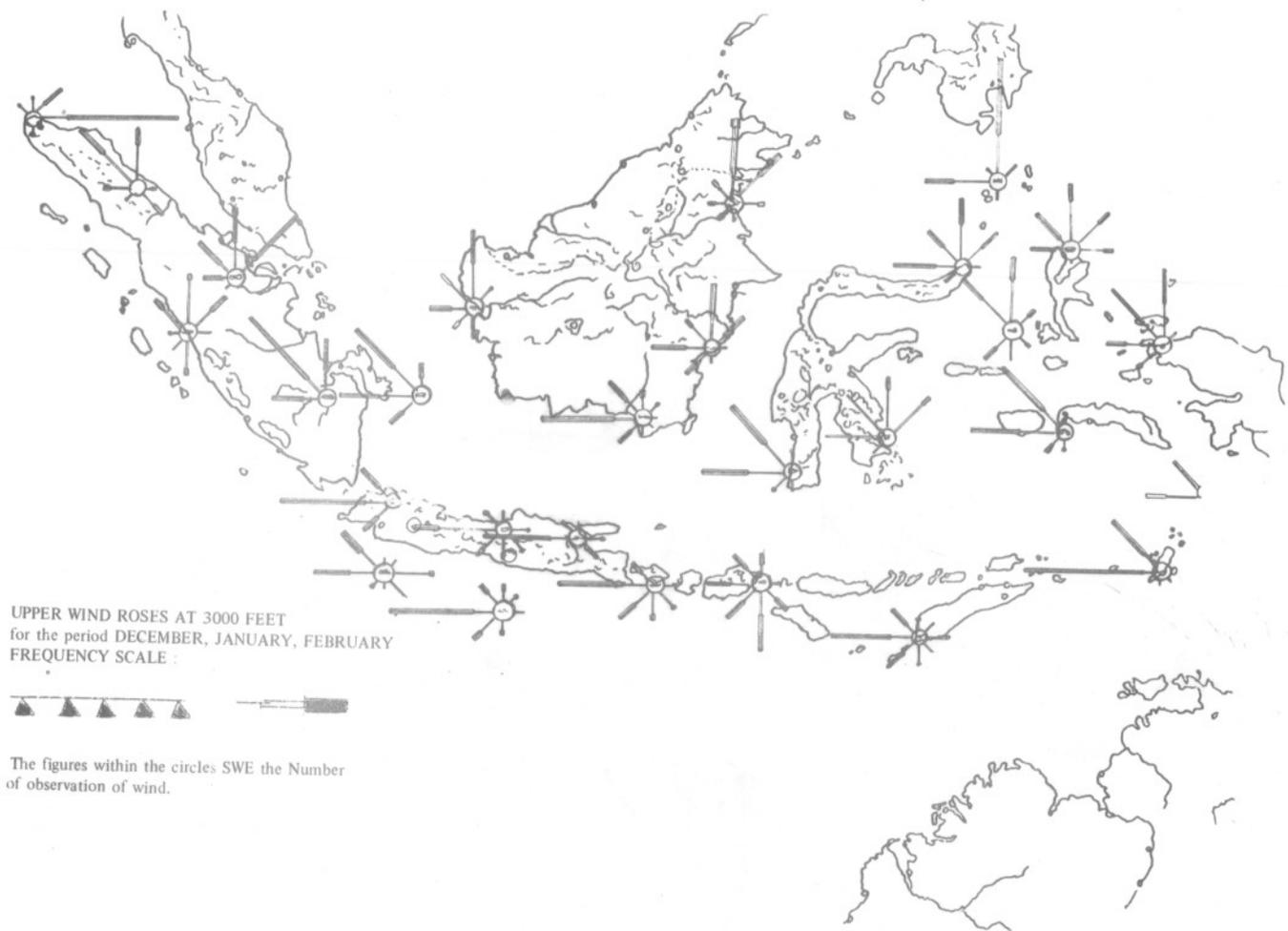
(o)

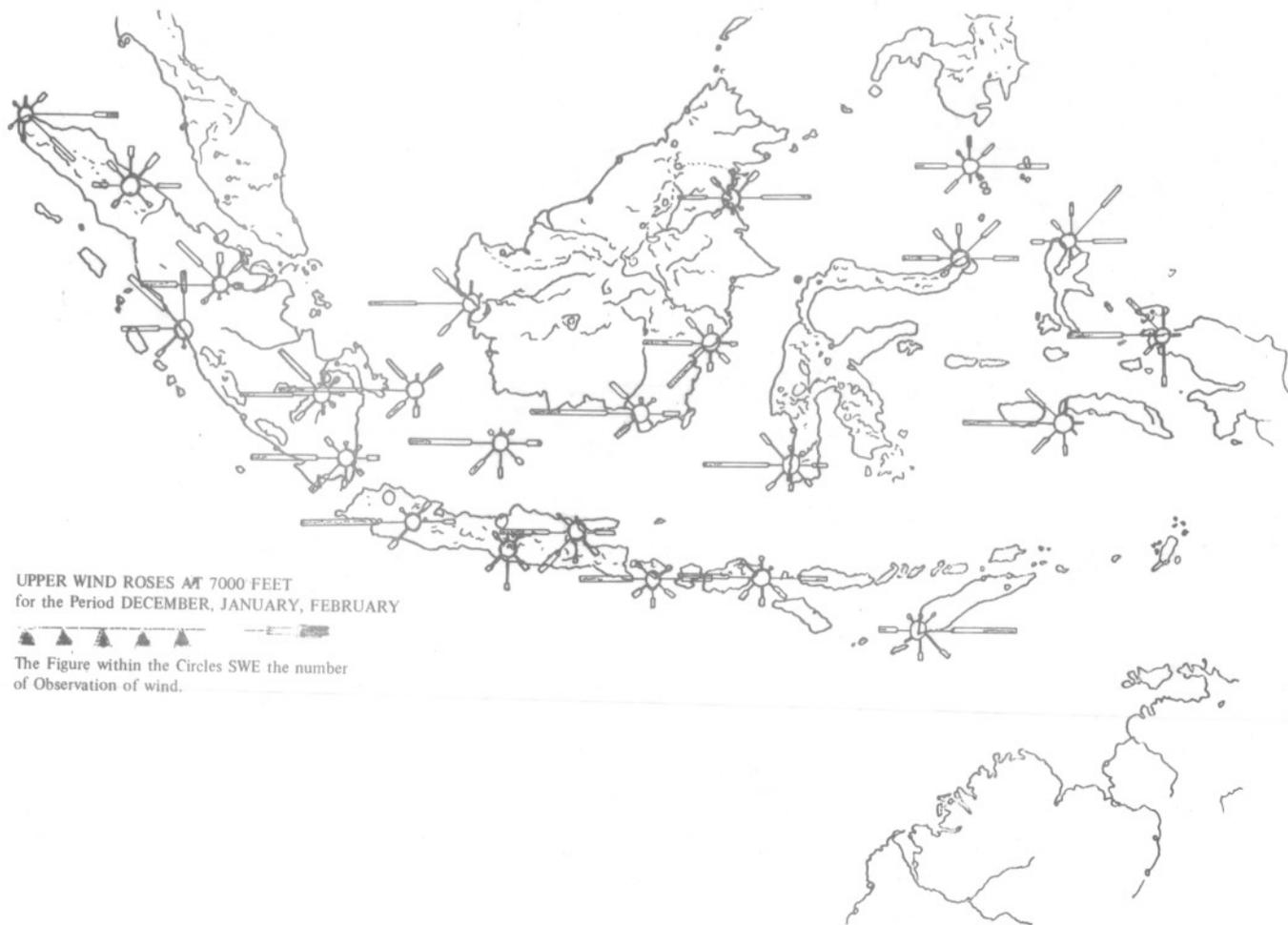


