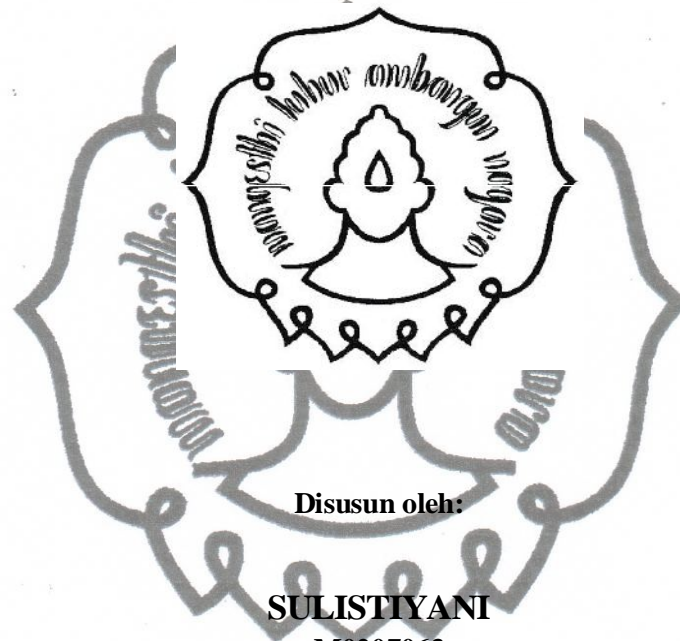


**KAJIAN TERHADAP INDEKS BAHAYA SEISMIC REGIONAL
MENGUNAKAN DATA SEISMIC DI PULAU JAWA
DARI TAHUN 1900 - 2006**



Disusun oleh:

SULISTIYANI
M0207063

SKRIPSI

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Memperoleh
Gelar Sarjana Jurusan Fisika**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET**

SURAKARTA

Oktober, 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul : Kajian Terhadap Indeks Bahaya Seismik Regional
Meggunakan Data Seismik Di Pulau Jawa Dari Tahun
1900-2006

Yang ditulis oleh

Nama : Sulistiyani

NIM : M0207063

Telah diuji dan dinyatakan lulus oleh dewan penguji pada

Hari : Senin

Tanggal : 17 Desember 2012

Dewan Penguji:

1. Budi Legowo, S.Si., M.Si
NIP. 19730510 199903 1 002
2. Utari, S.Si., M.Si
NIP. 19701206 200003 2 001
3. Sorja Koesuma, S.Si., M.Si
NIP. 19720801 200003 1 001
4. Nugroho Budi W, S.Si., M.Si
NIP. 19840223 200801 1 011


(.....)

(.....)

(.....)


(.....)

Disahkan oleh
Ketua Jurusan Fisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sebelas Maret Surakarta




Ahmad Marzuki, S.Si, Ph.D.
NIP. 19680508 199702 1 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi intelektual skripsi saya yang berjudul **“KAJIAN TERHADAP INDEKS BAHAYA SEISMIC REGIONAL MENGGUNAKAN DATA SEISMIC DI PULAU JAWA DARI TAHUN 1900-2006”** adalah hasil kerja saya atas arahan pembimbing dan sepengetahuan saya hingga saat ini, isi skripsi tidak berisi materi yang telah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain atau materi yang telah diajukan untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di Universitas Sebelas Maret atau di Perguruan Tinggi lainnya, jika ada maka telah dituliskan di daftar pustaka skripsi ini dan segala bentuk bantuan dari semua pihak telah ditulis di bagian ucapan terimakasih. Isi skripsi ini boleh dirujuk atau difotokopi secara bebas tanpa harus memberitahu penulis.

Surakarta, 16 November 2012

Sulistiyani

**KAJIAN TERHADAP INDEKS BAHAYA SEISMIC REGIONAL
MENGUNAKAN DATA SEISMIC DI PULAU JAWA
DARI TAHUN 1900—2006**

Sulistiyani

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Sebelas Maret

Email: Culis_tiyani@ymail.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang Indeks Bahaya Seismik Regional (*Regional Seismic Disaster Indeks*) di Pulau Jawa menggunakan data seismik dari tahun 1900 – 2006. IBSR merupakan indeks yang menunjukkan kerentanan bahaya seismik di suatu daerah. Daerah yang bernilai tinggi memiliki tingkat risiko tinggi, dan daerah yang bernilai rendah memiliki tingkat rendah. Nilai IBSR tertinggi terdapat di Propinsi Banten, Propinsi Jawa Barat, dan Propinsi D.I.Yogyakarta. Nilai IBSR terendah terdapat di Propinsi DKI Jakarta dan Propinsi Jawa Tengah. Nilai deviasi standarnya menunjukkan pergeseran nilai IBSR di tiap daerah. Daerah dengan nilai IBSR yang besar merupakan daerah yang mempunyai tingkat seismisitas yang tinggi, dalam hal ini adalah Propinsi Banten, Propinsi Jawa Barat, dan Propinsi D.I.Yogyakarta.

Kata Kunci: Indeks Bahaya Seismik Regional, seismik, Pulau Jawa, indeks, deviasi standart

**STUDY OF REGIONAL SEISMIC DISASTER INDEX
USING SEISMIC DATA IN JAVA ISLAND
FROM 1990 – 2006**

Sulistiyani

Physics Majors, Mathematics and Science Faculty

Sebelas Maret University

E-mail: Culis_tiyani@ymail.com

ABSTRACT

It has been conducted a research about Regional Seismic Disaster Indeks (RSDI) in Java Island by using seismic data from 1900 – 2006. RSDI is a index showing vulnerability seismic disaster in an area. The hight risk area is the highest risk, the low area is the lowest risk. The highest RSDI areas were Banten, Jawa Barat, and D.I Yogyakarta Provinces. While the lowest RSDI areas were DKI Jakarta and Jawa Tengah Province. Deviations standard value showed the moving RSDI value each region. Region with big RSDI value had high Seismic level were Banten , Jawa Barat, and D.I. Yogyakarta Province.

Keyword: Regional Seismic Disaster Indeks, seismic, Java Island, index, deviations standard

MOTTO

"Dan Kami hamparkan bumi itu dan Kami letakan padanya gunung-gunung yang kokoh dan Kami tumbuhkan padanya segala macam tanaman yang indah dipandang mata. Untuk menjadi pelajaran dan peringatan bagi tiap-tiap hamba yang kembali (mengingat) Allah".

(Q.S. Qaaf :7-8)

"Harga kebaikan manusia adalah diukur menurut apa yang telah dilaksanakan / diperbuatnya"

(Ali Bin Abi Thalib)

"Optimisme yang sesungguhnya adalah menyadari adanya masalah tetapi mengenali pemecahannya, mengetahui adanya kesulitan tetapi yakin bahwa itu dapat diatasi, melihat yang negatif tetapi menekankan yang positif, menghadapi yang terburuk tetapi mengharap yang terbaik, punya alasan untuk mengeluh tetapi memilih untuk tersenyum".

(William Arthur Ward)

"Tidak ada yang sia-sia dari sebuah usaha dan semua akan indah pada waktunya"

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Karya Kecil ini saya persembahkan untuk,

♥ Ayah (Alm), Ibu dan Mas Hartono.Spd.
Terimakasih selalu memberi doa, dukungan moral, material dan spiritual untuk menyelesaikan skripsi ini. Semoga saya senantiasa menjadi anak yang bisa membanggakan Ayah (Alm), Ibu dan Maz Hartono. "Kalian adalah sumber kekuatanku".

♥ Bapak Suprpto dosen UPN Veteran Yogyakarta sekeluarga.
Terimakasih telah memberi naungan tempat tinggal beberapa hari dan fasilitas yang lainnya. Terimakasih Bapak dan Ibu telah mengaggap saya sebagai anak angkat, dari tempat ini saya bisa belajar tentang hidup sederhana namun bahagia.

♥ Keluarga besar jurusan Fisika FMIPA UNS Angkatan 2007, Amel, Yessi, Nila, Tami, Caga, Nakif, Fadli, Yolanda dan temen-temen lainnya yang tidak bisa tersebut satu-persatu atas persahabatan dan kekeluargaan yang menyenangkan.

♥ Anak-anak "Kos Censhi" Dek Rani, Mbak Kuntari, Mbak Juli, Dek Ayuk, dan Dek Lia, yang selalu menemani dan memberi keceriaan di hati. Tidak lupa buat penghuni baru Dek Yuyun, Mbak Anisa, dan Dek Esti makasih semangatnya.

♥ Teman-teman UPN Veteran Yogyakarta Mas Yordan, Mas Ari, Mas Arif, Mas Cina, Mas Dani dan Mbak Rjal yang telah member motivasi, semangat, persahabatan dan kekeluargaan yang menyenangkan.

♥ Mas Eko Kuscahyono
Terimakasih telah memberikan dukungan dan semangat dalam semua hal dan semua bantuannya, dan terimakasih sekarang masih bertahan menemani dalam hari-hari saya.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin, Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul "Kajian Terhadap Bahaya Seismik Regional Menggunakan Data Seismik Di Pulau Jawa Dari Tahun 1900-2006" ini dengan baik.

Dalam pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini, tentunya tidak terlepas dari adanya dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Ahmad Marzuki, S.Si, Ph.D selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta.
2. Bapak Drs. Moehammad Riyadi, M.Si selaku Kepala Stasiun Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika D.I Yogyakarta yang telah memberikan izin untuk melakukan tugas akhir di BMKG D.I Yogyakarta.
3. Bapak Sorja Koesuma, S.Si, M.Si selaku Pembimbing I dan Pembimbing Akademik yang telah member motivasi dalam proses belajar, bimbingan, ide dan saran dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Nugroho Budi W, S.Si, M.Si selaku Pembimbing II yang telah memberi motivasi dalam proses belajar, bimbingan, ide dan saran dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak dan Ibu dosen serta Staff Jurusan MIPA Fisika atas ilmu, masukan dan pelayanan akademis yang telah diberikan kepada penulis.
6. Segenap karyawan di Bagian Geofisika BMKG Yogyakarta, Bapak Bambang, Mbak Dewi, Mbak Ayu, Mbak Dini, dan Mas Aveb. Terima kasih atas

informasi, ilmu, bantuan dan sambutan yang ramah selama melakukan tugas akhir disana.

7. Semua pihak yang telah membantu penulis baik dalam pelaksanaan maupun dalam penyusunan penelitian yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Tiada gading yang tak retak dan penulis menyadari bahwa laporan yang telah dibuat ini masih jauh dari sempurna. Namun demikian, penulis berharap semoga karya kecil ini bermanfaat.

Akhir kata, tiada kata selain harapan semoga penelitian ini bermanfaat bagi semuanya, khususnya bagi penulis, instansi terkait dan bagi semua pembaca. Amiin Ya Robbal'alamiin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Surakarta, 16 November 2012

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN ABSTRAK	iv
HALAMAN ABSTRACT	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1. Gempa Bumi Dan Jenis-Jenisnya	4
2.2. Proses Terjadinya Gempa Bumi	6
2.3. Gelombang Seismik	8
2.4. Energi Gempa Bumi	18
2.5. Hubungan Magnitudo Dan Energi Secara Empiris	19
2.6. Intensitas Gempa Bumi	21

2.7. Indeks Bahaya Seismik Regional	24
2.8. Tingkat Resiko Gempa	25
2.9. Tektonik Pulau Jawa.....	27
2.10. Sistem Sesar.....	29
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.2. Daerah Penelitian.....	31
3.3. Peralatan Penelitian	32
3.4. Deskripsi Data.....	32
3.5. Pengolahan Data	32
3.6. Perhitungan IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) dan	33
IBSR(Indeks Bahaya Seismik Regional	
3.6.1. Perhitungan IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif)	34
3.6.2. Perhitungan IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional).....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	36
4.1. Analisa Perhitungan IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif)	37
dan IBSR(Indeks Bahaya Seismik Regional	
4.1.1. Analisa IBSK dan IBSR Dalam Unit Administrasi	38
4.1.1.a. Provinsi Banten.....	41
4.1.1.b. Provinsi DKI Jakarta	42
4.1.1.c. Provinsi Jawa Barat	43
4.1.1.d. Provinsi D.I.Yogyakarta.....	45
4.1.1.e. Provinsi Jawa Tengah.....	47
4.1.1.f. Provinsi Jawa Timur	51
4.1.2. Analisa IBSK dan IBSR Dalam Unit Geologi.....	54
4.1.2.a. IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif).....	55
4.1.2.b. IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional).....	62

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	66
5.1. Kesimpulan	66
5.2. Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Magnitudo, efek karakteristik, frekuensi dan skala MMI gempa bumi.	22
Tabel 2.2. Hubungan energi, magnitude dan skala MMI gempa bumi	22
Tabel 2.3. Perbandingan skala Richter dan MMI	23
Tabel 2.4. Skala kriteria geologi	30
Tabel 2.5. Skala kriteria litologi	30
Tabel 3.1. Nilai IBSK dan keterangan tingkat resiko	34
Tabel 3.2. Nilai IBSR dan keterangan tingkat resiko	35
Tabel 4.1. Symbol, nilai IBSK, dan keterangan IBSK	58
Tabel 4.2. Symbol, nilai IBSK, dan keterangan IBSK	59
Tabel 4.3. Symbol, nilai IBSK, dan keterangan IBSK	60
Tabel 4.4. Symbol, nilai IBSK, dan keterangan IBSK	61
Tabel 4.5. Symbol, nilai IBSK, dan keterangan IBSK	62
Tabel 4.6. Symbol, nilai IBSK, dan keterangan IBSK	64

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Pergeseran lapisan bumi	6
Gambar 2.2. Proses Terjadinya Gempa Bumi	7
Gambar 2.3. Gelombang Transversal	9
Gambar 2.4. Gelombang Longitudinal	9
Gambar 2.5. Hukum snellius	10
Gambar 2.6. Prinsip Huygens	11
Gambar 2.7. Deformasi yang Diakibatkan Oleh Gelombang Badan: (a) <i>P-Waves</i> dan (b) <i>SV-Waves</i>	16
Gambar 2.8. Deformasi Yang Diakibatkan Oleh Gelombang Permukaan: (a) Gelombang Rayleigh dan (b) Gelombang Love	17
Gambar 2.9. <i>Hanging wall</i> dan <i>Foot wall</i>	30
Gambar 2.10. Macam-macam sesar	30
Gambar 3.1. Peta Pulau Jawa dan Pulau Madura	31
Gambar 3.2. Bagan Pengolahan Data	33
Gambar 4.1. Pergerakan lempeng di Indonesia	36
Gambar 4.2. Peta IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) Pulau Jawa dan Pulau Madura	38
Gambar 4.3. Peta IBSR (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) Pulau Jawa dan Pulau Madura	39
Gambar 4.4. Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Banten	41
Gambar 4.5. Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Banten	41
Gambar 4.6. Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi DKI Jakarta	42

Gambar 4.7. Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi DKI Jakarta	43
Gambar 4.8. Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Jawa Barat	44
Gambar 4.9. Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Jawa Barat	45
Gambar 4.10. Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi D.I. Yogyakarta	46
Gambar 4.11. Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi D.I. Yogyakarta	46
Gambar 4.12. Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Jawa Tengah	49
Gambar 4.13. Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Jawa Tengah	50
Gambar 4.14. Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Jawa Timur	52
Gambar 4.15. Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Jawa Timur	53
Gambar 4.16. Peta IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) Pulau Jawa dan Pulau Madura	56
Gambar 4.17. Peta IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional) Pulau Jawa dan Pulau Madura	63

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data gempa dan perhitungan energi gempa bumi Pulau Jawa dan Pulau Madura.	69
Lampiran 2. Perhitungan dalam unit administrasi per-Kabupaten	71
Lampiran 3. Perhitungan dalam unit geologi	84
Lampiran 4. Keterangan symbol batuan geologi Pulau Jawa	90



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk pada wilayah yang memiliki zona dengan tingkat kegempaan yang relatif cukup tinggi, hal ini dikarenakan terletak pada pertemuan 3 lempeng utama dunia yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Menurut teori tektonik lempeng, bagian luar bumi merupakan kulit yang tersusun oleh lempeng tektonik yang saling bergerak. Lapisan bagian atas bumi disebut litosfer, bagian ini merupakan kerak bumi yang tersusun dari material kaku. Sedangkan lapisan di bawah disebut astenosfer yang berbentuk padat dan materialnya dapat bergerak karena perbedaan tekanan.

Lempeng Eurasia dan Australia bertumbukan di lepas pantai Barat Pulau Sumatera, lepas pantai Selatan Pulau Jawa, lepas pantai Selatan kepulauan Nusa Tenggara, dan berbelok ke arah Utara ke perairan Maluku sebelah Selatan. Antara lempeng Australia dan Pasifik terjadi tumbukan di sekitar Papua. Sementara pertemuan antara ketiga lempeng itu terjadi di sekitar Sulawesi. Lokasi aktif gempa sudah dapat dipastikan berada di perbatasan antar lempeng tektonik tersebut, namun efeknya bisa dirasakan pada jarak tertentu bergantung pada atenuasi energi dan geologi setempat. Kondisi lingkungan alam ini membuat Indonesia sering dilanda bencana gempa bumi yang semakin hari semakin meningkat frekuensinya, sehingga banyak menelan korban jiwa, merusak bangunan dan infrastruktur serta menjadi bencana alam yang menimbulkan dampak negatif terhadap perekonomian dan sosial pada daerah di sekitar gempa bumi terjadi.

Zona seismik atau jalur gempa bumi merupakan sesuatu yang dapat terjadi dan dapat menimbulkan kerusakan yang luas pada bangunan dan sarana infrastruktur di wilayah perkotaan di Indonesia. Penelitian mengenai energi gempa telah dilakukan dengan berbagai metode yang berbeda, seperti yang telah dilakukan oleh Penelitian Prajuto (1983) menggunakan metode statistik untuk daerah Irian Jaya, perhitungan

dan analisisnya dengan menggunakan rumus Gutenberg-Ritcher, dan tidak meninjau faktor resiko gempa. Sedangkan Ibrahim (1983) meninjau pelepasan energi dengan menggunakan rumus Bath, sekaligus dikaitkan dengan Indeks Bahaya untuk daerah Jawa, Bali dan Madura. Sedangkan Daz Edwiza (2008) meninjau pelepasan energi dengan menggunakan rumusan Gutenberg-Ritcher maupun Bath, yang kemudian juga dilanjutkan dengan meninjau Indeks Bahayanya, hasil dari kedua metode kemudian dibandingkan, sehingga dapat ditentukan mana metode yang sesuai untuk daerah Sumatera Barat.

Dari penelitian Prajuto (1983), diperoleh hasil bahwa energi total yang dilepaskan di daerah Irian Jaya adalah sebesar $62,21 \times 10^{23}$ erg, dengan perincian 85,8% dilepas pada kedalaman 30-40 Km, 6,1% pada kedalaman 50-60 m. Dari hasil penelitian Ibrahim (1983) diperoleh nilai Indeks Bahaya Seismik Regional Rata-Rata (IBSRR) terbesar terdapat di Jawa tengah bagian barat yaitu $8,84 \pm 0,80$ dan yang terkecil adalah di Jawa Barat bagian timur laut, yaitu $6,57 \pm 0,52$. Dan Daz Edwiza (2008) harga IBSR terbesar yang terdapat di daerah Sumatera Barat dan sekitarnya adalah di Kepulauan Mentawai, yaitu $7,50 \pm 0,82$ dan yang terkecil adalah di 50 Kabupaten yaitu $6,34 \pm 0,20$. Daerah dengan harga IBSRR yang besar merupakan daerah yang mempunyai tingkat seismisitas yang tinggi, dalam hal ini adalah Kepulauan Mentawai. Sedangkan pada penelitian ini menggunakan rumus Bath, sekaligus dikaitkan dengan Indeks Bahaya untuk pulau Jawa pada tahun 1900-2006 menurut unit geologi per-administrasi.

Indeks Bahaya Seismik Regional (IBSR) merupakan gambaran seismisitas yang dihitung berdasarkan frekuensi dan energi yang dikeluarkan oleh gempa bumi. IBSR merupakan cara yang sederhana untuk memperkirakan bahaya seismik pada suatu tempat/ daerah tertentu. Besarnya IBSR di suatu daerah dapat langsung diinterpretasikan dengan besaran yang sama dengan satuan skala intensitas MMI (*Modified Mercally Intensty*), ketidaktepatan dari taksiran (*range*) dinyatakan oleh nilai deviasi standarnya.

