

## STUDI HAZARD KEGEMPAAN WILAYAH PROPINSI BANTEN DAN DKI JAKARTA

Delfebriyadi

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Andalas

Email: delfebri@ft.unand.ac.id

### ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas seismik yang tinggi sehingga dalam perencanaan bangunan harus diperhitungkan aspek-aspek kegempaan. Untuk alasan kebutuhan itu, dilakukan studi analisis dengan melakukan suatu teknik analisis resiko gempa pada wilayah propinsi Banten dan DKI Jakarta yang dilakukan berdasarkan kriteria desain yang disyaratkan dalam SNI-1726-2002, yaitu untuk umur bangunan 50 tahun dan nilai resiko gempa 10%. Analisa resiko gempa dilakukan berdasarkan teori probabilitas total dengan memanfaatkan perangkat lunak EQRISK yang telah dimodifikasi dan menggunakan pemodelan sumber gempa 2-D berdasarkan kajian seismotektonik dan identifikasi regional fault. Karena belum adanya data riwayat waktu percepatan gempa terekam di batuan dasar untuk wilayah kajian, maka dilakukan perhitungan deagregasi seismik untuk kota Banten dan DKI Jakarta untuk mendapatkan gambaran umum tentang ukuran gempa dan jarak dari suatu skenario gempa, serta pembuatan data riwayat waktu sintetik berdasarkan teknik penskalaan gelombang terhadap suatu skenario gempa rencana. Hasil akhir yang diperoleh adalah peta spektral percepatan pada lapisan batuan dasar di wilayah propinsi Banten dan DKI Jakarta dan riwayat waktu sintetik di batuan dasar untuk kota Banten dan DKI Jakarta dengan periode ulang 475 tahun.

**Kata-kata kunci:** teori probabilitas total, spektral percepatan, riwayat waktu sintetik.

### I. PENDAHULUAN

Letak geografis wilayah Indonesia yang berada pada pertemuan empat lempeng tektonik utama; lempeng Australia, lempeng Asia, lempeng Pasifik, dan lempeng laut Philipina, menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang memiliki potensi aktivitas seismik cukup tinggi dan rawan terhadap bahaya gempa. Disebabkan oleh tingginya aktivitas seismik tersebut, maka dalam perencanaan bangunan di Indonesia harus diperhitungkan aspek-aspek kegempaan, disamping tinjauan aspek-aspek pembebanan lainnya. Perkiraan besarnya beban atau percepatan gempa yang handal dalam perencanaan masih dapat dikaji secara lebih mendalam, mengingat sangat penting dan berpengaruhnya hal tersebut baik melingkupi aspek keamanan maupun efisiensi suatu desain bangunan, tanpa meninggalkan atau bahkan memungkinkan dapat melengkap atau mengevaluasi peraturan-peraturan standar yang ada.

### II. TINJAUAN GEOLOGI-SEISMOTEKTONIK

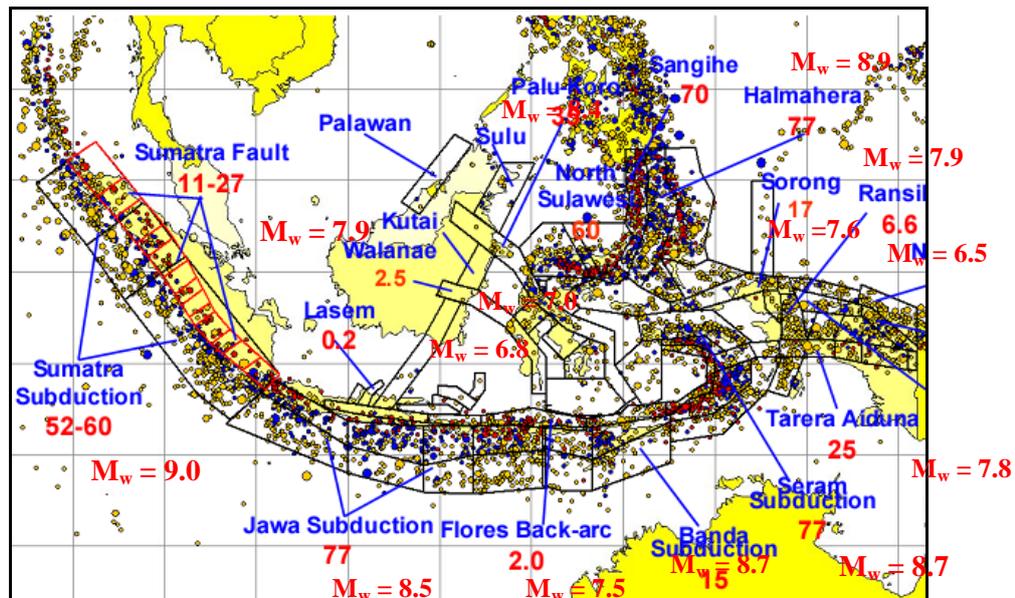
Propinsi Banten dan DKI Jakarta secara geografis terletak di bagian Barat pulau Jawa. Dalam kajiannya tentang resiko gempa, perlu diidentifikasi secara geologi dan seismologi adanya beberapa zona sumber gempa aktif yang

memiliki potensi dan kontribusi seismik signifikan terhadap wilayah tersebut seperti zona subduksi Sumatera dan Jawa, serta zona patahan Semangko, Sukabumi, Baribis dan Bumiayu.

Zona patahan Semangko, Sukabumi, Baribis dan Bumiayu merupakan jalur patahan yang terbentuk akibat tabrakan Lempeng Indo Australia yang bergerak dengan kecepatan relatif 50 hingga 60 mm/tahun terhadap lempeng Eurasia yang relatif diam. Keberadaan patahan ini juga berpotensi untuk menyebabkan sejumlah gempa bumi dangkal yang bersifat merusak.

### III. PARAMETER SEISMIC HAZARD

Parameter *Seismic hazard* dapat menunjukkan aktifitas kegempaan pada suatu wilayah. Parameter *Seismic hazard* yang digunakan dalam analisis *seismic hazard* meliputi: *recurrence rate*, magnitude maksimum, *slip rate* dan fungsi atenuasi. Sebelum melakukan analisis *seismic hazard*, terlebih dahulu perlu dilakukan evaluasi terhadap seluruh data kejadian gempa yang pernah terjadi. Selanjutnya dilakukan pengolahan data gempa, pembuatan model zona sumber gempa, perhitungan *b-value* dan *annual rate*, penentuan magnitude maksimum dan *slip rate*, serta pemilihan fungsi atenuasi.