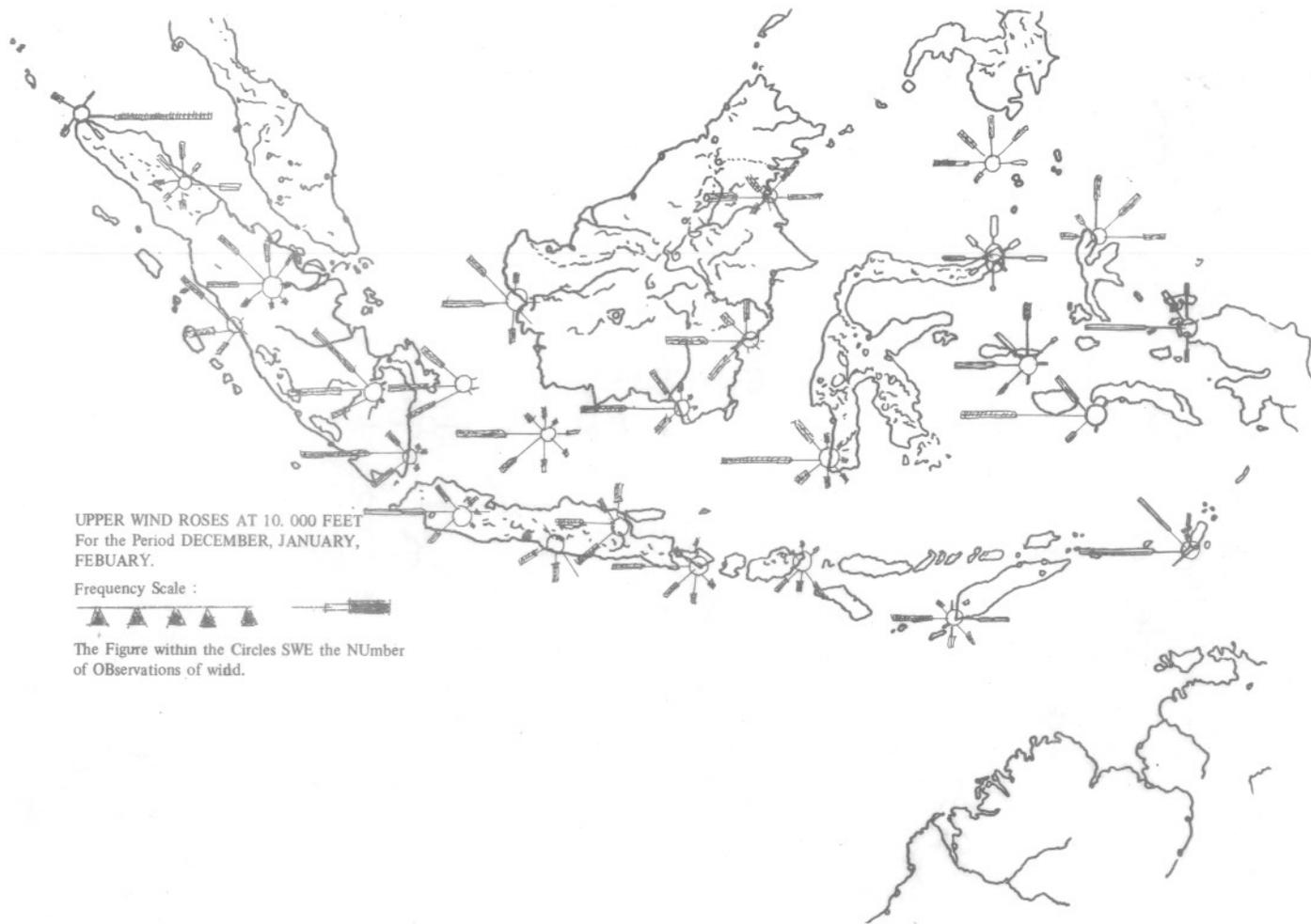
b. Average streamlines and divergence and convergence areas.