Pada umumnya setiap tempat mempunyai kekuatan gempa yang tidak sama, jadi diperlukan ukuran seismisitas dari tempat tersebut sebelum dilakukan perencanaan bangunan. Oleh karena itu dilakukan penelitian tentang pembagian daerah gempa berdasarkan Indeks Bahaya Seismik Regional di Pulau Jawa. Berdasarkan nilai Indeks Bahaya Seismik Regional ini diharapkan dapat memberikan gambaran langsung maupun tidak langsung terhadap dampak dari setiap gempa bumi di suatu lokasi.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat kerawanan gempa berdasarkan Indeks Bahaya Seismik Regional di Pulau Jawa?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya dibatasi dengan meneliti Indeks Bahaya Seismik Regional di Pulau Jawa berdasarkan data seismik dan data geologi gempa bumi.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dimaksudkan:

1. Melakukan analisa tingkat kerawanan gempa berdasarkan Indeks bahaya Seismik Regional Pulau Jawa.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penelitian adalah untuk memperkirakan bahaya seismik pada suatu tempat/ daerah tertentu di Pulau Jawa. Disamping itu dengan diketahuinya informasi geologi diharapkan dapat memberikan gambaran langsung maupun tidak langsung terhadap dampak dari setiap gempa bumi di suatu lokasi, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan dan pengembangan pemukiman maupun industri, juga dalam menentukan jalur evakuasi bencana alam khususnya gempa bumi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi Dan Jenis-Jenisnya

Gempa bumi merupakan suatu gerakan atau getaran tiba-tiba dari lapisan tanah dibawah permukaan bumi yang energinya menjalar melalui badan dan permukaan bumi berupa gelombang seismik. Energi yang dilepaskan pada saat terjadinya patahan tersebut dapat berupa energi deformasi, energi gelombang dan lain-lain. Energi deformasi ini dapat terlihat pada perubahan bentuk sesudah terjadinya patahan, misalnya pergeseran lempeng. Sedangkan energi gelombang menjalar melalui medium elastik yang dilewatinya dan dapat dirasakan sangat kuat di daerah terjadinya gempa bumi tersebut. Pusat patahan di dalam bumi dimana terjadinya gempa bumi (pusat gempa bumi) disebut fokus atau hiposenter, dan proyeksi fokus yang berada di permukaan bumi disebut episenter (tegak lurus dengan hiposenter).

Gempa bumi selain terjadi pada perbatasan lempeng juga terjadi pada patahan-patahan lokal yang pada dasarnya merupakan akibat dari pergerakan lempeng juga. Gempa bumi yang terjadi di sekitar perbatasan lempeng biasa disebut gempa *interplate*, sedang yang terjadi pada patahan lokal yang berada pada satu lempeng disebut gempa *intraplate*. Gempa bumi terjadi di sepanjang batas atau berasosiasi dengan batas pertemuan lempeng tektonik (Hendarajaya dan Hendro Laksono. 1988).

Pergerakan lempeng kerak bumi berupa saling tabrakan, gesekan maupun pemekaran. Lempeng kerak bumi terdiri dari lempeng benua dan lempeng samudera. Lempeng benua adalah kulit bumi di daratan sedang lempeng samudra adalah kulit bumi di dasar laut, kedua lempeng ini saling bertemu dan bergesekan maka pada jangka waktu tertentu batuan akan patah, bumi bergetar itulah yang dirasakan ketika gempa bumi terjadi.

Berdasarkan atas penyebabnya gempa bumi dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Gempa Tektonik

Gempa Tektonik terjadi karena lapisan kerak bumi yang keras menjadi genting (lunak) dan akhirnya bergerak. Teori dari "Tektonik *Plate*" menjelaskan bahwa bumi terdiri dari beberapa lapisan batuan, sebagian besar area dari lapisan kerak itu akan hanyut dan mengapung di lapisan seperti salju. Lapisan tersebut bergerak perlahan sehingga berpecah-pecah dan bertabrakan satu sama lainnya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya Gempa Tektonik.

2. Gempa Vulkanik

Gempa Vulkanik jarang terjadi bila dibandingkan dengan gempa tektonik. Gempa vulkanik terjadi karena adanya letusan gunung berapi yang sangat dahsyat. Ketika gunung berapi meletus maka getaran dan guncangan letusannya bisa terasa sampai dengan sejauh 20 mil. Sejarah mencatat, di Indonesia pernah terjadi letusan gunung berapi yang sangat dahsyat pada tahun 1883 yaitu meletusnya Gunung Krakatau yang berada di Jawa barat. Letusan ini menyebabkan guncangan dan bunyi yang terdengar sampai sejauh 5000 Km. Letusan tersebut juga menyebabkan adanya gelombang pasang "Tsunami" setinggi 36 meter dari lautan dan letusan ini memakan korban jiwa sekitar 36.000 orang.

3. Gempa bumi Runtuhan

Gempa bumi ini biasanya terjadi pada daerah kapur (batuan krast) ataupun pada daerah pertambangan, gempa bumi ini jarang terjadi dan bersifat lokal.

4. Gempa bumi Buatan

Gempa bumi buatan adalah gempa bumi yang disebabkan oleh aktivitas dari manusia, seperti peledakan dinamit, nuklir atau palu yang dipukulkan ke permukaan bumi.

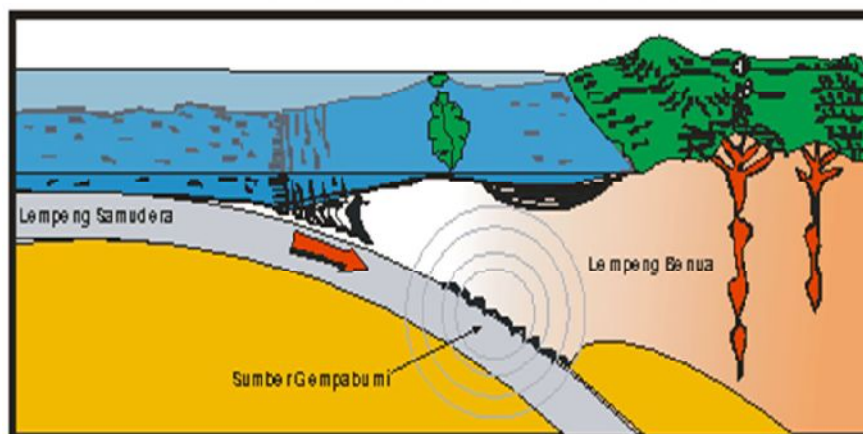
Sehingga berdasarkan kekuatannya atau magnitudenya (M), gempa bumi dapat dibedakan atas (Hendarajaya dan Hendro Laksono. 1988):

- a) Gempa bumi sangat besar dengan magnitudo yang lebih besar dari 8 SR.

- b) Gempa bumi besar dengan magnitudo antara 7 sampai 8 SR
- c) Gempa bumi merusak dengan magnitudo antara 5 sampai 6 SR
- d) Gempa bumi sedang dengan magnitudo antara 4 sampai 5 SR
- e) Gempa bumi kecil dengan magnitudo antara 3 sampai 4 SR
- f) Gempa bumi mikro dengan magnitudo antara 1 sampai 3 SR
- g) Gempa bumi ultra mikro dengan magnitudo lebih kecil dari 1 SR

2.2 Proses Terjadi Gempa Bumi Tektonik

Lempeng samudera yang rapat massanya lebih besar ketika bertumbukkan dengan lempeng benua di zona tumbukan (subduksi) akan menyusup ke bawah, hal ini disebabkan lempeng samudra mempunyai densitas yang lebih besar dibandingkan dengan lempeng benua. Gerakan lempeng itu akan mengalami perlambatan akibat gesekan dari selubung bumi. Perlambatan gerak itu menyebabkan penumpukan energi di zona subduksi dan zona patahan. Akibatnya di zona-zona itu terjadi tekanan, tarikan, dan geseran. Pada saat batas elastisitas lempeng terlampaui, maka terjadilah patahan batuan yang diikuti oleh lepasnya energi secara tiba-tiba. Proses ini (Gambar 2.1) menimbulkan getaran partikel ke segala arah yang disebut gelombang gempa bumi.

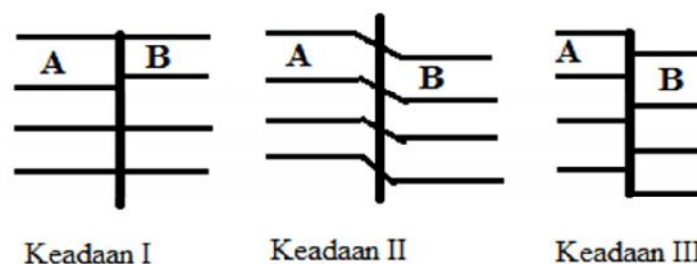


Gambar 2.1 Proses Terjadinya Gempa Bumi (Santoso, 2001)

Kepulauan Indonesia terletak pada pertemuan 3 lempeng utama dunia yaitu lempeng Australia, Eurasia, dan Pasifik. Lempeng Eurasia dan Australia bertumbukan di lepas pantai barat Pulau Sumatera, lepas pantai selatan pulau Jawa, lepas pantai Selatan kepulauan Nusatenggara, dan berbelok ke arah utara ke perairan Maluku sebelah selatan. Antara lempeng Australia dan Pasifik terjadi tumbukan di sekitar Pulau Papua. Sementara pertemuan antara ketiga lempeng itu terjadi di sekitar Sulawesi. Itulah sebabnya mengapa di pulau-pulau sekitar pertemuan 3 lempeng itu sering terjadi gempa bumi.

Mekanisme sumber gempa bumi ini juga dapat dijelaskan melalui teori *Elastic Rebound* yang dikembangkan oleh seorang ahli seismologi Amerika yang bernama Reid pada tahun 1906.

(Gambar 2.2) memperlihatkan mekanisme gempa bumi yang menjadi sumber gempa tektonik. Garis tebal vertikal menunjukkan sesar pada bagian bumi yang padat.



Gambar 2.2 Mekanisme Sumber Gempa (Daz Edwiza, 2008).

Pada keadaan I menunjukkan suatu lapisan yang belum terjadi perubahan bentuk geologi. Karena di dalam bumi terjadi gerakan yang terus-menerus, maka akan terdapat *stress* yang lama kelamaan akan terakumulasi dan mampu merubah bentuk geologi dari lapisan batuan.

Keadaan II menunjukkan suatu lapisan batuan telah mendapat dan mengandung *stress* dimana telah terjadi perubahan bentuk geologi. Untuk daerah A mendapat *stress* ke atas, sedang daerah B mendapat *stress* ke bawah. Proses ini berjalan terus sampai *stress* yang terjadi (dikandung) di daerah ini cukup besar untuk merubahnya

menjadi gesekan antara daerah A dan daerah B. Lama kelamaan karena lapisan batuan sudah tidak mampu lagi untuk menahan *stress*, maka akan terjadi suatu pergerakan atau perpindahan yang tiba-tiba sehingga terjadilah sesar. Peristiwa pergerakan secara tiba-tiba ini disebut gempa bumi.

Pada keadaan III menunjukkan lapisan batuan yang sudah patah, karena adanya pergerakan yang tiba-tiba dari batuan tersebut. Gerakan perlahan-lahan sesar ini akan berjalan terus, sehingga seluruh proses diatas akan diulangi lagi dan sebuah gempa akan terjadi lagi setelah beberapa waktu lamanya, demikian seterusnya. Teori Reid ini dikenal dengan nama *Elastic Rebound Theory* (Daz Edwiza, 2008).

2.3 Gelombang Seismik

Gelombang seismik disebut juga gelombang elastik yang terjadi karena osilasi partikel-partikel medium terjadi akibat interaksi adanya gangguan (*stress*) melawan gaya-gaya elastik. Dari interaksi ini dapat muncul gelombang transversal, gelombang longitudinal dan kombinasi antara keduanya.

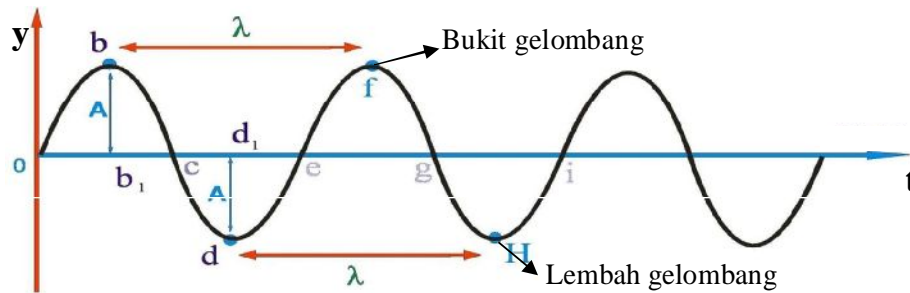
1. Gelombang Transversal

Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatnya tegak lurus terhadap arah getarnya.

2. Gelombang Longitudinal

Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah rambatnya searah dengan arah getarnya.

Gelombang ini terdiri dari rapatan dan regangan. Rapatan adalah daerah-daerah dimana kumparan-kumparan mendekat selama sesaat. Sementara regangan adalah daerah-daerah dimana kumparan-kumparan menjauh selama sesaat. Rapatan dan regangan berhubungan dengan puncak dan lembah pada gelombang transversal. Gelombang transversal dan longitudinal dapat digambarkan secara grafis pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Gelombang Transversal (Alonso, Marcelo. 1980)

Maka persamaan umum untuk gelombang transversal adalah:

$$y = A \sin(\omega t) \tag{2.1}$$

$$\omega = 2\pi f \tag{2.2}$$

Dengan,

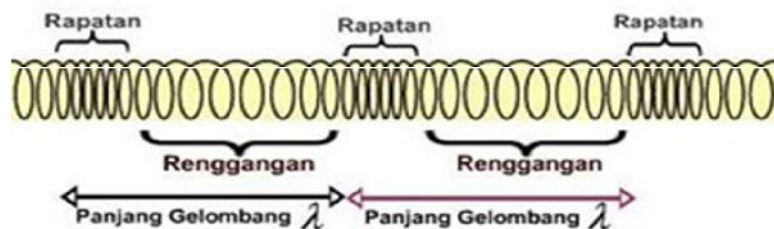
- y = Simpangan (m)
- A = Amplitudo (m)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)
- t = Waktu (s)
- f = Frekuensi (Hz)
- T = Periode (s)

Sedangkan cepat rambat gelombangnya adalah:

$$v = \lambda f \tag{2.3}$$

Dengan,

- v = Cepat rambat gelombang (m/s)
- λ = Panjang gelombang (m)
- f = Frekuensi (Hz)



Gambar 2.4 Gelombang Longitudinal (Alonso, Marcelo. 1980)

Maka persamaan umum untuk gelombang transversal adalah:

$$F = \mp k \cdot \Delta x \quad (2.4)$$

Dengan, $F = \text{Gaya (N)}$

$K = \text{Konstanta elastisitas (N/m)}$

$\Delta x = \text{Pertambahan panjang pegas (m)}$

Sehingga dari persamaan diatas didapatkan persamaan energinya, yaitu:

$$E_p = \frac{1}{2} k x^2 \quad (2.5)$$

$$E_p = \frac{1}{2} E x \quad (2.6)$$

Dengan, $E_p = \text{Energi potensial (Joule)}$

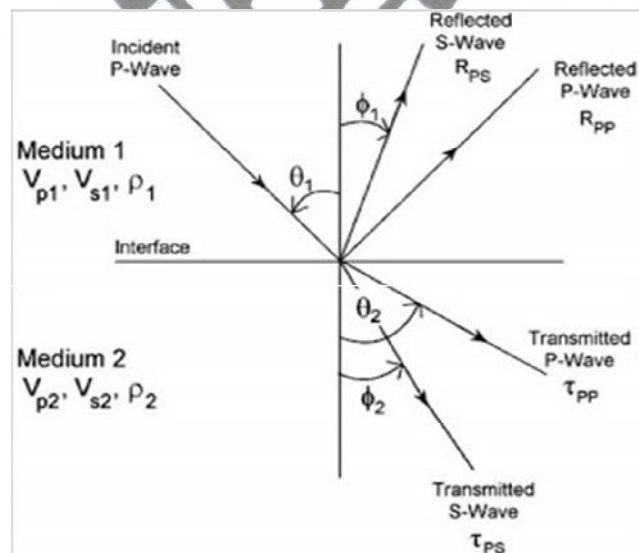
$E = \text{Gaya (N)}$

$k = \text{Konstanta elastisitas (N/m)}$

$\Delta x = \text{Pertambahan panjang pegas (m)}$

Mekanisme penjalaran gelombang seismik didasarkan pada hukum Snellius, Prinsip Huygens dan Prinsip Fermat. Penjelasan dari hukum Snellius, Prinsip Huygens dan Prinsip Fermat dijelaskan sebagai berikut :

1. Hukum Snellius



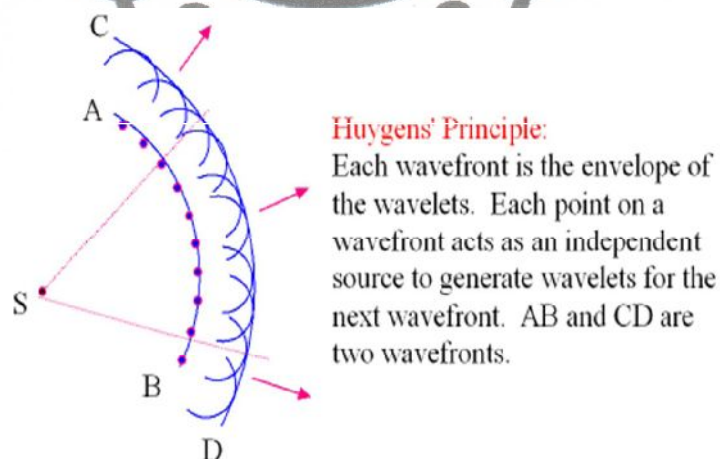
Gambar 2.5 Hukum Snellius (Hutabarat, 2009)

Ketika gelombang seismik melalui lapisan batuan dengan impedansi akustik yang berbeda dari lapisan batuan yang dilalui sebelumnya, maka gelombang akan terbagi. Gelombang tersebut sebagian terefleksikan kembali ke permukaan dan sebagian diteruskan merambat dibawah permukaan. Penjalaran gelombang seismik mengikuti Hukum Snellius yang dikembangkan dari Prinsip Huygens, menyatakan bahwa sudut pantul dan sudut bias merupakan fungsi dari sudut datang dan kecepatan gelombang terlihat pada gambar 2.5. Gelombang P yang datang akan mengenai permukaan bidang batas antara dua medium berbeda akan menimbulkan gelombang refraksi dan refleksi (Hutabarat, 2009).

Sebagian energi gelombang akan dipantulkan sebagai gelombang P dan gelombang S, dan sebagian lagi akan diteruskan sebagai gelombang P dan gelombang S. Hukum Snellius dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

$$\frac{v}{i} = \frac{v}{i} = \frac{v}{s} n = \frac{v}{s} n = \frac{v}{s} n \quad (2.7)$$

2. Prinsip Huygens



Gambar 2.5 Prinsip Huygens (Asparini, 2011).

Prinsip Huygens menyatakan bahwa setiap titik pada muka gelombang merupakan sumber bagi gelombang baru. Posisi dari muka gelombang dalam

dapat seketika ditemukan dengan membentuk garis singgung permukaan untuk semua wavelet sekunder. Prinsip Huygens mengungkapkan sebuah mekanisme dimana sebuah pulsa seismik akan kehilangan energi seiring dengan bertambahnya kedalaman (Asparini, 2011).

3. Prinsip Fermat

Prinsip Fermat menyatakan bahwa gelombang yang menjalar dari satu titik ke titik lain akan memilih lintasan dengan waktu tempuh tercepat. Dengan demikian jika gelombang melewati sebuah medium yang memiliki variasi kecepatan gelombang seismik, maka gelombang tersebut akan cenderung melalui zona-zona kecepatan tinggi dan menghindari zona-zona kecepatan rendah.

Prinsip Fermat dapat diaplikasikan untuk menentukan lintasan sinar dari titik satu ke titik lainnya yaitu lintasan yang waktu tempuhnya bernilai minimum. Dengan diketahuinya lintasan tersebut maka dapat dilakukan penelusuran jejak sinar yang telah merambat di dalam medium. Penelusuran jejak sinar seismik ini akan membantu dalam menentukan posisi reflektor di bawah permukaan dan tidak selalu berbentuk tegak lurus (Jamady, Aris. 2001).

Gelombang seismik dapat pula dikatakan sebagai getaran kerak bumi yang diakibatkan adanya gangguan pada salah satu lapisan bumi sehingga menyebabkan getaran. Getaran yang mencapai permukaan bumi pada umumnya menyebabkan pergerakan keberbagai arah, pergerakan tersebut sering kita kenal dengan gempa bumi.

Ketika gempa bumi terjadi maka tekanan akan diteruskan melalui materi disekelilingnya berupa rambatan getaran dalam bentuk gelombang. Secara garis besar gelombang seismik atau gempa dapat dibedakan dalam dua macam yaitu gelombang badan (*Body Wave*) dan gelombang permukaan (*Surface Wave*).

a. Gelombang Badan (*Body Wave*)

Gelombang badan adalah gelombang yang merambat di dalam bumi, dari pusat gempa ke segala arah. Berdasarkan cara merambat melalui batuan penyusun bumi maka dikenal 2 tipe gelombang badan, yaitu:

1. Gelombang P (*Pressure Wave*) atau Gelombang Longitudinal

Gelombang P (Gambar 2.6a) adalah gelombang yang bersifat kompresi karena pada umumnya energi lebih banyak ditransfer dalam bentuk gelombang kompresif, dan merupakan gelombang longitudinal dimana arah pergerakan partikel yang dilewati bergerak searah dengan arah rambat gelombang atau arah getarannya kedepan dan kebelakang. Gelombang ini menginduksi gerakan partikel medium dalam arah penjalaran gelombang.

