

**ANALISIS KOMPARATIF NILAI PARAMETER SISMOTEKTONIK
DARI HUBUNGAN MAGNITUDO-KUMULATIF DAN
NONKUMULATIF UNTUK JAWA TIMUR MENGGUNAKAN
METODE KUADRAT TERKECIL DAN METODE MAKSIMUM
LIKELIHOOD DARI DATA BMG DAN USGS
TAHUN 1973 - 2003**

SKRIPSI

**Diajukan Dalam Rangka Penyelesaian Studi Strata I
Mencapai Gelar Sarjana Sains**



Oleh:

Nama : Thesa Adi Suryani

Nim : 4104000022

Jurusan : Matematika

Program Studi : Matematika SI

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2007

ABSTRAK

Sulitnya mendeteksi perkiraan gempa bumi yang terjadi dibawah permukaan bumi menyebabkan banyak permasalahan yang cukup kompleks, sehingga menimbulkan berbagai teori mengenai gempa bumi. Salah satu teori yang dimunculkan adalah mengenai tingkat struktur bawah permukaan bumi dengan menggunakan metode statistik yaitu metode kuadrat terkecil dan metode maksimum likelihood.

Diperoleh persamaan statistik seismologi yaitu $\log N = \hat{a} - \hat{b}M + Q$ pemerkiraan yang memanfaatkan seluruh informasi mengenai parameter yang akan diperkirakan yang terkandung dalam suatu sampel dikembangkan menjadi metode-metode statistik seismologi (kejadian-kejadian di dalam bumi) yang lain. Berdasarkan metode-metode yang dipakai tersebut akan diperoleh nilai \hat{b} yang menunjukkan tingkat aktivitas gempa pada suatu wilayah.

Pendekatan penelitian melalui pengambilan sumber data dari *data base* gempa bumi BMG stasiun geofisika Tretes dan *data base* USGS, pembahasan dan analisa nilai \hat{b} dari masing-masing metode disertai perbandingan literature yang ada. Di dalam analisis data dipergunakan alat bantu berupa program Delphin.

Nilai \hat{b} diperoleh berdasarkan tabel distribusi frekuensi kumulatif dan non kumulatif. Untuk frekuensi non kumulatif dibuat suatu range agar semua distribusi gempa dapat tercakup. Nilai tersebut tinggi jika harga $\hat{b} \geq 0,7$, semakin besar nilainya semakin besar tingkat patahan pada suatu daerah.

Pada hasil penelitian diperoleh data BMG dengan MKT dari frekuensi kumulatif didapat $\hat{a} = 6,80$, $\hat{b} = 0,95$, $r = 0,92$ dan dengan MML diperoleh $\hat{a} = 5,57$, $\hat{b} = 0,74$, $r = 0,98$. Data BMG dari frekuensi non kumulatif dengan MKT diperoleh $\hat{a} = 6,04$, $\hat{b} = 0,78$, $r = 0$ dan dengan MML didapat $\hat{a} = 4,06$, $\hat{b} = 0,59$, $r = 0,90$. Data USGS dengan MKT dari frekuensi kumulatif ditunjukkan $\hat{a} = 5,73$, $\hat{b} = 0,86$, $r = 0$ dan dengan MML didapat $\hat{a} = 4,96$, $\hat{b} = 0,70$, $r = 0,98$. Data USGS dengan MKT dari frekuensi non kumulatif diperoleh $\hat{a} = 4,35$, $\hat{b} = 0,56$, $r = 0$ dan dari dengan MML didapat $\hat{a} = 1,55$, $\hat{b} = 0,19$, $r = 0,33$.

Jadi ada perbedaan nilai parameter seismotektonik dari hubungan magnitude kumulatif dan nonkumulatif untuk Jawa Timur dengan menggunakan metode kuadrat terkecil dan metode maksimum likelihood dari data BMG dan USGS secara nyata tahun 1973 – 2003 sehingga hasil pengolahan data BMG dari frekuensi kumulatif dengan MML lebih baik dibandingkan dengan MKT dari frekuensi kumulatif data USGS karena alat pencatat daya tangkap gempa BMG berada diwilayah Jawa Timur lebih akurat dibanding dengan USGS yang berada di AS dan Wilayah Jawa Timur menunjukkan suatu daerah yang struktur batuan mempunyai tingkat patahan yang cukup tinggi.

Halaman Pengesahan

Skripsi dengan judul **Analisis Komparatif Nilai Parameter Sismotektonik dari Hubungan Magntudo Kumulatif dan NonKumulatif untuk Jawa Timur Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil dan Metode Maksimum Likelihood dari Data BMG dan USGS Tahun 1973 – 2003** yang telah dipertahankan dihadapan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang pada:

Hari : Jumat
Tanggal : 30 Maret 2007

Panitia Ujian

Ketua

Sekretaris

Drs. Kasmadi Imam S.,M. S
NIP.130781011

Pembimbing Utama

Drs. Supriyono, M. Si
NIP. 130815345

Ketua Penguji

Prof. Dr. Y. L. Sukestiyarno, M. S
NIP. 131404322

Pembimbing Pembantu

Dra. Nurkaromah D., M. Si
NIP. 131876228

Anggota Penguji I

Drs. Zaenuri Mastur, SE., A, Kt, M. Si
NIP. 131785185

Prof. Dr. Y. L. Sukestiyarno, M. Si
NIP. 131404322

Anggota Penguji II

Drs. Zaenuri Mastur, SE., A, Kt, M. Si
NIP. 131785185

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

- ❖ *Janganlah kamu berjalan dibumi ini dengan kesombongan karena sesungguhnya kamu sekali-kali tidak dapat menembus bumi dan sekali-kali tidak akan sampai setinggi gunung. (Ibra)*
- ❖ *Cintai dan hargailah hidupmu seperti kau mencintai kedua orang tua, saudarmu dan teman-temanmu*
- ❖ *Sesungguhnya Allah SWT tidak akan melihat muka dan wajahmu tetapi Alla SWT akan melihat hatimu dan amalmu.*

*Kupersembahkan skripsi ini untuk:
Suamiku dan anakku beserta Bapak Ibuku
Kakak-kakakku tersayang beserta keluarga
Serta teman-temanku*

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah atas rahmat dan ridhoNya, sehingga penulis telah berhasil menyusun skripsi ini dengan baik. Penyusunan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Sains pada program Studi Matematika di Universitas Negeri Semarang.

Adalah suatu kebanggaan karena dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini yang tentunya tidak terlepas dari dukungan semangat serta segenap sumbangsih dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. Sudijono Sastroatmodjo, M. Si., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. Kasmadi Imam S, M. S, Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
3. Drs. Supriyono, M. Si, Ketua Jurusan Matematika.
4. Prof. Drs. Y. L. Sukestiyarno, M. S, dosen pembimbing utama yang telah mendampingi serta memberikan masukan berupa informasi, saran dan kritik yang sangat berharga.
5. Drs. Zaenuri Mastur, M. Si, dosen pembimbing pendamping yang selalu mempercepat atau tidak mempersulit dalam proses bimbingan.
6. Ariska Rudyanto S. Si, pembimbing lapangan beserta staf (BMG) Tretes yang telah memberikan kesempatan dan kemudahan ntuk penelitian.
7. Retnoadi suamiku dan bapak ibu serta kakak-kakakku yang telah memberikan banyak waktu, perhatian, semangat, nasehat dan kesabaran dalam membantu penyelesaian skripsi ini.
8. Anita, Palupi dan Denar sahabat kuliahku dan teman-teman yang selau memberikan semangat dan dorongan hingga selesainya skripsi ini.
9. Semua pihak yang telah membantu terselesainya penulisan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Semoga amal baik yang telah berjasa membantu dalam penyelesaian skripsi ini mendapat ridho dan berkah dari Allah SWT, amin.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin menyajikan skripsi dalam format dan isi yang sebaik-baiknya. Namun penulis menyadari sebagai manusia yang tak luput dari kesalahan dan kekurangan, bahwa masih banyak kekurangan dan kelemahan dalam skripsi ini. Saran dan usulan ataupun kritikan untuk penyempurnaan skripsi ini penulis akan menerima dengan hati terbuka.

Besar harapan penulis semoga skripsi ini dapat dikembangkan dan bermanfaat bagi pembaca.

Semarang, Maret 2007

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	.....	i
ABSTRAK	.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	.....	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	.....	iv
KATA PENGANTAR	.....	v
DAFTAR ISI	.....	vii
DAFTAR GAMBAR	.....	ix
DAFTAR TABEL	.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	.....	xi
BAB I PENDAHULUAN		
A. Latar Belakang	.....	1
B. Perumusan Masalah	.....	5
C. Tujuan Penelitian	.....	6
D. Sistematika Skripsi	.....	6
BAB II LANDASAN TEORI		
A. Sejarah Singkat BMG	.....	8
B. Stasiun Geofisika Tretes	.....	12
C. Interior Bumi	.....	13
D. Gempa Bumi	.....	14
E. Gelombang Seismik	.....	16
F. Geografis Penyebaran Gempa Bumi	.....	20
G. Parameter Gempa Bumi	.....	21
H. Matrik	.....	23
I. Metode Kuadrat Terkecil dan Metode Likelihood Maksimum	.....	27
J. Kerangka Berpikir	.....	33
BAB III METODE PENELITIAN		
A. Studi Pustaka	.....	35
B. Analisis Data	.....	35

C. Penarikan Simpulan	.....	38
BAB IV HASIL PENELITIAN		
A. Hasil Penelitian	.....	39
B. Pembahasan	.....	43
BAB V PENUTUP		
A. Simpulan	.....	46
B. Saran	.....	46
DAFTAR PUSTAKA	.....	47
LAMPIRAN	.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Bumi	13
Gambar 2. Penjalaran Gelombang pada Permukaan Bumi	18
Gambar 3. Tahap Penelitian	36

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis Batuan Wilayah Jawa Timur	3
Tabel 2. Data Magnitudo dan Frekuensi Gempa Jawa Timur berdasarkan data USGS....	39
Tabel 3. Data Magnitudo dan Frekuensi Gempa Jawa Timur berdasarkan data BMG....	40
Tabel 4. Data Magnitude dan Frekuensi NonKumulatif Gempa Jawa Timur berdasarkan data BMG	41
Tabel 5. Data Hasil Pengolahan Data Gempa USGS Frekuensi Kumulatif	42
Tabel 6. Data Hasil Pengolahan Data Gempa USGS Frekuensi NonKumulatif	42
Tabel 7. Data Hasil Pengolahan Data Gempa BMG Frekuensi Kumulatif	42
Tabel 8. Data Hasil Pengolahan Data Gempa BMG Frekuensi NonKumulatif	43

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dewasa ini perkembangan ilmu pengetahuan dalam dunia pendidikan semakin pesat dan seakan terus dituntut untuk selalu meningkatkan mutu baik secara kualitas maupun kuantitas. Ilmu pengetahuan matematika terutama statistika sekarang tidak diragukan lagi peranannya. Peranan matematika antara lain terlihat dalam kehidupan sehari-hari, dalam penelitian atau riset dan dalam ilmu pengetahuan. Matematika juga berperan untuk manfaat bidang ilmu lain seperti ekonomi, sosiologi, pertanian, geologi, dan sebagainya.

Salah satu penerapan matematika terutama statistika dalam bidang lain yaitu geologi. Geofisika adalah ilmu yang mempelajari tentang bumi dengan menggunakan prinsip fisika. Secara khusus perkembangan ilmu geofisika sebagian mengarah ke teknologi, dalam teknologi dibutuhkan tehnik-tenik mengukur yang menggunakan metode matematika seperti penggunaan metode kuadrat terkecil dan likelihood maksimum dalam menentukan parameter seismotektonik.

Indonesia merupakan salah satu negara di dunia yang mempunyai tingkat gempa sangat tinggi. Hal ini disebabkan Indonesia terletak diantara tiga lempeng tektonik besar yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Ketiga lempeng ini bergerak relatif antara yang satu dengan yang lain secara waktu geologi. Ketiga lempeng tektonik tersebut banyak terjadi patahan regional dan lokal.

Indonesia juga merupakan tempat tumbuhnya gejala geologi tektonik baru antara gerakan kerak bumi masa kuartar dengan zona seismik, sehingga wajar kalau

Indonesia merupakan kawasan rawan gempa bumi. Salah satu daerah di Indonesia dengan tingkat aktivitas gempa yang cukup tinggi adalah Wilayah Propinsi Daerah Tingkat I Jawa Timur. Jawa Timur yang memiliki luas $\pm 157.922 \text{ km}^2$ dengan mencakup sekitar 47.922 km^2 wilayah daratan dan sekitar 110.000 km^2 wilayah lautan. Dari keseluruhan luas wilayah Jawa Timur juga termasuk kepulauan yang berjumlah kurang lebih 80 buah pulau. Propinsi Jawa Timur terletak pada lokasi $110^{\circ}54'$ BT dan $5^{\circ}37'$ LS sampai $8^{\circ}48'$ LS. Wilayah Jawa Timur untuk bagian utara dibatasi oleh daerah kepulauan masa lembu (pulau Karamian) yang terletak jauh di sebelah utara (± 151 mil laut dari pelabuhan Kalianget) yang lokasinya hampir di pertengahan pulau Jawa dengan pulau Kalimantan. Sedangkan batas timur kepulauan Kangean (pulau Sakala) yang terletak di sebelah utara timur pulau Bali dengan jarak ± 165 mil dari pelabuhan Kalianget. Sebelah barat dan selatan dibatasi oleh daerah Propinsi Jawa Tengah dan Samudera Indonesia.

Berdasarkan data Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BaPenas), keadaan wilayah geologi Jawa Timur didominasi oleh batuan jenis alluvium dan bentukan hasil gunung berapi kwarter muda. Kedua jenis batuan tersebut meliputi 44,51% dari seluruh wilayah Jawa Timur. Sedangkan jenis batuan yang juga relatif sangat luas penyebarannya adalah jenis batuan miosen. Jenis batuan ini menempati sekitar 12,33% dari wilayah daratan Jawa Timur. Untuk jenis batuan dari hasil gunung api kwarter tua menempati 9,78% dari luas total wilayah daratan Jawa Timur. Sementara jenis-jenis batuan yang lain hanya mempunyai proporsi antara 0 – 7 % saja.