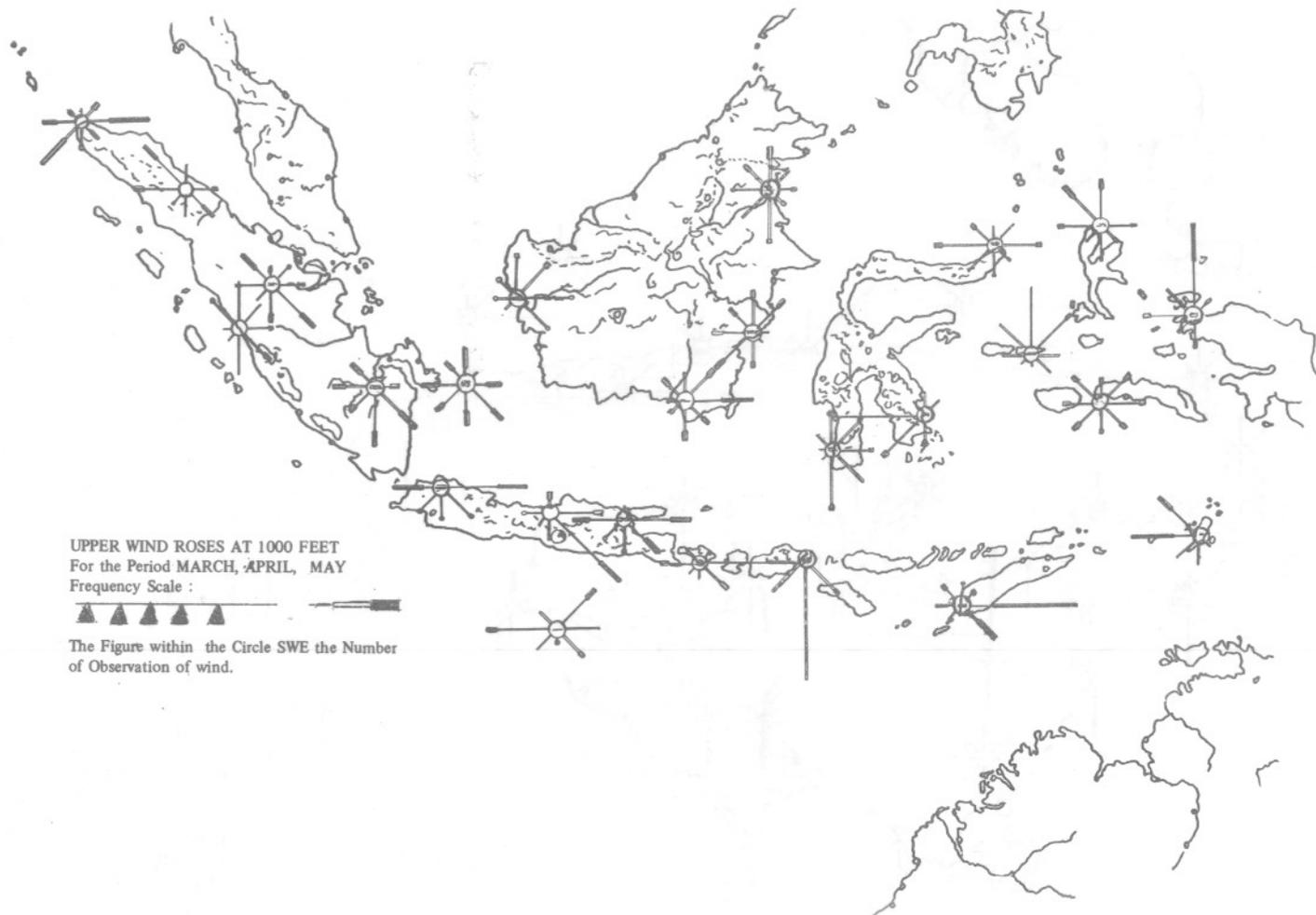
(p)

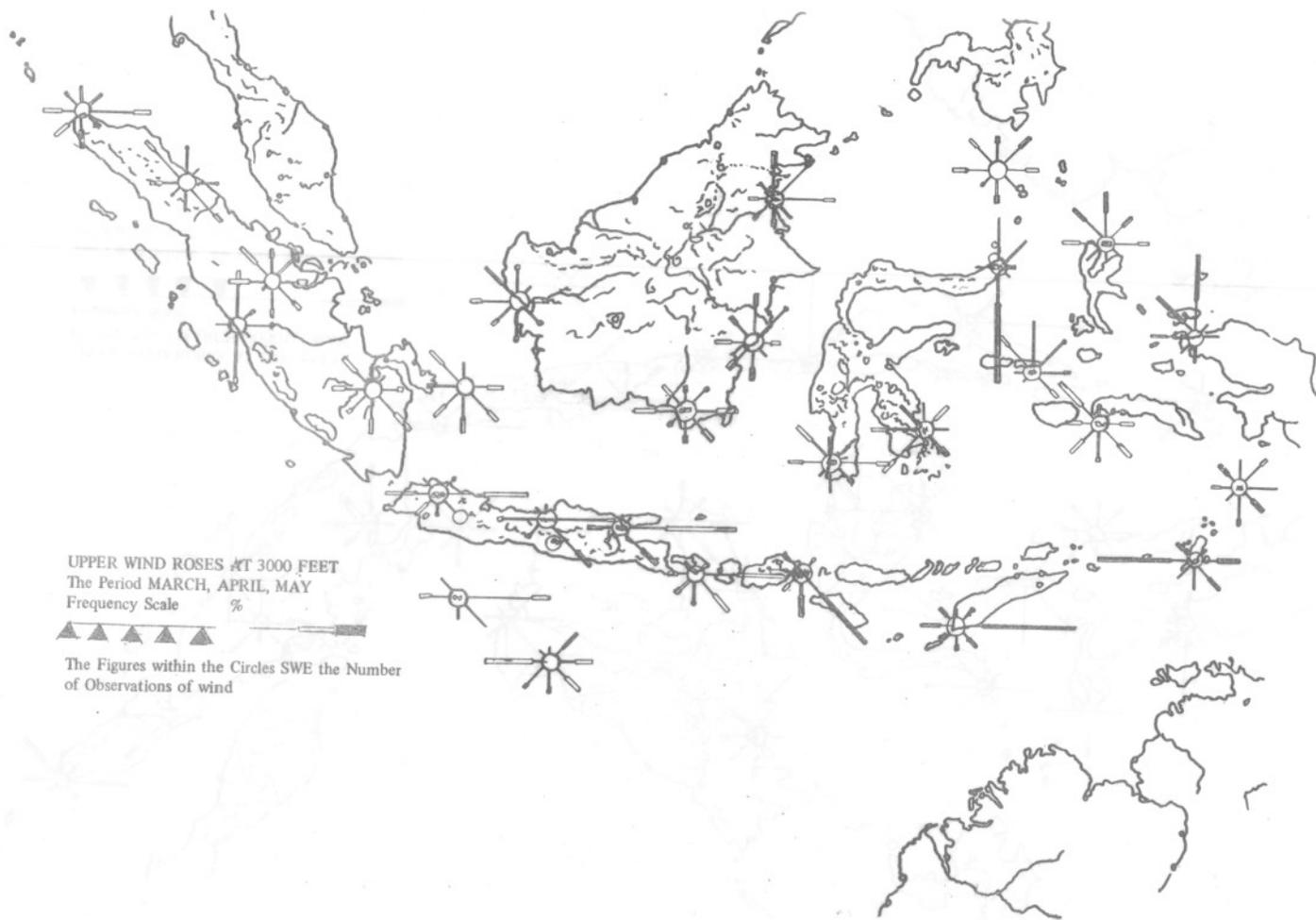