Gelombang P dapat dicirikan sebagai gelombang yang mempunyai waktu tiba paling awal jika tercatat pada seismogram sehingga pada seismograf merekam gelombang P sebagai gelombang seismik pertama yang dicatat. Arah getarannya kedepan dan kebelakang sehingga materi yang dilaluinya mengalami tekanan dan peragangan (seperti spiral). Oleh karena itu, sering disebut dengan *Push-Pull Wave* atau *Compressional Wave*. Gelombang ini dapat merambat pada medium padat, cair dan gas, kecepatannya berkisar antara 8,5 km/sekon sampai 6 km/sekon dikerak bumi (Ismail, Sulaiman. 1989). Penurunan rumus kecepatan penjalaran gelombang P sebagai berikut ini (Ramalis, T.R. 2001):

$$\sigma \frac{d}{dx}; \sigma \frac{d}{dy}; \sigma \frac{d}{dz} \quad (2.8)$$

$$= \frac{d}{dx} \frac{d}{dy} \frac{d}{dz} \quad (2.9)$$

Dengan $dx dy dz =$ satuan volume kubus

$$= a = \rho a = \rho dx dy dz \quad (2.10)$$

$$\rho dx dy dz \frac{d}{d} = \frac{\sigma}{x} \frac{\sigma}{y} \frac{\sigma}{z} dx dy dz$$

$$\rho \frac{d}{d} = \frac{\sigma}{x} \frac{\sigma}{y} \frac{\sigma}{z} \quad (2.11)$$

$$\rho \frac{d}{d} = \frac{\sigma}{x} \frac{\sigma}{y} \frac{\sigma}{z}$$

$$\begin{aligned}
 &= \lambda' \frac{\Delta}{x} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} \\
 &= \lambda' \frac{\Delta}{x} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial}{\partial x \partial y} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} \\
 &= \lambda' \frac{\Delta}{x} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} \\
 &= \lambda \frac{\Delta}{x} \frac{\partial^2}{\partial x^2} u \quad (2.12)
 \end{aligned}$$

Dengan: $u = \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial z}$

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = \lambda \frac{\partial^2}{\partial x^2} v \quad (2.13)$$

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \lambda \frac{\partial^2}{\partial x^2} w \quad (2.14)$$

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} \right)$$

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{\partial}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} \right) = \lambda \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.15)$$

$$= \frac{\lambda}{\rho} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial}{\partial z} \quad (2.16)$$

$$\boxed{V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}} \quad (2.17)$$

- Dengan,
- V_p : Kecepatan gelombang P (m/s)
 - μ : Modulus geser (N/m²)
 - ρ : Densitas material yang dilalui gelombang(kg/m³)
 - λ : Modulus Bulk (N/m²)

2. Gelombang S (*Shear Wave*) atau Gelombang Transversal

Gelombang S (Gambar 2.6b) adalah gelombang transversal dimana arah pergerakan partikelnya tegak lurus terhadap arah penjalaran

gelombangnya. Jika dilihat dari kecepatannya gelombang transversal lebih rendah dari pada gelombang primer.

Penurunan rumus kecepatan penjalaran gelombang P sebagai berikut ini (Ramalis, 2001):

$$\rho^{-\frac{1}{2}} \propto v \tag{2.18}$$

$$\rho^{-\frac{1}{2}} = \frac{v^2}{\dots} \tag{2.19}$$

$$\rho^{-\frac{1}{2}} = \dots \tag{2.20}$$

$$\rho^{-\frac{1}{2}} = \dots \tag{2.21}$$

$$s = \dots^{1/2} \tag{2.22}$$

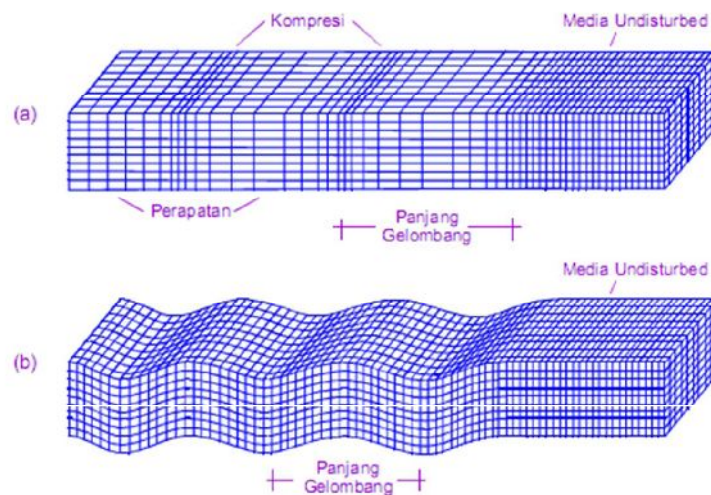
$$V_s = \frac{\mu}{\rho} \tag{2.23}$$

Dengan, V_s : Kecepatan gelombang S (m/s)

μ : Modulus geser (N/m²)

ρ : Densitas material yang dilalui gelombang (kg/m³)

Gerakan dari gelombang transversal hanya dapat melalui medium padat saja, ketika gelombang tersebut melalui medium padat atau cair maka gelombang tersebut akan hilang dan tidak tercatat oleh seismograf. Gelombang S dibagi menjadi dua bagian yaitu gelombang SV dan gelombang SH. Gelombang SV adalah gelombang S yang gerakan partikelnya terpolarisasi pada bidang vertikal, sedangkan gelombang SH adalah gelombang S yang pergerakan partikelnya horizontal (Kramer, 1996 dalam Razali 2008).



Gambar 2.6 Deformasi yang Diakibatkan Oleh Gelombang Badan:
(a) *P-Waves* dan (b) *SV-Waves*, (Kramer, 1996 dalam Razali 2008).

Baik gelombang P maupun gelombang S dapat membantu ahli seismologi untuk mencari letak hiposenter dan episenter gempa. Saat kedua gelombang ini berjalan di dalam dan permukaan bumi, keduanya mengalami *pemantulan (reflection)* dan *pembiasan (refraction)*, persis seperti sebuah cahaya yang seolah membelok saat menembus kaca bening. Para ahli seismologi memeriksa pembelokan ini untuk menentukan darimana suatu gempa berasal (Ismail, Sulaiman. 1989).

b. Gelombang permukaan (*Surface Wave*).

Gelombang permukaan (*Surface Wave*) adalah gelombang yang merambat ke permukaan bumi dan melanjutkan perjalanan di permukaan bumi. Gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik. Gelombang ini dapat menjelaskan struktur mantel atas dan permukaan kerak bumi (*crust*). Sifat dan gerak partikel media pada permukaan ada yang mirip gelombang P atau gelombang S. Ada dua tipe

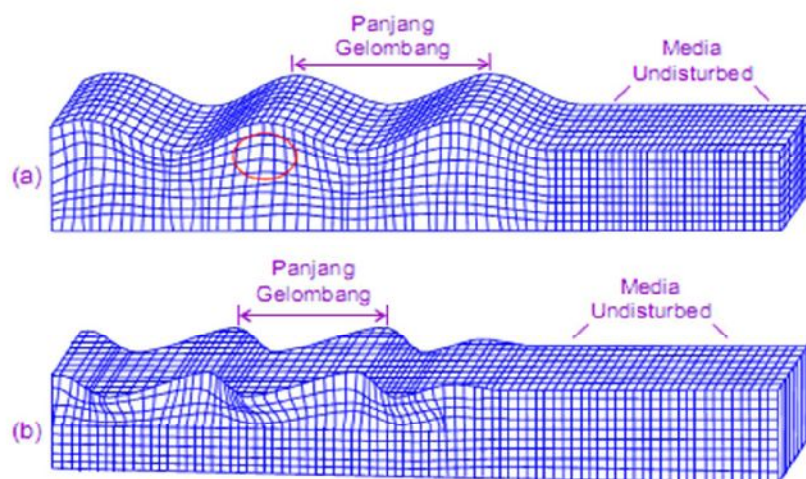
gelombang permukaan, yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang love (Kramer, 1996 dalam Razali, 2008).

1. Gelombang Rayleigh (R)

Gelombang Rayleigh (Gambar 2.7a) yaitu gelombang dimana gerakan partikelnya menyerupai ellips dan bidang ellips ini berdiri vertikal dan berimpit dengan arah penalaran gelombang.

2. Gelombang Love (L)

Gelombang love (Gambar 2.7b) yaitu gelombang dimana gerakan partikelnya serupa dengan gelombang SH dengan gerakan tanah dari samping ke samping. Gelombang ini adalah suatu jenis khusus dari gelombang transversal yang menjalar pada bidang permukaan bumi.



Gambar 2.7 Deformasi Yang Diakibatkan Oleh Gelombang Permukaan:

(a) Gelombang Rayleigh dan (b) Gelombang Love (Kramer, 1996 dalam Rozali, 2008).

Pada umumnya, energi lebih banyak ditransfer dalam bentuk gelombang P, sehingga pada rekaman gempa atau survey seismik, yang pertama kali dijumpai adalah gelombang P. Di samping itu berdasarkan persamaan (2.7) dan (2.8), dalam

medium yang sama, gelombang P akan dijalarkan dengan kecepatan yang paling besar daripada tipe gelombang lainnya. Sedangkan gelombang S tidak dapat menjalar pada media fluida, karena harga modulus rigiditas pada fluida mendekati nol ($\mu = 0$).

2.4 Energi Gempa Bumi

Berdasarkan bentuk energi yang dilepaskan saat terjadinya gempa bumi antara lain energi deformasi gelombang. Energi deformasi dapat dilihat pada perubahan bentuk volume sesudah terjadinya gempa bumi, misalnya tanah naik, tanah turun, pergeseran batuan, dan lain-lain. Sedangkan energi gelombang akan menggetarkan medium elastis di sekitarnya dan akan menjalar ke seluruh arah.

Pemancaran energi gempa bumi dapat besar ataupun kecil, hal ini tergantung dari karakteristik batuan yang ada dan besarnya *stress* yang dikandung oleh suatu batuan pada suatu daerah. Pada suatu batuan yang tidak sejenis (batuan yang heterogen), *stress* yang dikandung tidak besar karena langsung dilepaskan melalui terjadinya gempa-gempa kecil yang banyak. Sedangkan untuk batuan yang sejenis (batuan yang homogen), gempa kecil tidak terjadi (jarang terjadi) sehingga *stress* yang dikandung sangat besar dan pada suatu saat batumannya tidak mampu lagi menahan *stress*, maka akan terjadi gempa dengan magnitudo yang besar.

Dengan kata lain untuk batuan yang tidak sejenis (heterogen), energi yang dikumpulkan tidak terlalu besar karena langsung dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik. Sedangkan untuk batuan yang sejenis (homogen), energinya akan dikumpulkan dalam relatif lebih lama sehingga pada saat dilepaskan (karena batuan sudah tidak mampu lagi menahan *stress*), energinya sudah terkumpul dan gempa bumi yang terjadi akan dapat merusak segala benda yang ada dipermukaan.

Energi gempa bumi dapat ditaksir dari pengamatan makroseismik, tetapi biasanya tidak diperoleh hasil yang memadai. Gelombang seismik merupakan bentuk energi yang paling mudah dideteksi yaitu dengan cara pencatat alat. Menggunakan data ini dapat menaksir energi gempa bumi yang memadai. Ukuran besarnya energi

gempa bumi ditentukan dengan hasil catatan amplitudo gelombang seismik yang dinyatakan dengan istilah magnitudo gempa bumi (Edwiza Daz, 1998).

2.5 Hubungan Magnitudo Dan Energi Secara Empiris

Magnitudo adalah suatu besaran gempa bumi yang menyatakan besarnya energi yang dilepas suatu gempa di pusatnya. Jadi pengukuran magnitudo yang dilakukan di tempat yang berbeda menghasilkan harga yang sama walaupun gempa yang dirasakan di tempat-tempat tersebut tentu berbeda. Satuan yang dipakai adalah skala Richter (*Richter Scale*), yang bersifat logaritmik. Magnitudo gempa dapat dibedakan atas:

1. Magnitudo Lokal (*ML*)

Magnitudo lokal (*ML*) pertama kali dikenalkan oleh Richter diawal tahun 1930-an dengan menggunakan data kejadian gempa bumi di daerah California yang direkam oleh *Seismograph Wood-Anderson*. Magnitudo lokal mempunyai rumus empiris sebagai berikut:

$$ML = \log a + 3 \log \Delta - 2.92 \quad (2.9)$$

Dengan, a = amplitudo getaran tanah (μm)

Δ = jarak stasiun pencatat ke sumber gempa bumi (km), $\Delta \leq 600\text{km}$.

Saat ini penggunaan *ML* jarang karena pemakaian *Seismograph Wood-Anderson* tidak umum. Selain itu penggunaan kejadian gempa bumi yang terbatas pada daerah California dalam menurunkan persamaan empiris membuat jenis magnitudo ini paling tepat digunakan untuk daerah tersebut.

2. Magnitudo Bodi (*Mb*)

Terbatasnya penggunaan magnitudo lokal untuk jarak tertentu mengakibatkan berkembangnya tipe magnitudo yang bisa digunakan secara luas. Salah satunya adalah *Mb* atau magnitudo body (*Body-Wave Magnitude*). Magnitudo ini didefinisikan berdasarkan catatan amplitude dari gelombang P yang

menjalar melalui bagian dalam bumi. Secara umum di rumuskan dengan persamaan:

$$M_b = \log\left(\frac{a}{T}\right) + f(h, \Delta + c) \quad (2.10)$$

Dengan, a = Amplitude getaran (μm)

T = Periode getaran (detik)

$f(h, \Delta)$ = Fungsi jarak dan kedalaman dan c adalah koreksi stasiun.

3. Magnitudo Permukaan (M_s)

Magnitude tipe ini didapatkan sebagai hasil pengukuran terhadap gelombang permukaan (*surface wave*). Untuk jarak $\Delta > 600$ km seismogram periode panjang (long period seismogram) dari gempa bumi dangkal didominasi oleh gelombang permukaan. Gelombang ini biasanya mempunyai periode sekitar 20 detik. Amplitudo gelombang permukaan sangat bergantung pada jarak Δ dan kedalaman sumber gempa h . Gempa bumi dalam tidak menghasilkan gelombang permukaan karena itu permasalahan M_s tidak memerlukan koreksi kedalaman. Magnitude permukaan mempunyai rumus sebagai berikut:

$$M_s = \log a + \alpha \log \Delta + \beta \quad (2.11)$$

Dengan, a = amplitude maksimum dari pergeseran horizontal pada periode 20 detik, Δ = jarak (km), dan β adalah koefisien dan konstanta yang didapatkan dengan pendekatan empiris. Persamaan ini digunakan hanya untuk gempa dengan kedalaman sekitar 60 km.

Hubungan M_s dan M_b dapat dinyatakan dalam persamaan, dinyatakan Guterberg dan Richter (1956):

$$M_b = 2.5 + 0.63M_s \quad (2.12)$$

Atau,

$$M_s = 1.59M_b - 3.97 \quad (2.13)$$

Kemudian Bath, pada tahun yang sama menyatakan bahwa:

$$M_b = 0,61M_s + 2,7 \quad (2.14)$$

Sedangkan Karnik, Venek, dan Zotopek pada tahun 1957 menyatakan bahwa:

$$M_b = 0,61 M_s + 2,7 \quad (2.15)$$

Adanya kenyataan di atas, maka Gutenberg memperkenalkan penyeragaman nilai magnitudo yang dikenal dengan “*United Magnitude*” sebagai rata-rata dari nilai M_b dan M_s . Dengan nilai magnitudo tersebut diperoleh hubungan antara energi terhadap magnitudo sebagai berikut: (Edwiza Daz, 1998)

$$\text{Log } E = 5,8 + 2,4 M \quad (2.16)$$

Dengan, E = Energi dipusat gempa, dalam erg

M = Magnitudo

Sedangkan rumusan energi secara terpisah yang disetujui secara Internasional dipilih rumusan dari Bath yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Log } E = 5,78 + 2,48 M_b \text{ (untuk gelombang badan)} \quad (2.17)$$

$$\text{Log } E = 12,24 + 1,44 M_s \text{ (untuk gelombang permukaan)} \quad (2.18)$$

Rumusan yang asli dari Gutenberg dan Richter (1942) (Edwiza Daz, 1998):

$$\text{Log } E = 11,3 + 1,8 M_s \quad (2.19)$$

2.6 Intensitas Gempa Bumi

Tingkat kerusakan akibat gempa bumi dapat diukur berdasarkan intensitasnya. Intensitas gempa bumi adalah derajat kerusakan akibat gempa bumi pada suatu daerah dan dilihat dari efek akibat getaran gempa. Besarnya intensitas sangat tergantung dari besarnya magnitudo, jarak dari sumber gempa, kondisi geologi, dan struktur bangunannya. Intensitas tinggi biasanya terjadi pada daerah yang dekat sumber gempa dibandingkan tempat yang jauh dari sumber gempa.

Intensitas gempa bumi yang paling banyak digunakan adalah skala *Mercally* yang biasa disebut MMI (*Modified Mercally Intensity*). Skala ini mempunyai 12 tingkatan akibat gempa bumi, dimulai dari yang lemah sampai yang kuat terlihat pada Tabel 2.1. Dan memiliki hubungan antara energi dan magnitudo dan intensitas terlihat pada tabel 2.3 .

Tabel 2.1. Magnitudo, efek karakteristik, frekuensi dan skala MMI gempa bumi.

Magnitudo (Skala Richter)	Efek karakteristik guncangan skala pada daerah berpenduduk	Jumlah per tahun	Skala Intensitas Modified Mercally (MMI)
<3.4	Hanya terekam oleh seismograf	800.000	I
3.5 – 4.2	Dirasakan oleh beberapa orang	30.000	II dan III
4.3 – 4.8	Dirasakan oleh banyak orang	4.800	IV
4.9 – 5.4	Dirasakan oleh setiap orang	1.400	V
5.5 – 6.1	Kerusakan bangunan kecil	500	VI dan VII
6.2 – 6.9	Kerusakan banyak bangunan	100	VIII dan IX
7.0 – 7.3	Kerusakan serius, jembatan- jembatan terpuntir, tembok- tembok retak	15	X
7.4 – 7.9	Kerusakan besar, bangunan- bangunan ambruk	4	XI
>8.0	Kerusakan total, gelombang- gelombang terasa di permukaan tanah, benda-benda terlempar	Satu kali dalam 5- 10 Tahun	XII

Sumber : Skinner dan Porter (1992:418) dalam Daz, Edwiza dan Sri Novita. 2008.

Tabel 2.2. Hubungan nilai ketetapan energi, magnitudo dan skala MMI gempa bumi

Unit	Log energi = 10^n (erg)	Magnitudo (R)	Intensitas
E	14.0—19.5	2.3—5.3	I—V
D	19.6—20.4	5.4—5.9	VI
C	20.5—21.8	6.0—6.9	VII—VIII
B	21.9—22.8	7.0—7.7	IX—X
A	22.9—24.0	7.8—8.8	XI

Sumber : Hurmt, Roy E. 2007.

Intensitas gempa bumi yang paling banyak digunakan adalah skala *Mercally* yang biasa disebut MMI (*Modified Mercally Intensity*). Skala ini mempunyai 12 tingkatan akibat gempa bumi, dimulai dari yang lemah sampai yang kuat.

Intensitas gempa bumi sifatnya kualitatif, skala intensitas sangat subjektif dan sangat tergantung pada kondisi lokasi dimana gempa terjadi. Gempa dengan magnitudo yang sama, namun terjadi di dua tempat yang berbeda mungkin akan memberikan nilai intensitas yang berbeda.

Namun demikian antara skala magnitudo dan skala intensitas dapat dibuat kesetaraannya, seperti contoh perbandingan skala Richter dan MMI pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Perbandingan skala Richter dan MMI

Skala MMI	Skala Richter
I. Tidak terasa. II. Sangat sedikit yang merasakan.	2.5 Secara umum tidak terasa, tapi tercatat pada seismograf.
III. Cukup banyak yang merasa, namun tidak menyadari sebagai gempa. IV. Di dalam ruang terasa, seperti ada truk yang menabrak gedung. V. Terasa oleh hampir setiap orang, yang tidur terjaga, pohon berayun, tiang bergoyang.	3.5 Dirasakan oleh banyak orang.
VI. Dirasakan oleh semua, orang berlarian ke luar, perabotan bergerak, kerusakan ringan terjadi. VII. Semua orang lari keluar, bangunan	4.5 Kerusakan lokal dapat terjadi.

berstruktur lemah rusak, kerusakan ringan terjadi dimana-mana.	
VIII. Bangunan berstruktur terencana rusak, sebagian runtuh.	6.0 Menimbulkan kerusakan hebat.
IX. Seluruh gedung mengalami kerusakan cukup parah, banyak yg bergeser dari pondasinya, tanah mengalami keretakan.	
X. Sebagian besar struktur bangunan rusak parah, tanah mengalami keretakan besar.	7.5 Gempa berkekuatan besar.
XI. Hampir seluruh struktur bangunan runtuh, jembatan patah, retak pada tanah sangat lebar.	8.0 ke atas Gempa yg sangat dahsyat.
XII. Kerusakan total. Gelombang terlihat jelas di tanah, objek berhamburan.	

Sumber: Santoso, 2002.

2.7 Indeks Bahaya Seismik Regional

Indeks Bahaya Seismik Regional merupakan gambaran seismisitas yang dihitung berdasarkan frekuensi dan energi yang dikeluarkan oleh gempa bumi. Indeks Bahaya Seismik Regional merupakan cara yang sederhana untuk memperkirakan bahaya seismik pada suatu tempat/daerah tertentu. Besarnya Indeks Bahaya Seismik Regional di suatu daerah dapat langsung diinterpretasikan dengan besaran yang sama

dengan satuan skala intensitas MMI (*Modified Mercalli Intensity*), ketidaktepatan dari taksiran (range) dinyatakan oleh harga deviasi standarnya.