Gambar-1 Perkiraan nilai *slip rate* (mm/tahun) dan magnitudo maximum yang digunakan dalam pembuatan peta *hazard* kegempaan Indonesia [7].

**3.1 Pengumpulan dan Pengolahan Data Gempa**

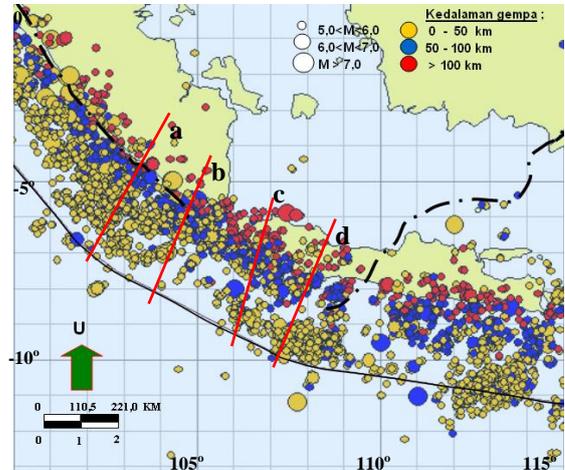
Data-data kejadian gempa historis diperoleh dari data preliminary *National Earthquake Information Centre-USGS* (NEIC-USGS), *International Seismological Centre* (ISC) dan EHB (Engdahl, van der Hilst and Buland, 1998) untuk periode 1900-2007. Data-data yang berasal dari katalog gempa tersebut perlu dikoreksi dan diproses dengan menggunakan prinsip-prinsip statistik sebelum digunakan dalam analisis untuk mengurangi bias dan mendapatkan hasil yang optimal. Pemisahan kejadian gempa utama dan gempa susulan dilakukan dengan menggunakan kriteria empiris yang diajukan oleh Uhrhammer (1986). Untuk analisis kelengkapan data gempa digunakan metoda yang diusulkan oleh Stepp (1973). Kejadian gempa dari gabungan katalog tersebut meliputi area mulai 100° BT hingga 115° BT dan 0° LS hingga 15° LS, dan data gempa lengkap dengan magnitudo lebih besar atau sama dengan 5 mulai tahun 1967 hingga 2007.

**3.2 Model Zona Sumber Gempa**

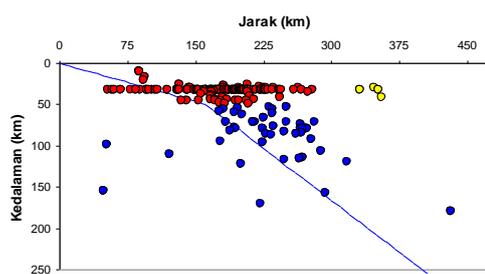
Pada studi ini, zona sumber gempa terbagi atas zona gempa-gempa dangkal dan gempa-gempa dalam di sekitar subduksi Sumatera dan Jawa serta zona seismisitas rendah di daratan pulau Sumatera dan Jawa. Data kejadian gempa yang dianggap berpengaruh pada seismisitas di wilayah kajian diambil dalam suatu zona gempa yang berada pada batang radius 500 km, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Pemodelan zona sumber gempa ditentukan dengan menganalisa sudut penunjaman pertemuan lempeng yang ditujukan untuk memisahkan sumber gempa yang berbeda jenis mekanismenya yang terletak pada area yang sama. Pola penyebaran titik-titik *hypocenter* gempa disepanjang pola tektonik

pada Gambar 2 dapat diperkirakan dengan membagi zona sumber gempa tersebut menjadi beberapa segmen dan mengambil potongan melintang distribusi *epicenter* sumber gempa pada setiap segmen tersebut. Data kejadian gempa utama tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan mekanismenya.



Gambar-2 Sebaran sumber gempa periode 1900-2007 (gabungan katalog NEIC, ISC dan EHB).



(a) Potongan melintang a-a



gempa pada area subduksi dan persamaan yang dikemukakan oleh R.R. Boore, William B. Joyner dan Thomas E. Fumal (1997) untuk jenis gempa *reverse* dan *strike slip* pada area *shallow crustal*.

**IV. ANALISIS RESIKO GEMPA**

Gempabumi dapat mengakibatkan kerugian yang sangat besar, baik kerusakan struktur dan infrastruktur, maupun kerugian akibat terhentinya aktivitas ekonomi akibat kerusakan yang terjadi, maka untuk mencegah hal tersebut, salah satu usaha kita adalah dengan mempertimbangkan aspek kegempaan dalam melakukan desain struktur dan infrastruktur. Dalam perkembangan terkini, *ground motion* dari beberapa kemungkinan kejadian tahunan terlampaui yang berbeda harus ditetapkan dalam suatu perencanaan infra-struktur sebagai acuan tanggung-jawab bagi perencana dan pelaksana konstruksi dalam kaitannya dengan tingkat keamanan yang ditetapkan oleh peraturan bangunan yang berlaku. Suatu perangkat kegempaan dikembangkan dengan dasar kriteria desain gempa seperti yang tercerminkan pada konsep *Maksimum Design Earthquake* (MDE) dan *Operating Basis Earthquake* (OBE), yang relevan untuk struktur-struktur tertentu.

Resiko gempa (*seismic hazard*) adalah kemungkinan terlampaui terjadinya suatu gempa dengan intensitas serta periode ulang rata-rata tertentu, selama suatu masa layan bangunan. Analisis resiko gempa (*seismic hazard analysis*) merupakan metode analisis untuk menentukan probabilitas kejadian persatuan waktu dari gerakan (goncangan) tanah pada level tertentu yang disebabkan oleh gempa bumi (McGuire, 1993). Analisis resiko gempa dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara deterministik (*Deterministic Seismic Hazard Analysis/ DSHA*) dan probabilistik (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis/ PSHA*). Perbedaan yang mendasar antara metode probabilistik dan metode deterministik dalam analisis resiko gempa adalah perbedaan pada cara memperlakukan magnitude gempa sebagai salah satu parameter perhitungan. Sebagai pengganti dari satu kontrol unik yang dipilih yaitu magnitude maksimum yang kredibel seperti yang telah ditetapkan dalam analisis deterministik, maka pada konteks probabilistik, yang digunakan dalam analisis adalah hubungan keberulangan dari magnitude gempa. Dengan alat ini semua kejadian gempa dalam suatu area sumber gempa, dimasukkan dalam perhitungan dan diproyeksikan ke masa depan.