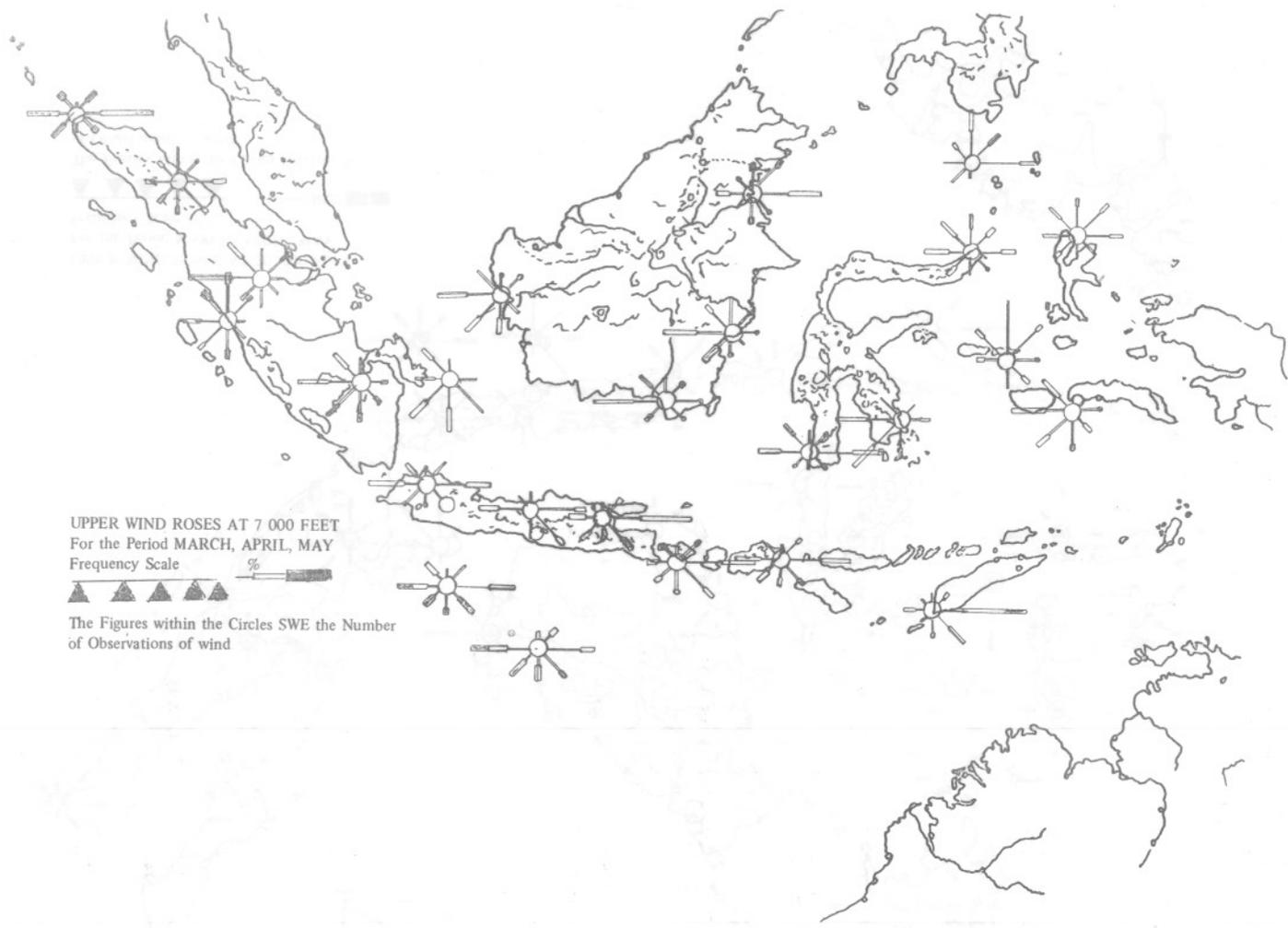


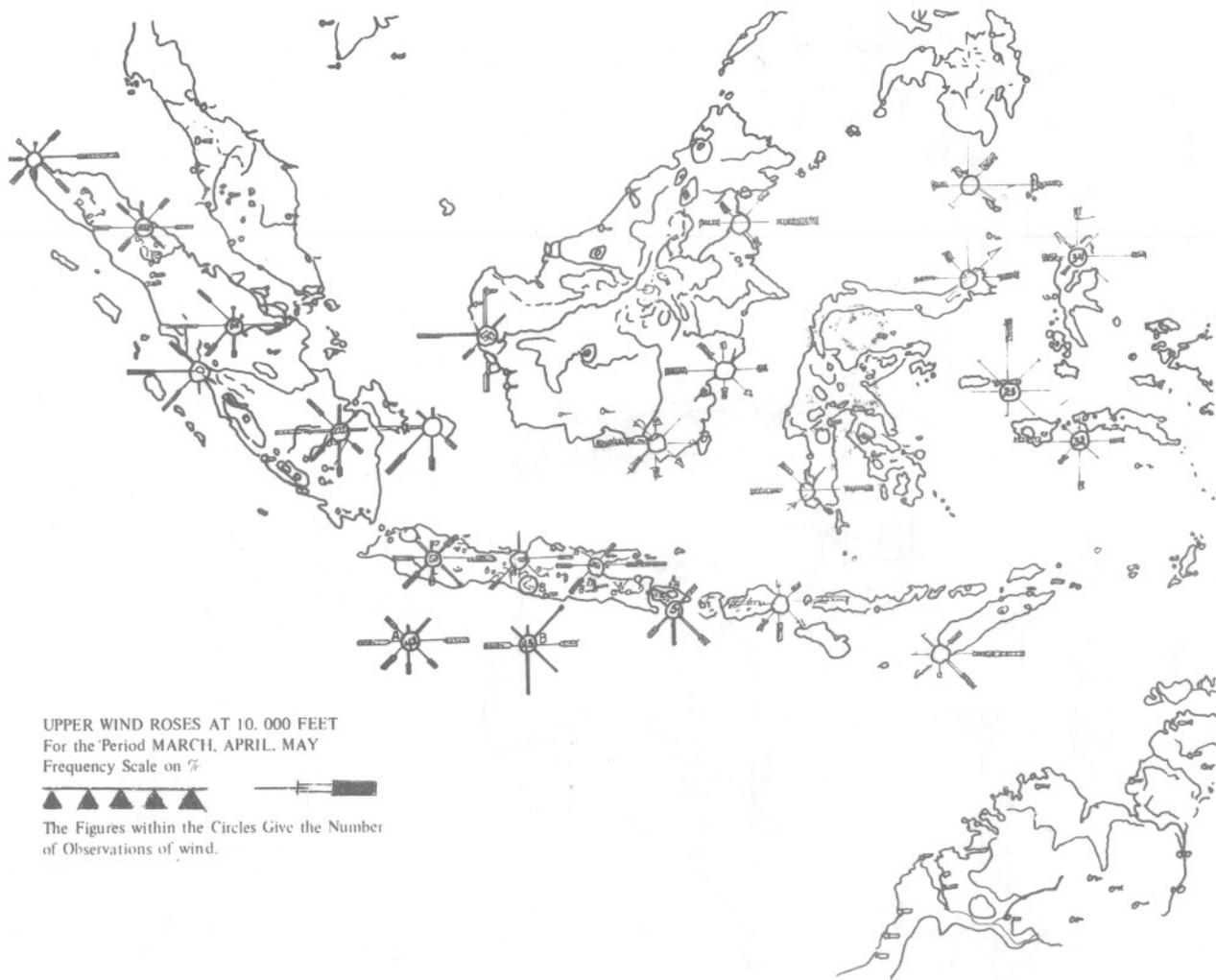


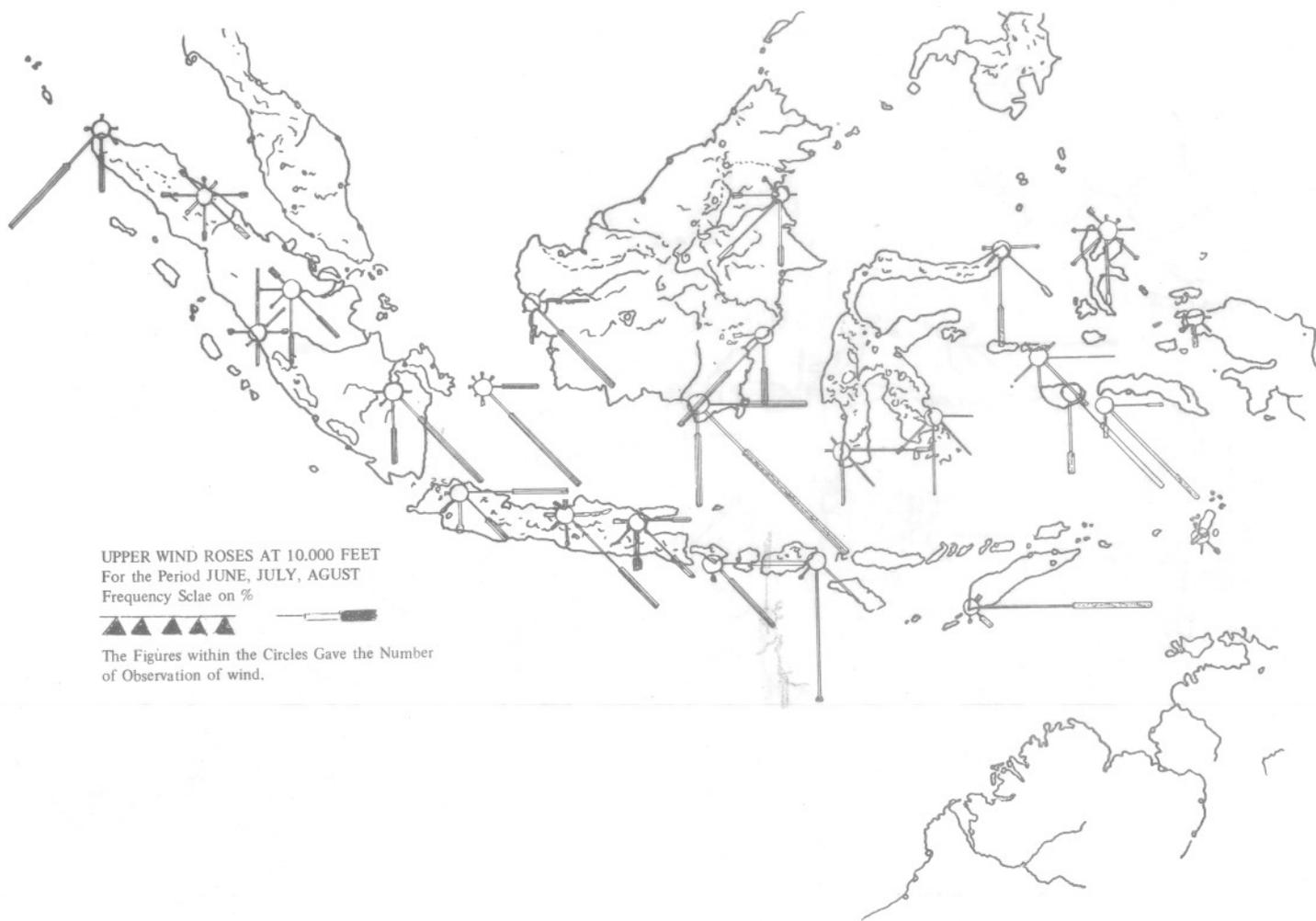