Untuk mendapatkan gambaran seismik yang baik, idealnya diperlukan interval waktu pengamatan yang sesuai dengan periode ulang. Harga Indeks Bahaya Seismik Regional ada hubungannya dengan keadaan tanah setempat karena perhitungannya berdasarkan pada kerusakan yang dialami di tempat tersebut (intensitas).

Dengan mengetahui bahaya seismik di suatu tempat, maka dapat disesuaikan kekuatan bangunan yang akan dibangun terhadap kekuatan gempa bumi yang terjadi di daerah tersebut (Edwiza Daz, 1998).

2.8 Tingkat Resiko Gempa

Pengkajian untuk menetapkan apakah suatu kawasan dinyatakan rawan terhadap gempa bumi membutuhkan data pendukung kondisi fisik lahan seperti jenis batuan, struktur geologi, kemiringan lereng dan kemantapan tanah. Kondisi sosial masyarakat seperti jumlah penduduk, struktur penduduk, pola pemukiman dan kualitas rumah/bangunan. Data-data tersebut saling melengkapi dalam menetapkan suatu kawasan rawan bencana gempa bumi dan tsunami.

Karakteristik fisik tipe kawasan rawan gempa bumi ditentukan berdasarkan tingkat risiko gempa yang didasarkan pada informasi geologi dan penilaian kestabilan.

Berdasarkan hal tersebut, maka kawasan rawan gempa bumi dapat dibedakan menjadi (6) enam tipe kawasan yang diuraikan sebagai berikut:

1. Tipe A

Kawasan ini berlokasi jauh dari daerah sesar yang rentan terhadap getaran gempa. Kawasan ini juga dicirikan dengan adanya kombinasi saling melemahkan dari faktor dominan yang berpotensi untuk merusak. Bila intensitas gempa tinggi (*Modified Mercalli Intensity* / MMI VIII) maka efek merusaknya diredam oleh sifat fisik batuan yang kompak dan kuat.

2. Tipe B

Faktor yang menyebabkan tingkat kerawanan bencana gempa pada tipe ini tidak disebabkan oleh satu faktor dominan, tetapi disebabkan oleh lebih dari satu faktor yang saling mempengaruhi, yaitu intensitas gempa tinggi (MMI VIII) dan sifat fisik batuan menengah. Kawasan ini cenderung mengalami kerusakan cukup parah terutama untuk bangunan dengan konstruksi sederhana.

3. Tipe C

Terdapat paling tidak dua faktor dominan yang menyebabkan kerawanan tinggi pada kawasan ini. Kombinasi yang ada antara lain adalah intensitas gempa tinggi dan sifat fisik batuan lemah; atau kombinasi dari sifat fisik batuan lemah dan berada dekat zona sesar cukup merusak. Kawasan ini mengalami kerusakan cukup parah dan kerusakan bangunan dengan konstruksi beton terutama yang berada pada jalur sepanjang zona sesar.

4. Tipe D

Kerawanan gempa diakibatkan oleh akumulasi dua atau tiga faktor yang saling melemahkan, kawasan dengan kemiringan lereng curam, intensitas gempa tinggi dan berada sepanjang zona sesar merusak, atau berada pada kawasan dimana sifat fisik batuan lemah, intensitas gempa tinggi, di beberapa tempat berada pada potensi landaan tsunami cukup merusak. Kawasan ini cenderung mengalami kerusakan parah untuk segala bangunan dan terutama yang berada pada jalur sepanjang zona sesar.

5. Tipe E

Kawasan ini merupakan jalur sesar yang dekat dengan episentrum yang dicerminkan dengan intensitas gempa yang tinggi, serta di beberapa tempat berada pada potensi landaan tsunami merusak. Sifat fisik batuan dan kelerengan lahan juga pada kondisi yang rentan terhadap guncangan gempa. Kawasan ini mempunyai kerusakan fatal pada saat gempa.

6. Tipe F

Kawasan ini berada pada kawasan landaan tsunami sangat merusak dan di

sepanjang zona sesar sangat merusak, serta pada daerah dekat dengan episentrum dimana intensitas gempa tinggi. Kondisi ini diperparah dengan sifat fisik batuan lunak yang terletak pada kawasan morfologi curam sampai dengan sangat curam yang tidak kuat terhadap guncangan gempa. Kawasan ini mempunyai kerusakan fatal pada saat gempa (Yakub Malik, 2010).

2.9 Tektonik Pulau Jawa

Tektonik regional pulau jawa adalah sebagian dibagian tepi dari lempeng Mikro Sunda yang berinteraksi secara konvergen dengan kerak samudra dari lempeng Australia. Tataan geologi dan strukturnya menunjukkan sifat-sifat yang lebih kompleks, hal itu dikarenakan dijumpai jejak jalur subduksi Kapur Paleosen yang memotong “serong” pulau Jawa dengan arah timurlaut barat daya. Pulau Jawa mempunyai arah yang paralel dengan jalur subduksi Tersier dan sekarang, yang dengan sendirinya akan menanamkan jejak-jejak deformasinya yang lebih menonjol, yaitu barat timur.

Di Jawa, jalur-jalur subduksi yang dapat dikenali adalah:

1. Jalur subduksi Akhir Kapur yang sekarang mempunyai arah daya timur laut.
2. Jalur tumbukan Tersier yang terletak di selatan Pulau Jawa, berimpit dengan punggungan bawah laut dengan arah barat timur.

Dengan menerapkan konsep perkembangan tektonik, maka berdasarkan data pola struktur, tektonik dan sedimentasi, perkembangan tektonik dari Pulau Jawa dapat digambarkan sebagai berikut:

- a. Pada jaman Kapur Atas–Paleosen, interaksi konvergen antara lempeng Australia dengan lempeng Mikro Sunda, membentuk jalur subduksi yang arahnya barat timur. Jalur tersebut adalah singkapan melange yang terdapat di Ciletuh, Luh-Ulo, Bayat, dan Meratus di Kalimantan Tenggara. Busur magmanya terletak di utara atau skitar laut Jawa dan pantai Utara Jawa sekarang.
- b. Di daerah-daerah yang terletak antara jalur subduksi dan busur magma terdapat cekungan pengendapan “muka busur” dengan endapan-endapan didominasi oleh

volkaniklastik dan turbidit, sedangkan pada jalur subduksi terdapat cekungan-cekungan terbatas “upper slope basin” dengan endapan olistostrom (Formasi Ciletuh di Jawa Barat, Formasi Karangsambung dan Totogan di Jawa Tengah). Jalur subduksi mungkin bergeser ke selatan secara berangsur (akrasi) sampai menjelang Oligosen Akhir. Pada jaman Eosen itu juga disertai oleh pengangkatan terhadap jalur subduksi, sehingga di beberapa tempat tidak terjadi pengendapan. Pada saat itu terjadi pemisahan yang penting antara bagian utara Jawa dengan cekungannya yang dalam dari bagian selatan yang dicirikan oleh lingkungan pengendapan darat, paparan dan dangkal. Proses pengangkatan tersebut berlangsung hingga menjelang Oligosen Akhir. Proses yang dampaknya cukup luas (ditandai oleh terbatasnya sebaran endapan marin Eosen–Oligosen di Jawa dan wilayah paparan Sunda), dihubungkan pula dengan berkurangnya kecepatan gerak lempeng Australia (hanya 3cm/tahun). Gerak tektonik pada saat itu didominasi oleh sesar-sesar rbonkrah, dengan cekungan-cekungan terbatas yang diisi oleh endapan aliran gaya berat (olistotrom dan turbidit).

- c. Oligosen Akhir – Miosen Awal, terjadi gerak rotasi yang pertama sebesar 20° ke arah yang berlawanan dengan jarum jam dari lempeng Sunda (Davies, et all. 1983). Menurut Davies, wilayah-wilayah yang terletak di bagian tenggara lempeng atau sekitar Pulau Jawa dan Laut Jawa bagian timur, akan mengalami pergeseran-pergeseran lateral yang cukup besar sebagai akibat gerak rotasi tersebut. Hal ini dikarenakan letaknya yang jauh dari poros rotasi yang diperkirakan terletak di kepulauan ANAMBAS.

Akibat gerak rotasi tersebut, gejala tektonik yang terjadi wilayah Pulau Jawa adalah:

1. Jalur subduksi Kapur-Paleosen yang mengarah barat timur berubah menjadi timur laut dan barat daya.
2. Sesar-sesar geser vertical (*dip slip faults*) yang membatasi cekungan-cekungan muka busur dan bagian atas lereng (*Upper slope basin*), sifatnya berubah menjadi sesar-sesar geser mendatar. Perubahan gerak dari pada

sesar tersebut akan memungkinkan terjadinya cekungan-cekungan “*pull apart*” khususnya di Jawa Tengah utara dan Laut Jawa bagian timur, termasuk Jawa Timur dan Madura. Menjelang akhir Miosen Awal, gerak rotasi yang pertama dari pada lempeng Mikro Sunda mulai berhenti.

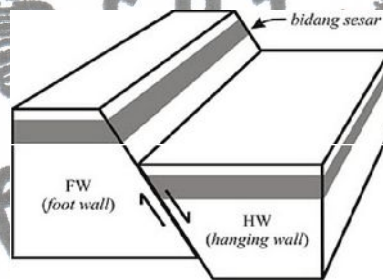
- d. Miosen Tengah terjadi percepatan pada gerak lempeng Australia dengan 5-6 cm/th dan perubahan arah menjadi N20°E pada saat menghampiri lempeng Mikro Sunda. Pada Akhir Miosen Tengah, terjadi rotasi yang edua sebesar 20-25° yang diacu oleh membukanya laut Andaman (Davies, et all. 1983).
- e. Berdasarkan data kemagnitan purba, gerak lempeng Australia dalam menghampiri lempeng Sunda, mempunyai arah yang tetap sejak Miosen Tengah yaitu dengan arah N20°. Dengan arah yang demikian, maka sudut interasi antara lempeng Australia dengan Pulau Jawa akan berkisar antara 70° (atau hampir tegak lurus). Perubahan pola tektonik terjadi di Jawa barat sebagai berikut:
1. Cekungan muka busur eosin yang menampati cekungan pengendapan bogor, berubah statusnya menjadi cekunagn belakang busur, dengan pengendapan turbidit (a.l. Fm. Saguling).
 2. Sebagai penyerta dari pada interksi lempeng konvergen, tegasan kompresip yang mengembang menyebabkan terjadinya sesar-sesar naik yang arahnya sejajar dengan jalur subduksi dicekunagn belakang busur. Sesar- sesar tersebut mengontrol sebaran endapan kipas-kipas laut dalam.

Di Jawa Tengah pengendapan kipas-kipas turbidit juga berlangsung didalam cekungan “belakang busur” yang mengalami gerak-gerak penurunan melalui sesar-sesar bongkah dan menyebabkan terjadinya sub cekungan. Bentuk dari pada sub cekungan dikontrol oleh sesar-sesar tua yang memotong batuan dasar yang mengalami peremajaan, yaitu yang berarah barat laut tenggara dan timur laut barat daya.

- f. Data mengenai umur batuan vulkanik tersier menunjukkan adanya kecenderungan bahwa kegiatan vulkanik berangsur bergeser ke utara, sehingga busur magma tersier atas berada disebelah utara dari jalur magma oligosen.

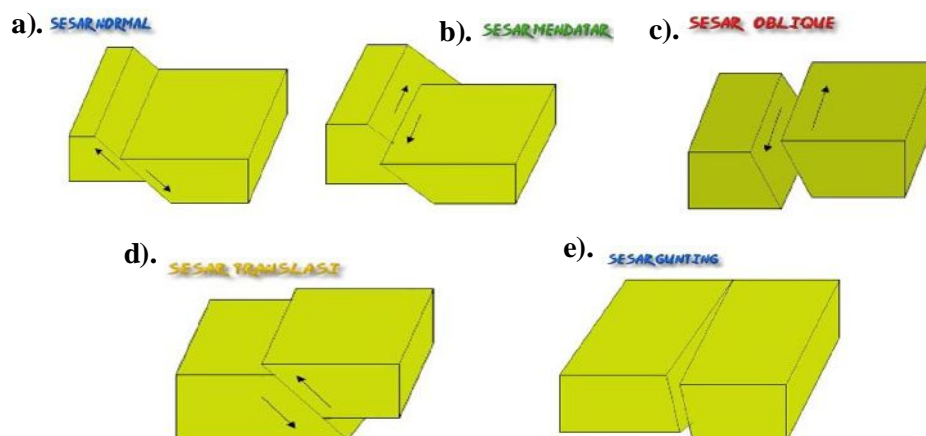
2.10 Sistem Sesar

Bidang sesar (Gambar 2.9) adalah sebuah bidang yang merupakan bidang kontak antara dua blok tektonik. Sesar merupakan jalur lemah, dan banyak terjadi pada lapisan yang keras dan rapuh. Unsur-unsur sesar yaitu *hanging wall* (atap sesar) adalah bongkah sesar terdapat dibagian atas bidang sesar, dan *foot wall* (alas sesar) adalah bongkah sesar yang berada dibagian bawah bidang sesar. Bidang sesar terbentuk akibat adanya rekahan yang mengalami pergeseran.



Gambar 2.9 *Hanging wall* dan *Foot wall* (Triyono, Rahmat. 2007)

Macam-macam sesar (Gambar 2.10):



Gambar 2.10 Macam-macam sesar (Triyono, Rahmat. 2007)

a) Sesar Normal

Hanging wall relatif turun terhadap foot wall, bidang sesarnya mempunyai kemiringan yang besar. Sesar ini biasanya disebut juga sesar turun.

b) Sesar Mendatar

Pergerakan dari sesar ini horizontal. Sesar mendatar ditentukan dengan menghadap bidang sesar, bila bidang didepan bergerak kekiri seperti diagram disebut mendatar sinistral, dan sebaliknya sesar mendatar dekstral.

c) Sesar oblique

Pergerakan dari sesar ini gabungan antara horizontal dan vertikal. Gaya-gaya yang bekerja menyebabkan sesar mendatar dan sesar normal.

d) Sesar translasi

Sesar ini mengalami pergeseran sepanjang garis lurus. Biasanya Hanging wall relatif naik terhadap foot wall, dengan kemiringan bidang sesar besar. Sesar ini biasanya disebut juga sesar naik. Umumnya sesar normal dan sesar naik pergerakannya hanya vertikal, jadi sering disebut sebagai sesar dip-slip.



BAB III METODE PELAKSANAAN

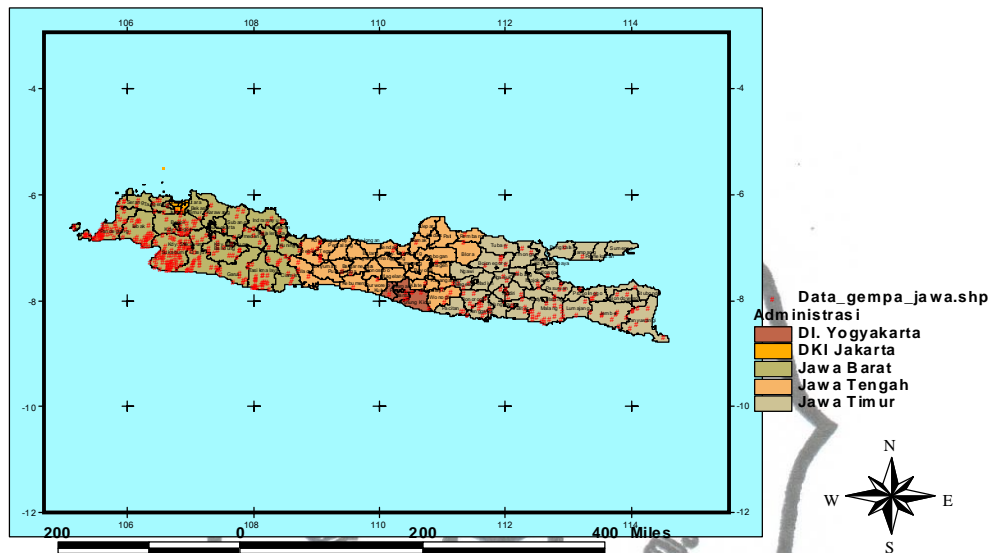
3.1. Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Stasiun Pengamatan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kelas I, D.I.Yogyakarta berlokasi di Jalan Raya Wates Km. 8 RT:01, RW:27, Dusun Jitengan, Desa Balecatur, Kecamatan Gamping, Kabupaten Sleman, Propinsi D.I.Yogyakarta. Penelitian ini dilaksanakan selama 3 bulan yaitu mulai bulan Januari 2012 sampai dengan Mei 2012.

3.2. Daerah Penelitian

Dalam penelitian ini, daerah yang dijadikan objek penelitian adalah Pulau Jawa dan Pulau Madura. Area penelitian terletak pada koordinat 105° - 114° BT dan 6° - 8° LS.

Peta Pulau Jawa Dan Madura



Gambar 3.1 Peta Pulau Jawa dan Pulau Madura

3.3. Peralatan Penelitian

Untuk melakukan penelitian ini, peralatan yang digunakan sebagai sarana untuk menunjang dalam pengolahan data adalah:

1. *Personal Computer*
2. Perangkat lunak (software) yang digunakan terdiri dari:
 - a. *ArcView GIS 3.3*
 - b. *Google Earth*
 - c. *Microsoft Office Excel*

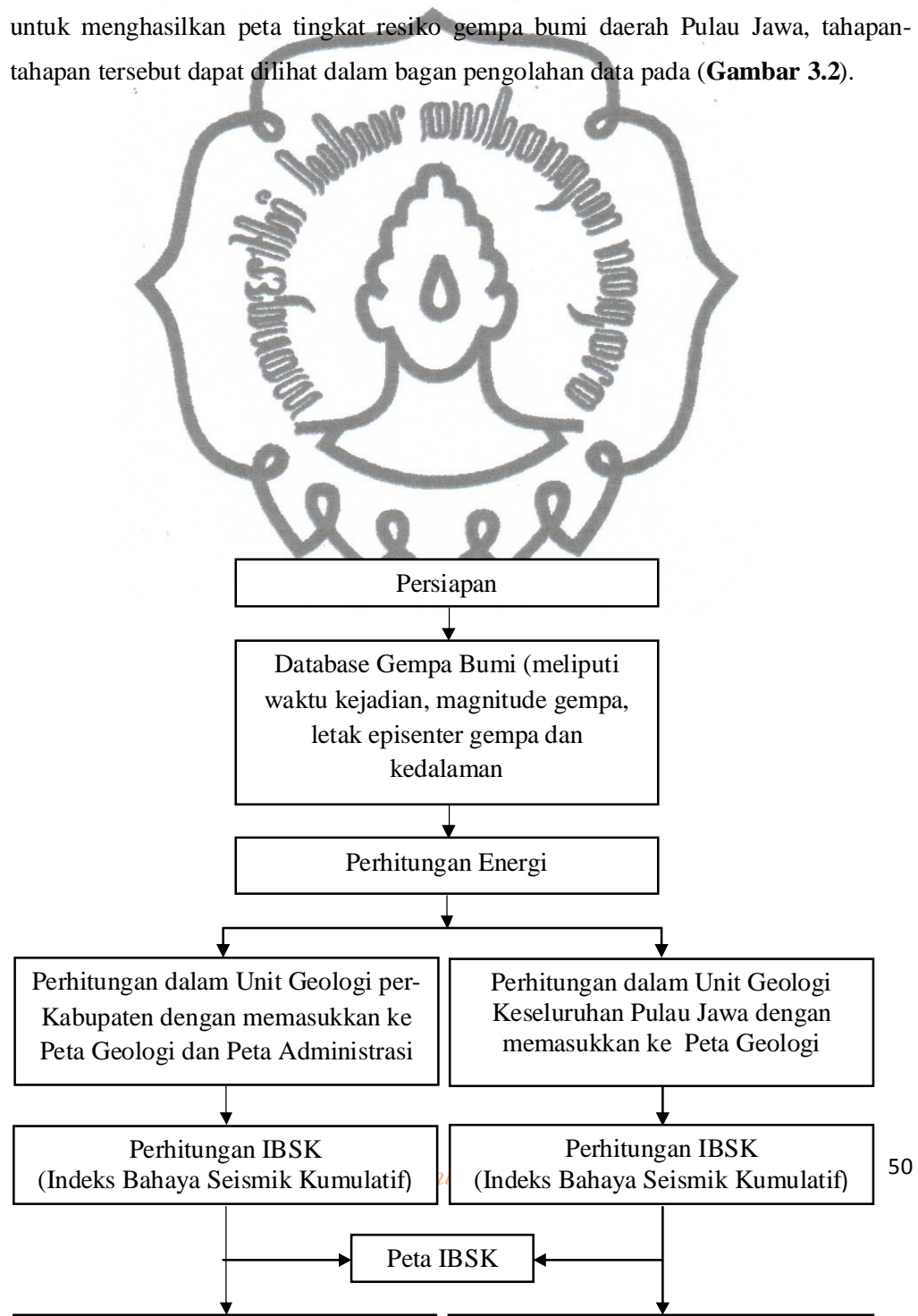
3.4. Diskripsi Data

Data gempa bumi yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari *data base* Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Yogyakarta berupa data parameter-parameter gempa yaitu lokasi episenter, kedalaman gempa, magnitudo

gempa, *latitude*, dan *longitude* yang tercatat dari tahun 1900 sampai dengan 2006 di Pulau Jawa dan Madura. Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

3.5. Pengolahan Data

Pada proses pengolahan data terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan untuk menghasilkan peta tingkat resiko gempa bumi daerah Pulau Jawa, tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat dalam bagan pengolahan data pada (**Gambar 3.2**).