Untuk jenis batuan sedimen alluvilium tersebar sepanjang sungai Brantas dan Bengawan Solo yang merupakan daerah subur. Batuan hasil gunung api kwarter muda tersebar di bagian tengah wilayah Jawa Timur membujur ke arah timur yang merupakan daerah yang relatif subur. Jenis batuan Miosen tersebar di sebelah selatan dan utara wilayah Jawa Timur membujur ke arah timur yang merupakan daerah kurang subur. Untuk daerah Madura, jenis batuan Miosen merupakan batuan yang dominan yang ditemukan di sana dan utamanya merupakan batuan jenis gamping. Secara lengkap komposisi batuan yang ada di wilayah Jawa Timur disajikan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Jenis Batuan Wilayah Jawa Timur

No.	Jenis Batuan	Luas (Ha)	%
1.	Miosen Fasies Sedimen	634.021,8	12,23
2.	Miosen Fasies Batu Gamping	331.885,4	6,93
3.	Alluvilium	1.083.101,8	22,6
4.	Alluvilium Fasies Gunung Api	22.668,0	0,47
5.	Hasil Gunung Api Kwarter Tua	468.697,0	9,78
6.	Hasil Gunung Api Kwarter Muda	1.049.810,0	21,91
7.	Hasil Gunung Api (tak teruraikan)	229.059,0	4,78
8.	Plistosen Fasies Sedimen	117.743,0	2,46
9.	Plistosin Fasies Batu Gamping	256.450,0	5,35
10.	Plistosin Fasies Gunung Api	76.320,0	1,59
11.	Andesit	80.053,0	1,67
12.	Pliosin Fasies Sedimen	76.359,0	1,59
13.	Pliosin Fasies Batu Gamping	92.216,0	1,92
14.	Batuan Mengandung Leusit	260.793,0	5,44
15.	Granite	11.950,0	0,25
16.	Dasite	1.100,0	0,03
	Jumlah	4.792.248,0	100,00

Sumber: (Badan Pembangunan Nasional Kanwil Jawa Timur, 1995)

Guna mobilisasi bantuan sedini mungkin, diperlukan informasi mengenai gempa secepat mungkin. Hal ini telah dapat dilaksanakan BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika), yang bernaung dibawah Departemen Perhubungan Republik

Indonesia. Dalam menentukan lokasi sumber gempa diperlukan data-data yang diperoleh dari stasiun-stasiun pemantau gempa yang membentuk suatu jaringan (*network*). Ketelitian penentuan lokasi gempa akan sangat tinggi bila pusat gempa terletak di dalam jaringan tersebut, sebaliknya semakin jauh jarak pusat gempa tersebut terhadap jaringan semakin besar presentase penyimpangan penentuan lokasinya.

Dengan dioperasikannya jaringan tersebut, BMG beserta jajarannya akan mampu menentukan pusat gempa dalam waktu kurang lebih 30 menit. Sehingga penyampaian informasi gempa ke segenap instansi terkait dan pihak-pihak berwenang segera dapat dilakukan. Suatu informasi yang bermanfaat mengenai daerah-daerah yang rawan terhadap bencana gempa bumi sehingga dapat dilakukan antisipasi baik oleh pemerintah maupun masyarakat di masa mendatang akan akibat sekunder dari gempa bumi.

Terjadinya gempa tidak tergantung pada waktu sehingga dapat diambil pandangan bahwa tahun berapapun gempa yang terjadi di suatu daerah dapat diambil suatu pengujian statistika mengenai tingkat patahan pada suatu daerah tertentu tanpa mempengaruhi hasil yang diperoleh. Hipotesis gempa bumi hanya dapat diuji dengan kejadian gempa bumi yang memerlukan waktu lama dengan menunggu kejadian gempa bumi selanjutnya.

Hal ini perlu untuk studi banding pengujian statistik nilai b (parameter seismotektonik) dari hubungan magnitudo-frekuensi gempa bumi untuk mengetahui tingkat rawan tidaknya dari bencana gempa yang tinggi dan patahan secara nyata pada daerah Jawa Timur dan sekitarnya. Dalam menentukan nilai parameter

seismotektonik (b value) akan digunakan dua metode yaitu metode kuadrat terkecil dan likelihood maksimum.

Data yang cepat untuk mendeteksi adanya gejala gempa adalah data dari BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika) dan USGS (United State Geological Survey) dengan magnitudo ≥ 4 dan kedalaman $h \leq 100$ Km (Sulaiman, 2002: 12). Dari uraian yang telah disebutkan maka judul yang akan diambil adalah: Analisis Komparatif Nilai Parameter Seismotektonik Dari Hubungan Magnitudo-Kumulatif Dan Non Kumulatif Untuk Daerah Jawa Timur Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil Dan Metode Maksimum likelihood Dari Data BMG Dan USGS Tahun 1973 - 2003.

B. Perumusan Masalah

Dari uraian latar belakang di atas maka permasalahan yang akan dibahas adalah apakah terdapat perbedaan nilai parameter seismotektonik (b) yang ditentukan dari hubungan magnitudo-kumulatif dan non kumulatif untuk Jawa Timur dengan menggunakan metode kuadrat terkecil dan metode maksimum likelihood dari data BMG dan USGS secara nyata tahun 1973 - 2003?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui komparasi nilai parameter seismotektonik yang ditentukan dari hubungan magnitudo-kumulatif dan non kumulatif untuk Jawa Timur dengan menggunakan metode kuadrat terkecil dan

metode maksimum likelihood dari data BMG dan USGS secara nyata tahun 1973 - 2003.

D. Sistematika Skripsi

Sistematika skripsi:

1. Bagian Pendahuluan Skripsi

Bagian ini memuat halaman judul, abstrak, pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar lampiran

2. Bagian Isi Skripsi, berisi:

BAB I Pendahuluan

Bagian pendahuluan berisi alasan pemilihan judul, permasalahan, tujuan penelitian, dan sistematika skripsi.

BAB II Landasan Teori dan Hipotesis

Landasan teori berisi tentang sejarah singkat BMG, stasiun geofisika Tretes, interior bumi, gempa bumi, gelombang seismik, geografis penyebaran gempa bumi, parameter gempa bumi, matriks, metode kuadrat terkecil, metode maksimum likelihood, dan kerangka berfikir.

BAB III Metode Penelitian

Dalam bab ini diuraikan mengenai studi pustaka, perumusan masalah, pemecahan masalah, analisis data dan penarikan simpulan.

BAB IV Pembahasan

Pembahasan berisi data, hasil penelitian dan pembahasan.

BAB V Penutup

Dalam bab ini akan dikemukakan mengenai Simpulan dan saran.

3. Bagian Akhir Skripsi

Bagian ini berisi daftar pustaka dan lampiran-lampiran.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Sejarah Singkat BMG

Organisasi Meteorologi dan Geofisika di Indonesia didirikan pada tahun 1886 oleh Pemerintah Hindia Belanda. Berdasarkan data yang ada, sejarah perkembangan Badan Meteorologi dan Geofisika sejak berdirinya hingga sekarang sebagai berikut

1. De Meteorologische en Geophysische Dienst

Organisasi Meteorologi dan Geofisika sejak berdirinya 1886 sampai tahun 1941 bernama De Meteorologische en Geophysische Dienst yang berpusat di Batavia, pada waktu itu pekerja-pekerjanya dipegang oleh orang-orang Belanda karena lebih menguasai dan lebih ahli. Pada waktu itu orang-orang Indonesia hanya merupakan pembantu-pembantu mereka dan ternyata belum ada ahli-ahli meteorologi yang cukup memenuhi persyaratan. Tugas lembaga ini yang terpenting mengenai meteorologi misalnya data unsur cuaca (klimatologi). Bidang Geofisika dimulai aktif sejak tahun 1891, dimana seismograf pertama dipakai tipe Ewing. Tahun 1910 dimulailah kegiatan yang meliputi perpustakaan astronomi sekunder di Tanjung Priok, Manado, Ambon dan di pulau Timor. Sedangkan meteorologi pertanian dibuka diantaranya di Jember, Ijen, Pasuruan, Terasi, Cibodas, Pacet, Gunung Tengger, Sumenep, Sampang dan Aceh. Dibidang Geofisik terutama seismologi juga mengalami perkembangan dan dibukanya stasiun baru.

2. Jawa Tjuo Kisto Dai

Organisasi Meteorologi ini diambil oleh pemerintah Jepang selama tahun 1942 hingga tahun 1945. Namanya diganti dan disesuaikan dengan bahasa Jepang yaitu Jawa Tjuo Kisto Dai dan tenaga-tenaganya diganti oleh orang-orang Jepang sendiri terutama oleh tenaga ahlinya. Sedangkan bangsa Indonesia tetap sebagai pembantunya saja. Organisasi ini berada dibawah angkatan bersenjata Jepang yang diawasi langsung oleh pemerintah militer Jepang. Bidang yang dilakukan sama dengan bidang pada waktu pemerintahan Belanda. Karena waktu itu adalah perang maka kegiatannya terutama yang berhubungan dengan kemiliteran, misalnya meteorologi penerbangan. Sedangkan bidang lainnya terutama yang melayani masyarakat dalam bidang sosial sangat dikesampingkan.

3. Meteorogische en Geophysische Dienst dan Jawatan Meteorologi dan Geofisika

Pada tahun 1945 bangsa Indonesia memproklamkan kemerdekaannya, tetapi Belanda dengan segala usahanya ingin menjajah kembali. Demikian dalam bidang meteorologi mereka tetap mendirikan Meteorologische en Geophysische Dienst. Dipihak lain pemerintah Indonesia juga mendirikan Jawatan Meteorologi dan Geofisika, jadi waktu itu ada dua organisasi yang menjalankan fungsi yang sama.

4. Jawatan Meteorologi dan Geofisika

Setelah penyerahan kedaulatan Republik Indonesia pada tahun 1949 sebagai hasil Konferensi Meja Bundar, maka Meteorologische en Geophysische

Dienst dihapuskan dan hanya ada satu nama, yaitu Jawatan Meteorologi dan Geofisika dibawah Kementrian Perhubungan. Nama ini berlangsung sampai dengan 1955 dan dikepalai oleh seorang Kepala Jawatan.

5. Lembaga Meteorologi dan Geofisika

Pada tahun 1955, tepatnya pada tanggal 1 Maret 1955 keluarlah Surat Keputusan Menteri Perhubungan No. U. 14/3/16 yang menetapkan namanya menjadi lembaga Meteorologi dan Geofisika berada dibawah Kementrian Perhubungan, nama ini berlangsung sampai 1960.

6. Jawatan Meteorologi dan Geofisik

Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Perhubungan No. U. 14/12/8-U tertanggal 23 Desember 1960, Lembaga Meteorologi dan Geofisika diganti menjadi Jawatan Meteorologi dan Geofisik dan berlangsung dari 1961 sampai 1962.

7. Direktorat Meteorologi dan Geofisik

Pada tanggal 10 Desember 1962 keluar Surat Keputusan Menteri Perhubungan Udara No. U. 14/11/5-U yang menetapkan Lembaga atau Jawatan Meteorologi dan Geofisik menjadi Direktorat Meteorologi dan Geofisik dibawah Departement Perhubungan Udara dan nama ini berlangsung hingga 1965.

8. Direktorat Meteorologi dan Geofisika

Pada tahun 1966 sampai tahun 1968 nama Direktorat Meteorologi dan Geofisik diganti menjadi Direktorat Meteorologi dan Geofisika dibawah Direktorat Jendral Perhubungan Udara, Departemen Perhubungan.

9. Lembaga Meteorologi dan Geofisika

Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Perhubungan tanggal 24 Agustus 1968 No. U. 24/9/7 Direktorat Meteorologi dan Geofisika berubah namanya menjadi Lembaga Meteorologi dan Geofisika dan dalam hal ini masih tetap dibawah Direktorat Jendral Perhubungan Udara, Departemen Perhubungan. Berlangsung sampai tahun 1972. Menurut Surat Keputusan Menteri Perhubungan No. SK-108/U/1972 lembaga ini tidak berada dibawah Direktorat Jendral Perhubungan Udara lagi tetapi berada langsung dibawah Departemen Perhubungan sebagai unsur staf dari Departemen.

10. Pusat Meteorologi dan Geofisika

Menurut keputusan Presiden RI No. 44 dan 45 tahun 1974 Lembaga Meteorologi dan Geofisika diganti menjadi Pusat Meteorologi dan Geofisika yang berada langsung dibawah Menteri Perhubungan, dan ini berlaku mulai tanggal 1 April 1975.

11. Badan Meteorologi dan Geofisika

Dengan Surat Keputusan Menteri Perhubungan No. KM. 164/OT. 002/Phb-80 yang tertanggal 14 Juli 1980, Pusat Meteorologi dan Geofisika setingkat dengan Direktorat Jendral atau Sekertariat Jendral yang langsung dibawah Departemen Perhubungan. Dengan adanya perubahan atau peningkatan dari organisasi Badan Meteorologi dan Geofisika lebih mampu untuk mengembangkan dirinya.

B. Stasiun Geofisika Tretes

Nama Stasiun : Stasiun Geofisika Kelas II Tretes

Kode Stasi : TRT

Magnifikasi/pembesaran alat : 112.500 pada frekuensi 3 Hz

Alamat Lokasi : Jl. Raya Ledug No. 64 Prigen, Pandaan,
Jawa Timur.

Peralatan:

- a. Visual Seismograf Kinimetrics Spesifikasi UNESCO (short period komponen vertikal)
- b. Long Period Seismograf (3 komponen)
- c. Strong Motion Seismograf Kinemetric tipe SMA – 1
- d. Lighting Counter

Koordinat Geografi : Garis Bujur $-112^{\circ} 38' 060''$ BT
Garis Lintang $-07^{\circ} 14' 14,4''$ LS

Ketinggian : 832 m di atas permukaan laut

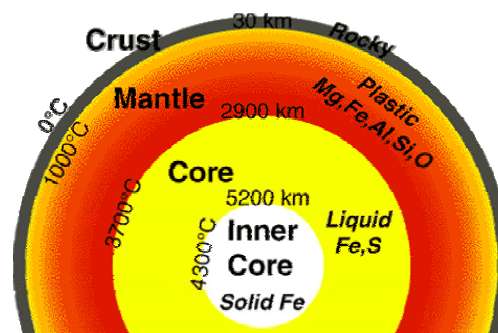
Batuan Dasar : Volcanics/Older Quartenary

Titik Dasar Geofisika : 13. 01. 00

Stasiun ini masuk dalam lingkungan Balai Wilayah III, yang berkedudukan di Denpasar, Bali. Sehingga data-data yang diperoleh dari Stasiun Geofisika Tretes akan dikirim secara berkala bersama dengan data-data yang diperoleh dari stasiun lain di dalam lingkungan Balai Wilayah III. Kemudian akan ditentukan kesimpulan yang lebih akurat mengenai peristiwa kegempaan yang terjadi di sekitar stasiun-stasiun dalam lingkungan Balai Wilayah III.

C. Interior Bumi

Lima miliar tahun yang lalu bumi dibentuk dalam sebuah penggumpalan dan pemborbardiran secara besar-besaran dari benda-benda meteor dan komet-komet. Besarnya jumlah energi panas yang dilepaskan akibat pembombardiran dengan kecepatan yang tinggi menyebabkan melelehnya planet yang ada didalamnya, dan masih mengalami pendinginan hingga saat ini. Material-material padat seperti besi (Fe) dari ledakan meteorit berada ke dalam inti bumi, sedangkan silikat yang lebih terang (Si) dan komponen oksigen yang lain, serta air dari komet berada dekat permukaan bumi.



Gambar 1. Struktur bumi

Bumi terbagi menjadi empat lapisan utama, yaitu: inti bagian dalam, inti bagian luar, mantel, dan kulit bumi. Inti bumi tersusun hampir keseluruhan adalah besi (Fe) dan sangat panas sehingga menyebabkan bagian luar inti meleleh, dengan sekitar 10% adalah sulfur (S). Inti bagian dalam adalah di bawah semacam tekanan dengan perbedaan suhu yang sangat besar sehingga materialnya adalah material padat. Hampir dari material bumi ada pada mantel bumi yang disusun oleh besi (Fe), magnesium (Mg), aluminium (Al), silikon (Si), dan komponen silikat oksigen (O). Pada suhu di atas 1000°C, mantel masih padat tetapi dapat berubah secara perlahan menjadi seperti plastik. Kulit bumi lebih tipis daripada semua lapisan yang lain, dan tersusun atas sedikit material kalsium (Ca) dan mineral sodium silikat aluminium (Na).