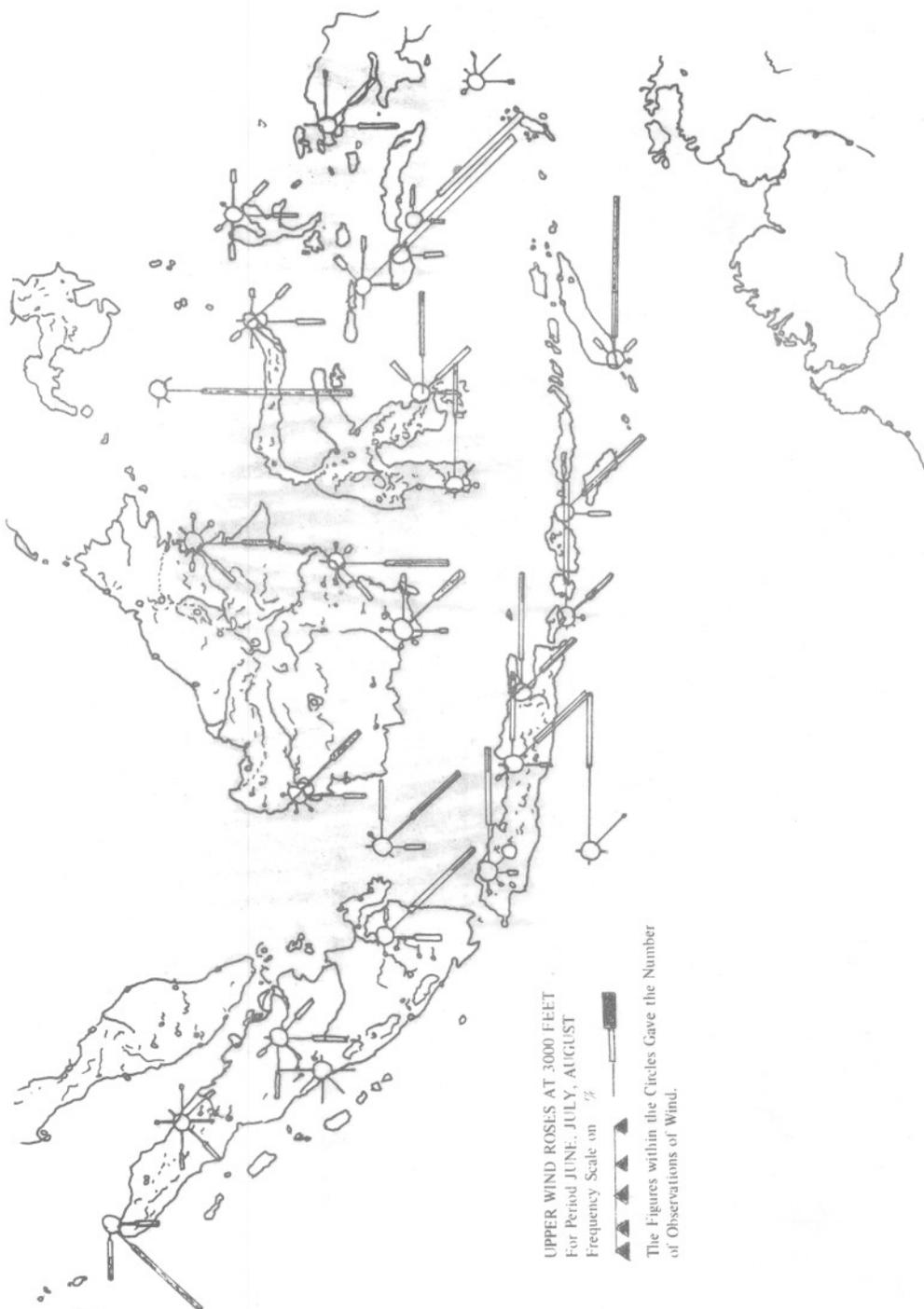






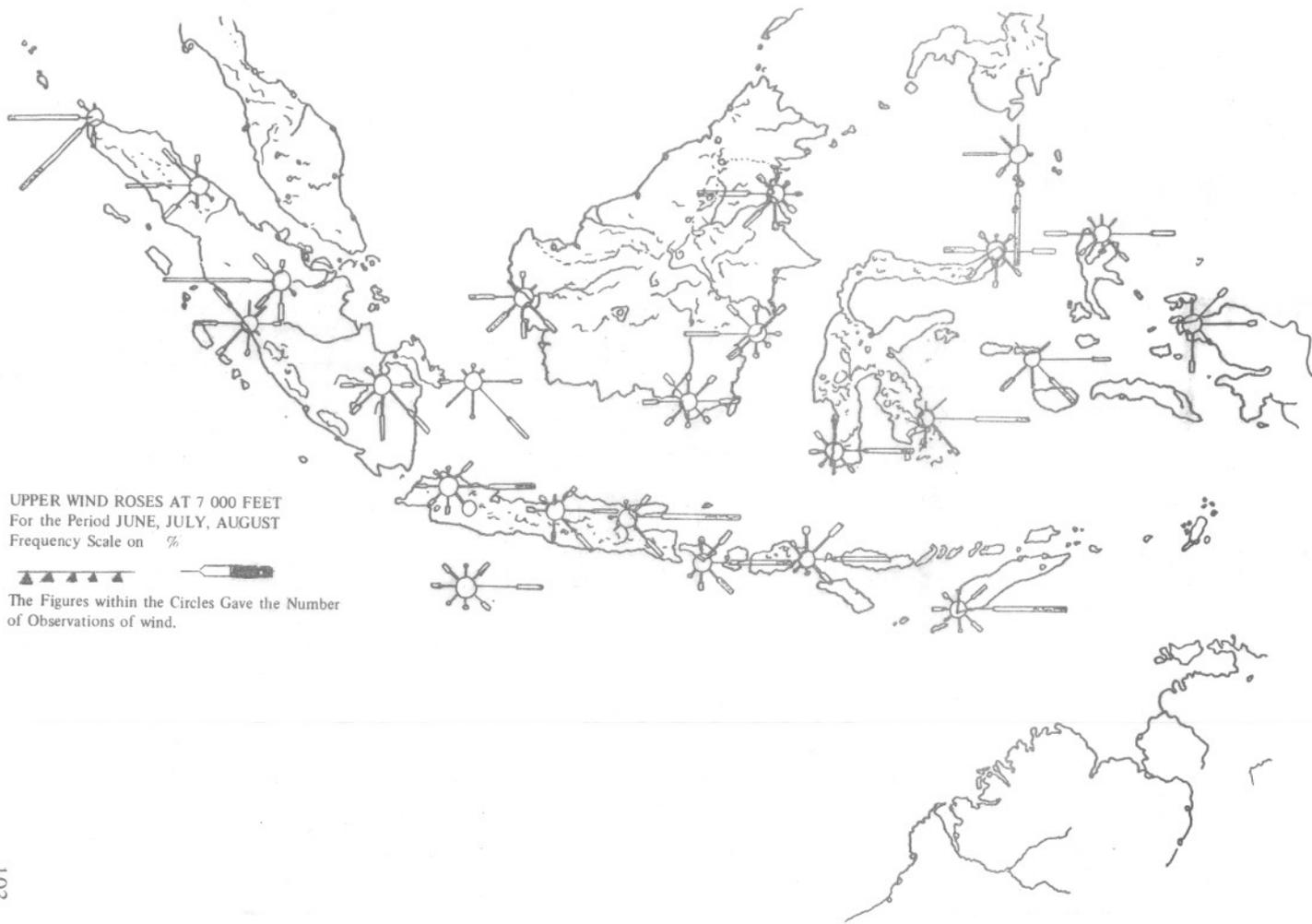