Analisis resiko gempa dimulai dengan mengembangkan model matematik yang akan digunakan untuk memperkirakan kemungkinan kejadian gempa dalam *level* skala *magnitude* atau intensitas tertentu pada interval periode ulang untuk suatu daerah tertentu. Analisis ini menghasilkan parameter desain seismik seperti percepatan maksimum dan kecepatan maksimum yang dapat terlampaui untuk probabilitas serta periode ulang

tertentu. Konsep dari analisis ini masih tetap dipakai sampai sekarang oleh para ilmuwan dan para perancang struktur untuk mendesain berbagai jenis struktur tahan gempa seperti perancangan struktur gedung tingkat tinggi, jembatan dan sistim pembangkit tenaga listrik termasuk didalamnya sistem pembangkit listrik tenaga nuklir. Namun model dari analisis dan teknik perhitungannya masih dapat terus dikembangkan.

Pada makalah ini, percepatan gempa di batuan dasar diperoleh dari hasil analisis yang dilakukan dengan metode *Probabilistic Seismic Hazard Analysis* menggunakan program EQRISK yang telah dimodifikasi.

Probabilitas bahwa suatu *ground motion* **a** melebihi suatu nilai tertentu **a\*** dihitung untuk suatu potensi gempa pada suatu lokasi sumber gempa tertentu dan kemudian dikalikan dengan probabilitas bahwa suatu gempa dengan magnitude tertentu akan terjadi pada lokasi tersebut. Dengan mengasumsikan bahwa magnitude **M** dan jarak **R** adalah variabel acak independen yang kontinu, maka probabilitas terlampaui dapat dituliskan dalam bentuk integrasi persamaan berikut :

$$P_{(a \geq a^*)} = \int_M \int_R P_{(a \geq a^*; m, r)} f_{M(m)} f_{R(r)} dr dm \dots 1$$

dimana :

$f_M$  = fungsi distribusi dari magnituda.

$f_R$  = fungsi distribusi dari jarak.

$P(a \geq a^*; m, r)$  = probabilitas berkondisi dari intensitas **a** yang sama atau lebih besar dari intensitas **a\*** di suatu lokasi dengan kekuatan gempa **M** dan jarak sumber **R** yang diperoleh dari fungsi atenuasi.

Jika *site* yang ditinjau berada dalam suatu daerah dengan beberapa sumber gempa ( $N_s$ ) dimana setiap sumber memiliki *rate* untuk *threshold magnitude* sebesar  $v = \exp[\alpha - \beta \cdot m_o]$ , maka total kejadian gempa terlampaui untuk daerah tersebut adalah ;

$$\lambda(a \geq a^*) = \sum_{i=1}^{N_s} v_i \cdot P(a \geq a^*) \dots\dots\dots 2$$

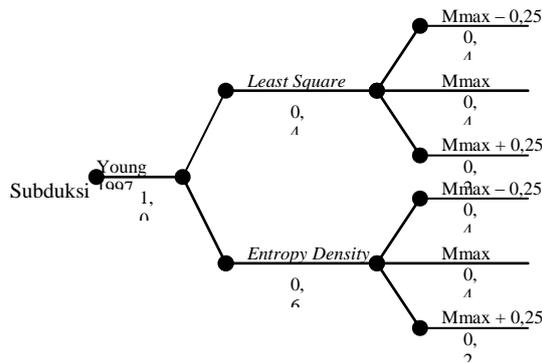
Periode ulang dari parameter gerakan tanah terlampaui adalah sebanding dengan perbandingan terbalik dari kejadian gempa tahunan. Hasil akhir dari PSHA diekspresikan dalam bentuk parameter-parameter probabilitas terlampaui gerakan tanah  $M \geq m$  untuk suatu periode desain ( $P_{(t \text{ tahun})} = 1 - e^{-\lambda(M) \cdot t}$ ), kejadian gempa tahunan ( $\lambda_{(M)}$ ) dan periode ulang desain ( $T_R$ ).

Pada awalnya, PGA lebih sering digunakan untuk mengukur parameter gerakan tanah dalam analisis resiko gempa untuk berbagai tujuan, dan merupakan cara sederhana untuk mengkarakterisir potensial kerusakan yang diakibatkan oleh gempabumi karena dapat secara mudah terbaca melalui analogi accelerogram. Akan tetapi, PGA

kadang kala tidak memberikan korelasi yang baik terhadap ukuran potensi kerusakan akibat gempa bumi, sehingga saat ini mulai dialihkan pada alternatif penggunaan besaran frekuensi yang lainnya sebagai pengukuran (seperti; *Peak Ground Velocity* (PGV) ataupun *Spektral Accelertion* (SA)) yang merefleksikan panjang gelombang dari suatu getaran gempa.

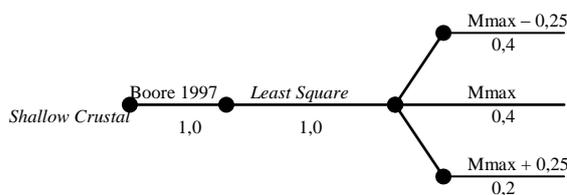
*Logic tree* juga digunakan untuk menentukan pembobotan pada masing-masing parameter yang dipergunakan dan untuk mengatasi nilai ketidak-pastian pada analisis resiko gempa dengan menggunakan metode probabilitas.