D. Gempa Bumi

Gempa bumi merupakan gejala alam yang ditimbulkan oleh adanya aktivitas secara alamiah di permukaan atau di bawah permukaan bumi. Sebagai fenomena alamiah, gempa bumi tidak dapat dipisahkan dengan fenomena-fenomena alamiah lainnya, terutama aktivitas gunung berapi (vulkanik). Kedua fenomena ini berkaitan dengan proses-proses internal bumi, khususnya proses dinamis pada kerak bumi dan berhubungan dengan interaksi lempeng-lempeng tektonik (*tectonic plate*). Lempeng-lempeng tersebut dapat berupa perpindahan (dilatasi), perputaran atau gabungan dari keduanya. Gerakan-gerakan tersebut akan menyebabkan tumbukan atau perenggangan antara lempeng-lempeng yang berbatasan.

Selain gempa bumi akibat sumber tektonik (gempa tektonik), gempa bumi juga dapat ditimbulkan akibat penyebab-penyebab yang lain, walaupun tidak sekuat gempa tektonik. Penyebab tersebut dapat berupa aktivitas gunung berapi, tanah longsor, ledakan bom dan lain sebagainya. Korban dan kerugian yang timbul pada bencana di atas, umumnya bukan disebabkan oleh guncangan gempa melainkan sebab lain, misalnya material yang dimuntahkan (lava, batu, dan panas) pada letusan gunung berapi atau akibat pecahan bom dan radiasinya pada ledakan bom.

Gempa bumi adalah rangkaian gelombang getaran yang berasal dari suatu tempat dalam mantel atau kerak bumi. Mekanisme gempa bumi, jika terdapat 2 buah gaya yang bekerja dengan arah berlawanan pada batuan kulit bumi, batuan tersebut akan berubah bentuk karena batuan mempunyai sifat elastis. Bila gaya yang bekerja pada batuan dalam waktu yang lama dan terus menerus maka lama kelamaan daya dukung pada batuan akan mencapai batas maksimum dan akan mulai terjadi pergeseran. Akibatnya batuan akan mengalami patahan secara tiba-tiba sepanjang bidang patahan. Setelah itu batuan akan kembali stabil namun sudah mengalami perubahan bentuk atau posisi. Pada saat mengalami gerakan yang tiba-tiba akibat pergeseran batuan, energi stress yang tersimpan akan dilepaskan dalam bentuk getaran yang kita kenal sebagai gempa bumi.

Besar kecilnya akibat yang dirasakan karena gempa bumi berkorelasi positif dengan jarak suatu daerah dengan hiposenter suatu gempa. Gempa bumi juga berpengaruh pada daerah di sekitarnya dan radius tertentu (km) tergantung besar energi yang dilepaskan dan posisinya dari hiposenter. Hiposenter adalah lokasi nyata terjadinya gempa bumi.

E. Gelombang Seismik

Gelombang adalah suatu usikan yang merambat melalui suatu medium akibat suatu sumber getar. Sumber getar sebagai sumber gelombang yang terjadi akan menimbulkan tekanan singga mengakibatkan terjadinya tegangan, kemudian menggerakkan partikel-partikel di sekitarnya. Gerakan partikel ini menimbulkan muka gelombang (*front wave*) dan menjalar ke segala arah dengan sifat yang tergantung pada medium yang dilaluinya. Muka gelombang tersebut akan menimbulkan sumber gelombang baru. Penjalaran gelombang dipengaruhi oleh sifat medium, apakah isotrop, homogen, dan elastik, sehingga dari satu sumber gelombang akan menjalar dengan sifat yang tertentu.

Selama terjadi gempa bumi, energi yang dilepaskan ke sumber gempa bumi dirambatkan ke segala arah dalam bentuk gelombang seismik. Pengertian gelombang seismik dapat diartikan sebagai berikut:

1. Bentuk superposisi dari banyak kumpulan gelombang yang saling tumpang tindih (*overlapping*). Seperti gelombang langsung, refleksi, refraksi dari gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).
2. Gelombang elastik yang merambat di dalam bumi. Mekanisme perambatan gelombang seismik di dalam bumi sama dengan perambatan gelombang bunyi di udara. Sebagai gaya pemulihnya diberikan oleh elastisitas bumi. Periode gelombang seismik biasanya lebih besar dari 0.1 detik.

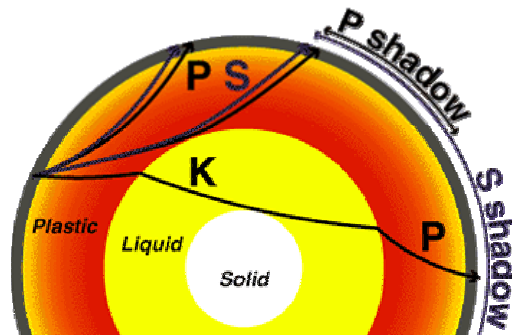
Berdasarkan perambatannya, gelombang seismik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu gelombang badan (*body waves*) dan gelombang permukaan (*surface waves*).

a. Gelombang Badan

adalah gelombang yang menyebar keluar dari guncangan awal dan merambat melalui bagian dalam bumi. Selama perambatan medium yang terlewati akan terdeformasi sehingga berubah dalam bentuk dan volumenya. Gelombang badan dibedakan menjadi gelombang kompresi (*compressional wave*) dan gelombang geser (*shear wave*).

Gelombang kompresi, yaitu gelombang badan yang merambat searah gelombang longitudinal. Medium yang dapat dilewati dapat berupa gas, cair, padat, sehingga dapat menembus inti bumi. Kecepatan gelombang kompresi dapat mencapai kira-kira 5 km/detik di kerak bumi dan kecepatannya semakin besar mencapai 14 km/detik di bagian paling dalam dari mantel bumi. Gelombang kompresi sering disebut juga dengan *gelombang longitudinal* atau *gelombang primer* (gelombang P).

Gelombang geser adalah gelombang badan yang merambat secara vertikal maupun horisontal tegak lurus arah getaran gelombang transversal. Gelombang geser hanya dapat merambat melalui kerak dan mantel bumi yang padat. Medium yang terlewati oleh gelombang ini akan terdeformasi elastik sehingga berubah dalam bentuk tetapi dapat kembali kepada keadaan semula. Gelombang geser memiliki kecepatan antara 3 km/dt sampai 8 km/dt. Gelombang geser disebut pula gelombang transversal atau gelombang sekunder (gelombang S).



Gambar 2. Penjalaran gelombang pada permukaan bumi

Ketika deformasi geser (*shear deformation*) merambat pada padatan elastik, getaran dari partikel secara individu selalu tegak lurus pada arah penjalaran gelombang. Jika selama penjalaran gelombang S, Cairan tidak dapat mendukung gerakan partikel dari satu sisi ke sisi yang lain yang menyebabkan terjadinya gelombang . Seluruh partikel bergerak dalam garis-garis paralel, maka dikatakan bahwa gelombang tersebut terpolarisasikan pada arah garis-garis tersebut. Suatu gelombang S yang merambat secara horisontal, terpolarisasi sedemikian rupa sehingga gerakan partikel seluruhnya ke arah vertika disebut gelombang SV (*Shear vertically*). Jika gerakan partikel seluruhnya dalam bidang horisontal, gelombang tersebut dinamakan gelombang SH (*Shear horizontally*).

Para ahli seismologi memperhatikan bahwa rekaman dari sebuah gempa bumi membuat sekitar dunia berubah secara cepat sekitar 105 derajat dalam istilah sudutnya antara gempa bumi dengan seismograf di pusat gempa. Setelah 105 derajat gelombang tidak akan muncul secara lengkap, minimal hingga perlahannya gelombang permukaan akan tiba dalam arah yang lurus. Daerah di luar 105 derajat jaraknya akan membentuk sebuah zona bayangan. Pada jarak yang lebih besar, beberapa gelombang P akan tiba, tetapi tanpa gelombang S.

b. Gelombang Permukaan

Jika gelombang mencapai permukaan bumi atau inti bumi, maka akan dipantulkan. Pantulan dari gelombang badan dapat menimbulkan bentuk gelombang yang lain yaitu gelombang permukaan. Gelombang permukaan ini merambat sepanjang permukaan bumi atau sepanjang permukaan inti bumi, sama seperti perambatan gelombang air sepanjang permukaan samudera. Gelombang permukaan dapat dibelokkan menjadi dua, yaitu gelombang Rayleigh (*Rayleigh waves*) dan gelombang Love (*Love waves*).

Perubahan timbal balik dari gelombang P dan gelombang S khususnya gelombang SV dapat bertemu pada permukaan bebas (*free surface*), sehingga membentuk gelombang yang mempunyai tipe berbeda dengan gelombang pembentuknya yang menjalar di permukaan bebas. Gelombang ini dinamakan dengan gelombang permukaan, lebih khusus gelombang ini terdiri dari gerakan gelombang P dan gelombang SV dan dinamakan gelombang Rayleigh.

Tidak ada gelombang permukaan dengan hanya gerakan SH dalam ruang paro seragam (*uniform half surface*) karena tidak mungkin dipenuhi pada kondisi bebas tegangan (*stress free*) dengan hanya gerakan SH. Gelombang permukaan ini dapat terjadi pada ruang paro dilapisi oleh lapisan seragam dari material yang berbeda, dan gelombang ini dinamakan gelombang love yang dapat dianalisa seperti analisa gelombang Rayleigh dengan menggabungkan kemungkinan naik dan turunnya gelombang pada medium lapisan dan semuanya berhubungan dengan gelombang SH.

F. Geografis Penyebaran Gempa Bumi

Daerah kaya gempa didasarkan pada jumlah getaran makro setiap tahunnya yaitu sekitar 100 gempa makro/tahun. Penyebaran geografis gempa mengikuti jalur aktif, yaitu yang dikenal dengan Sirkum Pasifik dan Sirkum Mediterania.

1. Jalur sirkum Pasifik

Berawal dari pegunungan Cordilleras de los andes (Chili, Ecuador, Karibia) – Amerika Tengah – Meksiko – California – British Columbia – Alaska – Aleutian Island – Kamkackta – Jepang – Taiwan – Philipina – Indonesia (Sulawesi Utara Irian Jaya) – Melanesia – Polynesia – berakhir di New Zealand.

Sirkum pasifik merupakan daerah gempa dimana $\pm 80\%$ dari seluruh gempa bumi dunia terjadi di daerah tersebut. Pola sirkum ini menimbulkan gempa dangkal, menengah dan gempa dalam.

2. Jalur Sirkum Mediterania/ Tran – Atlantik

Berawal dari pegunungan Azores – Mediterania (Maroko, Portugal, Italia, Balkan, Rumania) – Turki – Kaukasus – Irak – Iran – Afganistan – pegunungan Himalaya – Birma – Indonesia (Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, Laut Banda) – berakhir di Maluku.

Sirkum mediteran merupakan daerah gempa dimana $\pm 15\%$ dari seluruh gempa bumi dunia terjadi di daerah tersebut. Pada sirkum ini menimbulkan gempa dangkal dan menengah terjadi.

Karena kedua daerah labil tersebut mempunyai titik temu di Indonesia maka kepulauan di Indonesia merupakan daerah yang sangat labil, dimana 10% dari semua gempa bumi dunia terdapat di Indonesia.

G. Parameter Gempa Bumi

Parameter – parameter dasar gempa bumi adalah sebagai berikut:

1. Waktu terjadinya gempa bumi (origin time)
2. Kedalaman pusat Gempa bumi (kedalaman hiposenter)
3. Lintang dan bujur epicenter (titik pada permukaan bumi yang terletak vertikal diatas hiposenter)
4. Energi gempa bumi (magnitudo).

Parameter yang dibahas pada sekripsi ini adalah magnitudo. Magnitudo adalah suatu besaran secara kuantitatif dari gempa yang berkaitan dengan pelepasan energi regangan jika sesar terjadi sehingga dapat dihitung berdasarkan amplitudo gelombang gempa yang diterima di tempat lain. Magnitudo gempa lazim dinyatakan dalam Skala Richter (SR) dan menyatakan besaran tunggal yaitu energi yang dilepaskan gempa bumi. Secara umum magnitudo didefinisikan sebagai:

$$M = \frac{\log A}{T_w} + f(d, h) + C_s + C_r \quad (\text{Benjamin, 1959: 125})$$

Dimana:

M : Magnitudo

A : Amplitudo dalam mikron

T_w : Periode dalam detik

d : Jarak episentrum (pusat gempa) dalam derajat

h : kedalaman dalam kilometer

C_s : Koreksi stasiun (stasiun pengamat)

C_r : Koreksi regional (stasiun pengamat dalam satu wilayah)

Magnitudo pertama kali didefinisikan oleh Richter (1935) di Kalifornia Selatan yang direkam pada jarak (d) 100 km dengan menggunakan Wood – Anderson Torsion Seismometer. Richter menyusun skala magnitudo yang menghasilkan amplitudo 0,001 mm pada seismogram torsi yang ditempatkan pada jarak 100 km dari sumber gempa. Standar kekuatan gempa ditempatkan sebagai magnitudo 0 dan didefinisikan sebagai:

$$MI = \log A - \log A_0 \quad (\text{Benjamin, 1959: 125})$$

Dimana:

A : amplitudo maksimum yang terekam dari gempa

A_0 : amplitudo gempa yang digunakan sebagai acuan

MI : magnitudo lokal

Karena skala magnitudo Richter adalah logaritma maka perubahan satu skala mengakibatkan kelipatan sepuluh dari pertambahan magnitudo gempa. Gutenberg (1945) menggunakan persamaan yang dapat digunakan untuk berbagai gempa sebagai berikut:

$$M = \log A + c_1 \log d + c_2 \quad (\text{Benjamin, 1959: 128})$$

Dimana:

A : amplitudo maksimum gelombang permukaan

d : jarak episentrum

c_1 dan c_2 : konstanta

Terkadang nilai magnitudo yang dihitung dari gelombang badan ditulis dengan simbol m yang dapat dihitung dengan persamaan diatas.

Parameter seismotektonik (b value) ialah suatu parameter seismologi (kejadian yang terjadi di dalam bumi) yang menjelaskan karakteristik gempa bumi suatu daerah yang tergantung pada sifat batuan daerah tersebut.

H. Matriks

Matriks adalah suatu kumpulan angka-angka yang disusun menurut baris dan kolom sehingga berbentuk segi empat persegi panjang, dimana panjang dan lebarnya ditunjuk oleh banyaknya baris dan kolom (Suprnto, 1998: 3).

Apabila suatu matrik terdiri dari m baris dan n kolom, maka matriks A biasa ditulis sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \Lambda & a_{1j} & \Lambda & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \Lambda & a_{2j} & \Lambda & a_{2n} \\ M & M & \Lambda & M & \Lambda & M \\ a_{i1} & a_{i2} & \Lambda & a_{ij} & \Lambda & a_{in} \\ M & M & \Lambda & M & \Lambda & M \\ a_{m1} & a_{m2} & \Lambda & a_{mj} & \Lambda & a_{mn} \end{bmatrix} = (a_{ij}), i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

Dibaca matriks A m kali n , biasa ditulis $A_{m \times n}$, a_{ij} merupakan elemen matriks A dari baris ke- i kolom ke- j . Ordo ukuran dari matriks ditentukan oleh banyaknya baris dan kolomnya, maka matriks $A_{m \times n}$ diatas bearti terdiri dari m dan n kolom. Dua matrik disebut sama jika ordo sama dan elemen-elemen yang seletak sama.