3.6. Perhitungan IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) dan Perhitungan IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional)

Energi kumulatif gempa yang diperoleh merupakan hasil akumulasi energi seluruh kejadian gempa yang tercatat dalam periode pengamatan dengan magnitude serta kedalaman. Dari data akan terlihat kecenderungan kejadian gempa dalam kurun waktu tertentu. Hubungan antara energi gempa di fokusnya dengan besarnya magnitudo gempa dihitung dengan rumus Bath (1958) pada persamaan 2.17 (Edwiza Daz, 1998).

3.6.1. Perhitungan IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif)

Data gempa bumi dari BMKG Yogyakarta diolah untuk mendapatkan nilai Indeks Bahaya Seismik Kumulatif (IBSK) adalah logaritma dari jumlah energi

seismik yang pernah terjadi di suatu tempat. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut : (Edwiza Daz, 1998)

$$\text{IBSK} = \log \sum^n E_n \quad (3.1)$$

Dengan, E_n = energi dari suatu gempa bumi (Joule)

Nilai IBSK dihitung untuk tiap kode geologi Pulau Jawa dengan data gempa bumi yang terjadi dari tahun 1900 sampai tahun 2006, dengan perhitungan unit administrasi geologi dan unit geologi keseluruhan. Perhitungan dalam unit administrasi dihitung menurut batasan-batasan wilayah per-Kabupaten. Sedangkan perhitungan dalam unit geologi tidak ada batasan-batasan wilayahnya. Untuk satu gempa bumi, maka nilai IBSK pada suatu tempat sama dengan nilai intensitas MMI di tempat tersebut.

Dari nilai hasil IBSK yang diperoleh kemudian dilakukan pengelompokan dengan metode statistika. Dengan perhitungan administrasi dan geologi IBSK diperoleh seperti tabel 3.1 .

Tabel 3.1: Nilai IBSK dan keterangan

Nilai IBSK (erg)	Keterangan
< 14	Resiko sangat kecil
14,0—19,5	Resiko kecil
19,6—20,4	Resiko sedang
20,5—21,8	Resiko besar
21,9—24,0	Resiko sangat besar

3.6.3. Perhitungan IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional)

Indeks Bahaya Seismik Regional (IBSR) adalah nilai rata-rata dari IBSK di suatu daerah dalam selang pengamatan tertentu. (Edwiza Daz, 1998)

$$IBSR = \frac{1}{A} \sum \frac{IBSK_a}{T} \quad (3.2)$$

Dengan A : jumlah IBSK di daerah tersebut

IBSK_a : nilai IBSK ditempat ke-a

T : interval waktu pengamatan

Untuk mendapatkan gambaran kegiatan seismik yang baik, idealnya diperlukan interval waktu pengamatan yang sesuai dengan periode ulang gempa. Nilai IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional) ini berhubungan dengan keadaan tanah setempat, karena perhitungannya berdasarkan kerusakan yang dialami ditempat tersebut.

Dari nilai hasil IBSR yang diperoleh kemudian dilakukan pengelompokan dengan menggunakan metode statistik (standart deviasi). Daerah dengan nilai IBSR yang besar, merupakan daerah yang mempunyai tingkat seismisitas yang tinggi. Karakteristik dari IBSR memungkinkan untuk memperkirakan bahaya seismik secara langsung karena dibuat dengan pengambilan harga rata-rata dari jumlah energi seismik yang pernah terjadi di daerah tersebut, dan besarnya dinyatakan dengan satuan yang sama dengan intensitas (MMI).

Dengan perhitungan administrasi dan geologi IBSR diperoleh nilai seperti tabel 3.2 .

Tabel 3.2: Nilai IBSR dan keterangan

Nilai IBSR (erg/year)	Keterangan
< 0,04	Resiko sangat kecil
0,05 — 0,09	Resiko kecil
0,10 — 0,14	Resiko sedang
0,15 — 0,19	Resiko besar
> 0,20	Resiko sangat besar

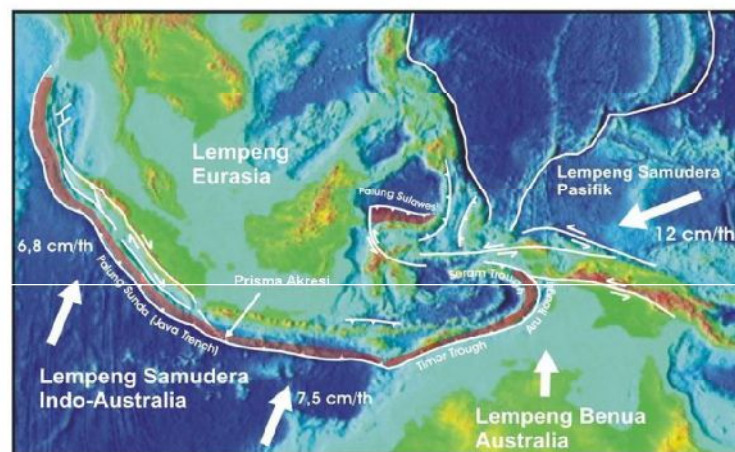


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konfigurasi tektonik Pulau Jawa terjadi akibat adanya pergerakan dua lempeng yang bergerak saling mendekat dan mengalami tabrakan, proses tersebut relatif bergerak menyerong (*oblique*) antara lempeng samudera Hindia pada bagian barat daya dan lempeng benua Asia bagian Tenggara (Eurasia), di mana lempeng samudera Hindia menyusup ke lempeng benua Eurasia. Pada zona subduksi (penunjaman) lempeng akan dihasilkan palung Jawa (*Java trench*). Zona subduksi merupakan kedudukan titik fokus gempa tektonik, sehingga daerah ini termasuk

daerah rawan gempa bumi. Arah penunjaman hampir tegak lurus di bagian Pulau Jawa, ke arah timur lempengnya miring dan bahkan hampir sejajar. Dan Pulau Jawa termasuk daerah rawan gempa bumi karena berada di zona subduksi terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pergerakan lempeng di Indonesia (Santoso, 2001)

Palung merupakan tempat menunjannya lempeng samudera. Selama penunjaman berlangsung, lempeng samudera bergesekan dengan lempeng yang menumpang di atasnya. Gesekan antar lempeng ini menimbulkan aktifitas seismik atau gempa tektonik yang bersumber di permukaan lempeng yang menunjam. Kedalaman sumber gempa tergantung jarak horisontalnya terhadap sumbu palung, makin menjauhi palung ke arah daratan sumber gempa akan semakin dalam (*deep earthquake*) dan sebaliknya mendekat ke palung gempanya merupakan gempa dangkal (*shallow earthquake*).

Akibat pergerakan lempeng tektonik, maka di sekitar perbatasan lempeng akan terjadi akumulasi energi yang disebabkan baik karena tekanan, regangan ataupun gesekan. Energi yang terakumulasi ini jika melewati batas kemampuan atau ketahanan batuan akan menyebabkan patahnya lapisan batuan tersebut. Energi yang

dilepaskan pada saat terjadinya patahan tersebut dapat berupa energi deformasi, energi gelombang dan lain-lain.

Analisa tingkat resiko gempa bumi di daerah penelitian berdasarkan pada IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) adalah logaritma dari jumlah energi seismik yang pernah terjadi di suatu tempat, dan IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional) merupakan gambaran seismisitas yang dihitung berdasarkan frekuensi dan energi yang dikeluarkan oleh gempa bumi. Hasil dari penelitian ini berupa peta tingkat kerawanan gempa bumi yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan dan pengembangan pemukiman maupun industri, juga dalam menentukan jalur evakuasi bencana alam khususnya gempa bumi.

4.1. Analisa Perhitungan IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) dan IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional)

Indeks Bahaya Seismik Kumulatif (IBSK) adalah logaritma dari jumlah energi seismik yang pernah terjadi di suatu tempat. Hasil perhitungan nilai IBSK sesuai dengan data gempa bumi dari BMKG Yogyakarta melalui perhitungan persamaan (3.1). Dari hasil nilai IBSK yang diperoleh, kemudian dilakukan pengelompokan menggunakan metode statistika dengan nilai ketetapan energi pada tabel 2.2. Sedangkan untuk menentukan Indeks Bahaya Seismik Regional (IBSR) adalah nilai rata-rata dari IBSK di suatu daerah dalam selang pengamatan tertentu, pada persamaan (3.2). Dari hasil nilai IBSR yang diperoleh, kemudian dilakukan pengelompokan menggunakan metode statistika (standart deviasi) pada tabel 2.3.

Karakteristik dari IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional) memungkinkan untuk memperkirakan bahaya seismik secara langsung karena dibuat dengan pengambilan harga rata-rata dari jumlah energi seismik yang pernah terjadi di daerah tersebut, dan besarnya dinyatakan dengan satuan yang sama dengan intensitas (MMI). Nilai IBSK dan IBSR tersebut kemudian dikelompokan menggunakan persamaan Gutenberg-Richter maupun Bath dengan metode statistika dan diolah dengan menggunakan software ArcView GIS 3.3 untuk dipetakan.

4.1.1 Analisa IBSK dan IBSR Dalam Unit Administrasi

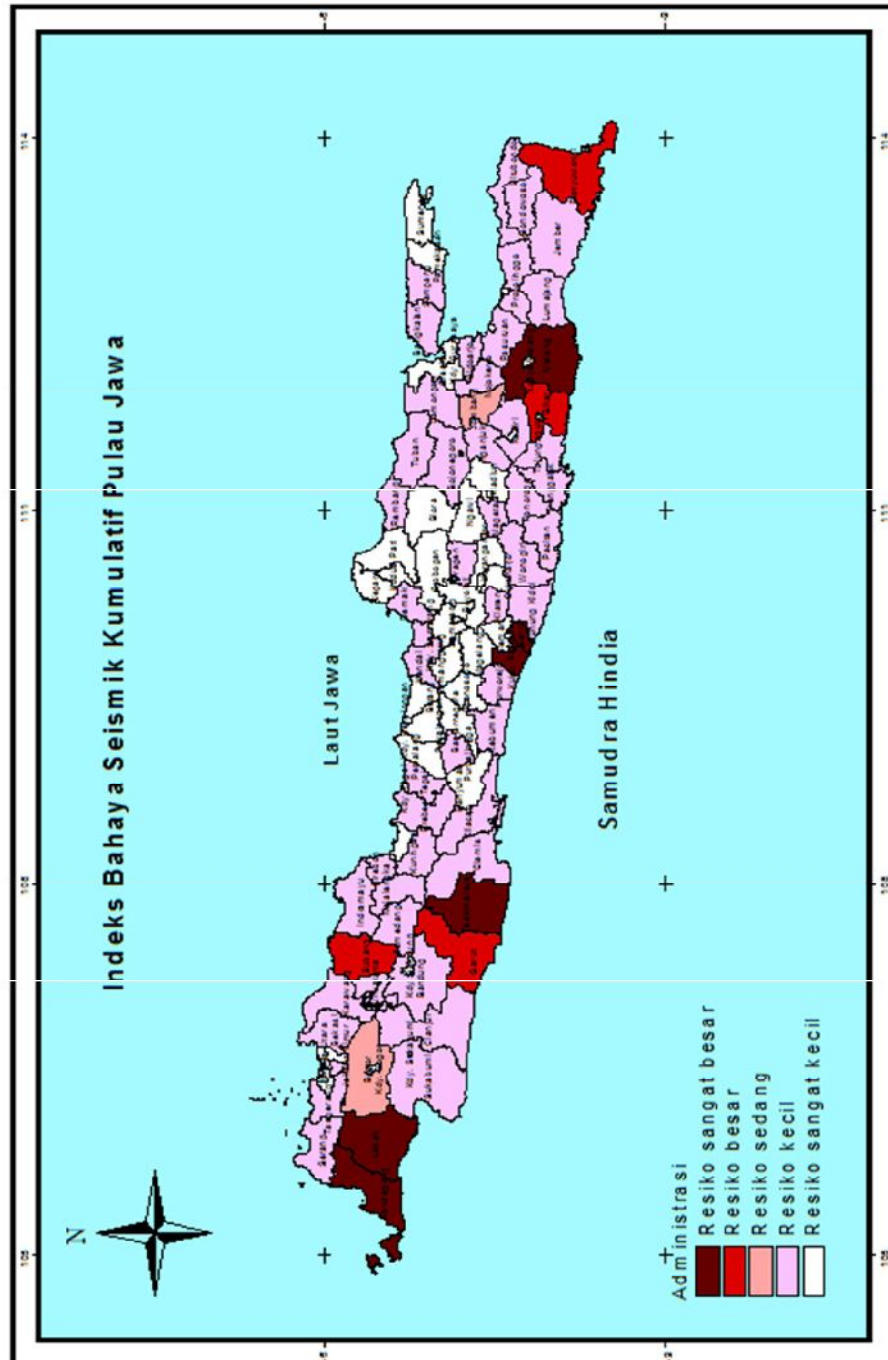
Perhitungan IBSK dan IBSR dalam unit administrasi dihitung menurut batasan-batasan wilayah per-Kabupaten. Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa nilai IBSK berkisar antara 0–21,65 erg dengan hasil klasifikasi nilai IBSK yang telah diperoleh dapat dilihat pada tabel 3.1. Dan hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa nilai IBSR berkisar antara 0–0,21 erg/year dengan hasil klasifikasi nilai IBSK yang telah diperoleh dapat dilihat pada tabel 3.2.

Berdasarkan harga IBSK dan IBSR ini lalu diadakan pembagian daerah gempa di wilayah Pulau Jawa dan Pulau Madura. Daerah dengan harga IBSR yang besar, merupakan daerah yang mempunyai tingkat seismisitas yang tinggi. Karakteristik dari IBSR memungkinkan untuk memperkirakan bahaya seismik secara langsung karena dibuat dengan pengambilan harga rata-rata dari jumlah energi seismik yang pernah terjadi di daerah tersebut.

Arti dari keterangan tingkat resiko gempa dalam kriteria mempunyai: resiko sangat besar berarti tingkat kerawanan gempa bumi sangat tinggi, beresiko besar berarti tingkat kerawanan gempa bumi tinggi, beresiko sedang berarti tingkat kerawanan gempa bumi sedang, beresiko kecil berarti tingkat kerawanan gempa bumi rendah dan beresiko sangat kecil berarti tingkat kerawanan gempa bumi aman.

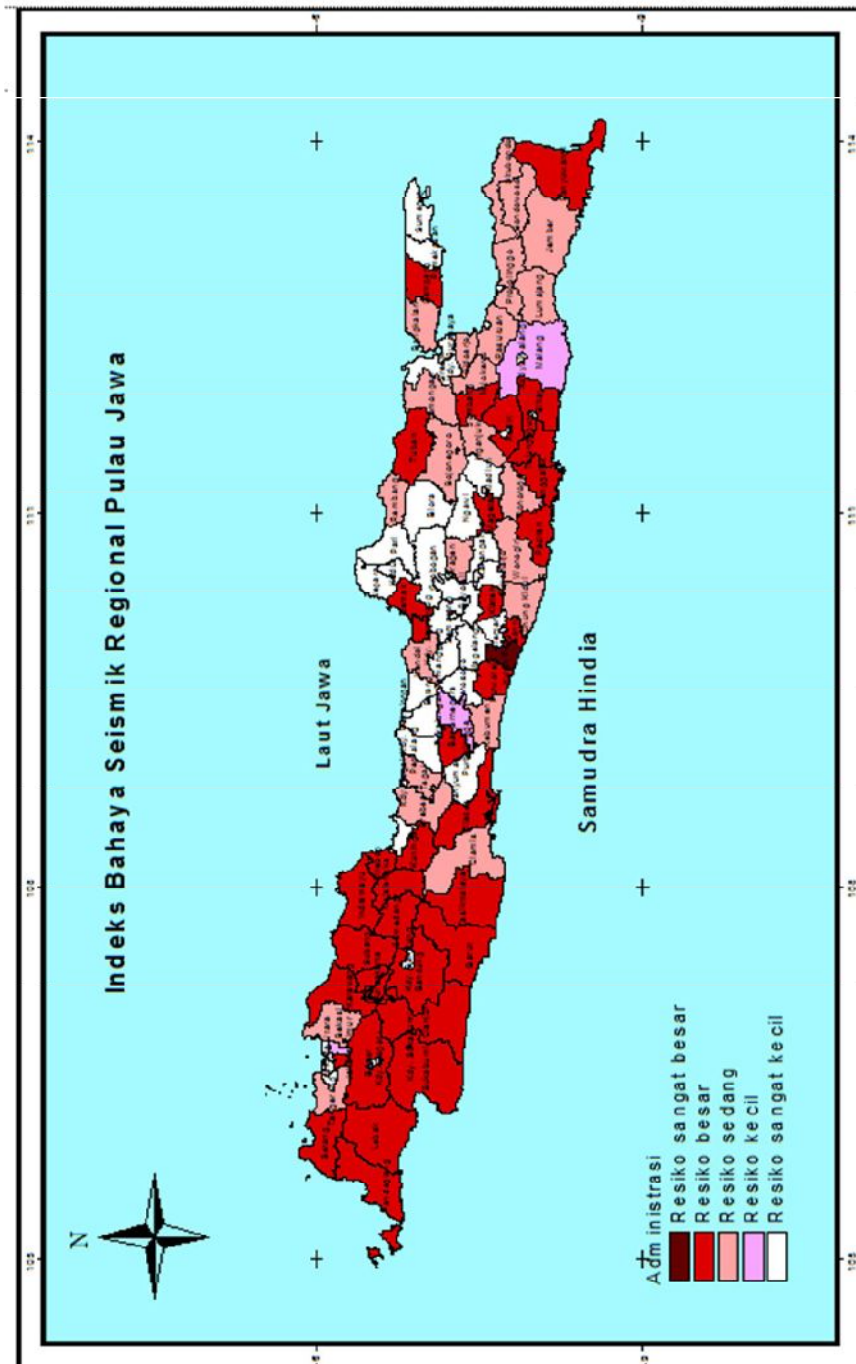
Hasil pemetaan nilai IBSK dan IBSR terlihat pada Gambar 4.2 sebagai berikut:

Hasil pemetaan IBSK dengan perhitungan unit administrasi, menggunakan software ArcView GIS 3.3:



Gambar 4.2 Peta IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) Pulau Jawa dan Pulau Madura

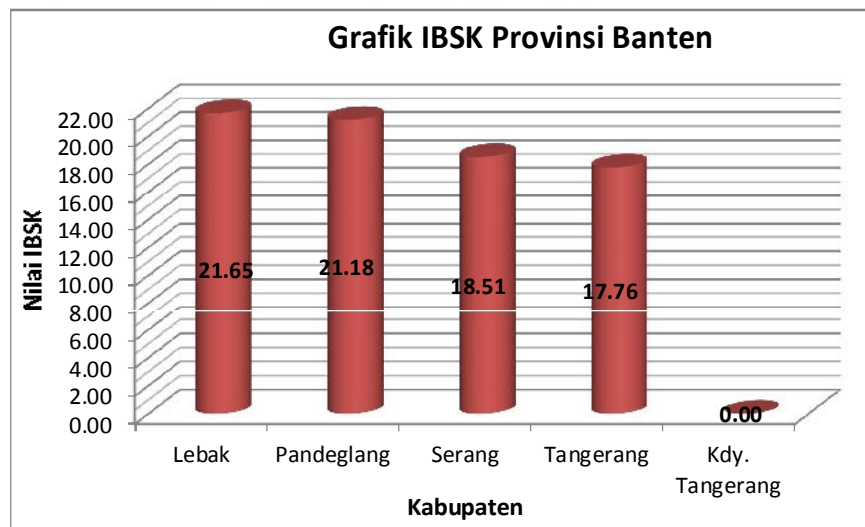
Hasil pemetaan IBSR dengan perhitungan unit administrasi, menggunakan software ArcView GIS 3.3:



Gambar 4.3 Peta IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional) Pulau Jawa dan Pulau Madura

Untuk lebih mempermudah pembahasan dalam perhitungan unit administrasi, maka wilayah Pulau Jawa dibagi menjadi 6 provinsi yaitu: Provinsi Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, D.I.Yogyakarta, Jawa Tengah dan Jawa Timur.

a. Provinsi Banten



Gambar 4.4 Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Banten



Gambar 4.5 Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Banten

Nilai IBSK 20,5-21,8 erg dengan tingkat resiko besar di daerah Kabupaten Lebak dan Pandeglang. Nilai IBSK 14-19,5 erg dengan tingkat resiko kecil di daerah Kabupaten Serang dan Kabupaten Tangerang. Dan nilai IBSK <14 erg dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah Kotamadya Tangerang (Gambar 4.4).

Nilai IBSR 1,5-0,19 erg/year dengan tingkat resiko besar di daerah Kabupaten: Lebak, Pandeglang dan Serang. Nilai IBSR 0,10-0,14 erg/year dengan tingkat resiko sedang di daerah Kabupaten Tangerang. Nilai IBSR <0.04 erg /year dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah Kabupaten Kotamadya Tangerang (Gambar 4.5).