<i>Attenuation</i>	<i>Recurance</i>	<i>Maximum</i>
--------------------	------------------	----------------

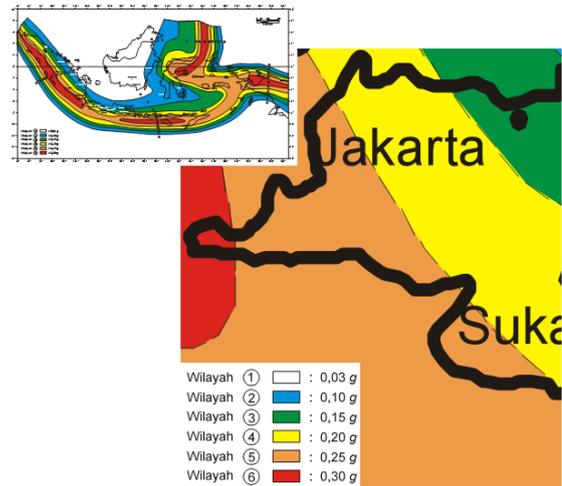


Gambar-6 Formulasi *Logic tree* untuk sumber gempa Subduksi

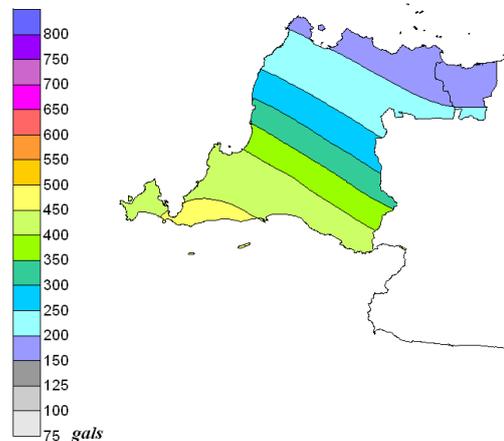
<i>Attenuation function</i>	<i>Recurance Model</i>	<i>Maximum Magnitude</i>
-----------------------------	------------------------	--------------------------



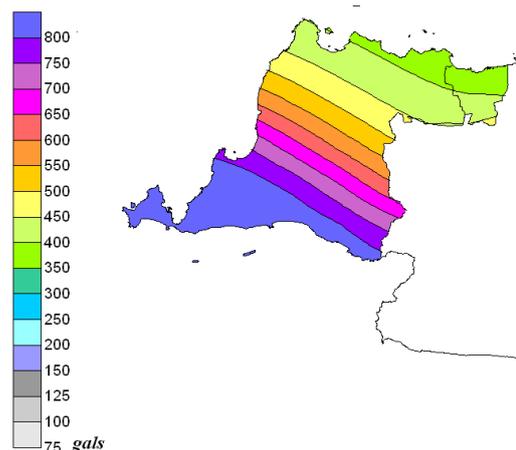
Gambar-7 Formulasi *Logic tree* untuk sumber gempa *Shallow Crustal*



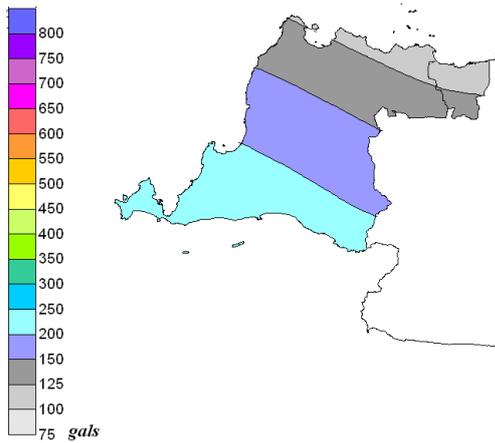
Gambar-8 Peta Percepatan maksimum di batuan dasar pada periode ulang 500 tahun di bagian barat pulau Jawa (SKSNI-1726-2002)



Gambar-9 Peta Percepatan maksimum di batuan dasar pada periode ulang 475 tahun di bagian barat pulau Jawa.



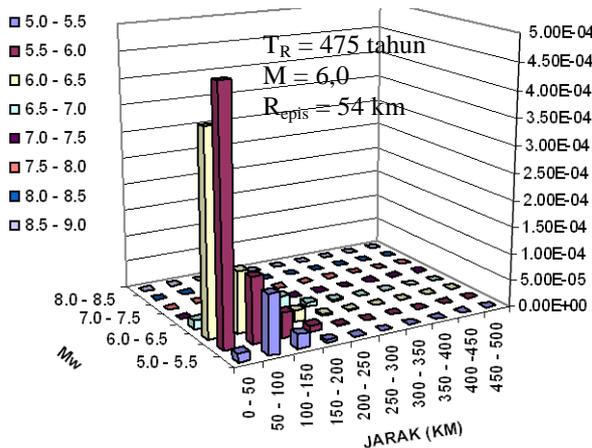
Gambar-10 Peta Spektral Percepatan periode 0,2 detik di batuan dasar pada periode ulang 475 tahun di bagian barat pulau Jawa.



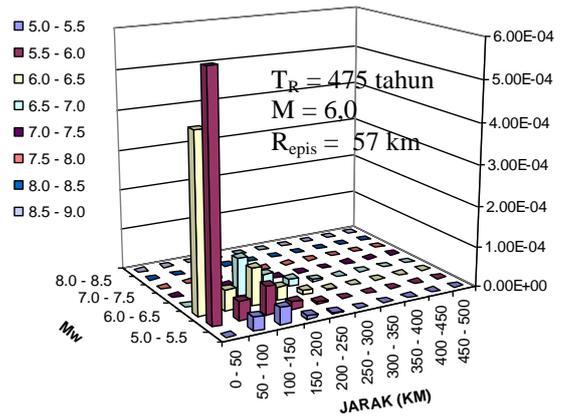
Gambar-11 Peta Spektral Percepatan periode 1,0 detik di batuan dasar pada periode ulang 475 tahun di bagian barat pulau Jawa.

Analisis untuk kemungkinan magnitudo dan jarak dari *site* ke sumber gempa yang akan memberikan resiko terbesar pada *site* tidak terlihat dengan jelas dalam PSHA. Dengan satu magnitudo dan satu jarak dari *site* ke sumber yang dominan, resiko akibat gempa dapat diekspresikan dalam satu fungsi, secara sendiri-sendiri maupun bersama-sama. Konsep ini ditujukan pada *deaggregasi seismik* (McGuire, 1995) yang dapat memberikan gambaran umum tentang ukuran gempa dan jarak untuk suatu skenario gempa tertentu, yang kemungkinan besar destruktif terhadap *site*.