Vektor berdimensi n adalah suatu susunan elemen-elemen yang teratur berupa angka-angka sebanyak n buah, yang disusun menurut *baris* dari kiri ke kanan yang

disebut *vector baris*, menurut *kolom* dari atas ke bawah yang disebut *vector kolom*. Elemen-elemen vector disebut *komponen-komponen* dan dinotasikan dengan huruf *kecil* (misal: x_1, x_2, x_3 untuk $n = 3$) sedangkan untuk vektornya sendiri memakai huruf *besar* (misal: vector X, Y, Z).

Vektor merupakan matriks yang terdiri dari 1 *baris* dan n *kolom* untuk *vector baris*, dan terdiri dari n *baris* dan 1 *kolom* untuk *vector kolom*, yaitu sebagai berikut:

1. Vektor baris X:

$$X = (x_1 \quad x_2 \quad \Lambda \quad x_i \quad \Lambda \quad x_n)$$

2. Vektor kolom Y:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \text{M} \\ y_i \\ \text{M} \\ y_n \end{bmatrix}$$

Untuk membedakan antara vector baris dan vector kolom dipergunakan tanda () untuk *vector baris* dan tanda [] untuk *vector kolom*.

a. Jumlah dua matriks

Dua matriks $A = (a_{ij})$ dengan m baris dan n baris dan matriks $B = (b_{ij})$ juga dengan m baris dan n kolom dapat dijumlahkan jika ordonya sama. Jumlah dua matriks A dan B ialah matriks $C = (c_{ij})$ dengan m baris dan n kolom yang ordonya sama dengan ordo matriks A maupun B sedangkan elemen-elemen yang seletak dijumlahkan. $c_{ij} = a_{ij} + b_{ij}$ untuk semua i dan j , dimana c_{ij} merupakan elemen dari baris ke i dan kolom ke j dari matriks C.

Contoh:

$$A = \begin{bmatrix} 4 & -2 & 1 \\ 3 & 6 & 5 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -7 & 9 & -2 \\ 3 & 4 & 7 \end{bmatrix}$$

$$A + B = \begin{bmatrix} 4 & -2 & 1 \\ 3 & 6 & 5 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -7 & 9 & -2 \\ 3 & 4 & 7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3 & 7 & -1 \\ 6 & 10 & 12 \end{bmatrix}$$

b. Hasil kali matrik dengan skalar

Hasil kali matrik A dengan skalar k ialah matrik yang ordonya sama dengan matrik A sedangkan elemen-elemennya dikalikan k, ditulis $k \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$. Jadi apabila $A = (a_{ij})$ maka $kA = k(a_{ij}) = (a_{ij})k = Ak$.

Contoh:

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -3 & 7 \end{bmatrix}, k = 7$$

$$kA = 7 \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ -3 & 7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14 & 7 \\ -21 & 49 \end{bmatrix}$$

c. Pengurangan matriks

Pengurangan matriks mempunyai syarat yang sama dengan penjumlahan, yaitu untuk bias melakukan pengurangan dari matriks A dan B, kedua matriks tersebut harus mempunyai *baris dan kolom yang sama banyaknya* atau *dimensinya sama*.

Mengurangkan matriks A dengan matrik B artinya adalah menjumlahkan matriks A dengan matriks lawan dari matriks B (disebut matriks $-B$), dimana

matriks $-B$ diperoleh dengan mengalikan scalar k (dengan $k = -1$) dengan matriks B itu sendiri, sehingga:

$$A - B = A + (-1) B = A + (-B)$$

Contoh:

$$A = \begin{bmatrix} 8 & 3 & 5 \\ 2 & 4 & 3 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 4 & 2 & 2 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} A - B &= A + (-1) B = \begin{bmatrix} 8 & 3 & 5 \\ 2 & 4 & 3 \end{bmatrix} + (-1) \begin{bmatrix} 4 & 2 & 2 \\ 1 & 3 & 1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 8 & 3 & 5 \\ 2 & 4 & 3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -4 & -2 & -2 \\ -1 & -3 & -1 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} 4 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

d. Hasil kali dua matriks

Jika A adalah sebuah matrik $m \times n$ dan B adalah matrik $n \times r$ maka hasil kali matrik AB adalah matrik $m \times r$ yang elemen-elemennya ditentukan sebagai berikut: Untuk mencari elemen didalam baris ke- i kolom ke- j dari AB maka pilihlah baris ke- i dari matrik A dan kolom ke- j dari matrik B kalikanlah elemen-elemen yang bersangkutan dari baris dan kolom tersebut bersama-sama, dan kemudian tambahkan hasil perkalian yang dihasilkan.

Contoh:

$$A = \begin{bmatrix} 2 & 4 & 1 \\ 3 & 5 & -6 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 4 & 7 \\ 9 & 2 \\ 5 & 6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
AB &= \begin{bmatrix} 2 & 4 & 1 \\ 3 & 5 & -6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4 & 7 \\ 9 & 2 \\ 5 & 6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2x4 + 4x9 + 1x5 & 2x7 + 4x2 + 1x6 \\ 3x4 + 5x9 + (-6)x5 & 3x7 + 5x2 + (-6)x6 \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 8 + 36 + 5 & 14 + 8 + 6 \\ 12 + 45 + (-30) & 21 + 10 + (-36) \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 49 & 28 \\ 27 & -5 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

I. Metode Kuadrat Terkecil dan Metode Maksimum Likelihood

Dalam menyelesaikan masalah tentang seismologi khususnya nilai parameter seismotektonik digunakan dua metode, yakni metode kuadrat terkecil dan metode maksimum likelihood. Dua metode ini digunakan karena mempunyai sifat-sifat atau cirri-ciri penaksir yang “sufficient”, misalnya \bar{X} adalah penaksir yang memanfaatkan seluruh informasi mengenai parameter yang akan diperkirakan, yang terkandung dalam suatu populasi. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$\hat{\theta}$ merupakan ‘sufficient estimator’ dari θ , apabila $\hat{\theta}$ mencakup seluruh informasi tentang θ yang terkandung didalam populasi, dengan perkataan lain kalau distribusi bersyarat dari variable X_1, X_2, \dots, X_n sebagai sample untuk nilai $\hat{\theta}$ yang diketahui, tidak tergantung pada parameter θ . Ini berarti fungsi kepadatan peluang bersama dari X_1, X_2, \dots, X_n dapat ditulis sebagai berikut

$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = g(x_1, x_2, \dots, x_n | \hat{\theta})$ fungsi g yang bersyarat tidak tergantung pada θ .

1. Metode Kuadrat Terkecil

Populasi dari seluruh pasangan nilai (x_i, y_i) dapat dihitung dari nilai sebenarnya dari parameter A, B dan σ_ε^2 . Parameter dapat ditaksir dengan menggunakan data empiris x_1, x_2, \dots, x_n dan y_1, y_2, \dots, y_n . Untuk memperkirakan A dan B sebagai berikut

Model sebenarnya: $Y = A + BX + \varepsilon$

Model perkiraannya: $\hat{Y} = a + bX + e$

a, b dan e merupakan perkiraan/taksiran atas A, B dan ε .

Metode kuadrat terkecil yaitu suatu metode untuk menghitung a dan b sedemikian rupa sehingga jumlah kuadrat kesalahan memiliki nilai terkecil. Metode kuadrat terkecil selain digunakan untuk memperkirakan parameter sebagai koefisien dari suatu hubungan linier, dapat juga digunakan untuk yang bukan linier. Parameter adalah sebagai ukuran yang digunakan untuk menggambarkan suatu populasi. Parameter-parameter dari hubungan magnitudo dan frekuensi gempa bumi umumnya ditentukan dengan metode kuadrat terkecil, dengan mengumpulkan pengamatan jumlah gempa untuk masing-masing selang magnitudo di dalam urutan magnitudo tertentu. Hubungan tersebut merupakan hubungan dasar dari statistika seismologi. Gutenberg dan Richter membuat persamaan sebagai berikut

$$\text{Log } N = a - bM + \varepsilon \dots\dots\dots(I.1.a)$$

(Gutenberg-Richter, 1954: 55)

Dengan :

N : frekuensi gempa bumi yang terjadi

M : besarnya magnitudo gempa bumi yang terjadi

a : suatu tetapan yang besarnya tergantung pada periode, luas daerah dan aktivitas daerah pengamatan.

b : parameter seismo_tektonik suatu daerah dimana terjadi gempa bumi dan tergantung dari sifat batuan setempat. (*Gutenberg-Richter, 1954*)

Dari persamaan (I.1.a) dipergunakan metode kuadrat terkecil bagi penaksiran a dan b tertentu, sehingga diperoleh nilai-nilai taksiran a dan b sekecil-kecilnya, yaitu :

$$\sum \varepsilon_i^2 = (\log N_i - a + bM_i)^2 \dots\dots\dots(I.1.b)$$

Dimana:

ε : kesalahan (error)i terkecil (minimum)

Pada persamaan (I.1.b) dicari turunan parsial terhadap parameter a dan b sehingga diperoleh :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial a} &= -2 \sum_{i=1}^n (\log N_i - a + bM_i) \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial b} &= 2 \sum_{i=1}^n M_i (\log N_i - a + bM_i) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(I.1.c)$$

Pada persamaan (I.1.c) dari segi kalkulus harus meminimumkan suatu bentuk dalam harga mutlak (fungsi $y = |x|$ tidak punya turunan di $x = 0$) maka masing-masing diidentikkan sama dengan nol (RK. Sembiring, 1989: 35), sehingga diperoleh persamaan normal dalam bentuk matriks ordo 2 x 2 sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} n & -\sum_{i=1}^n M_i \\ \sum_{i=1}^n M_i & -\sum_{i=1}^n M_i^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n \text{Log} N_i \\ \sum_{i=1}^n M_i \text{Log} N_i \end{bmatrix} \dots\dots\dots(\text{I.1.d})$$

Dari persamaan (I.1.d2.4) diperoleh nilai-nilai taksiran a dan b.

$$\hat{a} = \overline{\log N} + \hat{b}\overline{M} \dots\dots\dots(\text{I.1.e})$$

Dimana:

$$\overline{\log N} = \frac{\sum_{i=1}^n \log N_i}{n}$$

$$\overline{M} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{n}$$

Pada persamaan (I.1.e) disubstitusikan ke dalam persamaan (I.1.d) diperoleh :

$$\hat{b} = -\frac{\sum_{i=1}^n M_i \log N_i - \overline{\log N} \sum_{i=1}^n M_i}{\sum_{i=1}^n M_i^2 - \overline{M} \sum_{i=1}^n M_i} \dots\dots\dots(\text{I.1.f})$$

Jadi \hat{a} dan \hat{b} merupakan taksiran-taksiran kuadrat terkecil. Karena pengujian hipotesis tentang \mathbf{B} (= koefisien regresi) sama dengan pengujian tentang ρ (= koefisien korelasi) maka koefisien korelasi sample (r) adalah sebagai berikut:

$$r = \hat{b} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \overline{M})^2}{\sum_{i=1}^n (\log N_i - \overline{\log N})^2}} \dots\dots\dots(\text{I.1.g})$$

Dimana: $-1 \leq r \leq 1$

Dalam hal ini bila $r = 1$ atau mendekati 1 maka dinyatakan ada hubungan linier diantara magnitudo dan logaritma frekuensi gempa yang positif sangat kuat.

Sedangkan bila $r = -1$ atau mendekati -1 maka dinyatakan ada hubungan linier diantara magnitudo dan logaritma frekuensi gempa yang negatif sangat kuat. Begitu pula bila $r = 0$ atau mendekati 0 maka dinyatakan tidak ada hubungan linier diantara magnitudo dan logaritma frekuensi gempa.

2. Metode Maksimum Likelihood

Metode maksimum likelihood merupakan suatu metode statistika yang sangat sesuai untuk memecahkan salah satu masalah tentang seismologi. Bila suatu fungsi distribusi probabilitas bergantung pada parameter θ didefinisikan sebagai: $f(x_i, \theta) = f(x_1, \theta), f(x_2, \theta), \dots, f(x_n, \theta)$ bersesuaian dengan fungsi likelihood yang didefinisikan sebagai :

$$P(X_i, \theta) = f(x_1, \theta) \cdot f(x_2, \theta) \dots f(x_n, \theta) \dots \dots \dots (I.2.a)$$

$$= \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta) \quad \text{(Franklin, 1961: 38)}$$

Dimana:

P : Fungsi Likelihood

Bahwa estimasi maksimum likelihood dari θ adalah nilai fungsi maksimum $P(X_i, \theta)$, untuk perhitungan yang bersesuaian. Penurunan dari log $P(X_i, \theta)$ yang umumnya untuk mendapatkan nilai maksimum dari $P(\theta)$, yaitu :

$$\frac{\partial \ln P(\theta)}{\partial \theta} = 0 \dots \dots \dots (I.2.b)$$

(Lee & Max: 294)

Lebih jelasnya, jika ada satu atau lebih penyelesaian dari persamaan $\frac{\partial P(\theta)}{\partial \theta}$ maka persamaan tersebut menjadi benar, jika ada, maksimum. Dengan catatan bahwa ada nilai θ yang maksimum yang juga akan memaksimumkan log-likelihood, $\ln \theta$, sehingga untuk mempermudah penaksiran selalu digunakan bentuk persamaan maksimum likelihood: $\frac{\partial \ln P(\theta)}{\partial \theta}$.

Menurut Aki (1965) bahwa metode ini dipergunakan untuk masalah hubungan antara frekuensi gempa dan magnitudo.

Suatu fungsi distribusi probabilitas dari M dapat ditulis ke dalam bentuk :

$$f(M, b') = b' e^{-b'(M-M_0)} ; M \geq M_0 \dots \dots \dots (I.2.c)$$

(Aki, 1965: 89)

Dimana $b' = b \cdot \ln 10$

Bersesuaian dengan fungsi likelihood yang ditunjukkan sebagai berikut

$$P (b')^N e^{-b' \left(\sum_{i=1}^n M_i - NM_0 \right)} \dots \dots \dots (I.2.d)$$

Dari hubungan ini diperoleh bahwa estimasi maksimum likelihood dari b ditunjukkan sebagai :

$$\hat{b} = \frac{\log e}{M - M_0} \dots \dots \dots (I.2.d)$$

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{\sum_{i=1}^n n} \dots \dots \dots (I.2.f)$$

Dimana :

\bar{M} : Magnitudo rata-rata dari data gempa

Mo : magnitudo minimum dari data gempa

$$\text{Log } e = 0,4343$$

Menurut Utsu (1961) metoda yang diberikan ini lebih baik dan teliti daripada penentuan kuadrat terkecil, dengan manfaatnya bahwa kejadian ini untuk data gempa bumi yang runtunan (series) kecil.