Sehingga dapat dituliskan bahwa sebagian besar daerah – daerah di Propinsi Banten termasuk dalam wilayah rawan gempa bumi dengan tingkat resiko besar.

Provinsi Banten termasuk rawan gempa bumi karena termasuk gempa dangkal dengan kedalaman sekitar <60 km, dangkalnya sumber gempa terbukti dari daya rusak yang tinggi di permukaan bumi dan memicu terjadinya patahan ataupun mengaktifkan patahan-patahan yang lain. Hal ini berkaitan dengan sifat aktifitas seismik atau gempa yang bersumber dari palung jawa bagian selatan.

b. Provinsi DKI Jakarta



Gambar 4.6 Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi DKI Jakarta

Nilai IBSK 20,5-21,8 erg dengan tingkat resiko besar di daerah Jakarta Selatan. Nilai IBSK 14-19,5 erg dengan tingkat resiko kecil di daerah Jakarta Timur. Dan nilai IBSK <14 erg dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah Jakarta Barat, Jakarta Pusat dan Jakarta Utara (Gambar 4.6).



Gambar 4.7 Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Propinsi DKI Jakarta

Nilai IBSR 1,5-0,19 erg/year dengan tingkat resiko besar di daerah Jakarta Selatan. Nilai IBSR 0,05-0,09 erg/year dengan tingkat resiko kecil di daerah Jakarta Timur. Nilai IBSR dan <0,04 erg/year dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah Jakarta Barat, Jakarta Pusat dan Jakarta Utara (Gambar 4.7).

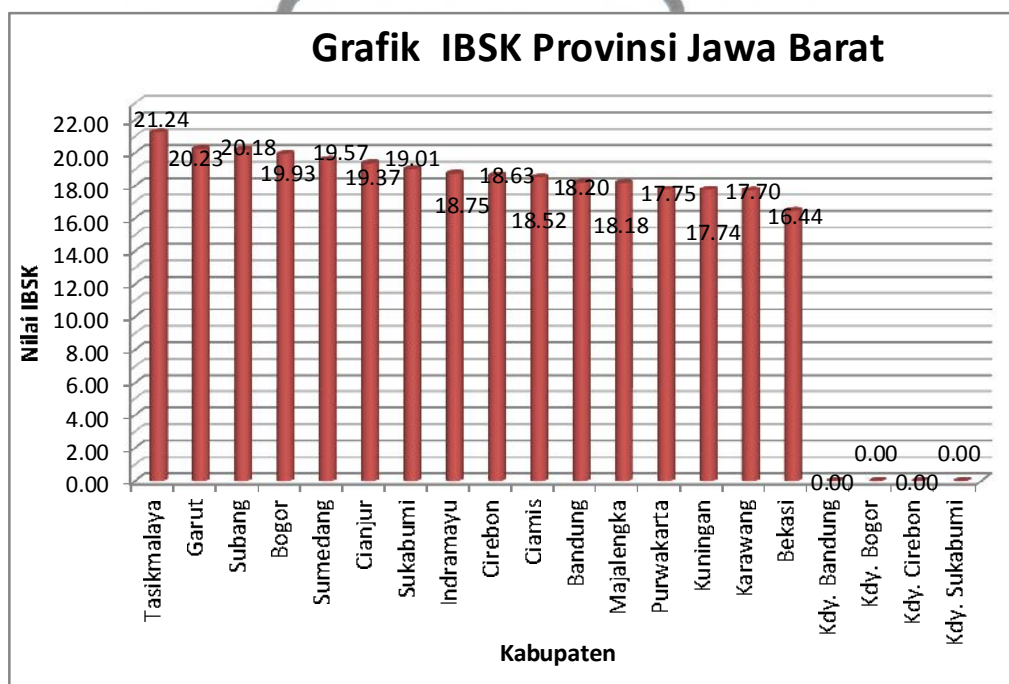
Sehingga dapat dituliskan bahwa sebagian besar daerah – daerah di Propinsi DKI Jakarta termasuk dalam wilayah tingkat kerawanan gempa bumi rendah dengan tingkat resiko kecil.

Provinsi DKI Jakarta termasuk aman gempa bumi karena termasuk gempa dalam dengan kedalaman sekitar 300 km, sehingga tidak terlalu berbahaya.

c. Provinsi Jawa Barat

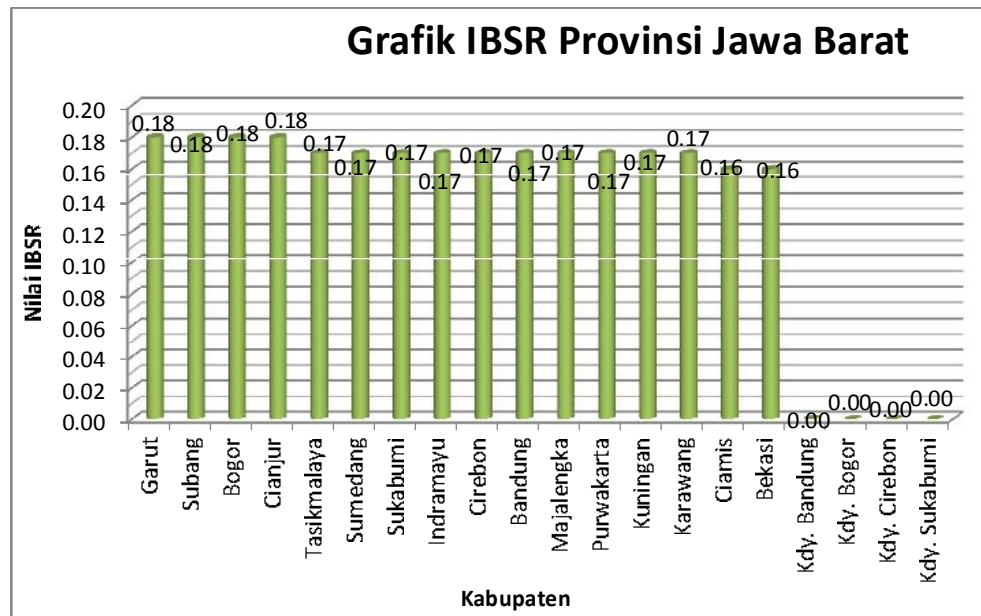
Nilai IBSK 20.5-21.8 erg dengan tingkat resiko besar di daerah Kabupaten Tasikmalaya. Nilai IBSK 19,6-20,4 erg dengan tingkat resiko sedang di daerah

Kabupaten Garut, Subang dan Bogor. Nilai IBSK 14-19,5 erg dengan tingkat resiko kecil di daerah Kabupaten Sumedang, Cianjur, Sukabumi, Indramayu, Cirebon, Ciamis, Bandung, Majalengka, Purwakarta, Kuningan, Karawang dan Bekasi. Dan nilai IBSK <14 erg dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah Kotamadya Bandung, Kotamadya Bogor, Kotamadya Cirebon dan Kotamadya Sukabumi (Gambar 4.8).



Gambar 4.8 Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Jawa Barat

Nilai IBSR 1,5-0,19 erg/year dengan tingkat resiko besar di daerah Kabupaten Garut, Subang, Bogor, Cianjur, Tasikmalaya, Sumedang, Sukabumi, Indramayu, Cirebon, Bandung, Majalengka, Purwakarta, Kuningan, dan Karawang. Nilai IBSR 0,10-0,14 erg/year dengan tingkat resiko sedang di daerah Kabupaten Ciamis dan Bekasi. Nilai IBSR <0,04 erg/year dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah di daerah Kotamadya Bandung, Kotamadya Bogor, Kotamadya Cirebon dan Kotamadya Sukabumi (Gambar 4.9).



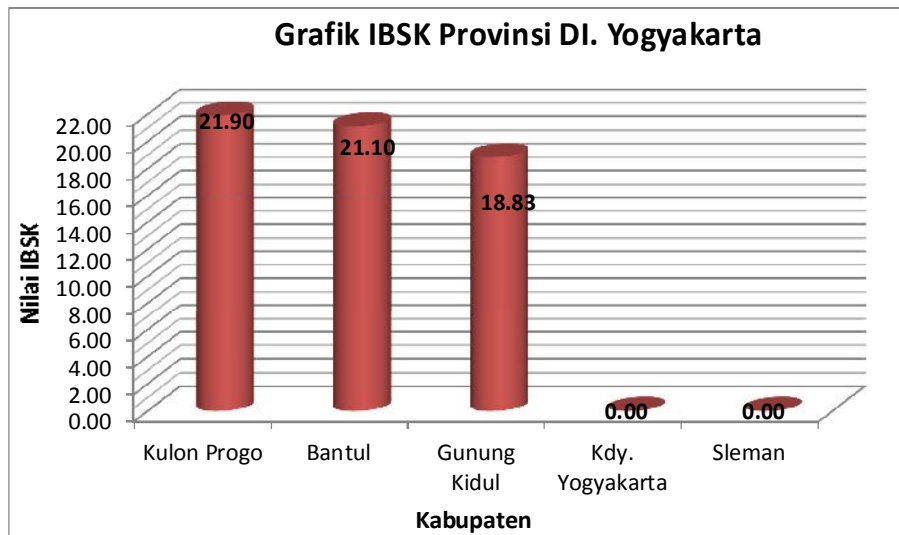
Gambar 4.9 Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi Jawa Barat

Sehingga dapat dituliskan bahwa sebagian besar daerah – daerah di Propinsi Jawa Barat termasuk dalam wilayah rawan gempa bumi dengan tingkat resiko besar.

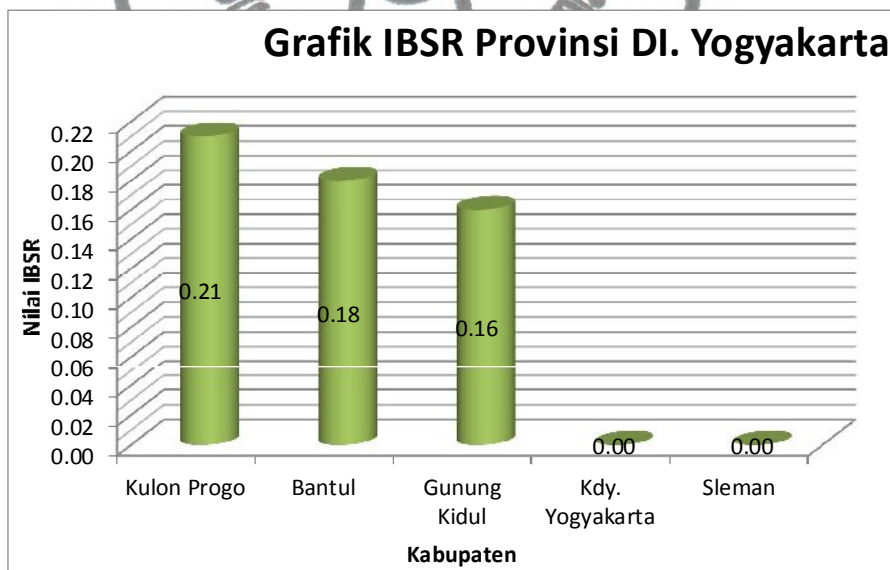
Provinsi Jawa Barat termasuk rawan gempa bumi karena termasuk gempa dangkal dengan kedalaman sekitar <60 km, dangkalnya sumber gempa terbukti dari daya rusak yang tinggi di permukaan bumi dan memicu terjadinya patahan ataupun mengaktifkan patahan-patahan yang lain. Hal ini berkaitan dengan sifat aktifitas seismik atau gempa yang bersumber dari palung jawa bagian selatan.

d. Provinsi D.I.Yogyakarta

Nilai IBSK 21,9-24,0 erg dengan tingkat resiko sangat besar di daerah Kabupaten Kulon Progo. Nilai IBSK 20-21,8 erg dengan tingkat resiko besar di Kabupaten Bantul. Nilai IBSK 19,6-20,4 erg dengan tingkat resiko sedang di daerah Kabupaten Gunung Kidul. Dan nilai IBSK <14 erg dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah Kotamadya Yogyakarta dan Seleman (Gambar 4.10).



Gambar 4.10 Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi D.I. Yogyakarta



Gambar 4.11 Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Provinsi D.I. Yogyakarta

Nilai IBSR < 0,20 erg/year dengan tingkat resiko sangat besar di daerah kabupaten Kulon Progo. Nilai IBSR 1,5-0,19 erg/year dengan tingkat resiko besar

di daerah Kabupaten Bantul. Nilai IBSR 0,10-0,14 erg/year dengan tingkat resiko sedang di daerah Kabupaten gunung Kidul. Dan nilai IBSR <0.04 erg/year dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah Kotamadya Yogyakarta dan Sleman (Gambar 4.11).

Sehingga dapat dituliskan bahwa sebagian besar daerah – daerah di Provinsi D.I. Yogyakarta termasuk dalam wilayah rawan gempa bumi dengan tingkat resiko besar.

Provinsi D.I. Yogyakarta termasuk rawan gempa bumi karena termasuk gempa dangkal dengan kedalaman sekitar 10 km, dangkalnya sumber gempa terbukti dari daya rusak yang tinggi di permukaan bumi dan memicu terjadinya patahan ataupun mengaktifkan patahan-patahan yang lain. Hal ini berkaitan dengan sifat aktifitas seismik atau gempa yang bersumber dari palung Jawa bagian selatan.

e. Provinsi Jawa Tengah

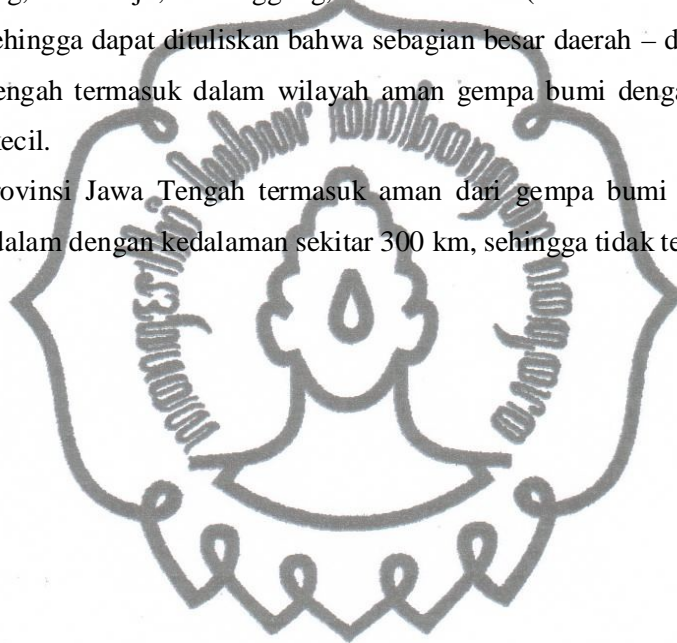
Nilai IBSK 14-19,5 erg dengan tingkat resiko kecil, berarti tidak beresiko rawan gempa bumi berada di daerah Kabupaten: Purworejo, Demak, Cilacap, Purbalingga, Klaten, Brebes, Kody. Semarang, Kebumen, Sragen, Tegal, Wonogiri, Rembang, dan Kendal. Dan nilai IBSK <14 erg dengan tingkat resiko sangat kecil berarti aman, karena tidak ada aktifitas energi gempa bumi, sehingga daerah ini tidak berbahaya berada di daerah Banjarnegara, Banyumas, Batang, Blora, Boyolali, Grobogan, Jepara, Kudus, Magelang, Pati, Pekalongan, Pemalang, Semarang, Sukoharjo, Karanganyar, Kody. Salatiga, Kody. Surakarta, Kody. Pekalonga, Kody. Tegal, Temanggung dan Wonosobo (Gambar 4.12).

Nilai IBSR 1,5-0,19 erg/year dengan tingkat resiko besar di daerah Kabupaten Purworejo, Demak, Cilacap, Purbalingga, Klaten dan Kotamadya Semarang. Nilai IBSR 0.10-0.14 erg/year dengan tingkat resiko sedang di daerah Kabupaten Kebumen, Sragen, Tegal, Wonogiri, Rembang, Kendal, dan Brebes. Nilai IBSR 0,05-0,09 Joule/year dengan tingkat resiko kecil di daerah Kabupaten

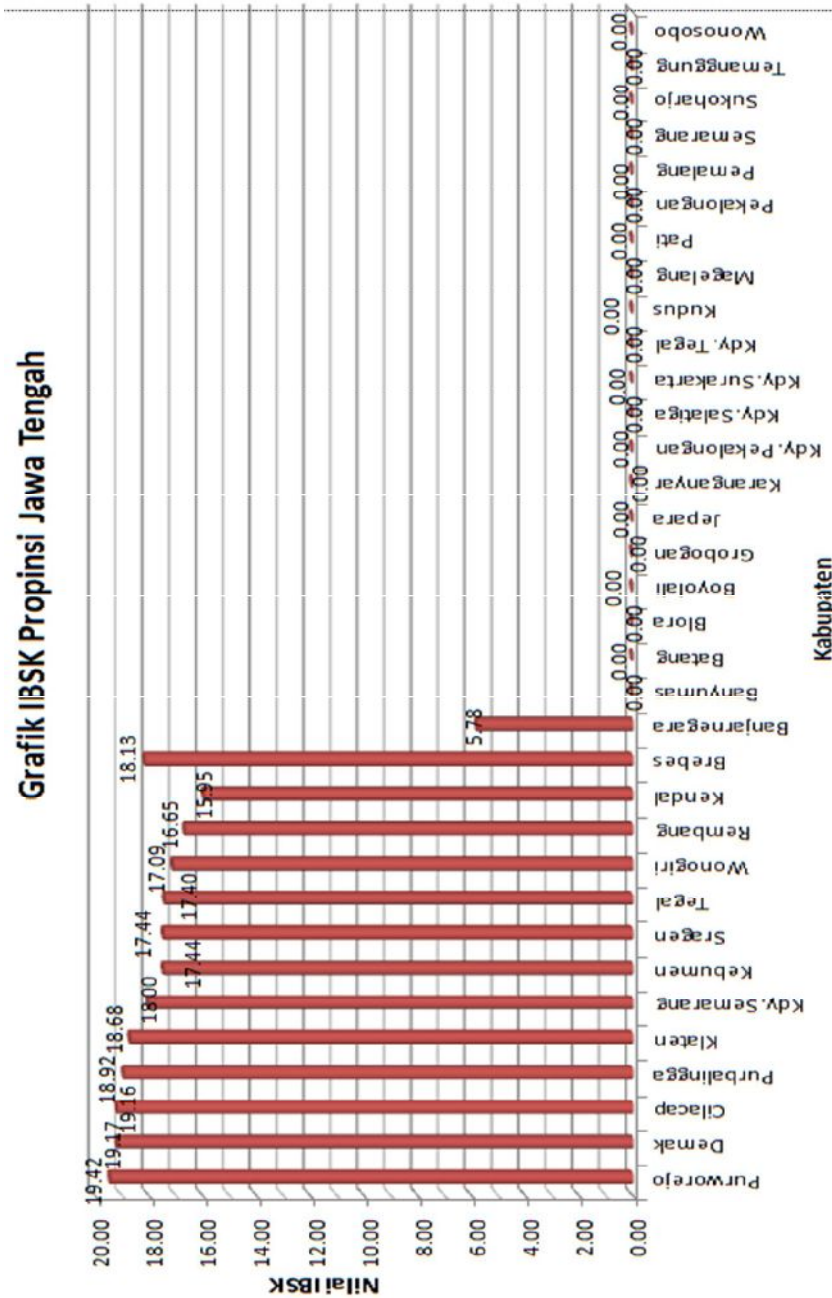
Banjarnegara. Nilai IBSR $<0,04$ erg/year dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah di daerah Kabupaten Banyumas, Batang, Blora, Boyolali, Grobogan, Jepara, Karanganyar, Kotamadya Pekalongan, Kotamadya Salatiga, Kotamadya Surakarta, Kotamadya Tegal, Kudus, Magelang, Pati, Pekalongan, Pemalang, Semarang, Sukoharjo, Temanggung, dan Wonosobo (Gambar 4.13).

Sehingga dapat dituliskan bahwa sebagian besar daerah – daerah di Propinsi Jawa Tengah termasuk dalam wilayah aman gempa bumi dengan tingkat resiko sangat kecil.

Provinsi Jawa Tengah termasuk aman dari gempa bumi karena termasuk gempa dalam dengan kedalaman sekitar 300 km, sehingga tidak terlalu berbahaya.