Hasil *deaggregasi* dengan menggunakan program EQRISK yang telah dimodifikasi memperlihatkan sumber gempa yang memberikan kontribusi terbesar yang berada pada kisaran jarak dan magnituda tertentu. Informasi jarak dan magnituda tersebut merupakan bahagian informasi pemilihan kriteria *ground motion* dengan karakteristik yang mendekati kondisi yang diinginkan.

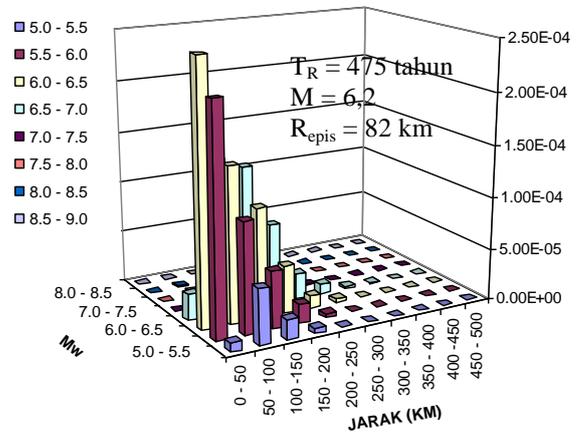


(a) Kota Banten

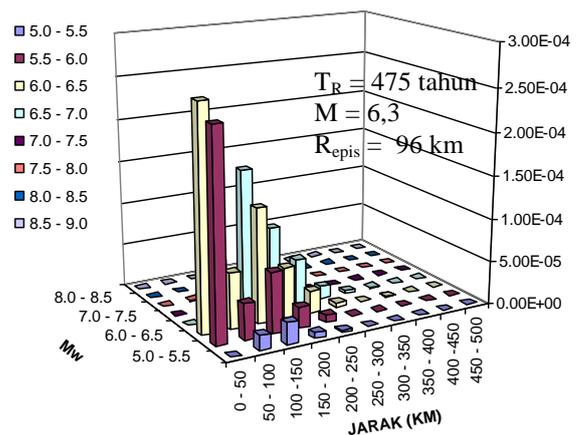


(b) DKI Jakarta

Gambar-12 Deaggregasi M dan R pada SA[T=0,2 detik] periode ulang 475 tahun.



(a) Kota Banten



(b) DKI Jakarta

Gambar-13 Deaggregasi M dan R pada SA[T=1,0 detik] periode ulang 475 tahun.

V. PEMBUATAN MOTION GEMPA SINTETIK

Salah satu data yang diperlukan untuk analisis dinamis akibat beban gempa adalah data riwayat

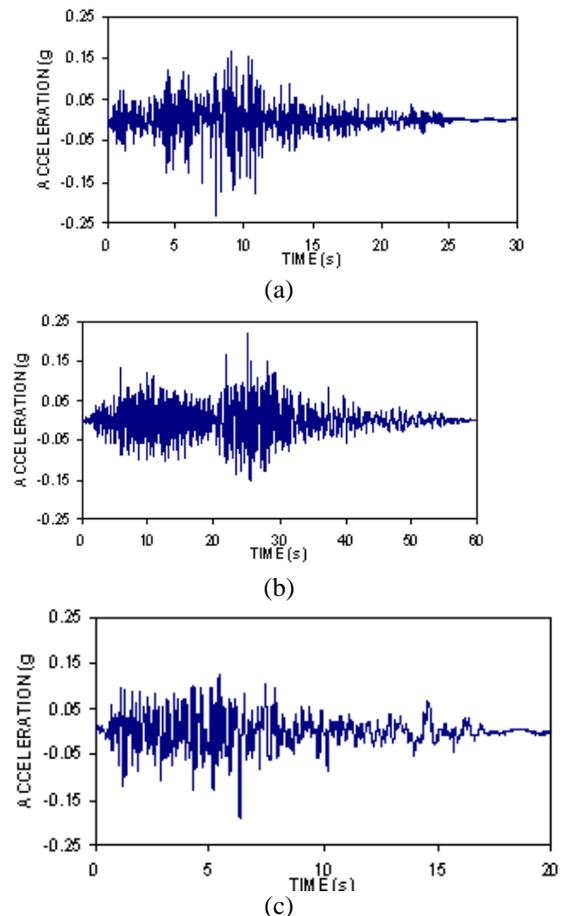
waktu percepatan gempa. Accelerogram dapat digunakan untuk keperluan ini, baik *recorded accelerograms* ataupun *spectrum-compatible accelerograms*. Sedikitnya tiga buah *recorded accelerograms* harus dipilih berdasarkan suatu referensi kejadian gempa/*controlling event* dengan magnitudo dan jarak tertentu. Kondisi *site* dari stasiun pencatat dimungkinkan harus berada pada lapisan dengan kriteria '*rock*'. Jika hal itu tidak dimungkinkan maka accelerogram yang terekam pada lokasi *soft soil* dapat digunakan dengan pertimbangan tertentu.

Hingga saat ini, data kegempaan di Indonesia umumnya hanya meliputi lokasi episenter, magnitudo, kedalaman, dan mekanismenya. Sedangkan data riwayat waktu percepatan di batuan dasar masih sangat jarang. Hal ini dikarenakan jumlah stasiun pencatat gempa masih sangat sedikit dibandingkan dengan wilayah Indonesia yang sangat luas. Pada studi ini, data riwayat waktu percepatan dicari dengan membuat data digitasi dari lokasi lain yang diskalakan dan disesuaikan dengan kondisi daerah yang ditinjau. Dimulai dengan data riwayat waktu percepatan terekam, akan memungkinkan untuk memodifikasi gerakan tanah tersebut hingga ordinat spektral akan bernilai mendekati sama dengan target spektrum yang diinginkan.