Untuk N besar, fungsi $\frac{\partial \text{Log} P}{\partial \theta}$ menurut distribusi Gaussian dengan rata-rata (mean) nol dan varian $N/(b')^2$. selanjutnya sesuai dengan Aki (1965), selang kepercayaan dari b' untuk probabilitas tertentu Pr yaitu :

$$\text{Pr}(b' (1 - \frac{W_z}{\sqrt{N}}) \leq b' \leq b' (1 + \frac{W_z}{\sqrt{N}})) \dots \dots \dots (I.2.g)$$

Bila diberikan probabilitas untuk 95 %, $W_z = 1,96$. Selanjutnya batas atas dan batas selang keyakinan dari nilai b' yang ditentukan dengan metode ini dan interval konsidensi 95 % adalah :

$$\left. \begin{aligned} \bar{b} &= \hat{b} \left(1 + \frac{1,96}{\sqrt{N}} \right) \\ \tilde{b} &= \hat{b} \left(1 - \frac{1,96}{\sqrt{N}} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (I.2.h)$$

Dengan:

$$\bar{b} = \text{batas atas nilai } \hat{b}$$

$$\tilde{b} = \text{batas bawah nilai } \hat{b}$$

Bersesuaian dengan nilai a yang diberikan dari hubungan frekuensi kumulatif untuk $M \geq M_0$ adalah :

$$\hat{a} = \log N(M \geq M_o) + \log(\hat{b} \ln 10) + M_o \hat{b} \dots\dots\dots(I.2.i)$$

Dipergunakan nilai pengamatan dari $N(M_o)$, diperoleh nilai a yang sesuai dengan distribusi magnitudo aktual (nyata).

J. Kerangka Berfikir

Persamaan metode kuadrat terkecil dan likelihood maksimum, kuadrat terkecil memiliki beberapa sifat yang baik. Pandang kembali model umumnya $Y = a + bX + \varepsilon$ akan dianggap bahwa ε_i saling independent dan $E(\varepsilon_i) = 0$, $var(\varepsilon_i) = \sigma^2$ untuk setiap $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Dalam lambang matriks ini berarti $\sum \varepsilon = \sigma^2 I$ bila I menyatakan matriks satuan berukuran $n \times n$. Dengan demikian (X tidak mempunyai distribusi, jadi diperlakukan sebagai tetapan) menghasilkan penaksir yang sama dengan penaksir likelihood maksimum.

Perbedaannya, penggunaan penaksir maksimum likelihood mengharuskan diketahuinya distribusi yang diterok (dalam hal ini distribusi normal) sedang metode kuadrat terkecil tidak. Hasil estimasi maksimum likelihood konsisten, efisien dan sufficient untuk N agak besar sedangkan kuadrat terkecil tak bias, variasi minimum, $Cov(\varepsilon_i, \varepsilon_j) = 0$, $E(Y_i | X_i) = A + BX_i$.

Dengan landasan hasil analisa, maka penulis mengajukan hipotesis sebagai berikut:

“Ada perbedaan nilai parameter seismotektonik yang ditentukan dari hubungan magnitude kumulatif dan non kumulatif untuk Jawa Timur dengan menggunakan metode kuadrat terkecil dan metode maksimum likelihood dari data BMG dan USGS secara nyata tahun 1973 – 2003”

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini prosedur atau langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut

A. Studi Pustaka

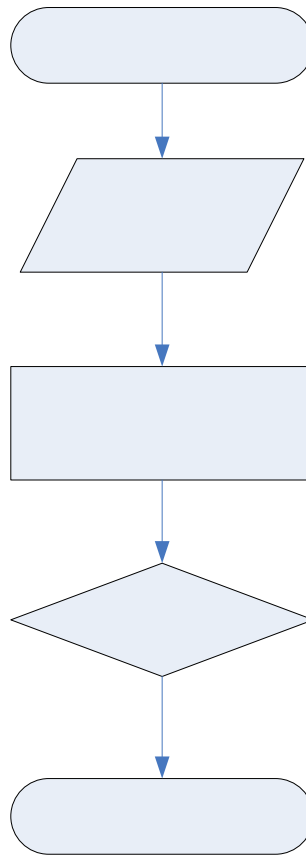
Studi pustaka adalah menelaah sumber pustaka yang relevan terhadap metode statistika analisis komparatif nilai parameter seismotektonik dari hubungan magnitudo kumulatif dan non kumulatif untuk daerah Jawa Timur menggunakan metode kuadrat terkecil dan metode maksimum likelihood dari data BMG dan USGS, yang akan digunakan untuk mengumpulkan informasi yang diperlukan dalam penelitian. Studi pustaka diambil dengan mengumpulkan sumber pustaka yang dapat berupa buku teks, makalah dan sebagainya. Setelah sumber pustaka terkumpul dilanjutkan dengan penelaah dari sumber pustaka tersebut. Sumber pustaka ini dijadikan landasan untuk menganalisis permasalahan.

B. Analisis Data

Analisis data merupakan bagian yang amat penting dalam penelitian karena dengan analisis, data tersebut dapat diberi arti dan makna yang berguna dalam memecahkan masalah penelitian. Analisis adalah mengelompokkan, membuat suatu urutan, memanipulasi serta menyingkatkan data sehingga mudah untuk dibaca. Secara garis besar tahap penelitian dari awal sampai akhir tentang analisa tingkat fracture (patahan) struktur bawah permukaan bumi di Wilayah Jawa Timur dengan

menggunakan data sekunder gempa bumi ini adalah sebagai berikut sebagaimana pada gambar 3.

Analisa data yang dipakai meliputi analisa grafik, analisa hasil, serta analisa penyebaran gempa bumi berdasarkan data-data yang dimiliki dengan cara menganalisa data dari USGS dan BMG dengan cara memilih parameter gempa yang besar magnitudonya sama yang terjadi pada daerah geologi tertentu. Data yang dipilih adalah data gempa dengan magnitude $\geq 4,0$ SR. Besar magnitude yang sama akan dikumpulkan ke dalam kelompok yang sama kemudian dihitung frekuensinya. Setelah itu dikelompokkan menjadi frekuensi kumulatif dan frekuensi non kumulatif. Hal ini diperlukan untuk keperluan selanjutnya.



Gambar 3. Tahap Penelitian

Baca data BMG dan USGS dimaksudkan untuk membaca data hasil rekaman dari United States Geological Survey (USGS) dan Badan Meteorologi dan Geofisika. Data yang terbaca sudah berupa posisi gempa, waktu terjadinya gempa, kedalaman hiposenter, besarnya magnitude gempa, serta jenis gempa yang dapat direkam. Data yang diambil adalah data gempa dengan besar magnitudo $\geq 4,0$ SR.

Tahapan selanjutnya pengolahan data yakni memasukkan konstanta-konstanta gempa yang diperlukan dalam pengolahan data. Masukan-masukan yang diperlukan meliputi magnitude dan frekuensi, baik frekuensi kumulatif maupun frekuensi non kumulatif. Dari magnitude dan frekuensi gempa ini akan diperoleh hasil berupa harga r dan b yang digunakan untuk mengetahui korelasi magnitude dan besarnya frekuensi gempa dengan tingkat patahan yang terjadi pada daerah yang dianalisa tersebut. Dari harga b yang telah diketahui tersebut akan dibuat suatu grafik hubungan antara magnitudo dan frekuensi berdasarkan persamaan 2.1.

Interpretasi hasil yang dimaksudkan adalah data yang telah dianalisa dan diolah tersebut kemudian dibuat suatu perkiraan atau interpretasi mengenai apa yang berada di bawah permukaan bumi tempat terjadi gempa berdasarkan hasil pengolahan data dan kemudian dihubungkan dengan fakta kejadian gempa pada daerah tersebut dengan menggunakan b value serta korelasi r . Dengan mengetahui nilai b dan nilai r maka akan dapat ditentukan tingkat patahan yang terjadi di daerah terjadinya gempa di wilayah Jawa Timur.

Sesuai dengan teori Gutenberg-Richter (1954), bahwa nilai b berkaitan langsung dengan karakteristik tektonik dari setiap daerah dan oleh sebab itu dimungkinkan juga menunjukkan seismotektonik pada daerah tersebut.

C. Penarikan Simpulan

Sebagai akhir penelitian ini dilakukan penarikan simpulan dari permasalahan yang dirumuskan dengan berdasarkan pada kajian teori.

BAB IV
HASIL PENELITIAN

A. Hasil Penelitian

Data yang diolah dalam penelitian “Analisis Komparatif Nilai Parameter Seismotektonik Dari Hubungan Magnitudo-Kumulatif Dan Non Kumulatif Untuk Daerah Jawa Timur Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil Dan Metode Maksimum Likelihood Dari Data BMG Dan USGS” adalah data sekunder gempa bumi yang terjadi di wilayah Jawa Timur dengan magnitudo $\geq 4,0$ SR. Data yang diambil adalah data antara tahun 1973 – 2003 dari data USGS dan data BMG. Distribusi kejadian gempa pada daerah penelitian dengan batasan geografis $110^{\circ}54'$ BT dan $5^{\circ}37'$ LS sampai $8^{\circ}48'$ LS.

Data yang diambil berupa data magnitudo ($M \geq 4,0$ SR dan $h \leq 100$ km) dengan frekuensi gempa yang terjadi dan tercatat pada seismograf. Disajikan pada table 2 dan 3 berikut:

Tabel 2. Data magnitudo dan frekuensi gempa
Jawa Timur berdasar data USGS

Besar Magnitudo	N Kumulatif	N Non Kumulatif	Besar Magnitudo	N Kumulatif	N Non Kumulatif
4,00	100	6	4,90	42	10
4,10	94	1	5,00	32	8
4,20	93	6	5,10	24	7
4,30	87	5	5,20	17	3
4,40	82	5	5,30	14	2
4,50	77	9	5,40	12	5
4,60	68	5	5,60	7	2
4,70	63	10	5,70	5	1
4,80	53	11	5,90	4	3

Sumber: *Stasiun Geofisika Kelas II Tretes*

Tabel 3. Data magnitudo dan frekuensi gempa Jawa Timur berdasar data BMG

Besar Magnitudo	N Kumulatif	N Non Kumulatif	Besar Magnitudo	N Kumulatif	N Non Kumulatif
4,00	459	47	5,40	27	4
4,10	412	48	5,50	23	2
4,20	364	52	5,60	21	5
4,30	312	39	5,70	16	3
4,40	273	46	5,80	13	2
4,50	227	46	5,90	11	1
4,60	181	37	6,10	10	1
4,70	144	22	6,20	9	1
4,80	122	26	6,40	8	1
4,90	96	18	6,50	7	2
5,00	78	16	6,70	5	2
5,10	62	11	6,80	3	1
5,20	51	15	6,90	2	1
5,30	36	9	8,20	1	1

Sumber: *Stasiun Geofisika Kelas II Tretes*

Untuk data gempa non kumulatif, dibuat interval magnitudo gempa agar semua frekuensi gempa dapat tercakup. Data dengan menentukan banyaknya kelas interval yang diperlukan dengan *aturan* Sturges, yaitu:

$$\text{banyak kelas} = 1 + (3,3) \log n$$

n menyatakan banyaknya data dan hasil akhir dijadikan bilangan bulat.

Pada data gempa non kumulatif berdasarkan data USGS, karena menurut aturan banyak kelas interval diambil paling sedikit 5 maka daftar distribusi non kumulatif tidak dapat disajikan. Data gempa non kumulatif berdasarkan data BMG sesuai dengan aturan Sturges diperoleh banyak kelas interval 9 sehingga daftar distribusi frekuensi non kumulatif dapat disajikan sebagai berikut:

Tabel 4. Data magnitudo dan frekuensi non kumulatif
Gempa Jawa Timur berdasar data BMG

ΔMb	Range	N
4,0 – 4,4	4,2	232
4,5 – 4,9	4,7	149
5,0 – 5,4	5,2	55
5,5 – 5,9	5,7	13
6,0 – 6,4	6,2	4
6,5 – 6,9	6,7	5
7,0 – 7,4	7,2	1

Data-data tersebut diatas akan dijadikan sebagai input pada proses pengolahan data dengan bantuan bahasa pascal. Dari hasil pengolahan data diperoleh konstanta-konstanta sebagai berikut:

1. Gempa bumi Jawa Timur berdasarkan data USGS

Dengan menggunakan metode kuadrat terkecil diperoleh konstanta-konstanta \hat{a} , \hat{b} dan r. Dengan menggunakan frekuensi kumulatif diperoleh harga $\hat{a} = 5,82$, $\hat{b} = 0,88$ dan $r = 0$. Dengan frekuensi non kumulatif diperoleh harga $\hat{a} = 4,33$, $\hat{b} = 0,56$ dan $r = 0$.

Sedangkan dengan menggunakan metode maksimum likelihood diperoleh konstanta-konstanta \hat{a} , \hat{b} dan r. Dengan menggunakan frekuensi kumulatif diperoleh harga $\hat{a} = 5,41$, $\hat{b} = 0,80$ dan $r = 0,97$. Dengan frekuensi non kumulatif diperoleh harga $\hat{a} = 1,45$, $\hat{b} = 0,16$ dan $r = 0,29$.

Tabel 5. Data hasil pengolahan data gempa USGS frekuensi kumulatif

USGS	\hat{a}	\hat{b}	R	\bar{b}	\tilde{b}
MKT	5,82	0,88	-	0,94	0,82
MLM	5,41	0,80	0,97	-	-

Tabel 6. Data hasil pengolahan data gempa USGS frekuensi non kumulatif

USGS	\hat{a}	\hat{b}	R	\bar{b}	\tilde{b}
MKT	4,33	0,56	-	0,66	0,45
MLM	1,45	0,16	0,29	-	-

2. Gempa bumi Jawa Timur berdasarkan data BMG

Dengan menggunakan metode kuadrat terkecil diperoleh konstanta-konstanta \hat{a} , \hat{b} dan r. Dengan menggunakan frekuensi kumulatif diperoleh harga $\hat{a} = 6,78$, $\hat{b} = 0,95$ dan $r = 0$. Dengan frekuensi non kumulatif diperoleh harga $\hat{a} = 6,05$, $\hat{b} = 0,78$ dan $r = 0$.

Sedangkan dengan menggunakan metode maksimum likelihood diperoleh konstanta-konstanta \hat{a} , \hat{b} dan r. Dengan menggunakan frekuensi kumulatif diperoleh harga $\hat{a} = 5,54$, $\hat{b} = 0,73$ dan $r = 0,98$. Dengan frekuensi non kumulatif diperoleh harga $\hat{a} = 4,06$, $\hat{b} = 0,59$ dan $r = 0,90$.

Tabel 7. Data hasil pengolahan data gempa BMG frekuensi kumulatif

BMG	\hat{a}	\hat{b}	R	\bar{b}	\tilde{b}
MKT	6,78	0,95	-	0,98	0,91
MLM	5,54	0,73	0,98	-	-

Tabel 8. Data hasil pengolahan data gempa BMG frekuensi non kumulatif

BMG	\hat{a}	\hat{b}	r	\bar{b}	\tilde{b}
MKT	6,05	0,78	-	0,85	0,71
MLM	4,06	0,59	0,90	-	-

Dengan:

MKT : Metode Kuadrat Terkecil

MLM : Metode Likelihood Maksimum

\hat{a} : Nilai a taksiran

\hat{b} : Nilai b taksiran

r : Koefisien korelasi dari MKT

\bar{b} : Batas Atas Nilai \hat{b} dari MLM

\tilde{b} : Batas Bawah Nilai \hat{b} dari MLM

B. Pembahasan

Berdasarkan data gempa BMG mendeteksi adanya gempa dengan magnitudo $\geq 4,0$ SR sebanyak 459 kejadian dan dari data USGS sebanyak 100 kejadian yang tersebar di Jawa Timur.