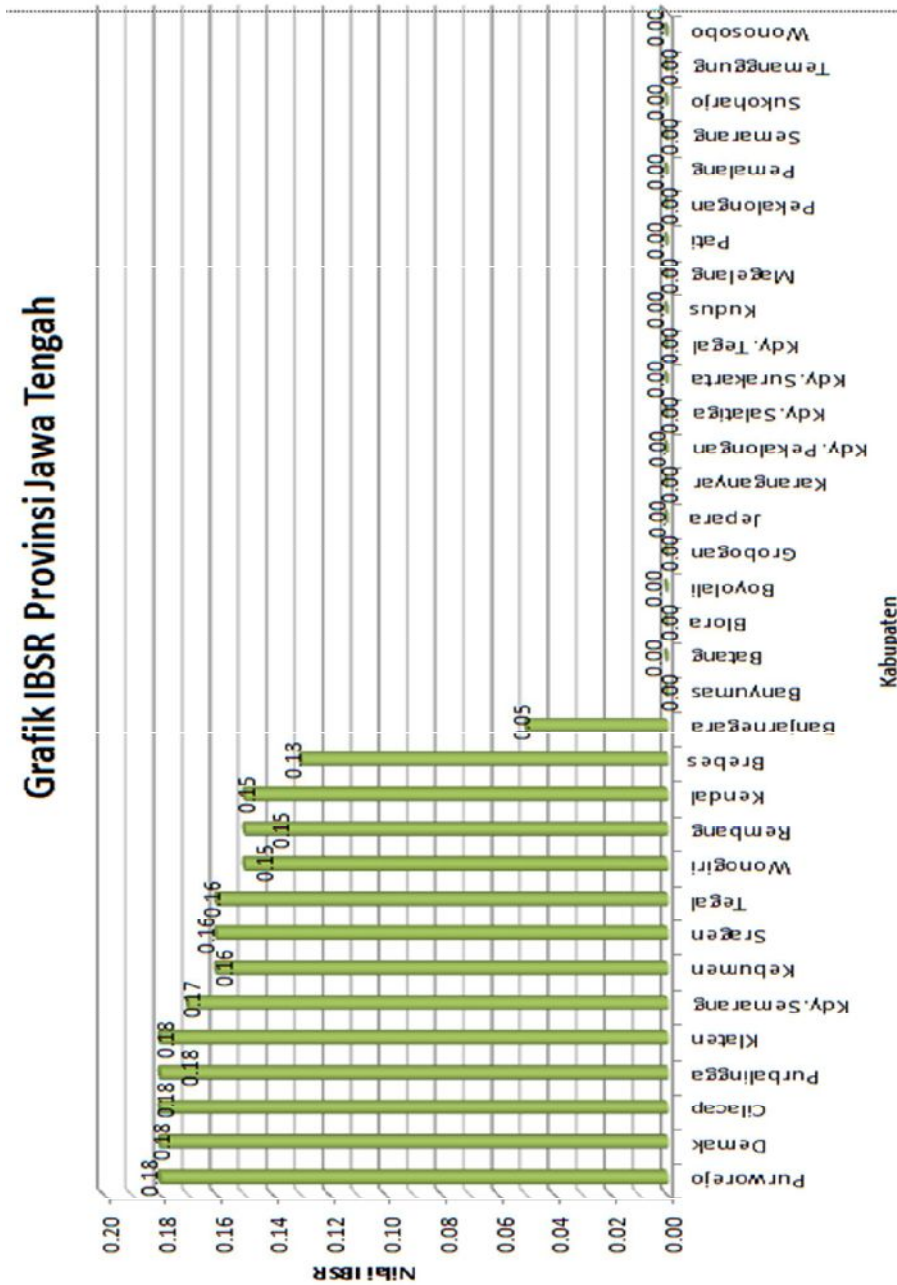


e. Propinsi Jawa Tengah



Gambar 4.12 Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Propinsi Jawa Tengah

e. Propinsi Jawa Tengah



Gambar 4.13 Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Propinsi Jawa Tengah

f. Jawa Timur

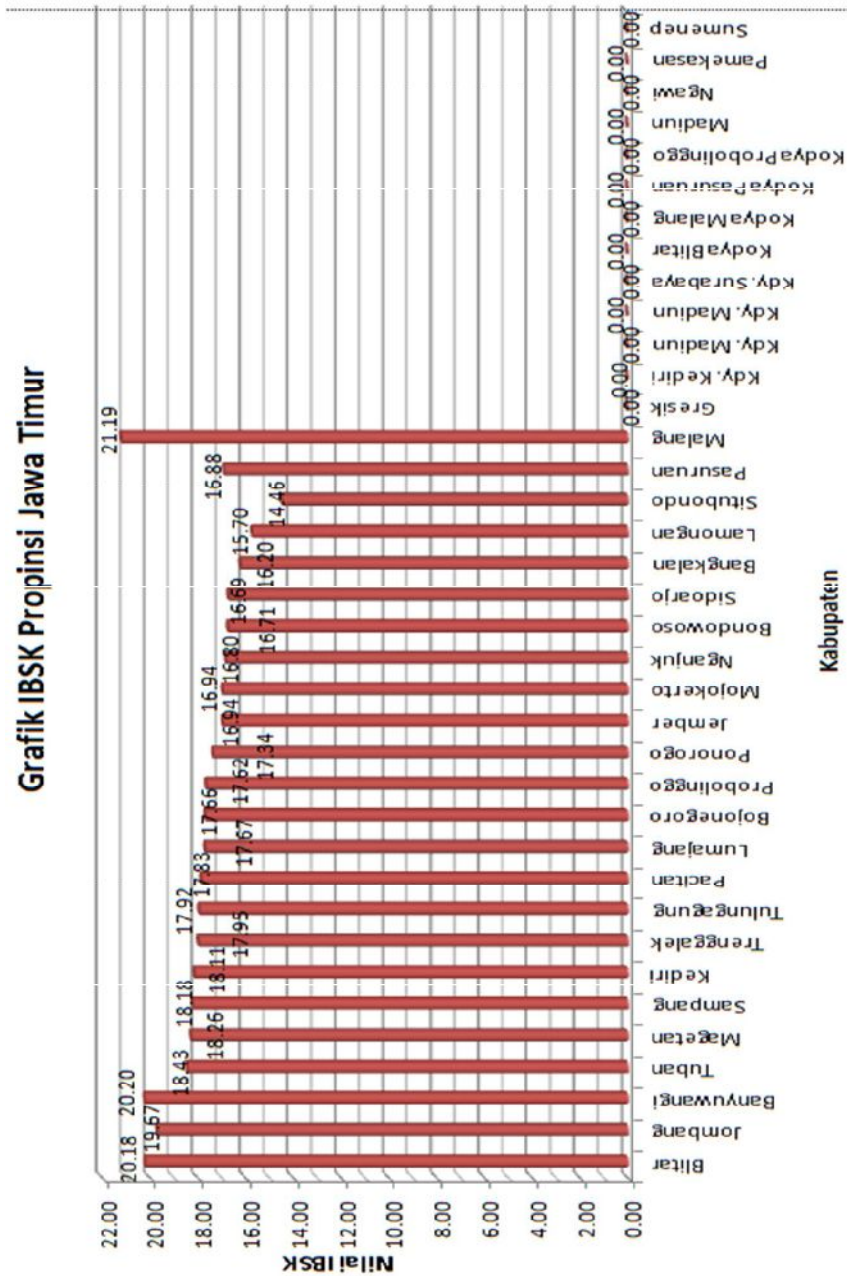
Nilai IBSK 20,5-21,8 erg dengan tingkat resiko besar di daerah Kabupaten Malang. Nilai IBSK 19,6-20,4 erg dengan tingkat resiko sedang di daerah Banyuwangi, Blitar dan Jombang. Nilai IBSK 14-19,5 erg dengan tingkat resiko kecil di daerah Tuban, Magetan, Sampang, Kediri, Trenggalek, Tulungagung, Pacitan, Lumajang, Bonjonegoro, Probolinggo, Jember, Mojokerto, Pasuruan, Nganjuk, Bondowoso, Sidoarjo, Bangkalan, Lamongan, dan Situbondo. Dan nilai IBSK <14 erg dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah Gresik, Kody. Kediri, Kody. Madiun, Kody. Surabaya, Kody. Malang, Kody. Blitar, Kody. Pasuruan, Kody. Probolinggo, Madiun, Ngawi, Pamekasan dan Sumenep (Gambar 4.14).

Nilai IBSR 1,5-0,19 erg/year dengan tingkat resiko besar di daerah Kabupaten Blitar, Jombang, Banyuwangi, Tuban, Magetan, Sampang, Kediri, Trenggalek, Tulungagung, dan Pacitan. Nilai IBSR 0,10-0,14 erg/year dengan tingkat resiko sedang di daerah Kabupaten Lumajang, Bonjonegoro, Probolinggo, Ponorogo, Jember, Mojokerto, Nganjuk, Bondowoso, Sidoarjo, Bangkalan, Lamongan, Situbondo dan Pasuruan. Nilai IBSR 0,05-0,09 erg/year dengan tingkat resiko kecil di daerah Kabupaten Malang. Nilai IBSR <0,04 erg/year dengan tingkat resiko sangat kecil di daerah di daerah Kabupaten Gresik, Kotamadya Kediri, Kotamadya Madiun, Kotamadya Surabaya, Kotamadya Blitar, Kotamadya Malang, Kotamadya Malang, Kotamadya Pasuruan, Kotamadya Probolinggo, Madiun, Ngawi, Pamekasan dan Sumenep (Gambar 4.15).

Sehingga dapat dituliskan bahwa sebagian besar daerah – daerah di Propinsi Jawa Timur termasuk dalam wilayah sedang rawan gempa bumi dengan tingkat resiko sedang.

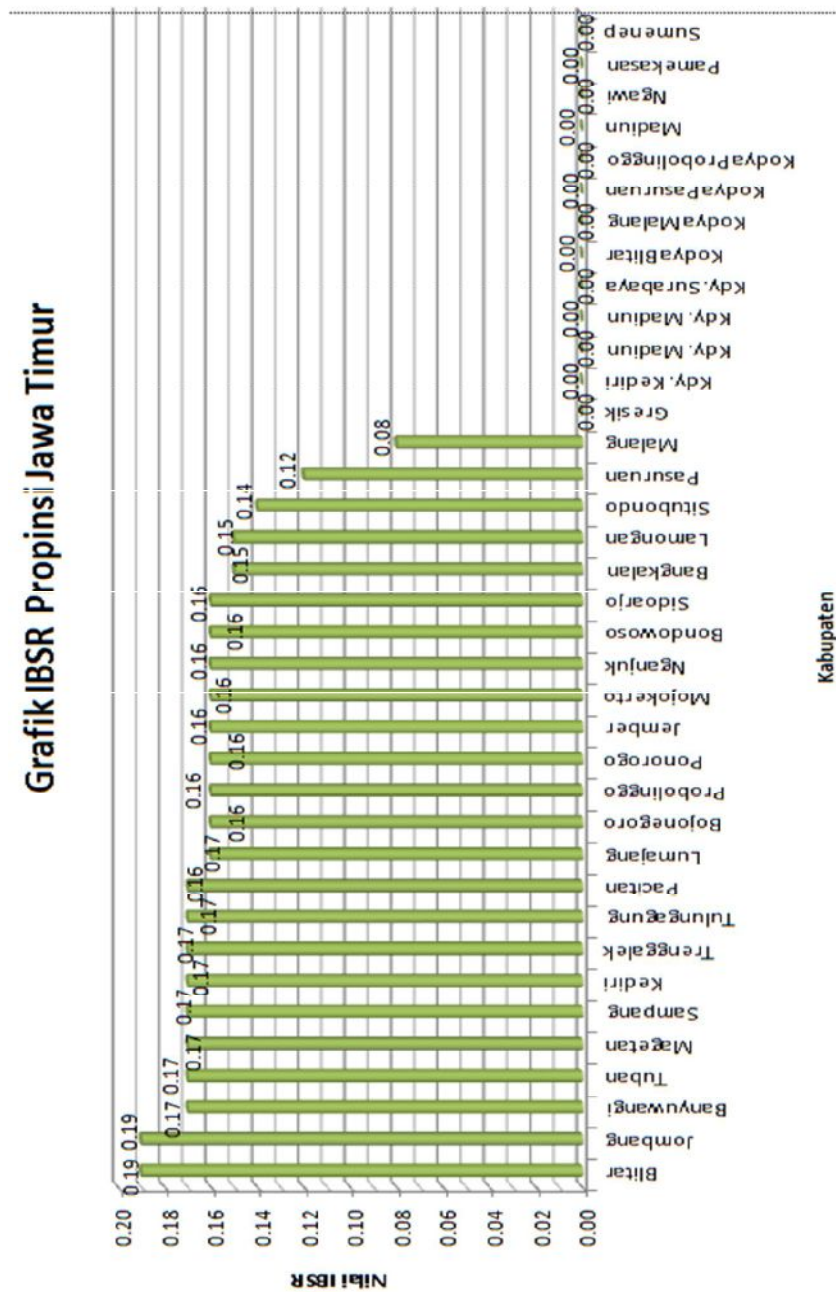
Provinsi Jawa Timur termasuk kurang rawan gempa bumi karena termasuk gempa menengah dengan kedalaman sekitar 60—300 km, kedalaman sumber gempa terbukti dari daya rusak yang ringan dan adanya getaran yang terasa di permukaan bumi.

f. Propinsi Jawa Timur



Gambar 4.14 Grafik Hubungan IBSK dan Kabupaten/Kotamadya Propinsi Jawa Timur

f. Propinsi Jawa Timur



Gambar 4.15 Grafik Hubungan IBSR dan Kabupaten/Kotamadya Propinsi Jawa Timur

Sehingga hasil peta IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) dan IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional) perhitungan dalam unit administrasi dalam persamaan Gutenberg-Richter maupun Bath besarnya nilai IBSK dan IBSR dengan metode statistik, memiliki kontur nilai IBSK dan IBSR membentuk suatu pola menyebar per-Kabupaten tertentu yang memiliki nilai IBSK dan IBSR yang tinggi. Hal ini dikarenakan pada persamaan Gutenberg-Richter maupun Bath besarnya nilai IBSK dan IBSR dipengaruhi oleh, kedalaman, parameter geologi, magnitudo, energi gempa bumi dan adanya sesar aktif.

4.1.2 Analisa IBSK dan IBSR Dalam Unit Geologi

Dalam batuan terekam proses-proses geologi yang telah terjadi dalam masa pembentukan batuan, misalnya dari fosil dalam batuan sedimen dapat diketahui lingkungan dimana dan kapan batuan tersebut diendapkan dan terbentuk. Serta dari kemagnetan yang tersimpan didalam batuan beku yang terimbas medan magnet bumi saat pembekuan.

Batuan sedimen diendapkan dengan proses mekanis baik di lingkungan darat atau air dan terbagi dalam 2 golongan berdasarkan ukuran besar butirnya yaitu golongan detritus kasar dan golongan detritus halus. Golongan detritus kasar mempunyai ukuran butir yang besar, dapat diendapkan langsung dari ledakan gunungapi dan tersebar disekitar gunung, serta dapat diendapkan di lingkungan air seperti sungai, danau dan laut. Terdiri dari konglomerat (diendapkan dilingkungan sungai) dan batu pasir (diendapkan dilingkungan laut). Sedangkan golongan detritus halus, mempunyai ukuran butir yang halus. Terdiri dari batu lanau, serpih, batu lempung dan napal, diendapkan dilingkungan laut (dari laut dangkal sampai laut dalam).

Parameter geologi yang mempengaruhi kerusakan adalah kekompakan suatu batuan atau litologi suatu kawasan. Litologi dibedakan ke dalam lima kriteria dari umur batuan paling muda sampai tua, yaitu batuan alluvial dan batuan lempeng gunung api, batuan quarter, batuan tersier, dan batuan pratersier, dan batuan yang

sangat keras dan kompak. Secara umum, produk muda paling sensitif terhadap pengaruh gempa bumi karena batuanannya lunak dan belum kompak sehingga memberikan efek penguatan guncangan ketika dilalui gelombang gempa bumi.

Pemancaran energi gempa bumi dapat besar ataupun kecil, hal ini tergantung dari karakteristik batuan yang ada dan besarnya *stress* yang dikandung oleh suatu batuan pada suatu daerah. Pada suatu batuan yang tidak sejenis (batuan yang heterogen), *stress* yang dikandung tidak besar karena langsung dilepaskan melalui terjadinya gempa-gempa kecil yang banyak. Sedangkan untuk batuan yang sejenis (batuan yang homogen), gempa kecil tidak terjadi (jarang terjadi) sehingga *stress* yang dikandung sangat besar dan pada suatu saat batuanannya tidak mampu lagi menahan *stress*, maka akan terjadi gempa dengan magnitudo yang besar.

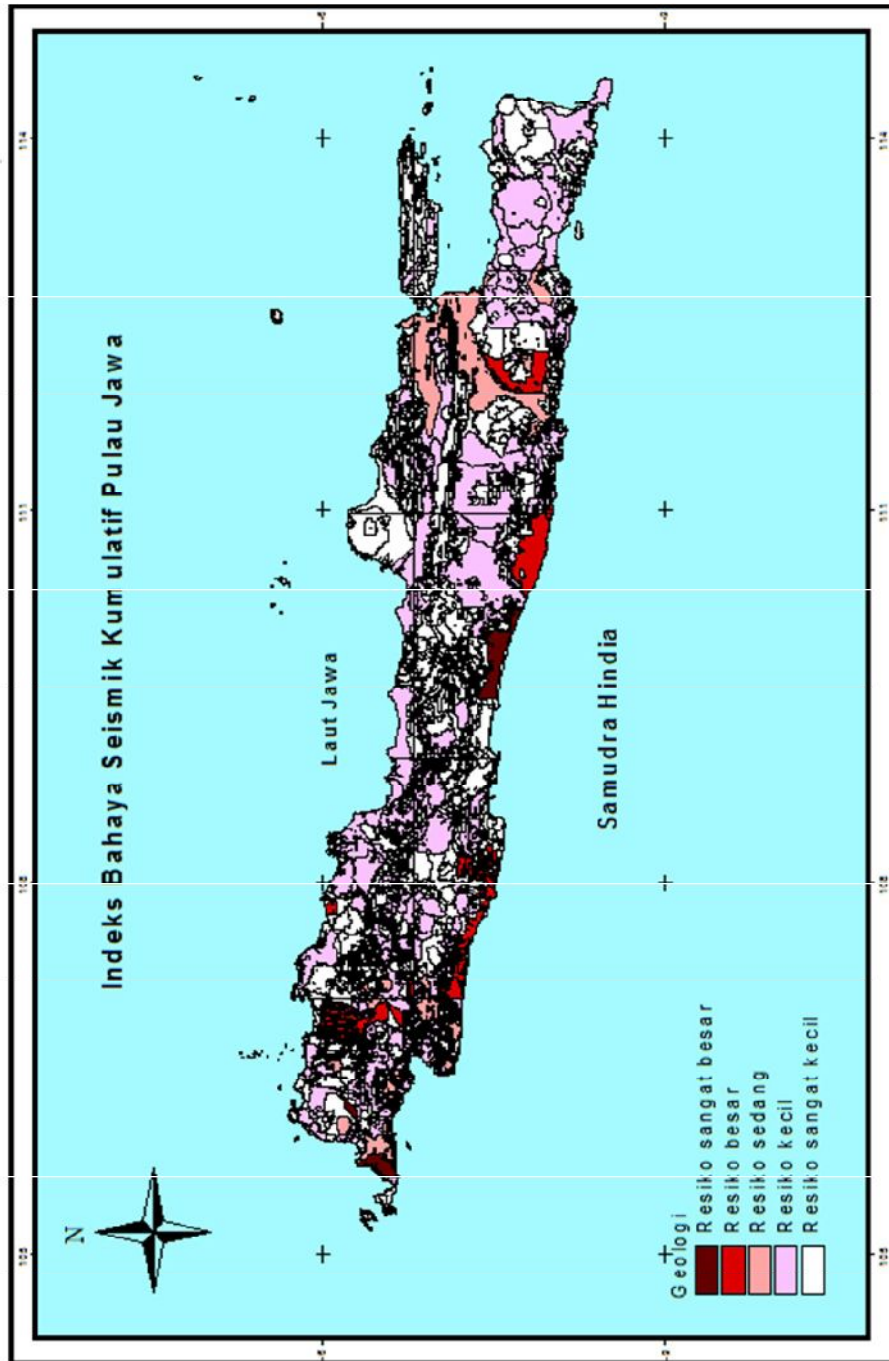
Sehingga untuk batuan yang tidak sejenis (heterogen), energi yang dikumpulkan tidak terlalu besar karena langsung dilepaskan dalam bentuk gelombang seismik. Sedangkan untuk batuan yang sejenis (homogen), energinya akan dikumpulkan dalam relatif lebih lama sehingga pada saat dilepaskan (karena batuan sudah tidak mampu lagi menahan *stress*), energinya sudah terkumpul dan gempa bumi yang terjadi akan dapat merusak segala benda yang ada dipermukaan.

4.1.2.a IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif)

Perhitungan IBSK dalam unit geologi dihitung menurut batasan-batasan geologi di Pulau Jawa. Nilai IBSK kemudian dikelompokkan dengan menggunakan perhitungan Gutenberg-Richter maupun Bath dengan metode statistika dan diolah dengan menggunakan software ArcView GIS 3.3 untuk dipetakan. Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa nilai IBSK berkisar antara 0-23,14 erg di peroleh dari persamaan 3.1. Kemudian dilakukan pengelompokan menggunakan metode statistika dengan nilai ketetapan energi pada tabel 2.2.

Hasil pemetaan nilai IBSK terlihat pada Gambar 4.16 sebagai berikut:

Hasil pemetaan IBSR dengan perhitungan unit geologi, menggunakan software ArcView GIS 3.3:



Gambar 4.16 Peta IBSK (Indeks Bahaya Seismik Kumulatif) Pulau Jawa dan Pulau Madura

Nilai IBSK 24-21,9 erg dengan tingkat resiko sangat besar berada di Qpb (Formasi Bonjong), Tmh (Formasi Honje), Tmjg (Formasi Jampang) dan Qa (Aluvium) dapat dilihat dari hasil pemetaan pada Gambar 4.16 dan Tabel 4.1.