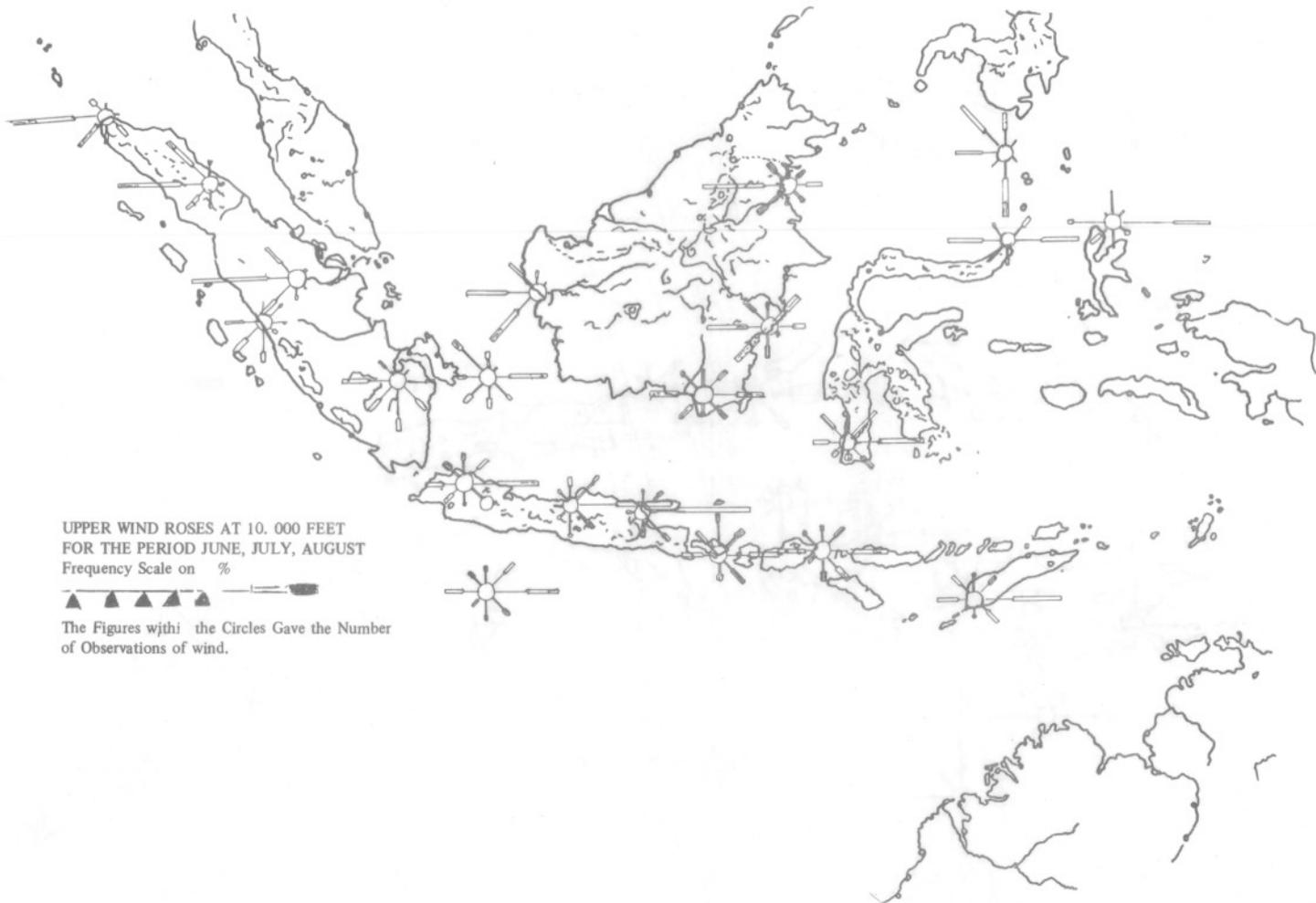


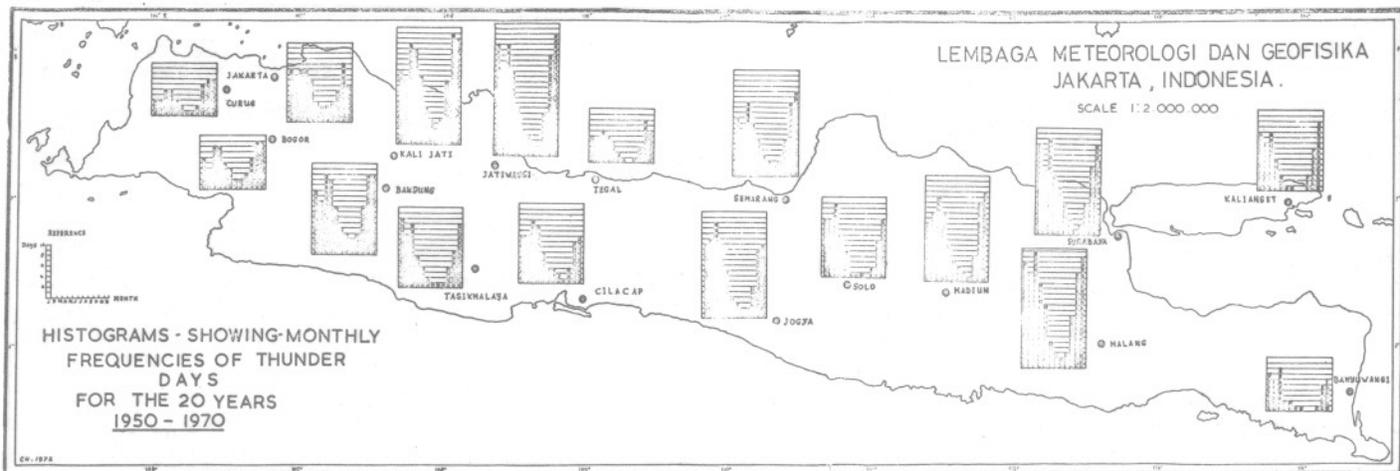