Distribusi magnitudo untuk frekuensi kumulatif adalah penjumlahan frekuensi gempa dari magnitudo yang terbesar sampai yang terkecil. Sedang distribusi magnitudo untuk frekuensi non kumulatif adalah jumlah frekuensi gempa yang

sebenarnya pada setiap magnitudo dari yang terkecil sampai yang terbesar. Untuk frekuensi non kumulatif dibuat suatu range agar semua distribusi gempa dapat tercakup, sebab apabila digunakan nilai frekuensi kumulatif yang sebenarnya dari magnitudo gempa, akan ditemukan besar magnitudo gempa yang frekuensinya adalah nol sehingga tidak dapat dilakukan perhitungan.

Berdasarkan data USGS dalam tabel dengan metode kuadrat terkecil untuk frekuensi kumulatif diperoleh \hat{b} sebesar 0,88 sedang untuk frekuensi non kumulatif diperoleh 0,56 dan dengan menggunakan metode maksimum likelihood untuk frekuensi kumulatif diperoleh \hat{b} sebesar 0,80 dan 0,16 untuk frekuensi non kumulatif.

Sedangkan berdasar data BMG dalam tabel frekuensi kumulatif dan non kumulatif, dengan menggunakan metode kuadrat terkecil diperoleh \hat{b} sebesar 0,95 untuk frekuensi kumulatif dan 0,78 untuk frekuensi non kumulatif sedangkan dengan menggunakan metode maksimum likelihood diperoleh harga \hat{b} sebesar 0,73 untuk frekuensi kumulatif dan 0,59 untuk frekuensi non kumulatif.

Ini mempunyai arti bahwa data kumulatif gempa BMG dengan metode kuadrat terkecil untuk wilayah Jawa Timur memiliki tingkat patahan yang cukup tinggi dengan nilai $\hat{b} = 0,95$. Wilayah Jawa timur patahannya tidak tinggi bila menggunakan data kumulatif dengan metode maksimum likelihood dan data non kumulatif dari kedua metode tersebut.

Hal ini sesuai dengan pendapat B Gutenberg dan C. F Richter bahwa nilai \hat{b} menunjukkan tingkat seismotektonik pada suatu daerah serta menurut ahli riset Kagan dan Jacson seismotektonik tinggi jika harga $\hat{b} \geq 0,7$. Semakin besar nilai

\hat{b} maka semakin besar tingkat patahan pada suatu daerah tersebut dan begitu pula sebaliknya.

Berdasarkan teori, jika harga r mendekati 1 atau -1 maka dapat dikatakan bahwa data tersebut memiliki hubungan linier antara magnitudo dan logaritma frekuensi gempa yang kuat. Berdasar data, nilai yang menunjukkan korelasi yang kuat adalah frekuensi kumulatif baik data BMG maupun data USGS

BAB V

PENUTUP

A. Simpulan

Data BMG dengan MKT dari frekuensi kumulatif didapat $\hat{a} = 6,80$, $\hat{b} = 0,95$, $r = 0,92$ dan dari frekuensi kumulatif dengan MML diperoleh $\hat{a} = 5,57$, $\hat{b} = 0,74$, $r = 0,98$. Data BMG dari frekuensi non kumulatif dengan MKT diperoleh $\hat{a} = 6,04$, $\hat{b} = 0,78$, $r = 0$ dan dari frekuensi non kumulatif dengan MML didapat $\hat{a} = 4,06$, $\hat{b} = 0,59$, $r = 0,90$.

Data USGS dengan MKT dari frekuensi kumulatif ditunjukkan $\hat{a} = 5,73$, $\hat{b} = 0,86$, $r = 0$ dan dari frekuensi kumulatif dengan MML didapat $\hat{a} = 4,96$, $\hat{b} = 0,70$, $r = 0,98$. Data USGS dengan MKT dari frekuensi non kumulatif diperoleh $\hat{a} = 4,35$, $\hat{b} = 0,56$, $r = 0$ dan dari frekuensi non kumulatif dengan MML didapat $\hat{a} = 1,55$, $\hat{b} = 0,19$, $r = 0,33$.

Hasil perbandingan dari nilai \hat{b} dan r diatas dari dua metode diambil nilai $\hat{b} \geq 0,70$ dengan harga r mendekati 1 atau -1 yaitu terdapat pada frekuensi kumulatif dari data BMG dengan MML dimana $\hat{b} = 0,74$ dan $r = 0,98$. Jadi dapat disimpulkan bahwa ada perbedaan nilai parameter seismotektonik dari hubungan magnitude kumulatif dan non kumulatif untuk Jawa Timur dengan menggunakan metode kuadrat terkecil dan metode maksimum likelihood dari data BMG dan USGS secara nyata tahun 1973 - 2003

Data BMG lebih akurat karena alat pencatat gempa berada pada wilayah terjadinya gempa sedangkan data USGS alat pencatat gempa berada di AS. Hal ini yang menyebabkan data BMG tidak sama daya tangkap gempa (daya tangkap lebih spesifik) dibanding dengan data USGS pada tahun 1973 – 2003. Jadi dapat dikatakan daerah Jawa Timur lebih baik (akurat) bila menggunakan MKT untuk menunjukkan suatu daerah yang struktur batuan mempunyai tingkat patahan (fracture) yang tinggi.

B. Saran

1. Pengolahan data untuk mencari nilai b dapat menggunakan program computer atau soft-ware seperti program Excel, Visual Basic atau SPSS.
2. Bila membandingkan data BMG dan USGS akan lebih baik jumlah data yang diambil harus sama banyaknya pada tahun yang sama pula.
3. Agar skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak, dan untuk dapat dipakai sebagai bahan masukan untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Benjamin F. Howell, JR. 1959. *Introduction to Geophysics*. McGraw-Hill Book Company, Inc: The United States of America.
- Franklin A. Graybill. 1961. *An Introduction to Linier Statistical Models*. McGraw-Hill Book Company, Inc: The United States of America.
- Hamilton, W. 1979. *Tectonics of the Indonesian Region*. Geophysical Survey Professional : Washington.
- Lee J. Bain & Max Engelhardt. *Introduction to Probability and Mathematical Statistics*. Wadsworth Publishing Company: California.
- Mogi, K. 1967. *Earthquake and Fracture*. Tectonophysics-Elsevier Publishing Company: Amsterdam.
- Norman Draper, Harry Smith. 1966. *Applied Regression Analysis*. Jhon Wiley & Sons, Inc: The United States of America.
- Sembiring, R. K. 1989. *Analisis Regresi*. ITB: Bandung.
- Stephen, B. 1993. *Statistics for Engineering Problem Solving*. IEEE PRESS, PWS Publishing Company: Boston.
- Sudjana. 1992. *Metode Statistika*. Bandung: Tarsito.
- Supranto, J. 1986. *Pengantar Probabilita & Statistik Induktif* Jilid 2. Erlangga: Jakarta.

Lampiran 1.

Data Gempa Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Data BMG

Date	Late	Lon	Depth	Magnitudo
26/05/1996-23:21:49	-7.81	112.99	2	4
02/10/2000-04:26:57	-7.09	114.48	2	4
28/05/1996-01:49:00	-7.62	114.51	2	4
20/05/1999-22:50:01	-6.26	114.77	2	4
23/01/1997-10:34:25	-8.1	114.85	9.2	4
25/07/1996-15:50:16	-7.79	113.21	10.6	4
19/09/1996-22:49:52	-7.56	112.97	15	4
12/10/1997-23:45:27	-8	113.64	15	4
26/03/2002-05:37:35	-8.42	113.91	15	4
06/01/1998-17:34:50	-7.62	113.98	15	4
09/07/1996-16:06:35	-8.29	114	15	4
19/06/1996-23:29:30	-8.19	114.5	15	4
29/11/1996-23:58:19	-6.79	114.52	15	4
30/08/1998-08:00:41	-8.39	114.62	15	4
11/10/1996-00:40:25	-8.02	114.83	15	4
14/06/1997-21:11:11	-7.57	114.17	17.9	4
29/06/1997-05:55:51	-7.95	112.56	33	4
02/03/1998-22:41:26	-8.34	112.69	33	4
20/02/1997-00:35:22	-7.9	113.32	33	4
29/09/1996-09:46:40	-7.34	113.65	33	4
28/03/2002-16:31:49	-8.38	113.75	33	4
13/10/1997-12:42:51	-7.86	113.77	33	4
12/10/1997-10:34:49	-7.49	113.8	33	4
20/09/1996-02:42:49	-7.49	113.82	33	4
18/08/1996-09:02:15	-7.03	114.01	33	4
18/06/1996-09:32:19	-8.1	114.38	33	4
19/06/1996-23:42:30	-8.12	114.42	33	4
17/08/1998-23:28:17	-7.88	114.53	33	4
25/03/1999-01:02:46	-7.52	114.57	33	4
25/01/2002-07:28:02	-8.01	114.83	33	4
24/08/1998-01:24:18	-6.66	114.86	33	4
25/06/1996-13:27:58	-8.42	113.75	54.7	4
22/04/2003-06:06:10	-8.35	114.78	62.4	4
10/12/1997-23:36:45	-8.32	111.72	80	4
12/10/1997-23:38:08	-8.19	112.45	80	4

24/06/1997-01:18:23	-7.85	112.75	80	4
24/07/1996-10:55:30	-8.44	112.78	80	4
18/09/1997-13:27:28	-7.21	112.79	80	4
24/04/1997-16:21:52	-7.66	113.42	80	4
17/05/2000-21:49:31	-7.61	113.72	80	4
08/07/1997-10:01:54	-7.78	113.79	80	4
15/08/1997-23:29:55	-7.63	114.4	80	4
23/07/2001-13:22:47	-7.87	114.62	80	4
18/06/1997-18:39:11	-7.63	114.82	80	4
31/03/1999-11:57:03	-7.3	111.68	93	4
02/09/1999-06:14:32	-8.42	113.07	98.2	4
23/09/1999-04:30:04	-8.2	113.5	98.9	4
13/10/1997-00:05:38	-8.31	112.54	2	4.1
10/07/1996-09:34:22	-7.64	113.27	2	4.1
12/05/1999-03:37:58	-6.78	114.86	2	4.1
22/12/1997-10:34:53	-7.24	113.76	3.5	4.1
24/10/1996-14:14:58	-7.38	113.64	6.5	4.1
24/06/1998-07:31:59	-7.84	114.74	10.1	4.1
02/03/1997-00:24:12	-7.62	113.42	15	4.1
16/07/1997-17:07:23	-7.6	113.83	15	4.1
30/09/1997-22:01:59	-7.3	113.95	15	4.1
15/08/1996-19:27:23	-7.41	114.58	15	4.1
22/10/1997-19:39:05	-7.19	114.01	20.1	4.1
16/12/1997-03:38:32	-8.09	114.85	21	4.1
20/05/1997-22:47:58	-7.53	113.17	25.9	4.1
04/12/1997-09:50:03	-6.65	111.77	33	4.1
27/06/1997-16:48:54	-7.62	112.38	33	4.1
22/09/1996-02:52:28	-7.05	112.69	33	4.1
13/01/1999-20:35:48	-7.39	112.81	33	4.1
11/07/1996-05:12:06	-8.08	112.95	33	4.1
03/03/1998-08:28:57	-7.91	112.95	33	4.1
07/09/1996-08:25:44	-5.94	113.08	33	4.1
13/02/1998-11:45:54	-7.65	113.16	33	4.1
05/09/1996-11:07:18	-8.46	113.3	33	4.1
20/08/1996-04:22:25	-7.35	113.44	33	4.1
03/11/1996-12:45:01	-6.71	113.65	33	4.1
20/07/1996-00:16:39	-7.94	113.69	33	4.1
19/02/1998-02:52:44	-7.33	113.73	33	4.1
21/01/1997-07:01:31	-7.47	113.79	33	4.1
10/01/1999-09:23:33	-7.57	113.86	33	4.1
28/11/2001-17:55:31	-6.16	113.9	33	4.1

25/04/1997-02:53:50	-7.73	113.93	33	4.1
20/07/1999-15:06:41	-7.52	114.35	33	4.1
25/06/1998-21:29:09	-6.51	114.52	33	4.1
17/04/1998-20:56:50	-5.5	114.59	33	4.1
12/02/1997-12:11:15	-7.34	114.67	33	4.1
15/04/2001-00:06:44	-8.24	111.41	80	4.1
02/04/1999-22:02:30	-8.04	112.48	80	4.1
13/01/1997-16:38:39	-7.9	112.77	80	4.1
28/11/1996-07:11:22	-8.43	112.98	80	4.1
02/11/1997-15:45:31	-6.05	113.08	80	4.1
02/03/1998-05:58:16	-7.08	113.12	80	4.1
19/10/1999-04:18:49	-8.25	113.21	80	4.1
11/11/1999-03:05:51	-7.45	113.34	80	4.1
01/05/1999-07:33:44	-7.55	113.46	80	4.1
20/06/1996-00:27:21	-7.98	113.86	80	4.1
28/09/2000-18:01:39	-7.7	113.88	80	4.1
08/03/1999-17:10:12	-6.9	111.5	80.6	4.1
25/01/1997-17:09:43	-6.78	111.96	88	4.1
19/06/1997-19:12:25	-8.49	113.29	92.3	4.1
12/09/2002-09:03:12	-8.45	114.54	2	4.2
25/03/2000-13:34:17	-8.2	114.82	2	4.2
19/09/1997-09:22:08	-7.75	113.68	4.6	4.2
26/06/1997-12:58:00	-8.1	112.52	10	4.2
11/08/1998-21:35:02	-7.9	113.09	15	4.2
31/03/2001-00:03:10	-8.4	113.5	15	4.2
04/09/1996-07:34:19	-7.46	113.71	15	4.2
10/07/1996-01:07:48	-7.49	113.78	15	4.2
28/12/1997-12:25:02	-7.4	113.85	15	4.2
24/06/2002-10:16:31	-7.67	114.16	15	4.2
06/11/1999-21:14:54	-8.35	113.12	29.9	4.2
03/09/1997-05:06:00	-8.18	112.56	33	4.2
13/10/1997-09:47:12	-7.79	112.76	33	4.2
30/06/1997-03:55:45	-7.98	112.79	33	4.2
17/11/1996-02:45:40	-7.81	112.8	33	4.2
08/09/1997-05:55:35	-8.05	112.82	33	4.2
07/07/1997-19:16:49	-7.99	112.93	33	4.2
28/07/1997-12:00:38	-7.61	113.16	33	4.2
30/07/1996-04:32:15	-7.9	113.19	33	4.2
06/11/1999-05:28:13	-7.84	113.23	33	4.2
22/06/1996-04:05:01	-7.73	113.24	33	4.2
21/03/1998-05:34:53	-7.3	113.25	33	4.2