Formasi Bonjong (Qpb) dan Formasi Honje (Tmh) terdapat di Provinsi Banten. Formasi Bonjong (Qpb) terdiri dari batu pasir gamping, batu lempung karbonan, napal, lensa batu gamping, tuf dan gambut. Formasi Honje (Tmh) terdiri dari breksi gunung api, tuf, lava andesit basal, kayu kersikan. Formasi Jampang (Tmjg) terdapat di Provinsi Jawa Barat, terdiri dari breksi dengan fragmen andesit hasil kegiatan gunung api berada di daerah. Dan Aluvium (Qa) terdapat di Propinsi Yogyakarta tepatnya di Kabupaten Kebumen dan yang terdiri dari kerakal, pasir, lanau dan lempung sepanjang sungai yang besar dan dataran pantai.

Tabel 4.1. Symbol, nilai IBSK, dan keterangan IBSK

SYMBOLS	IBSK (erg)	KET. IBSK
Qpb	23,14	Resiko sangat besar
Tmh	22,78	Resiko sangat besar
Tmjg	22,64	Resiko sangat besar
Tmw	22,40	Resiko sangat besar
Qa	21,90	Resiko sangat besar

Nilai IBSK 20-21,8 erg dengan tingkat resiko besar berada pada Qav (formasi batuan kipas alluvial), Qvpo (Batuan Gunung Api Gunung Pangrango), Pb (Formasi Polegon Bayah), Tmpb (Formasi Bentang) dan Tmwl (Formasi Wonosari) dapat dilihat dari hasil pemetaan pada Gambar 4.16 dan Tabel 4.2.

Formasi batuan kipas alluvial (Qav) di wilayah DKI Jakarta dan Bogor. Qav pada wilayah DKI Jakarta terdiri dari tuf halus berlapis, tuf pasiran, berselingan dengan tuf konglomeratan. Dan di Bogor terdiri terutama dari lanau, batu pasir, kerikil dan kerakal dari batuan gunung api Kuarter, diendapkan kembali sebagai kipas alluvium.

Qvpo (Batuan Gunung Api Gunung Pangrango) yang berada di Sukabumi terdiri dari endapan lebih tua, lahar dan lava, basal andesit dengan oligoklas andesine, labradorit, olivine, piroksen dan horeblenda.

Formasi Polegon Bayah (Pb) yang berada di wilayah Sukabumi dan Cianjur. Pb pada wilayah Sukabumi terdiri dari batu pasir, batu pasir konglomeratan dengan sisipan batu lempung dengan struktur sedimen silang siur cekung dan planar. Dan di Cianjur terdiri dari breksi bersifat andesit dan basal, lava, batu pasir tufaan dan konglomerat.

Formasi Bentang (Tmpb) berada di daerah Tasikmalaya, Garut dan Cianjur terdiri dari batu pasir tufaan, batu pasir, batu pasir gampingan, konglomerat, breksi gunung api, tufa, batu lempung tufaan, breksi tufa, breksi gampingan, batu gamping, batu lempung, sisipan lignit. Dan Formasi Wonosari (Tmwl) terdiri dari Batu gamping terumbu, kalkarenit dan kalkarenit tufan.

Tabel 4.2. Symbol, nilai IBSK, dan keterangan IBSK

SYMBOLS	IBSK (erg)	KET. IBSK
Tmwl	21,41	Resiko besar
Tmi	21,16	Resiko besar
Tmpb	20,91	Resiko besar
Qvdl	20,67	Resiko besar
Pb dan Qac	20,66	Resiko besar
Qvpo	20,53	Resiko besar

Nilai IBSK 19,6-20,4 erg dengan tingkat sedang berada di Ql (formasi Batu Gamping Terumbu), Qhv (Kwater Holosen Vulkanik), Tpg (Tersier Pliosen Genteng, Tmjc (Formasi Anggota Cikarang), Qvk (Breksi dan Lava Gunung Kencana Dan Gunung Limo), Qot (Hasil Gunung Api Tertua), Tomcu (Formasi Anggota Serpilh dari Formasi Cinambo), Qa (Alluvium Pantai), dan Formasi Jombang (Qpj) dapat dilihat dari hasil pemetaan pada Gambar 4.16 dan Tabel 4.3.

Formasi Batu Gamping Terumbu (Ql) terdiri dari batu gamping koral dan bunga karang. Qhv (Kwater Holosen Vulkanik) terdiri dari endapan material lepas

hasil kegiatan vulkanik berukuran halus-sedang. Tersier Pliosen Genteng (Tpg) terdiri dari batuan bersifat tufaan yang mengalami proses terkarsikan terendapkan pada lingkungan darat. Formasi Anggota Cikarang (Tmjc) berada di daerah Sukabumi terdiri dari batuan hasil kegiatan gunung api bersifat andesitan, berukuran halus sampai kasar antara ukuran pasir kerikil dengan sisipan breksi.

Qvk (Breksi dan Lava Gunung Kencana Dan Gunung Limo) di daerah Bogor terdiri dari bongkahan andesit dan breksi andesit dengan banyak sekali finokris piroksen dan lava basal. Qot (Hasil Gunung Api Tertua) di daerah Cianjur terdiri dari breksi andesit piroksen bersisipan dengan lava andesit. Umumnya terpropilitas. Formasi Anggota Serpih dari Formasi Cinambo (Tomcu) terdiri dari serpih dengan selingan batu pasir dan batu gamping, batu pasir gampingan batu pasir tufan. Qa (Alluvium Pantai) terdiri dari terutama endapan dataran pantai, pada muara sungai tercampur dengan endapan alluvium yang terdiri dari lempung, lanau, pasir dan kerikil. Formasi Jombang (Qpj) terdiri dari breksi, batu pasir tufan, batu lempung tufan, lempung, batu gamping dan tuf.

Tabel 4.3. Symbol, dan nilai IBSK

SYMBOLS	IBSK (erg)	KET. IBSK
Qos	20,43	Resiko sedang
Qhv dan Qot	20,41	Resiko sedang
Qa	20,29	Resiko sedang
Ql	20,2	Resiko sedang
Temv	20,19	Resiko sedang
Qvk	20,17	Resiko sedang
Tmbv, Tmd, Tomcu, dan Tpg	20,16	Resiko sedang
Tmbu	20,01	Resiko sedang
Tmjc	19,8	Resiko sedang
Qpj	19,67	Resiko sedang

Nilai IBSK 14-19,5 erg dengan tingkat resiko kecil berada di formasi Arjosari (Toma), Formasi Mandalika (Tomm), Aluvium (Qa), Lahar Lawu (Qlla), Kwarter Pleistosen Vulkanik Kalibaru (Qpvk), Formasi Bagor (Qhsb), Batu

Gunung Api Tengger (Qvt), Tersier Miosen Nampol (Tmn), Tersier Miosen Wuni (Tmw), Formasi Ngangran (Tmng), Formasi Pemali (Tmp), Paleogen Bayah (Pb), Tersier Oligosen-Miosen Jampang (Tomj), Endapan Danau (Ql), Endapan Dataran Banjir (Qaf), Formasi Citirem (Mcv), Formasi Jampang (Tmjv), Anggota Ngayong (Tmtn), Formasi Kaligesing (Tmok), Formasi Kepek (Tmpek), dan Tersier Miosen Wuni (Tmw) dapat dilihat dari hasil pemetaan pada Gambar 4.16.

Nilai IBSK dengan tingkat resiko kecil dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4.4. Symbol, dan nilai IBSK

SYMBOLS	IBSK (erg)	SYMBOLS	IBSK (erg)	SYMBOLS	IBSK (erg)
Qa	19,58	Qvb	18,38	Qpvb, Qvaw dan Qvl	16,94
Qyg	19,43	Qvs dan Tecl	18,25	Pb, Qpb, QTvb, Tmpl, Toma, dan Tomb	16,69
QTVs, Tmok, dan Tmpk	19,42	Qvab	18,22	Qvtm	16,49
Tmk	19,35	Qpkg, Qpp, Qvyu, Tojm, Tow dan Tpk	18,18	Qvsb, Qyu, dan Tpc	16,44
Tmb	19,3	Tmn	18,13	Tmt dan Tmw	16,2
QTV	19,2	Qaf	18	Qp, Tmcs, dan Tmjt	15,95
Qpvb, QTI dan Teb	19,17	Qpv dan QTvk	17,96	a, Tmd dan Tmo	15,7
Qgpk	18,96	Tmbv, Tpg, dan Tpm	17,93	Tmtn	15,45
Tmci	18,94	Tmpb	17,88	Tpt	15,2
Tpc	18,93	Tomj	17,8		
Tmjv	18,74	QTd	17,69		
Ql	18,7	Qvat dan Qvu	17,68		
Tomm	18,69	Tmj	17,61		
Qvt dan Tembs	18,68	Qha, Qob, Qte, Qvtr, dan Tmkl	17,44		
Qvd	18,62	Tmbl, Tmcm, dan Tmng	17,19		
Tmr	18,47	Qhsb	17,01		
Toj	18,45				
Mcv dan Tmp	18,43				
Tmc	18,4				

Dan nilai IBSK <14 erg dengan tingkat resiko sangat kecil di formasi-formasi yang terdapat di Tabel 4.5 dibawah ini, dapat dilihat dari hasil pemetaan pada Gambar 4.16.

Tabel 4.5. Symbol, dan nilai IBSK

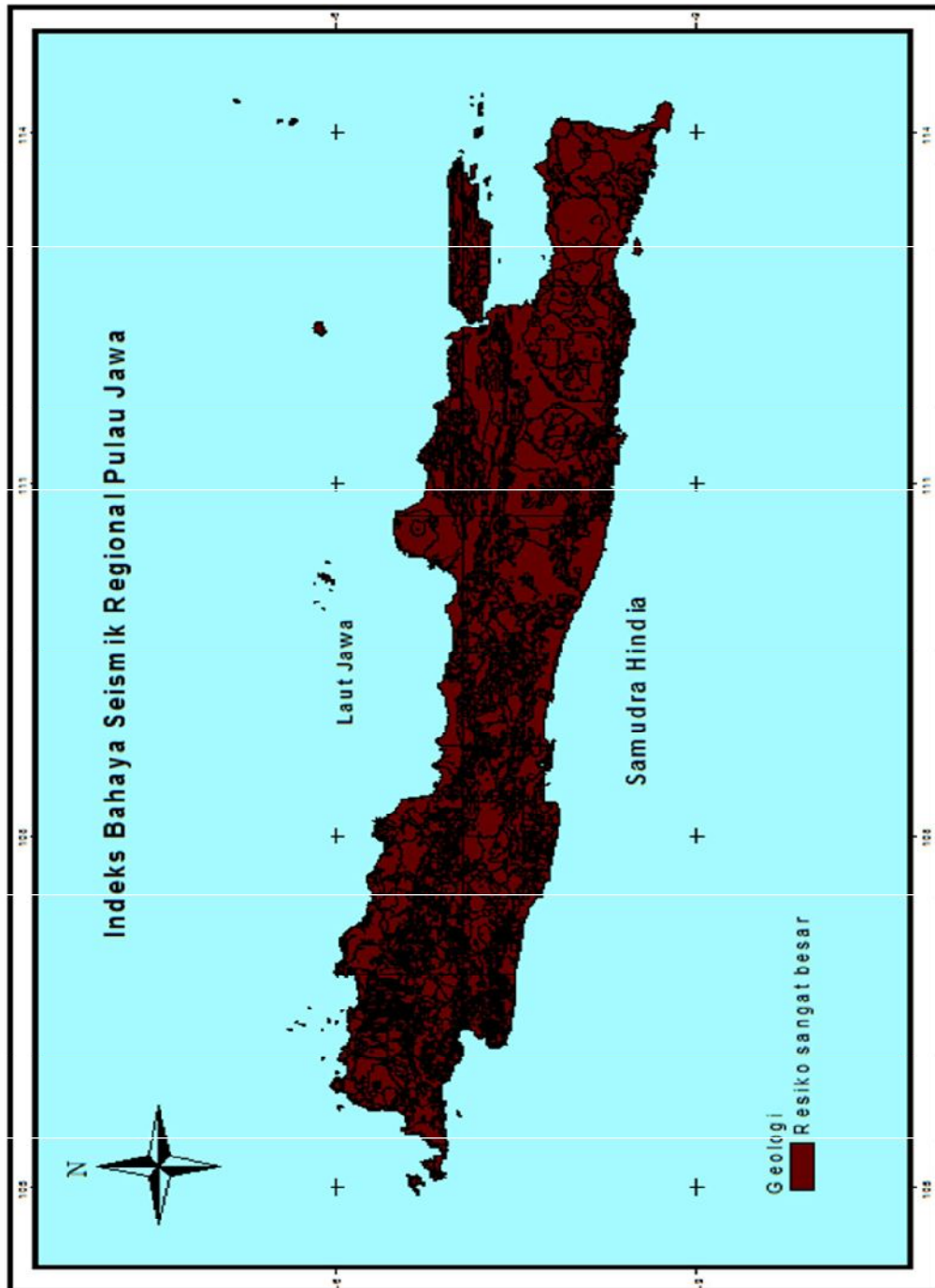
SYMBOLS	IBSK (erg)	KET. IBSK
QTlb	5,78	Resiko sangat kecil
a, Mcv, Pb, Qa, Qac, Qaf, Qgpk, Qha, Qhsb, Qhv, Ql, Qob, Qos, Qot, Qp, Qpb, Qpj, Qpkg, Qpp, Qpv, Qpvb, Qpvk, Qte, QTI, QTV, QTVb, QTVk, QTVs, Qv, Qvab, Qvb, Qvd, Qvdl, Qvk, Qvl, Qvs, Qvsb, Qvst, Qvt, Qvtm, Qvu, Qvyu, Qyg, Qyu, Teb, Tecl, Temv, Tma, Tmb, Tmbl, Tmbs, Tmbu, Tmbv, Tmc, Tmci, Tmcl, Tmcm, Tmcs, Tmd, Tmh, Tmi, Tmj, Tmja, Tmjcb, Tmjg, Tmjt, Tmjv, Tmk, Tmkl, Tml, Tmn, Tmo, Tmok, Tmp, Tmpb, Tmpk, Tmpl, Tmr, Tmt, Tmtn, Tmw, Tmwl, Toj, Tojm, Toma, Tomb, Tomcu, Tomj, Tomm, Tow, Tpc, Tpg, Tpk, Tpm, Tpr, Tpt, dan Tpv	0	Resiko sangat kecil

Sehingga dapat dituliskan bahwa sebagian besar formasi-formasi di Pulau Jawa dalam perhitungan IBSK termasuk dalam wilayah aman gempa bumi dengan tingkat resiko sangat kecil.

4.1.2.b IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional)

Indeks Bahaya Seismik Regional merupakan gambaran seismisitas yang dihitung berdasarkan frekuensi dan energi yang dikeluarkan oleh gempa bumi. Dan merupakan cara yang sederhana untuk memperkirakan bahaya seismik pada suatu tempat/daerah tertentu. Besarannya di suatu daerah dapat langsung diinterpretasikan dengan besaran yang sama dengan satuan skala intensitas MMI (*Modified Mercalli Intensity*), ketidaktepatan dari taksiran (range) dinyatakan oleh harga deviasi standarnya.

Hasil pemetaan IBSR dengan perhitungan unit geologi, menggunakan software ArcView GIS 3.3:



Gambar 4.17 Peta IBSR (Indeks Bahaya Seismik Regional) Pulau Jawa dan Pulau Madura

Perhitungan IBSR dalam unit geologi dihitung sama seperti perhitungan dalam unit administrasi yaitu nilai rata-rata dari IBSK di suatu daerah dalam selang pengamatan tertentu pada persamaan (3.2), hanya saja hasil dari nilai IBSK dalam unit keseluruhan Pulau Jawa ini tidak ada batasan-batasan wilayahnya. Hasil dari perhitungan menunjukkan bahwa nilai IBSR 0,36 erg/year. Kemudian dilakukan pengelompokan menggunakan metode statistika (standart deviasi) pada Tabel 2.3 dan hasil pemetaan nilai IBSR terlihat pada Gambar 4.17.

Nilai IBSR $> 0,20$ erg/year dengan tingkat resiko sangat besar. Formasi-formasi geologi yang termasuk tingkat resiko sangat besar terdapat pada Tabel 4.5 dibawah ini dan untuk keterangan tiap kode batuan/geologi dapat dilihat di Lampiran 4.

Tabel 4.6. Symbol, dan Nilai IBSR.

SYMBOLS	IBSR (erg/year)	KET. IBSR
a, Mcv, Pb, Qa, Qac, Qaf, Qas, Qat, Qav, Qgpk, Qha, Qhsb, Qhv, Qls, Ql, Qob, Qos, Qot, Qp, Qpb, Qpc, Qpd, Qpg, Qpj, Qpk, Qpkb, Qpkg, Qpp, Qpv, Qpvb, Qpvk, QTd, QTdl, Qte, QTI, QTlb, QTV, QTvb, QTvc, QTvk, QTvs, Qv, Qvab, Qvat, Qvaw, Qvb, Qvd, Qvdl, Qvk, Qvkl, Qvl, QvIm, Qvls, Qvm, Qvpo, Qvpy, Qvr, Qvs, Qvsb, Qvsl, Qvst, Qvt, Qvtr, Qvtm, Qvtt, Qvu, Qvw, Qvyu, Qwb, Qy, Qyb, Qyc, Qyd, Qyg, Qyl, Qypu, Qyt, Qyu, Qyw, Teb, Tebl, Tebm, Tecl, Tekl, Temv, Teok, Teol, Teon, Tet, Tew, Tgd, Tm, Tma, Tmb, Tmbc, Tmbe, Tmbel, Tmbk, Tmbl, Tmbo, Tmbs, Tmbu, Tmbv, Tmc, Tmcb, Tmcd, Tmci, Tmck, Tmcl, Tmcm, Tmcn, Tmcs, Tmd, Tmda, Tmg, Tmh, Tmhl, Tmhs, Tmi, Tmj, Tmja, Tmjc, Tmjg, Tmjp, Tmjt, Tmjv, Tmk, Tmkl, Tmkt, Tml, Tmn, Tmng, Tmnt, Tmo, Tmok, Tmp, Tmpb, Tmpk, Tmpl, Tmpm, Tmpt, Tmr, Tms, Tmt, Tmtb, Tmtl, Tmtn, Tmw, TmwI, Tmwt, Toba, Toj, Tojm, Toma, Tomb, Tomcl, Tomcu, Tomd, Tomg, Tomi, Tomj, Tomk, Toml, Tomm, Tomw, Tow, Tpc, Tpg, Tpk, Tpm, Tpmt, Tpr, Tpt, dan Tpv	0,36	Resiko sangat besar

Untuk nilai IBSR 0,15-0,19 erg/year dengan tingkat resiko besar, 0,10-0,14 Joule/year dengan tingkat resiko sedang, 0,05-0,09 erg/year dengan tingkat resiko kecil dan $<0,04$ erg/year, tidak ada yang masuk dalam kategori ini maka dihilangkan.

Sehingga dapat dituliskan bahwa sebagian besar formasi-formasi di Pulau Jawa dalam perhitungan IBSR termasuk dalam wilayah rawan gempa bumi dengan tingkat resiko sangat besar.

Oleh karena itu, hasil peta IBSK dan IBSR perhitungan unit geologi Pulau Jawa dipengaruhi oleh energi, parameter geologi dan adanya sesar aktif. Parameter geologi yang mempengaruhi kerusakan adalah kekompakan suatu batuan atau litologi suatu kawasan. Dan dari data yang diperoleh daerah gempa bumi yang terjadi di darat pada radius 0-5 km dari pusat gempa bumi atau daerah berjarak 5 km dari garis sesar aktif mengalami kerusakan paling parah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data-data yang diperoleh pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Wilayah di Pulau Jawa dalam unit administrasi yang termasuk kawasan rawan gempa bumi dengan tingkat resiko besar adalah Provinsi Banten, Provinsi Jawa Barat, dan Provinsi D.I.Yogyakarta. Sedangkan yang termasuk kawasan kurang rawan gempa bumi dengan tingkat resiko sedang adalah Provinsi Jawa Timur. Kemudian yang termasuk kawasan aman terhadap gempa bumi dengan tingkat resiko kecil adalah Provinsi DKI. Jakarta dan Jawa Tengah. Dan Wilayah di Pulau Jawa dalam unit geologi Pulau Jawa termasuk rawan gempa bumi.
2. Berdasarkan analisa dan perhitungan IBSK dan IBSR dalam unit geologi administrasi dan unit geologi keseluruhan Pulau Jawa dipengaruhi oleh magnitudo gempa bumi, energi gempa bumi, parameter geologi dan adanya sesar aktif.

5.2. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya, data gempa yang digunakan seharusnya tidak hanya data gempa darat saja tetapi gempa laut juga, karena kebanyakan gempa dangkal berada di laut. Untuk mendapatkan gambaran kegiatan seismik yang lebih baik, idealnya diperlukan interval waktu pengamatan berurutan. Dan juga disesuaikan kekuatan bangunan yang akan dibangun terhadap kekuatan gempa bumi yang terjadi di Pulau Jawa.