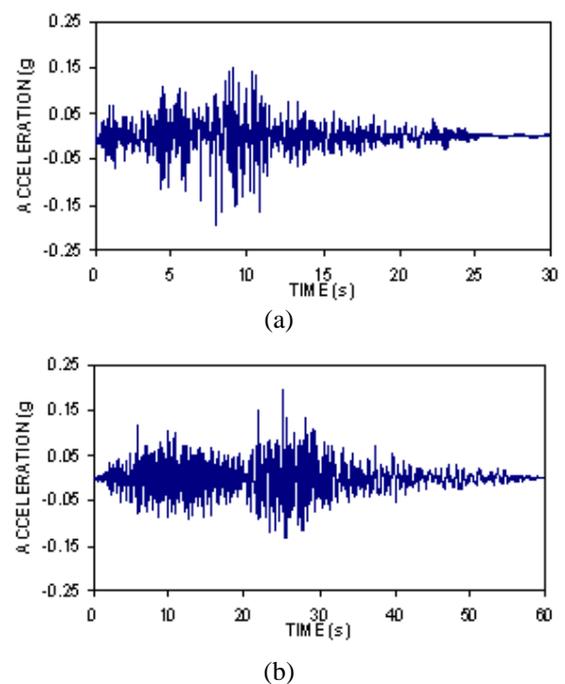
Prosedur untuk mendapatkan riwayat waktu percepatan yang termodifikasi dapat dilakukan dengan cara-cara berikut ;

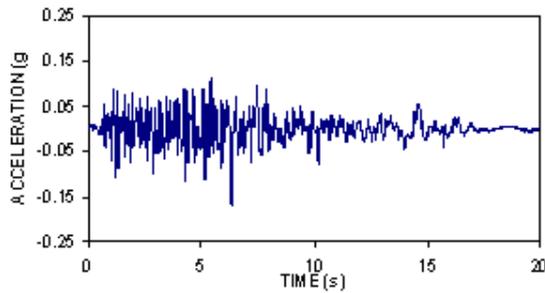
1. Menghitung nilai *Fourier amplitude spectrum* ( $FA_{input}$ ) dari riwayat waktu percepatan dengan menggunakan *Fast Fourier Transformation* (FFT). Dan juga hitung respons spektrum dari *initial ground motion* ( $PSA_{input}$ )
2. Mencocokkan  $PSA_{input}$  terhadap Target spektra ( $PSA_{target}$ ) dengan tingkat probabilitas yang diinginkan, sesuai dengan fungsi dari frekuensi.
3. Mengalikan *Fourier amplitude spectrum* ( $FA_{input}$ ) dengan rasio  $[PSA_{target}/PSA_{input}]$  disetiap frekuensi gelombang dengan tanpa mengubah *phase*-nya.
4. Menghitung *Inverse FFT* untuk mendapatkan riwayat waktu yang telah termodifikasi.
5. Melakukan iterasi langkah 1 hingga 4 beberapa kali. Hal ini dimaksudkan agar PSA dan FA akan bernilai konvergen/mendekati sama setelah dilakukannya iterasi tersebut. Kriteria diterimanya proses penskalaan adalah titik-titik di sepanjang bentang frekuensi 0,2 hingga 30 Hz yang menyimpang (>25% dari nilai *spectral amplitude*-nya) jumlahnya kurang dari 5%.
6. Mengoreksi *baseline* dari riwayat waktu yang telah termodifikasi.

Berikut adalah berbagai alternatif riwayat waktu sintesis di lapisan batuan dasar untuk masing-masing kota, hasil penskalaan berdasarkan kriteria jarak dan magnitudo kejadian gempa dengan menggunakan *initial ground motion* dari accelerogram yang diambil dari beberapa kejadian gempa.



Gambar-14 Alternatif riwayat waktu sintesis di lapisan batuan dasar untuk kota Banten untuk periode ulang 475 tahun





(c)

Gambar-15 Alternatif riwayat waktu sintesis di lapisan batuan dasar untuk DKI Jakarta untuk periode ulang 475 tahun

**VI. ANALISIS RESPON DINAMIK TANAH**

**6.1. Perambatan Gelombang Geser 1-Dimensi**

Perambatan vertikal gelombang geser adalah perambatan gelombang yang hanya akan menyebabkan perpindahan dalam arah horizontal. Profil tanah diidealisasikan sebagai sistem yang homogen dan lapisan visco-elastis dengan lebar tak terhingga. Respons dari sistem ini dihitung melalui perambatan gelombang geser dari batuan dasar ke lapisan permukaan. Algoritma perhitungan berdasarkan penyelesaian-penyelesaian berturut-turut dari persamaan gelombang yang dikemukakan oleh Kanai, (1951), Matthiesen et al (1964), Roesset and Whitman (1969), Lysmer et al (1971, yang mengadaptasi gerakan transien menggunakan teknik *Fast Fourier Transformation* yang diperkenalkan Cooley dan Tukey (1965).

Dengan menggunakan prinsip kesetimbangan gaya dan kompatibilitas perpindahan, dan hubungan regangan-perpindahan serta hubungan tegangan-regangan, maka persamaan gelombang satu dimensi dapat dipecahkan. Bentuk dari persamaan gelombang satu dimensi merupakan persamaan diferensial parsial :

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau}{\partial z} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \cdot \partial t} \dots\dots\dots 3$$

dimana :

- v = kecepatan partikel
- $\tau$  = tegangan geser
- G = modulus geser
- $\lambda$  = viskositas
- $\rho$  = rapat massa

Pendekatan nonlinear terhadap respons permukaan dapat dilakukan dengan menggunakan integrasi numerik secara langsung dalam domain waktu. Dengan meng-integrasikan persamaan gelombang dalam *time step* yang kecil, maka model tegangan-regangan linear, nonlinear, maupun *advanced constitutive* dapat digunakan. Pada

masing-masing akhir *time step*, hubungan tegangan-regangan diperiksa untuk memperoleh properti tanah yang sesuai untuk *time step* berikutnya.

**6.2. Parameter Dinamik Tanah**

Sifat dan penyebaran kerusakan akibat gempa terutama dipengaruhi oleh respons tanah terhadap beban siklik. Respons tanah ini ditentukan oleh parameter tanah, dalam hal ini adalah parameter dinamik tanah. Parameter dinamik yang digunakan dalam analisis respons dinamik tanah adalah modulus geser maksimum ( $G_{max}$ ), kecepatan rambat gelombang geser ( $V_s$ ) dan *damping* ( $\xi$ ). Nilai modulus geser dan *damping ratio* bergantung pada beberapa faktor, seperti jenis tanah, tekanan keliling (*confining pressure*), tingkat regangan dinamik, derajat kejenuhan, frekuensi, magnituda tegangan dinamik, dan regangan dinamik (Hardin dan Black, 1969).