01/07/1998-17:36:52	-7.21	113.35	33	4.2
26/07/1999-23:54:34	-6.09	113.6	33	4.2
07/05/1997-16:06:24	-7.39	113.9	33	4.2
20/05/2000-15:30:58	-7.22	114.02	33	4.2
26/07/1996-09:15:31	-7.15	114.1	33	4.2
26/02/2000-09:59:06	-7.41	114.16	33	4.2
26/07/1997-05:00:10	-7.66	114.51	33	4.2
26/09/2001-00:54:18	-8.25	114.55	33	4.2
17/05/1998-07:24:48	-6.31	114.65	33	4.2
06/04/1999-13:59:08	-7.78	114.95	33	4.2
22/01/2001-15:15:56	-8.35	112.98	55.4	4.2
17/11/1996-02:21:42	-8.01	112.42	58.6	4.2
02/12/2001-14:09:54	-8.39	114.77	73.5	4.2
16/12/2001-07:54:29	-8.35	114.6	74.7	4.2
13/10/1997-17:24:29	-8.03	112.24	80	4.2
21/12/1996-23:05:01	-8.27	112.52	80	4.2
10/09/1996-11:02:44	-8.06	112.99	80	4.2
21/08/1999-23:16:50	-7.67	113.36	80	4.2
22/12/1999-15:08:41	-8.17	113.5	80	4.2
27/01/1999-16:50:01	-7.88	113.52	80	4.2
02/06/1996-17:49:41	-7.34	113.7	80	4.2
29/06/1996-02:51:06	-7.63	113.74	80	4.2
05/10/1999-19:37:26	-8.15	113.86	80	4.2
04/05/1996-04:16:15	-7.13	114	80	4.2
01/03/2000-09:47:33	-7.01	114.3	80	4.2
05/09/1997-19:19:32	-6.79	114.4	80	4.2
31/01/1999-02:23:32	-7.41	114.59	80	4.2
20/06/1997-06:21:56	-7.19	114.89	80	4.2
27/06/1996-07:49:22	-8.4	112.49	85.6	4.2
20/05/1999-21:21:11	-8.31	113.27	96.4	4.2
23/09/2002-23:40:32	-6.18	113.25	2	4.3
31/12/1997-15:04:57	-8.34	114.27	2	4.3
25/07/1997-09:18:40	-8.21	113	3.7	4.3
30/03/1998-23:07:26	-7.6	114.62	9.7	4.3
07/09/1997-12:17:59	-8.42	114.98	12.4	4.3
11/11/1996-02:16:55	-7.28	113.27	15	4.3
24/08/2002-10:14:40	-7.78	114.19	15	4.3
20/08/1998-10:23:53	-8.18	114.76	15	4.3
06/11/1999-21:50:04	-8.05	113.03	20.9	4.3
18/04/2003-17:09:02	-7.86	113.31	27.7	4.3
02/12/1996-23:35:37	-6.62	111.93	33	4.3

13/05/1997-16:37:17	-7.93	112.49	33	4.3
10/09/1996-19:59:01	-8.28	112.6	33	4.3
10/01/1997-16:28:56	-8.07	112.71	33	4.3
21/06/1997-21:13:09	-8.1	112.85	33	4.3
04/10/1996-04:23:52	-8.13	112.96	33	4.3
29/03/1998-07:03:02	-7.05	113.01	33	4.3
21/12/2000-18:50:56	-6.07	113.15	33	4.3
05/05/1997-20:06:22	-7.79	113.81	33	4.3
21/05/1998-06:43:44	-7.48	114.23	33	4.3
09/04/2001-08:17:51	-7.52	114.48	33	4.3
26/06/2001-11:10:43	-7.75	114.79	33	4.3
25/07/2001-07:37:38	-7.91	114.99	33	4.3
24/11/1998-01:42:30	-7.49	114.99	33	4.3
22/05/1997-15:29:30	-8.5	112.8	56.3	4.3
28/04/1997-14:54:15	-7.54	112.01	80	4.3
08/04/1997-14:44:33	-8.16	112.64	80	4.3
23/02/1999-06:32:01	-7.64	112.66	80	4.3
27/06/1997-17:06:52	-8.03	112.68	80	4.3
24/11/1997-00:53:25	-7.71	112.75	80	4.3
19/06/1996-14:17:13	-8.36	112.98	80	4.3
16/01/2001-13:57:18	-8.15	113.07	80	4.3
28/04/1999-21:27:09	-7.59	113.12	80	4.3
02/07/1999-16:55:18	-7.05	113.14	80	4.3
24/06/1996-02:09:26	-7.41	113.39	80	4.3
18/09/1996-04:46:02	-7.35	113.63	80	4.3
11/07/1999-10:01:01	-7.72	113.64	80	4.3
27/03/1998-00:41:06	-7.98	113.7	80	4.3
02/11/1996-09:00:29	-7.38	113.73	80	4.3
03/01/2001-06:54:56	-8.17	111.47	2	4.4
02/09/1996-03:50:05	-7.84	112.7	2	4.4
12/09/1996-16:53:49	-8.41	114.25	2	4.4
26/12/1997-15:54:24	-8.47	114.42	2	4.4
24/10/1998-08:16:52	-6.38	114.43	2	4.4
12/10/1997-23:20:45	-7.22	112.63	5.5	4.4
26/06/1996-21:02:10	-7.47	114.92	9.2	4.4
04/02/1999-16:36:06	-7.73	114.87	9.9	4.4
17/01/1997-15:52:42	-7.42	113.14	12.9	4.4
12/06/1996-06:21:39	-6.44	111.94	15	4.4
15/12/2000-00:01:15	-6.36	112.52	15	4.4
13/07/2002-02:14:04	-8.43	113.84	15	4.4
05/09/2001-15:53:40	-5.51	114.52	15	4.4

19/02/1998-21:13:07	-6.33	114.77	15	4.4
04/09/1996-06:52:20	-8.1	114.82	15	4.4
12/07/2001-08:17:11	-7.9	114.88	15	4.4
03/02/1999-20:34:48	-6.58	112.49	22.5	4.4
25/11/1997-04:07:02	-8.38	112.37	33	4.4
08/12/1997-07:14:12	-7.92	112.4	33	4.4
07/12/1997-02:56:16	-7.99	112.43	33	4.4
24/12/1996-18:31:55	-8.3	112.64	33	4.4
27/04/1997-11:54:44	-7.41	112.82	33	4.4
28/08/1996-11:21:29	-8.06	112.92	33	4.4
23/05/1996-20:38:44	-7.81	113.23	33	4.4
20/06/1997-17:02:49	-7.76	113.28	33	4.4
09/08/1996-15:29:27	-6.95	113.4	33	4.4
10/07/1997-07:51:03	-7.38	113.71	33	4.4
17/07/1997-04:20:25	-7.11	113.76	33	4.4
31/01/1999-02:04:20	-6.77	114.08	33	4.4
21/08/1997-14:14:43	-6.87	114.33	33	4.4
09/02/1999-00:23:22	-7.39	114.37	33	4.4
30/03/2001-06:03:22	-6.9	114.48	33	4.4
22/01/1997-21:52:40	-7.31	114.42	45.1	4.4
02/03/1998-18:03:51	-6.21	111.68	80	4.4
27/10/2000-17:10:23	-6.24	111.92	80	4.4
01/07/1999-21:27:16	-7.67	112.15	80	4.4
15/06/1997-21:45:08	-8.45	112.5	80	4.4
13/10/1997-09:50:04	-8.03	112.91	80	4.4
15/04/2000-23:31:48	-7.79	113.1	80	4.4
13/10/1997-12:29:30	-7.27	113.11	80	4.4
28/03/1998-10:36:17	-5.98	113.8	80	4.4
04/07/1996-04:39:17	-7.15	113.86	80	4.4
05/04/2000-09:33:40	-8.45	112.48	82.3	4.4
23/02/1999-05:53:27	-7.74	112.65	82.3	4.4
23/12/1999-08:36:21	-7.85	112.59	92	4.4
04/02/1997-19:17:13	-8.34	113.55	93.6	4.4
18/06/1996-12:00:15	-8.1	114.46	15	4.5
14/01/1998-09:05:51	-6.41	111.59	33	4.5
27/07/1996-21:33:35	-8.18	112.38	33	4.5
12/07/1996-02:04:30	-7.95	112.99	33	4.5
28/03/1998-20:05:40	-7.3	113.56	33	4.5
21/05/1996-00:17:56	-7.45	113.76	33	4.5
23/12/1998-18:45:11	-8.22	113.88	33	4.5
11/03/1998-01:49:00	-7.31	114.21	33	4.5

25/06/1999-10:50:39	-7.91	115	33	4.5
17/12/1998-14:12:49	-8.2	114.91	51.7	4.5
26/03/1998-02:51:30	-8.31	112.95	80	4.5
09/07/1999-18:38:03	-8.33	113.18	80	4.5
20/05/1999-09:35:51	-7.5	113.35	80	4.5
26/04/1999-04:49:03	-8.07	114.65	80	4.5
21/08/1999-01:25:15	-8.31	114.98	91.2	4.5
22/09/2000-17:34:27	-6.14	111.86	2	4.5
26/08/2000-06:36:25	-6.1	112.45	2	4.5
18/06/1996-09:21:24	-8.07	114.55	2	4.5
08/09/1996-10:19:24	-7.82	112.88	15	4.5
29/06/1997-14:36:07	-7.73	113.84	15	4.5
03/08/1998-20:33:35	-8.11	114.7	15	4.5
26/08/2002-19:00:21	-6.26	113.81	25.9	4.5
22/02/1997-05:49:07	-8.42	112.01	33	4.5
24/02/2000-18:12:41	-7.42	112.53	33	4.5
24/12/1996-20:07:58	-7.81	112.55	33	4.5
23/06/1996-10:16:02	-7.25	112.61	33	4.5
13/10/1997-17:10:52	-7.11	113	33	4.5
09/08/1997-03:51:29	-7.52	113.18	33	4.5
06/09/1997-03:19:13	-7.72	113.19	33	4.5
06/12/1996-10:42:13	-7.72	113.26	33	4.5
04/07/1996-04:41:34	-7	114.04	33	4.5
09/01/1998-09:33:23	-7.53	114.05	33	4.5
05/06/1999-13:24:51	-6.96	110.52	72.1	4.5
01/07/1999-14:19:35	-7.42	111.18	80	4.5
23/11/1999-14:36:18	-7.47	111.25	80	4.5
20/06/1997-15:45:35	-6.64	111.87	80	4.5
07/04/1997-07:59:50	-6.71	111.91	80	4.5
07/11/1997-06:51:54	-7.44	112.66	80	4.5
26/12/1996-04:33:01	-8.17	112.88	80	4.5
14/07/1996-09:21:27	-8.31	113.4	80	4.5
11/10/1996-05:14:19	-6.9	113.68	80	4.5
02/03/1998-09:01:00	-7.69	113.75	80	4.5
05/10/2000-04:33:56	-8.38	114.57	80	4.5
04/03/1997-03:11:35	-6.65	110.82	82.6	4.5
29/11/1996-01:22:48	-6.56	113.46	83.8	4.5
24/07/2001-04:31:30	-8.46	113.67	97.1	4.5
10/02/1999-06:40:03	-8.19	113.9	15	4.6
18/06/1996-12:51:18	-8.09	114.43	15	4.6
04/05/1997-01:11:50	-8.13	114.72	15.6	4.6

28/11/1996-17:12:35	-8.42	114.49	21	4.6
01/04/1999-20:48:26	-8.03	114.56	33	4.6
26/04/1996-03:34:57	-7.46	114.62	0.8	4.6
27/05/2003-00:28:47	-7.13	114.06	2	4.6
08/09/1997-21:09:35	-8.14	114.87	2	4.6
21/12/2000-20:22:47	-7.94	114.75	13	4.6
08/07/1996-14:13:56	-8.37	114.82	13.7	4.6
06/10/2000-06:43:57	-8.08	114.71	14.1	4.6
27/03/2002-04:50:48	-8.39	113.89	15	4.6
05/06/1997-07:09:25	-8.01	113.97	15	4.6
24/06/1996-06:25:03	-7.66	112.18	19.5	4.6
06/10/1997-23:58:28	-7.8	112.31	33	4.6
12/10/1997-23:17:54	-7.71	112.63	33	4.6
22/02/2001-18:06:45	-8.35	113.02	33	4.6
31/05/1997-07:52:35	-7.77	113.07	33	4.6
13/09/1997-16:29:11	-7.92	113.1	33	4.6
10/08/1999-07:09:25	-7.08	113.11	33	4.6
16/12/2000-04:53:29	-8.27	113.62	33	4.6
25/01/1999-04:23:58	-7.27	114.32	33	4.6
23/04/2003-14:00:24	-6.5	114.35	33	4.6
28/09/1996-11:05:10	-6.75	114.67	33	4.6
28/10/2002-05:51:38	-8.46	114.16	38.4	4.6
20/10/2002-19:54:14	-8.23	114.46	40.6	4.6
22/05/1999-06:00:59	-7.95	110.58	80	4.6
25/02/1999-03:37:32	-7.35	111.77	80	4.6
02/09/1996-22:54:38	-8.27	112.52	80	4.6
28/06/1997-10:53:52	-8.35	112.56	80	4.6
22/09/1996-21:00:15	-7.32	112.61	80	4.6
15/03/2002-18:38:31	-8.06	112.74	80	4.6
20/06/1996-02:42:15	-7.57	112.77	80	4.6
03/02/2000-14:06:54	-6.82	114.53	80	4.6
17/07/1999-03:35:18	-7.08	114.66	80	4.6
15/12/1997-02:30:48	-8.2	114.83	80	4.6
29/04/2003-09:36:24	-8.33	114.12	86.6	4.6
14/09/1997-07:40:23	-7.9	114.72	4.7	4.7
13/08/1997-17:42:11	-8.42	114.99	13.2	4.7
13/07/1996-01:37:04	-8.05	114.42	15	4.7
30/01/1998-03:31:47	-8.36	113.31	33	4.7
03/05/1999-22:16:50	-7.82	114.9	33	4.7
20/05/1997-17:35:56	-8.42	114.99	33	4.7
19/05/1999-14:02:07	-8.42	110.64	80	4.7