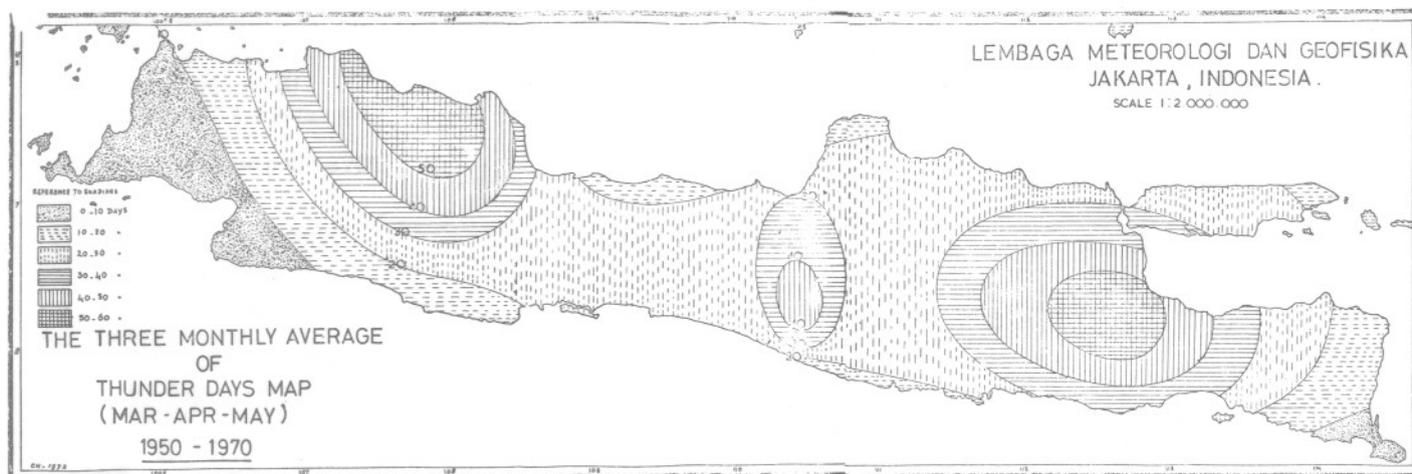
UPPER WIND ROSES AT 3000 FEET
 For Period JUNE, JULY, AUGUST
 Frequency Scale on $\frac{1}{2}$

The Figures within the Circles Give the Number
 of Observations of Wind.









GMB 7