Parameter dinamik tanah dapat ditentukan dengan tes lapangan atau tes laboratorium. Tes lapangan dibagi dua, yaitu *low-strain test* (*seismic reflection test, seismic refraction test, seismic cross hole test, seismic down-hole/up-hole test*) dan *high-strain test* (*standard penetration test, cone penetration test, dilatometer test, dan pressuremeter test*). Sebagaimana tes lapangan, tes laboratorium juga dibagi menjadi *low-strain test* (*resonant column test, ultrasonic pulse test, piezoelectric bender element test*) dan *high-strain test* (*cyclic triaxial test, cyclic direct simple shear test, cyclic torsional shear test*).

**VII. RESPON SPEKTRA DI PERMUKAAN TANAH**

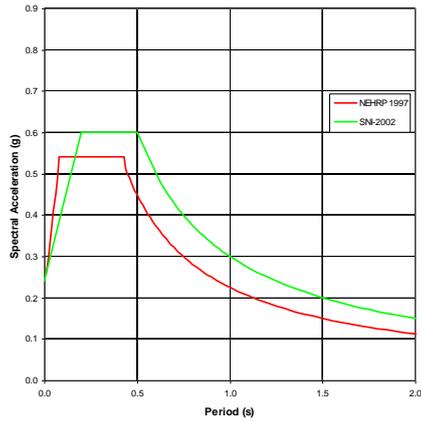
**7.1. Kondisi Tanah Lokal**

Kondisi tanah lokal diklasifikasikan berdasarkan parameter kecepatan gelombang geser rata-rata ( $V_s$ ),  $N_{-SPT}$  atau  $S_u$  pada tanah hingga kedalaman 30 m dari permukaan tanah dan dianalisis menurut 3 (tiga) kelas tanah berdasarkan SNI-1726-2002 dan NEHRP 1997 yaitu:

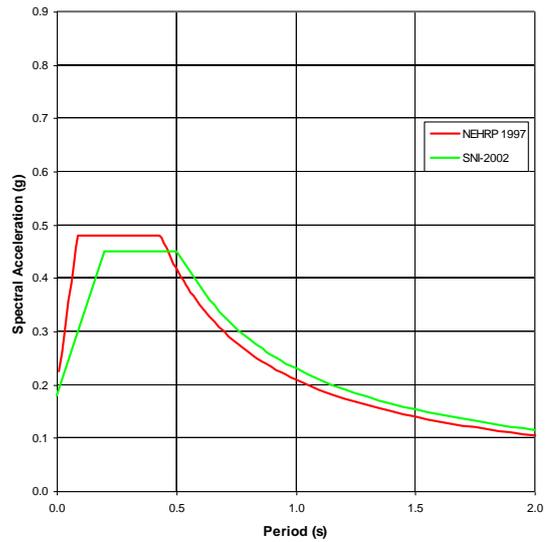
1.  $S_C$  ; batuan lunak atau tanah keras (*very dense soil and soft rock*). Dengan karakteristik: cepat rambat gelombang geser  $360 \text{ m/dt} < v_s \leq 760 \text{ m/dt}$ , atau  $(N_1)_{60} > 50$ , atau  $S_u \geq 100 \text{ kpa}$ .
2.  $S_D$  ; tanah sedang (*stiff soil profile*). Dengan karakteristik: cepat rambat gelombang geser sebesar  $180 < v_s \leq 360 \text{ m/dt}$ , atau  $15 \leq (N_1)_{60} \leq 50$ , atau  $50 \text{ kpa} \leq S_u \leq 100 \text{ kpa}$ .
3.  $S_E$  ; tanah lunak (*soft soil profile*). Dengan karakteristik: cepat rambat gelombang geser sebesar  $v_s \leq 180 \text{ m/dt}$ , atau lempung dengan  $PI > 20\%$ ,  $w \geq 40\%$ , atau  $S_u < 25 \text{ kpa}$ .

**7.2. Perbandingan Hasil Respon Spektra Desain**

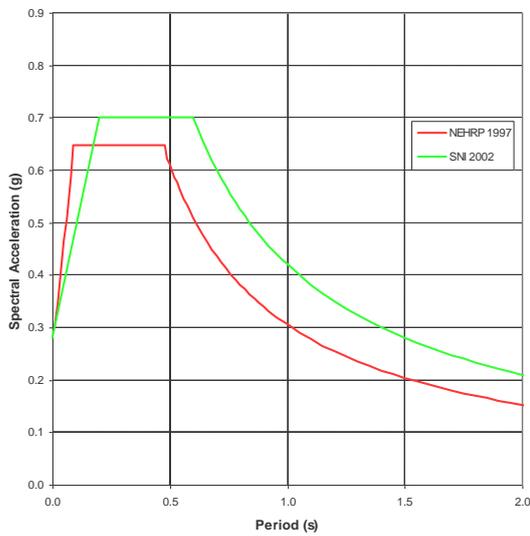
Respon spektra di permukaan tanah dihitung berdasarkan spektra desain menurut NEHRP 1997 serta dibandingkan dengan SNI -1726- 2002.



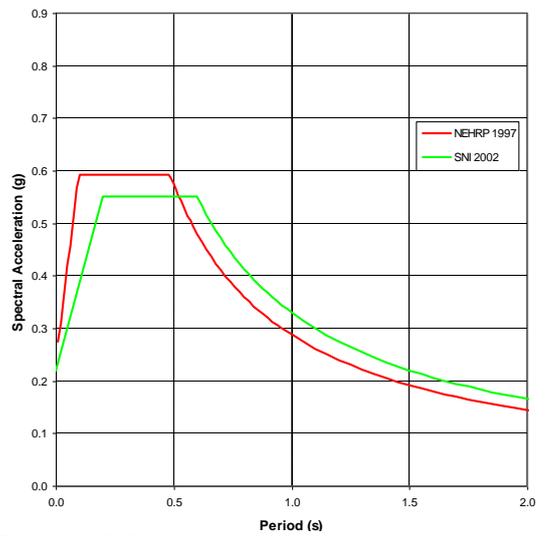
Gambar-16 Respon spektra percepatan desain untuk level OBE pada kelas S<sub>C</sub> untuk kota Banten