30/05/1996-07:10:31	-6.15	112.25	2	4.7
08/03/2002-05:00:19	-6.92	114.54	2	4.7
29/03/1997-08:52:38	-8.34	112.35	15	4.7
28/02/2000-19:24:34	-5.53	110.55	33	4.7
09/06/1997-23:16:55	-7.7	111.32	33	4.7
13/10/1997-16:31:44	-7.46	112.41	33	4.7
13/10/1997-20:15:31	-7.66	112.43	33	4.7
31/07/1996-00:12:29	-7.17	112.57	33	4.7
25/09/1998-20:55:17	-8.22	113	33	4.7
08/06/1997-07:37:01	-7.25	113.53	33	4.7
27/06/1996-22:30:20	-6.15	113.68	33	4.7
01/02/2002-19:14:20	-5.94	114.91	33	4.7
02/10/1999-10:40:39	-6.99	111.89	80	4.7
24/05/2003-09:48:31	-7.43	111.92	80	4.7
01/09/2001-19:10:50	-6.03	112.86	80	4.7
10/01/1997-12:04:58	-8.1	114.76	2	4.8
05/06/1999-09:56:00	-8.22	114.79	2	4.8
18/06/1996-13:01:50	-8.18	114.46	15	4.8
18/06/1996-09:54:18	-8.17	114.47	15	4.8
31/03/2000-17:58:24	-8.35	111.25	25.2	4.8
30/08/1996-08:46:54	-7.72	114.45	33	4.8
16/10/2000-23:20:42	-7.79	114.54	80	4.8
01/05/1996-00:38:29	-8.12	112.48	2	4.8
22/01/1997-21:56:42	-7.35	114.44	8.3	4.8
20/01/1997-13:30:00	-8.19	114.68	10.4	4.8
05/11/2001-20:21:46	-8	114.72	16.5	4.8
16/05/2000-15:46:07	-6.53	110.88	33	4.8
27/03/2000-13:53:38	-8.22	112.05	33	4.8
07/06/2000-07:34:28	-8.24	112.39	33	4.8
14/06/1997-02:21:09	-8.43	112.44	33	4.8
27/08/1996-18:02:32	-8.06	112.46	33	4.8
08/08/1996-14:23:13	-8.23	112.48	33	4.8
25/11/1997-02:28:36	-7.9	112.51	33	4.8
22/05/2000-22:24:40	-8.06	113.07	33	4.8
13/01/1998-04:57:39	-6.94	113.94	33	4.8
13/08/1997-21:20:15	-6.23	111.15	80	4.8
06/11/1999-01:16:03	-8.06	113.02	80	4.8
22/09/2000-15:12:59	-7.62	113.76	80	4.8
12/03/2000-23:22:28	-7.18	113.79	80	4.8
01/05/1999-00:40:25	-8.08	112.79	88.4	4.8
16/04/2000-16:43:23	-6.67	110.7	91.2	4.8

27/11/1996-06:12:49	-6.83	111.66	33	4.9
24/02/2003-10:39:41	-7.25	114.41	33	4.9
20/06/1996-09:24:51	-8.24	114.46	33	4.9
08/05/1997-22:16:43	-8.01	112.48	80	4.9
12/03/2000-22:25:06	-8.04	113	2	4.9
09/05/2000-20:40:36	-8.47	113.81	2	4.9
25/02/1997-17:17:31	-8	111.33	15	4.9
11/01/1999-03:29:10	-7.46	112.93	15	4.9
23/05/1998-09:48:51	-5.84	113.38	15	4.9
23/01/1997-13:21:56	-6.5	111.49	33	4.9
21/12/2000-17:42:33	-6.09	113.14	33	4.9
24/06/1996-12:32:17	-7.08	113.7	33	4.9
15/11/2001-19:30:31	-6.95	114.49	33	4.9
12/03/2000-21:37:57	-7.98	111.67	80	4.9
19/08/1999-12:35:25	-8.14	111.92	80	4.9
27/03/1998-01:19:05	-6.32	112.69	80	4.9
04/07/1996-04:37:04	-7.07	113.88	80	4.9
30/03/2001-05:56:35	-6.73	114.26	80	4.9
23/12/1998-18:36:03	-8.12	114.76	2	5
11/10/2000-04:50:32	-7.92	114.73	2.1	5
26/07/1996-08:46:47	-8.09	114.88	15	5
25/02/1998-01:55:08	-8.27	114.82	33	5
29/12/2000-00:10:40	-8	114.75	12	5
18/06/1996-09:15:42	-8.04	114.42	15	5
12/01/1997-01:29:32	-8.17	114.87	15	5
06/11/1999-05:36:23	-8.33	112.85	22.7	5
22/12/2000-07:25:43	-6.06	113.09	23.9	5
01/07/1996-14:04:50	-6.12	110.57	33	5
07/10/1997-09:46:42	-6.25	111.19	33	5
15/10/2002-02:13:35	-8.3	113.77	33	5
20/07/1999-14:16:50	-7.56	114.36	33	5
31/01/2003-23:13:35	-5.75	113.26	74.3	5
12/09/1996-21:18:12	-6.59	111.32	80	5
07/05/2000-19:21:52	-7.74	112.88	80.2	5
26/08/2002-17:36:44	-6.31	113.33	27.3	5.1
09/10/1996-21:46:54	-8.36	114.86	33	5.1
14/05/2000-20:22:59	-7.33	113.85	2	5.1
03/03/1997-18:38:12	-8.1	112.37	15	5.1
14/10/1998-16:19:34	-7.82	112.43	33	5.1
12/10/1996-11:41:48	-7.29	112.74	33	5.1
26/08/2002-19:49:32	-6.65	112.79	33	5.1

02/07/2001-23:26:10	-6.21	113.11	33	5.1
23/08/2001-08:29:07	-7.7	113.36	33	5.1
19/10/2002-12:36:32	-5.96	113.36	33	5.1
22/03/1998-05:17:09	-7.91	111.33	80	5.1
26/11/1996-17:26:44	-8.23	112.8	33	5.2
14/03/1998-16:32:50	-8.13	112.87	33	5.2
14/09/1996-19:17:21	-8.19	113.45	33	5.2
14/09/1996-22:16:00	-7.47	113.82	33	5.2
13/07/1996-02:23:19	-8.11	114.43	33	5.2
25/02/2003-10:39:42	-7.4	114.56	80	5.2
03/10/1996-19:49:50	-7.24	113.48	2	5.2
13/08/1996-08:21:01	-8.08	113.63	2	5.2
27/06/1997-20:42:55	-8.18	114.12	2	5.2
12/01/2003-19:50:31	-8.48	114.34	2	5.2
19/06/1996-12:07:04	-8.11	114.46	15	5.2
26/01/1998-14:04:11	-8.13	114.86	15	5.2
26/06/2001-08:08:52	-7.33	114.8	25.8	5.2
01/12/2001-06:57:43	-6.89	114.2	33	5.2
21/08/1997-06:48:57	-7.16	110.92	80	5.2
08/07/1996-15:43:22	-8.46	114.73	15	5.3
10/07/1997-00:07:39	-8.02	113.82	16.3	5.3
14/02/2001-20:52:15	-8.43	114.65	35.9	5.3
18/06/1996-14:59:25	-7.92	114.42	2	5.3
09/01/1997-13:32:01	-8.13	114.85	8.6	5.3
08/12/1998-10:11:05	-6.9	113.33	15	5.3
01/01/2001-19:36:16	-7.86	113.44	15	5.3
26/01/1998-11:04:06	-8.1	114.85	15	5.3
19/10/2000-06:48:02	-8.37	113.4	80	5.3
27/05/1998-13:56:06	-7.93	114.8	15	5.4
14/12/1996-20:33:32	-8.12	113.51	80	5.4
13/01/1997-14:01:39	-8.22	114.68	15	5.4
17/12/1996-21:59:37	-8.4	112.49	100	5.4
26/01/1998-13:57:45	-8.11	114.85	11.3	5.5
14/05/2000-13:18:18	-6.56	110.59	25.8	5.5
01/09/1997-11:57:25	-7.89	114.71	13.2	5.6
10/03/2001-09:01:56	-8.06	114.85	15	5.6
20/11/2000-18:24:23	-8.18	114.74	2	5.6
13/02/1999-16:34:55	-5.86	112.11	33	5.6
02/06/1997-04:50:37	-6.06	111.28	80	5.6
09/09/1997-13:38:19	-8.44	114.29	15	5.7
28/03/2000-03:06:20	-7.96	114.55	15	5.7

27/01/1998-22:32:37	-8.19	113.51	15	5.7
02/06/1996-12:31:35	-8.35	114.65	15	5.8
19/08/1998-16:39:27	-8.16	114.98	47.8	5.8
13/01/1997-20:48:05	-7.63	114.26	15	5.9
24/08/2002-13:44:44	-7.95	114.25	2	6.1
23/03/1998-09:21:11	-8.02	114.78	16.6	6.2
25/06/1998-22:37:22	-8.39	114.77	33	6.4
22/02/1998-06:18:54	-8.31	114.95	2	6.5
19/06/1996-14:55:23	-8.12	114.47	11.3	6.5
29/06/1998-19:57:54	-8.08	114.56	15	6.7
01/05/1998-02:19:43	-8.38	114.85	33	6.7
28/09/1998-13:34:27	-6.17	112.92	80	6.8
28/05/1998-15:20:13	-8.02	114.64	33	6.9
25/10/1998-13:07:23	-7.97	114.68	15	8.2

Lampiran 2.

Data Gempa Wilayah Jawa Timur Berdasarkan Data USGS

Date	O T	Lat	Lon	Depth	Magnitudo	M
19971020	233401.30	-7.86	111.51	84	4.00	mb
19960404	143630.63	-7.07	112.44	100	4.00	mb
19951127	082339.68	-5.79	112.28	33	4.00	mb
19970716	122040.76	-8.86	112.02	100	4.00	mb
19980209	011124.49	-8.63	111.57	100	4.00	Mw
19990213	163500.67	-8.86	111.39	82	4.00	mb
19990429	093007.13	-8.50	111.83	33	4.00	mb
19951001	050235.63	-8.73	111.42	89	4.10	mb
19960618	091542.69	-8.01	114.64	33	4.10	Mw
19970714	125446.57	-6.78	112.09	33	4.20	mb
19960106	163404	-7.80	112.88	63	4.20	mb
19950704	164831.24	-7.80	112.96	63	4.20	mb
19890823	022503.54	-8.46	113.63	33	4.20	mb
19960112	185336.70	-8.30	112.94	100	4.20	mb
20021024	031033.10	-8.74	111.36	100	4.20	mb
19760228	174015.80	-8.90	112.65	85	4.30	mb
19850806	155433.78	-8.48	113.83	33	4.30	Mw
19891205	092937.52	-8.89	113.21	33	4.30	mb
19990318	202534.23	-8.82	112.25	99	4.30	mb
20020210	040623.22	-8.66	112.55	92	4.30	mb
20020821	192851.17	-8.79	111.44	33	4.30	mb
19741005	002623.10	-8.46	111.15	85	4.40	mb
19790514	091156.40	-8.14	111.60	33	4.40	mb
19960803	033542.54	-8.35	113.73	33	4.40	mb
19961013	094032.01	-8.85	113.83	33	4.40	mb
20010322	002516.33	-8.81	111.39	33	4.40	mb
19960912	211811.80	-6.75	111.39	33	4.50	mb
19940516	080730.42	-5.70	114.51	33	4.50	mb
19790718	153324	-8.76	111.14	99	4.50	mb
19820912	102745.50	-8.75	112.67	85	4.50	mb
19830109	080834.58	-8.75	112.59	88	4.50	mb
19830604	125705.54	-8.90	111.42	70	4.50	mb
19950509	064300.90	-8.64	111.10	76	4.50	mb
19960619	234424.51	-8.31	111.27	100	4.50	mb
19970226	055645.06	-8.60	112.43	95	4.50	mb

19900326	203107.91	-6.23	112.40	33	4.60	mb
19960619	120705.88	-8.26	114.67	33	4.60	mb
19980510	012657.32	-8.73	114.09	100	4.60	mb
19980513	070034.82	-8.61	112.66	97	4.60	mb
20000212	085212.89	-8.72	112.49	86	4.60	mb
19920514	181911.16	-7.38	113.02	33	4.70	mb
19730330	190305.50	-8.71	112.59	97	4.70	mb
19770911	225512.30	-8.87	112.47	33	4.70	mb
19790909	135839.30	-8.62	112.61	80	4.70	mb
19860307	194457.35	-8.70	112.04	33	4.70	mb
19891215	100719.60	-8.95	113.21	33	4.70	mb
19910424	183144.74	-8.27	114.47	33	4.70	mb
20010228	154105.81	-8.75	111.44	33	4.70	mb
20010319	114603.49	-8.72	113.26	33	4.70	mb
20010420	134100.49	-8.70	112.01	33	4.70	mb
19770901	001856.10	-7.75	111.36	68	4.80	mb
19760508	053137.40	-8.39	112.59	91	4.80	Ms
19840614	225716.81	-8.60	112.54	95	4.80	mb
19870408	195803.65	-8.61	111.06	64	4.80	mb
19931116	115957.51	-8.68	111.44	33	4.80	mb
19940325	125158.42	-8.77	111.80	97	4.80	mb
19960705	120052.77	-8.93	114.65	100	4.80	mb
19961217	215935.03	-8.51	112.57	71	4.80	mb
19980703	063210.82	-8.83	111.86	100	4.80	mb
19990213	185225.14	-8.81	111.43	77	4.80	Mw
19990818	193651.62	-8.31	112.51	33	4.80	mb
20010502	151116.27	-8.49	112.50	78	4.80	mb
20010819	154305.62	-8.52	111.07	33	4.80	mb
19891228	171248.03	-6.79	112.45	33	4.90	mb
20000507	192152.04	-7.99	112.81	48	4.90	mb
19781221	110442.70	-8.42	111.61	88	4.90	mb
19801021	223154.70	-8.84	112.31	86	4.90	mb
19920904	005614.99	-8.79	112.38	33	4.90	Mw
19920904	224810.75	-8.52	112.51	33	4.90	mb
19930525	004225.40	-8.29	112.45	93	4.90	mb
19941121	015900.90	-8.89	114.20	33	4.90	mb
19990219	181628.71	-8.59	111.32	89	4.90	mb
19990610	165800.72	-8.68	111.54	76	4.90	mb
20000331	175825.15	-8.19	111.37	94	4.90	mb
19800813	001748.90	-7.87	112.05	33	5.00	mb
19900326	112309.59	-5.67	112.87	33	5.00	mb

20020621	050711.93	-6.42	113.40	42	5.00	mb
19940313	105011.15	-7.67	111.43	97	5.00	mb
19891025	064642.71	-7.15	113.25	41	5.00	mb
19790515	010612.90	-8.16	111.76	81	5.00	mb
19900618	165255.26	-8.81	111.24	33	5.00	mb
19930410	175807.25	-8.39	111.25	88	5.00	mb
19790514	091421.70	-7.67	111.20	37	5.10	Mw
19860512	103500.42	-6.97	112.02	33	5.10	Mw
19871110	201754.49	-5.64	113.35	34	5.10	mb
19920705	060051.37	-7.67	111.27	33	5.10	mb
19790924	002508.90	-8.86	114.00	86	5.10	mb
19830812	115046.79	-8.94	111.41	89	5.10	mb
19831101	072837.80	-8.77	111.43	77	5.10	mb
19910602	165011.44	-8.67	111.41	88	5.10	mb
19960720	234434.89	-8.65	114.68	33	5.10	mb
19800331	131446.60	-8.89	112.98	49	5.20	mb
19920626	023613.46	-8.79	112.59	63	5.20	mb
20010114	195126.36	-8.47	112.64	74	5.20	mb
19740521	075711.10	-8.61	111.27	88	5.30	mb
19880714	231808.09	-8.49	112.60	33	5.30	mb
20020826	173644.70	-6.40	113.41	33	5.40	mb
19830817	092950.04	-8.72	111.22	71	5.40	mb
19850423	221038.70	-8.75	111.33	33	5.40	mb
19950727	122132.43	-8.68	111.21	71	5.40	mb
20000129	081310.73	-8.63	111.14	60	5.40	mb
19801224	235506.40	-8.95	112.04	63	5.60	mb
19891203	111156.39	-8.83	113.42	95	5.60	mb
20010807	032235.89	-8.61	113.83	90	5.60	mb
19840503	122851.79	-8.57	111.34	85	5.70	mb
19830813	222819.62	-8.67	111.24	81	5.90	mb
19920609	003156.31	-8.47	111.10	63	5.90	mb
19950505	171919.39	-8.73	111.03	76	5.90	mb