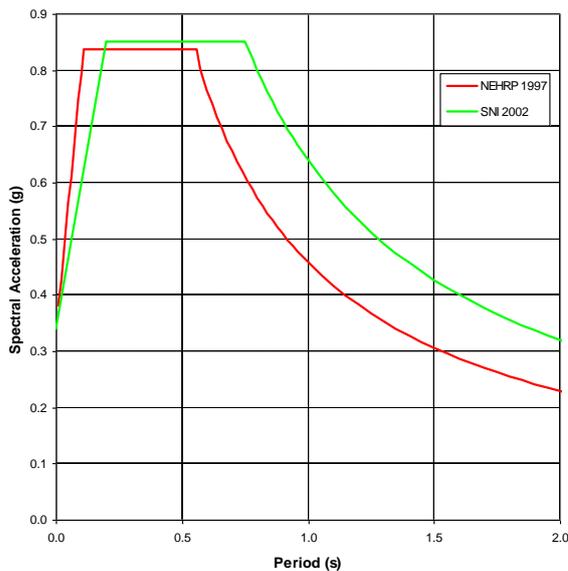
Gambar-19 Respon spektra percepatan desain untuk level OBE pada kelas S<sub>C</sub> untuk kota DKI Jakarta



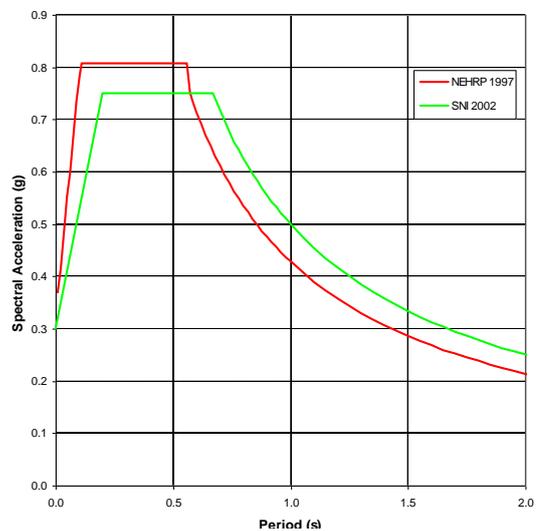
Gambar-17 Respon spektra percepatan desain untuk level OBE pada kelas S<sub>D</sub> untuk kota Banten



Gambar-20 Respon spektra percepatan desain untuk level OBE pada kelas S<sub>D</sub> untuk kota DKI Jakarta



Gambar-18 Respon spektra percepatan desain untuk level OBE pada kelas S<sub>E</sub> untuk kota Banten



Gambar-21 Respon spektra percepatan desain untuk level OBE pada kelas  $S_E$  untuk kota DKI Jakarta

### VIII. KESIMPULAN

1. Percepatan maksimum di batuan dasar dengan periode ulang 475 tahun untuk kota Banten adalah 200 gal, dan hasil perhitungan dengan periode ulang yang sama untuk DKI Jakarta bernilai 180 gal.
2. Respon spektra permukaan sebagai hasil perambatan gelombang merupakan sesuatu yang unik untuk masing-masing lokasi dan titik tinjauan gempa dikarenakan oleh pengaruh jenis lapisan tanah pada lokasi *site*. Keunikan ini disebabkan oleh adanya perbedaan bentang frekuensi dari masing-masing material dalam sistem yang dapat menyebabkan perkuatan maupun perlemahan terhadap beban gempa ketika tiba di permukaan tanah.

### DAFTAR PUSTAKA

1. A. Achdan dan D. Sudana, *Peta Geologi lembar Karawang, Jawa, Skala 1:100.000*, Pusat penelitian dan pengembangan geologi, 1992.
2. Arabasz, W.J., Robinson, R., *Microseismicity and Geologic Structure in the Northern South Island*, New Zealand, New Zealand Journal of Geology and Geophysics, Vol. 19, No. 2, 1976.
3. Boore, D.M., Joyner, W.B., Fumal, T.E., *Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from Western North American earthquakes : a summary of recent work*. Seismol. Res. Lett. 68, 128–153, 1997.
4. Boore, D.M., Joyner, W.B., *Recent Developments in Earthquake Ground Motion Estimation*, Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Conference on Seismic Zonation, Palm Springs, California, November 12-15, 2000.
5. Hendriyawan, *Studi Analisis Resiko Gempa dan Mikrozonasi Kota Jakarta*, Tesis Magister, ITB, 2001.
6. Kramer, Steven L, *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, Inc., United States of America., 1996.
7. Irsyam, M., Hoedajayanto, D., Kertapati, E.K., Boen, T., Petersen, M.D., Dankua, T.D., Asrurifak, M., *Usulan revisi peta hazard kegempaan wilayah Indonesia*, Paper HAKI, 2007.
8. National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP, 1997), *Recommended Provisions for Seismic Regulation for New Buildings and Other Structures*, 1997 Edition, Part 1 – Provisions, Part 2 – Commentary; FEMA 302, Feb. 1998.
9. R. E. Thanden, H. Sumadirdja, P. W. Richards, K. Sutisna & T. C. Amin, *Peta Geologi lembar Magelang dan Semarang, Jawa, Skala 1:100.000*, Pusat penelitian dan pengembangan geologi, 1996.
10. Standar Nasional Indonesia (2002), *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2002)*, Badan Standardisasi Nasional.
11. Shah, H. C., Boen, T., *Seismic Hazard Model for Indonesia*, RMS internal document. 21pp. (unpublished but cited in GSHAP, 1999), 1996.
12. Stepp, J.C., *Analysis of the Completeness of the Earthquake Hazard Sample in the Puget Sound Area*, NOAA Technical Report, ERL 267-ESL 30, Boulder, CO, May 1973, pp. 16-28.
13. Sudjatmiko, *Peta Geologi lembar Cianjur, Jawa, Skala 1:100.000*, Pusat penelitian dan pengembangan geologi, 2003.
14. T. C. Amin, N. Ratman dan S. Gafoer, *Peta Geologi lembar Jawa bagian tengah, Skala 1:500.000*, Pusat penelitian dan pengembangan geologi, 1999.
15. Uhrhammer, R.A., *Characteristics of Northern and Central California Seismicity (abs)*, Earthquake Notes, Vol. 57, No. 1, 1986, pp.21.
16. Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., Humphrey, J.R. *Strong ground motion attenuation relationships for subduction zone earthquakes*. Seismol. Res. Lett. 68, 58–73., 1997.